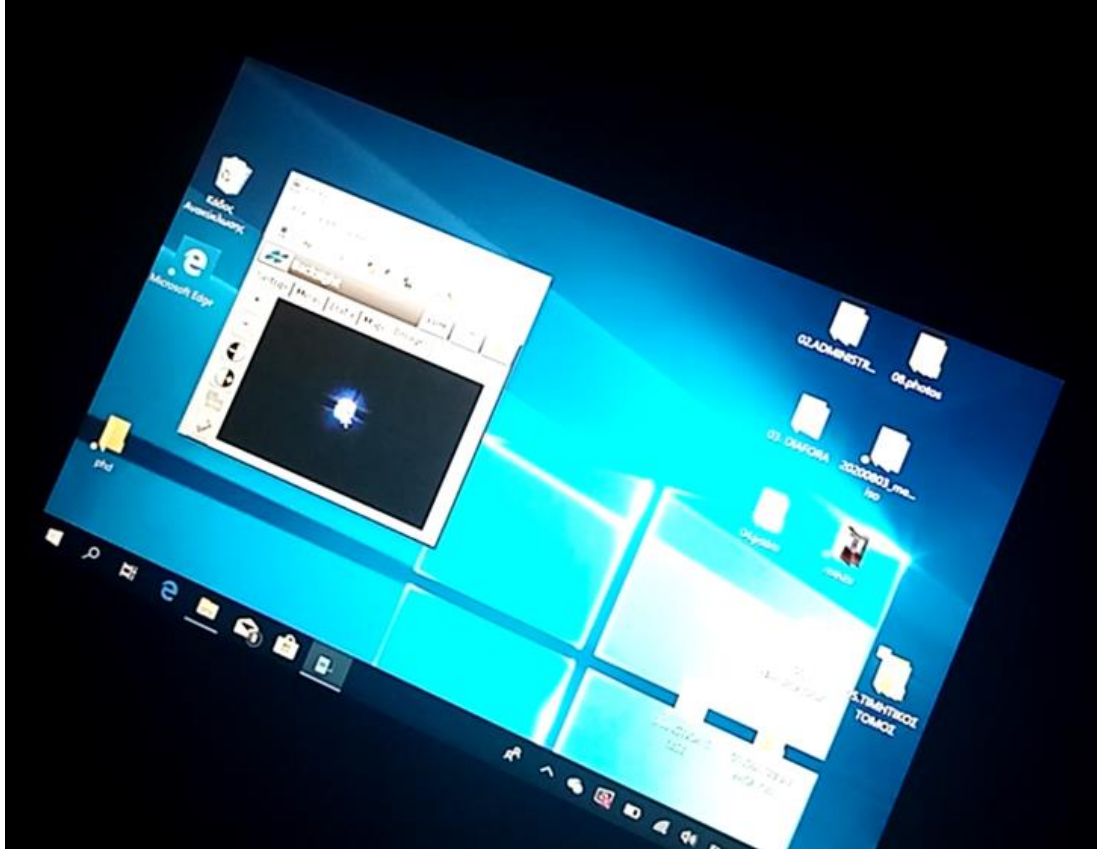




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ



ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ
ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΜΕ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟ

Διδακτορική διατριβή
Χαράλαμπος Μολύβας

ΝΤΙΣΕΛΝΤΟΡΦ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
– ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΛΑΙΣΙΑΣ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ
ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΕΩΛΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΜΕ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟ**

Διδακτορική διατριβή
Χαράλαμπος Μολύβας

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων: Πανταζής Γεώργιος, Καθηγητής Τομέα Τοπογραφίας.

Μέλη: Δουλάμης Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέα Τοπογραφίας.
Αραμπατζή Ορθοδοξία, Επίκουρος Καθηγήτρια Τομέα Τοπογραφίας.

ΝΤΙΣΕΛΝΤΟΡΦ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021

Εξώφυλλο: Ο Πολικός Αστéρας, στην οθόνη του παρατηρητή, κατά την εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με τηλεχειρισμό.

Χαράλαμπος Μολύβας
Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ
MSc Γεωπληροφορική, ΕΜΠ
Αξιωματικός της ΓΥΣ
molyvasch@gmail.com

Copyright © Χαράλαμπος Μολύβας, 2021
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

"Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από τη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, δεν υποδηλοί αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα"
(άρθρο 202, Ν. 5343/1932)

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί το επιστέγασμα της ακαδημαϊκής μου πορείας. Λαμβάνοντας υπόψη την ιδιότητά μου ως Αξιωματικού των Ενόπλων Δυνάμεων, εύλογα γεννιέται στον αναγνώστη της διατριβής το ερώτημα για το ποια ήταν η αναγκαιότητα εκπόνησής της. Το κίνητρο λοιπόν που με ώθησε σε αυτήν την περιπέτεια ήταν η αγάπη μου για τη γνώση και η υψηλή θέση που κατέχουν στον κώδικα αξιών μου, όλοι αυτοί οι διδάκτορες που μόχθησαν για να κατακτήσουν τον τίτλο του διδάκτορα, ο οποίος δεν εξαγοράζεται αλλά κατακτιέται με αγώνα και θυσίες. Αγώνα και θυσίες που συγκεντρώνονται κατά τη γνώμη μου στη λέξη μοναξιά. Μοναξιά, αφού πρέπει να βρεθεί χρόνος μακριά από την βιοποριστική εργασία, την οικογένεια και τους φίλους, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η έρευνα, το πείραμα, η επεξεργασία, ο έλεγχος, η συγγραφή, η πρωτοτυπία.

Κατόπιν των ανωτέρω θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω την αγαπημένη μου σύζυγο Βασιλική και τον αγαπημένο μου γιο Στέργιο-Ευθύμιο για την υπομονή και τη συμπαράσταση που επέδειξαν καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής, όταν επανειλημμένα με αντικρύζανε να βυθίζομαι στη μελέτη, τόσο κοντά τους στο ίδιο σπίτι αλλά και τόσο μακριά στο μικρό γραφείο.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους σεβαστούς μου γονείς Ευθύμιο και Στεργιανή για τη διαρκή ενθάρρυνση και την παρότρυνση για συνέχιση και ολοκλήρωση της εν λόγω προσπάθειας. Για τον ίδιο λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρώην προϊστάμενό μου στο ΓΕΕΘΑ, Σμήναρχο κύριο Καραβλίδη Κωνσταντίνο ο οποίος συμμερίζεται μαζί μου κοινές αρχές που αφορούν στην αξία της γνώσης και τη σπουδαιότητα της εκπόνησης μιας διδακτορικής διατριβής.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ανιψιό μου Δημήτριο Σοφικίτη, φοιτητή Πληροφορικής στο Πανεπιστήμιο Πειραιά, γιατί χωρίς τη βοήθειά του δεν θα μπορούσα να υλοποιήσω τις μετρήσεις των μεγεθών στο γεωδαιτικό δίκτυο Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, τους αγαπητούς μου συναδέλφους και εκλεκτούς φίλους Δρ. Θωμά Κουκολέτσο και Νέστορα Παπαδόπουλο για τη βοήθειά τους καθώς και την εκλεκτή φίλη και κουμπάρα μου Ευαγγελία Αράχωβα - Κουτσιούμπα για τον γλωσσικό έλεγχο της περίληψης στην αγγλική γλώσσα.

Επιπρόσθετα, από καρδιάς θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υπηρεσία μου, τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και κατ' επέκτασιν το στρατιωτικό και πολιτικό προσωπικό που υπηρετεί σε αυτήν, καθόσον με την είσοδό μου σε αυτήν την ιστορική Υπηρεσία κατόπιν εξετάσεων το έτος 2000, άνοιξαν για μένα ακαδημαϊκοί και επαγγελματικοί ορίζοντες που σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν ερμητικά κλειστοί.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στον Αναπληρωτή Καθηγητή Νικόλαο Δουλάμη και στην Επίκουρο Καθηγήτρια Ορθοδοξία Αραμπατζή, μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, όπως επίσης και στους υπόλοιπους καθηγητές της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής για τον προσωπικό χρόνο, που αφιέρωσαν προκειμένου να μελετήσουν και να αξιολογήσουν την παρούσα διατριβή.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Καθηγητή Γεώργιο Πανταζή, γιατί υπήρξε για μένα καθηγητής, μέντορας αλλά και συνοδοιπόρος, καθώς με υποστήριξε αδιάκοπα σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της διατριβής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω, περισσότερο από όλους, την εκλιπούσα Καθηγήτρια Ευαγγελία Λάμπρου, για την εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπό μου και μου εμπιστεύτηκε το θέμα της διατριβής, το οποίο η ίδια εμπνεύστηκε και ανέπτυξε αρχικά, παρουσιάζοντας τη μέθοδο Remote Survey το έτος 2014.

Ωστόσο, επειδή δεν μπορώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε εκείνη, αφού τόσο απρόσμενα έφυγε πρόσφατα από κοντά μας, θα προτιμήσω να της αφιερώσω ενώπιον όλων την παρούσα διατριβή και να αναφωνήσω:

Αιωνία η μνήμη της!

Και είμαι πεπεισμένος ότι θα εισακουστεί αυτό το μήνυμά μου, διότι όταν εκτελούσα τις αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις προς στον Πολικό Αστέρα για τους σκοπούς της εργασίας, ένιωσα την παρουσία της, εκεί ψηλά, να με καθοδηγεί...

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάπτυξη συστημάτων και μεθοδολογιών συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων με τηλεχειρισμό είναι το αντικείμενο της παρούσας διατριβής και αποτελεί συνδυασμό δύο θεματικών επιστημονικών περιοχών. Εντάσσεται κυρίως στην επιστήμη του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού, με έμφαση στο πεδίο της Εφαρμοσμένης Γεωδαισίας και δευτερευόντως στην επιστήμη του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και πιο συγκεκριμένα στο πεδίο της Μετάδοσης Σημάτων.

Ειδικότερα, στα αντικείμενα του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού εμπίπτουν όλες οι τεχνολογικές καινοτομίες που ενσωματώνουν οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί, όπως οι ψηφιακές κάμερες που παρέχουν την εικόνα του στόχου που σκοπεύεται, τα ηλεκτρονικά συστήματα που παρέχουν τη δυνατότητα διασύνδεσης των οργάνων με απομακρυσμένους ηλεκτρονικούς υπολογιστές (H/Y) και το λειτουργικό σύστημα που επιτρέπει την εγκατάσταση εφαρμογών. Όλες αυτές οι καινοτομίες προσφέρουν γόνιμο έδαφος για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων τηλεχειρισμού, θέση που αποτελεί και την πρωτότυπη ιδέα στην οποία βασίζεται η παρούσα έρευνα. Τονίζεται ότι, ως βασική επιδίωξη ορίστηκε η χρησιμοποίηση των υπάρχοντων δυνατοτήτων των γεωδαιτικών σταθμών και η αξιοποίηση ελεύθερου λογισμικού, έτσι ώστε τα συστήματα που θα αναπτυχθούν να μην προκαλούν οικονομική επιβάρυνση στον χρήστη τους.

Αντίστοιχα, στα αντικείμενα του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού εμπίπτουν όλες οι γεωδαιτικές μεθοδολογίες που ουσιαστικά αξιοποιούν τις προαναφερθείσες τεχνολογικές καινοτομίες, προκειμένου να καταστεί ο τηλεχειρισμός των σταθμών λειτουργικός και εκμεταλλεύσιμος από κάθε μηχανικό.

Αξίζει να επισημανθεί ότι η συλλογή γεωδαιτικών δεδομένων με τηλεχειρισμό αποτελεί μία δυνατότητα που προέκυψε από την εξέλιξη και την πρόοδο της τεχνολογίας και της επιστήμης. Μάλιστα, πριν από λίγα μόλις χρόνια ήταν αδιανόητη ακόμη και η ιδέα για κάτι σχετικό. Στη σημερινή εποχή λοιπόν που γίνεται έντονη συζήτηση για τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ανθρώπινων και λοιπών οικονομικών πόρων στις εκτελούμενες εργασίες η αναγκαιότητα, σπουδαιότητα και επικαιρότητα της υλοποίησης εργασιών με τηλεχειρισμού είναι έκδηλη και επιβεβλημένη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	IV
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VII
ABSTRACT	XIII
ΣΧΗΜΑΤΑ	XVIII
ΠΙΝΑΚΕΣ	XX
ΕΙΚΟΝΕΣ	XXI
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	XXII
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	XXIII
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ	I
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	3
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων	4
1.3 Χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί.....	8
1.4 Διαπιστώσεις από την ανάλυση των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΠΕΡΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΗΜΑΤΩΝ	15
2.1 Γενικά.....	15
2.2 Βασικές έννοιες από τη θεωρία της διάδοσης σημάτων.....	16
2.2.1 Σύνδεσμοι	22
2.2.2 Δίκτυα Η/Υ	25
2.3 Δίκτυα Ethernet.....	27
2.4 Ενσύρματη επικοινωνία RS-232.....	28
2.5 Ενσύρματη επικοινωνία USB	31
2.6 Ασύρματη επικοινωνία Bluetooth.....	33
2.7 Ασύρματη επικοινωνία Wi-Fi.....	36
2.8 Σύγκριση μεθόδων επικοινωνίας	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
ΜΕ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟ	43
3.1 Γενικά.....	43
3.2 Το θεωρητικό πλαίσιο της μεθόδου Remote Survey	43
3.3 Η βασική ιδέα της μεθόδου Remote Survey.....	50
3.4. Η πρώτη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey.....	52
3.5. Η δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey	55

3.6	Σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi	57
3.7	Διαπιστώσεις από τις εφαρμογές της μεθόδου Remote Survey ..	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		
Ο ΧΡΟΝΟΣ ΩΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟ		
63		
4.1	Γενικά	63
4.2	Θεωρητική προσέγγιση του χρόνου.....	63
4.3	Το πρωτόκολλο Network Time Protocol	66
4.4	Ο χρόνος ως παράμετρος στη μέθοδο Remote Survey	67
4.5	Διαπιστώσεις για τον χρόνο ως παράμετρο της μεθόδου Remote Survey	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		
ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ - Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ		
75		
REMOTE SURVEY		
75		
5.1	Γενικά.....	75
5.2	Ανάλυση σφαλμάτων του Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey	76
5.2.1	Ο παράγοντας χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός	77
5.2.2	Οι παράγοντες οθόνη της server device και οθόνη της user device	83
5.2.3	Ο παράγοντας παρατηρητής.....	87
5.2.4	Ο παράγοντας στόχος	87
5.2.5	Ο παράγοντας συνθήκες	88
5.3	Ανάλυση μεθοδολογίας προσδιορισμού της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey	90
5.3.1	Αποτελέσματα του προσδιορισμού της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey	94
5.4	Διαπιστώσεις από την ανάλυση των πηγών σφαλμάτων και της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey ..	96
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ		
99		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6		
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ REMOTE SURVEY		
101		
6.1	Μετρήσεις σε εσωτερικό πεδίο ελέγχου με τη μέθοδο Remote Survey, με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi	101
6.1.1	Περιγραφή του πειράματος.....	101
6.1.2	Εκτέλεση του πειράματος.....	102
6.1.3	Αποτελέσματα πειράματος - Διαπιστώσεις.....	103

6.2 Έλεγχος γεωδαιτικού δικτύου με τη μέθοδο Remote Survey και με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi.....	105
6.2.1 Γενικά	105
6.2.2 Περί γεωδαιτικών δικτύων	105
6.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey στον έλεγχο επίγειου γεωδαιτικού δικτύου.....	106
6.2.4 Αποτελέσματα – Διαπιστώσεις.....	110
6.3 Αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις με τη μέθοδο Remote Survey	113
6.3.1 Γενικά	113
6.3.2 Θεμελιώδεις Έννοιες της Γεωδαιτικής Αστρονομίας	113
6.3.3 Προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμούθιου με τη μέθοδο Remote Survey.....	118
6.3.4 Αποτελέσματα-Διαπιστώσεις	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	123
7.1 Συμπεράσματα.....	123
7.2 Προτάσεις.....	129
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	131
ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ	141
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	143

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σημερινή εποχή η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας δημιούργησαν τις προϋποθέσεις για την παραγωγή των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών. Αυτά τα εξελιγμένα γεωδαιτικά όργανα ενσωματώνουν συστήματα, που καθιστούν ικανή τη μετάδοση της εικόνας του στόχου που σκοπεύεται και τον ταυτόχρονο τηλεχειρισμό τους από κάποιον απομακρυσμένο παρατηρητή.

Στην παρούσα διατριβή αναπτύσσονται και προτείνονται συστήματα και μεθοδολογίες για την επιτυχή εκτέλεση του τηλεχειρισμού των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών (μέθοδος Remote Survey) με αναλυτική παρουσίαση των επιμέρους παραμέτρων των συστημάτων. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μεθοδολογιών σε ένα ικανό εύρος γεωδαιτικών εφαρμογών τόσο σε εργαστηριακό περιβάλλον, όπως ο έλεγχος μέτρησης οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-3 και ο προσδιορισμός της "Εξίσωσης αβεβαιότητας ενός συστήματος της μεθόδου Remote Survey", όσο και σε ρεαλιστικές συνθήκες υπαίθρου, όπως ο έλεγχος μετακινήσεων ενός γεωδαιτικού δικτύου και η εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου τυχαίας διεύθυνσης.

Οι προτεινόμενες μεθοδολογίες και συστήματα, επιδιώχθηκε να βασίζονται σε ελεύθερο λογισμικό και μέσα, θέτοντας ως μόνη προϋπόθεση την ύπαρξη ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού. Με την εφαρμογή τους εκτιμάται ότι θα βοηθηθεί στο έργο που επιτελεί τόσο η επιστημονική όσο και η επαγγελματική κοινότητα.

Το κείμενο της διδακτορικής διατριβής αποτελείται από 7 κεφάλαια.

Στο *πρώτο κεφάλαιο* παρουσιάζονται οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί. Η εισαγωγή στην παρουσίαση γίνεται με μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων που οδήγησε στην εμφάνιση των εν λόγω σταθμών. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την ανάλυση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών που συμβάλλουν στον τηλεχειρισμό τους.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο* αναλύεται η θεωρία της διάδοσης σημάτων καθώς και οι μέθοδοι επικοινωνίας που ενσωματώνουν οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί για τη σύνδεσή τους με άλλες συσκευές είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη σύγκριση των μεθόδων επικοινωνίας και τις διαπιστώσεις για την καταλληλότητά τους ή μη στην εκτέλεση μετρήσεων με τηλεχειρισμό.

Στη συνέχεια, στο *τρίτο κεφάλαιο* παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων με τηλεχειρισμό. Ιδιαίτερα

παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο βασίστηκε η μέθοδος τηλεχειρισμού Remote Survey, η βασική της ιδέα καθώς και οι αρχικές της εφαρμογές. Το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με τις διαπιστώσεις από τις αρχικές εφαρμογές της μεθόδου Remote Survey και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των επιμέρους μεθοδολογιών που αναπτύχθηκαν.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο* αναλύεται ο χρόνος ως παράμετρος στις γεωδαιτικές παρατηρήσεις με τηλεχειρισμό. Αρχικά προσεγγίζεται ο χρόνος θεωρητικά και στη συνέχεια αναλύεται το πρωτόκολλο Network Time Protocol στο οποίο βασίζεται ο συγχρονισμός των Η/Υ με τον παγκόσμιο χρόνο Coordinated Universal Time (UTC) μέσω των διακομιστών του διαδικτύου. Έπειτα, εξετάζεται αναλυτικά η συμβολή του χρόνου στη μέθοδο Remote Survey και προτείνεται μια μεθοδολογία για την καταγραφή της χρονικής υστέρησης μεταξύ της χρονικής στιγμής που δίνει την εντολή ο χρήστης σε απομακρυσμένη θέση για την εκτέλεση μιας μέτρησης και στη στιγμή που εκτελείται η μέτρηση αυτή στο σταθμό. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τις διαπιστώσεις από την ανάλυση που προηγήθηκε.

Στο *πέμπτο κεφάλαιο*, λαμβάνει χώρα η ανάλυση των πηγών σφαλμάτων της μεθόδου Remote Survey καθώς και η παρουσίαση της μεθοδολογίας προσδιορισμού της *"Εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey"*. Στο πρώτο τμήμα της ανάλυσης παρουσιάζεται η επίδραση των επιμέρους παραγόντων που συνθέτουν ένα σύστημα της μεθόδου στη διαμόρφωση της τελικής αβεβαιότητας κατά την εκτέλεση μετρήσεων διευθύνσεων με τηλεχειρισμό, ενώ στο δεύτερο τμήμα προσδιορίζεται η σχετική εξίσωση αβεβαιότητας ενός συστήματος που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής.

Κατόπιν, στο *έκτο κεφάλαιο* παρουσιάζονται περαιτέρω γεωδαιτικές εφαρμογές της μεθόδου Remote Survey. Αρχικά, περιγράφεται η πειραματική εφαρμογή της μεθόδου στον έλεγχο μετρήσεων οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-3, σε εσωτερικό πεδίο ελέγχου και για ένα σύστημα της μεθόδου που βασίζεται στη μεθοδολογία της σύνδεσης του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi. Το πείραμα αυτό ουσιαστικά επαναλαμβάνει το αντίστοιχο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην παρουσίαση της μεθόδου Remote Survey το έτος 2014 [Lambrou E., 2014] με τη διαφορά ότι δεν χρησιμοποιείται πλέον η μεθοδολογία της ενσύρματης σύνδεσης του σταθμού στο διαδίκτυο αλλά της ασύρματης σύνδεσης που προαναφέρθηκε. Έπειτα, παρουσιάζεται ο έλεγχος ενός γεωδαιτικού δικτύου με τη μέθοδο Remote Survey. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει και τον έλεγχο των μετακινήσεων των κορυφών του

δικτύου χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα προηγούμενης συνόρθωσης. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων που εκτελέστηκαν με τη μέθοδο Remote Survey για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αξιμούθιου τυχαίας διεύθυνσης και την παρουσίαση αποτελεσμάτων και διαπιστώσεων από την εφαρμογή της μεθόδου.

Η διατριβή ολοκληρώνεται στο *έβδομο κεφάλαιο* με την παρουσίαση των συμπερασμάτων, των πρωτοτυπιών και των προτάσεων που προέκυψαν από την ώσμωση των διαπιστώσεων των επιμέρους κεφαλαίων.

Το βασικό συμπέρασμα της διατριβής είναι ότι ο τηλεχειρισμός των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών είναι εφικτός, δεν αλλοιώνει την ονομαστική ακρίβεια των IATSs στη μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο γεωδαιτικών δικτύων και για αστρονομικές παρατηρήσεις, βασίζεται στην υπάρχουσα μέθοδο Remote Survey [Lambrou E., 2014] και υλοποιείται με τις δύο μεθοδολογίες που ακολουθούν:

1η Μεθοδολογία Remote Survey: Ενσύρματη σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο μέσω της server device και τηλεχειρισμός του από την user device. Πλεονέκτημα της μεθοδολογίας η σταθερότητα που επιτυγχάνεται στην επικοινωνία μεταξύ των επιμέρους συσκευών όπως επίσης και η μεγαλύτερη ταχύτητα στη διάδοση του εκπεμπόμενου σήματος, λόγω του μεγαλύτερου εύρους ζώνης (bandwidth) που παρέχει η ενσύρματη σύνδεση. Μειονέκτημα της μεθοδολογίας αποτελεί η δέσμευση για ενσύρματη σύνδεση η οποία και περιορίζει την ελευθερία των κινήσεων του σταθμού. Για παράδειγμα ελλοχεύει σοβαρός κίνδυνος να περιελιχθεί το καλώδιο γύρω από τον σταθμό και να προκληθεί μηχανική βλάβη ή δυσλειτουργία του σταθμού χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό από τον απομακρυσμένο χρήστη, φαινόμενο που παρατηρήθηκε στην εκτέλεση των μετρήσεων.

2η Μεθοδολογία Remote Survey: Ασύρματη σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi και τηλεχειρισμός του από την user device. Πλεονέκτημα της μεθοδολογίας η ελευθερία των κινήσεων του σταθμού. Δεν ελλοχεύει πλέον ο κίνδυνος να περιελιχθεί το καλώδιο γύρω από τον σταθμό και να προκληθεί μηχανική βλάβη ή δυσλειτουργία του σταθμού λόγω μηχανικών περιορισμών. Μειονέκτημα της μεθοδολογίας αποτελεί η μη σταθερότητα στη σύνδεση καθώς διαπιστώθηκαν περιπτώσεις που είτε διακόπηκε η σύνδεση του σταθμού στο διαδίκτυο λόγω παρεμβολής άλλων δικτύων Wi-Fi είτε δεν ήταν δυνατή η σύνδεση σε επιθυμητά Wi-Fi δίκτυα. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτήθηκε η μετάβαση από το

απομακρυσμένο σημείο στο χώρο που ήταν εγκατεστημένος ο σταθμός για την αποκατάσταση της σύνδεσής του στο διαδίκτυο.

Για την υλοποίηση των ανωτέρω μεθοδολογιών αναπτύχθηκαν συστήματα που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ως εξής:

1^ο Σύστημα της μεθόδου τηλεχειρισμού *Remote Survey*. Αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε προκειμένου να υποστηριχθεί η μεθοδολογία της ενσύρματης σύνδεσης του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο και αποτελείται από τα ακόλουθα αδιαίρετα επιμέρους στοιχεία:

- χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός
- οθόνη της server device
- οθόνη της user device
- παρατηρητής
- στόχος και
- συνθήκες

Πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η δυνατότητα ακριβούς καταγραφής της χρονικής στιγμής που δίνεται η εντολή για εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο καθώς και της χρονικής στιγμής που τελικά εκτελείται η μέτρηση στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, σύμφωνα με την ανάλυση που ακολουθεί στο κεφάλαιο 4 της διατριβής. Μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί η αναγκαιότητα για χρήση δύο βοηθητικών συσκευών (user device και server device) με αποτέλεσμα η ανάλυση της κάθε μίας από τις οθόνες των δύο συσκευών να επιδρά στην ποιότητα της εικόνας που τελικά φτάνει στον απομακρυσμένο χρήστη, όπως και η ενσύρματη σύνδεση που προαναφέρθηκε η οποία είναι δεδομένο ότι θα περιορίσει την ελευθερία των κινήσεων του σταθμού.

2^ο Σύστημα της μεθόδου τηλεχειρισμού *Remote Survey*. Αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε προκειμένου να υποστηριχθεί η μεθοδολογία της ασύρματης σύνδεσης του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο και αποτελείται από τα ακόλουθα αδιαίρετα επιμέρους στοιχεία:

- χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός
- οθόνη της user device
- παρατηρητής
- στόχος και
- συνθήκες

Πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ο περιορισμός των παραγόντων που επιδρούν στην ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας, καθώςσον παρακάμπτεται η χρήση της οθόνης της server device, όπως και η ασύρματη σύνδεση που προαναφέρθηκε η οποία δεν περιορίζει την

ελευθερία των μηχανικών κινήσεων του σταθμού. Μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί η μη δυνατότητα ακριβούς καταγραφής της χρονικής στιγμής που δίνεται η εντολή για εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο. Ωστόσο, υφίσταται η δυνατότητα καταγραφής της χρονικής στιγμής εκτέλεσης της μέτρησης στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, το ρολόι του οποίου μάλιστα μπορεί να συγχρονίζεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με τον παγκόσμιο χρόνο UTC, αφού προηγηθεί εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού στον σταθμό.

Πέραν των ανωτέρω, οι πρωτοτυπίες της παρούσας διδακτορικής διατριβής, αφορούν στη:

- ***Σύγκριση των μεθοδολογιών μετάδοσης του σήματος - πληροφορίας στους σύγχρονους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς.*** Υλοποίηση λεπτομερούς ανάλυσης των τεχνικών χαρακτηριστικών των σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών που διευκολύνουν την εκτέλεση μετρήσεων με τηλεχειρισμό. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάλυση των μεθόδων επικοινωνίας που ενσωματώνουν οι σταθμοί, ενσύρματων και ασύρματων, ενώ ακολούθησε και αξιολόγησή τους καταλήγοντας σε τεκμηριωμένες προτάσεις για το ποιες ενδείκνυται να χρησιμοποιηθούν στον τηλεχειρισμό και ποιες όχι.
- ***Διερεύνηση μεθοδολογιών συγχρονισμού των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών με τον παγκόσμιο χρόνο UTC.*** Η ανωτέρω διερεύνηση έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεθοδολογίας καταγραφής της χρονικής υστέρησης ανάμεσα στη χρονική στιγμή που δίνεται η εντολή για εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο καθώς και εκείνης που τελικά εκτελείται η μέτρηση στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.
- ***Εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey.*** Εκτελέστηκαν αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις προς τον Πολικό Αστέρα για τον υπολογισμού αστρονομικού αζιμούθιου τυχαίας διεύθυνσης με τη μέθοδο Remote Survey όπως επίσης και παρατηρήσεις μέσω του τηλεσκοπίου του οργάνου υπό τις ίδιες συνθήκες. Από τη σύγκριση των δύο υπολογισθέντων αζιμούθιων αποδείχθηκε η εφικτότητα της εφαρμογής της μεθόδου στην εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων όπως και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.
- ***Εκτέλεση παρακολούθησης μετακινήσεων από απόσταση.*** Εκτελέστηκε έλεγχος μετακινήσεων σε ένα υφιστάμενο γεωδαιτικό δίκτυο στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με τη μέθοδο Remote Survey, με αποδεκτά αποτελέσματα.

- **Εφαρμογή της διαδικασίας του πλήρους ελέγχου σύμφωνα με το ISO 17123-3, με χρήση σύνδεσης Wi-Fi.** Σε εσωτερικό πεδίο ελέγχεται κατά ISO 17123-3 ένα σύστημα της μεθόδου Remote Survey που συνδέθηκε στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi.
- **Ανάπτυξη της "Εξίσωσης αβεβαιότητας ενός συστήματος της μεθόδου Remote Survey".** Βασίστηκε στη θεωρία της γραμμικής παλινδρόμησης και εξήχθησαν συμπεράσματα που αφορούν στη συνολική αβεβαιότητα που προκαλεί η μέθοδος Remote Survey στη μέτρηση οριζόντιων γωνιών.
- **Ανάλυση των πηγών σφαλμάτων της μεθόδου Remote Survey.** Στην ανάλυση αυτή δεσπόζουσα θέση καταλαμβάνει η μελέτη της επίδρασης των οθονών των βοηθητικών συσκευών (user device και server device) στην ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας.

REMOTE SURVEY SYSTEMS AND METHODOLOGIES DEVELOPMENT FOR GEODETIC DATA CAPTURE

ABSTRACT

Nowadays, the development of science and technology has led to the production of the modern Image Assisted Scanning Total Stations (IASTS). These sophisticated geodetic instruments incorporate systems capable of transmitting the target's image and permitting their remote control by a remote observer.

In this PhD thesis systems and methodologies for remote geodetic data capture are developed, tested and suggested for further usage. In details, the results of the implementation of the above systems and methodologies are presented in a wide range of geodetic activities; on the one hand, in laboratory environment such as the tests for evaluating the precision achieved during the horizontal and vertical directions measurements of the IASTS, in accordance with the standard ISO 17123-3 and the determination of the "*Uncertainty Equation of a Remote Survey Method based System*". On the other hand, in realistic surveying conditions such as the deformation monitoring of an existing geodetic network and the astrogeodetic measurements for the determination of the astronomical azimuth of a random direction.

The suggested systems and methodologies are based on nil cost software and the only prerequisite is the existence of an IASTS. Also, their implementation will undoubtedly support both the scientific and surveying communities in their daily workload.

The thesis consists of seven chapters.

The *first chapter* presents the modern IASTS. Initially, a short historical introduction to the evolution of the geodetic instruments takes place which resulted in the presentation of the IASTS. Then, the chapter concludes with the analysis of the special characteristics of the IASTS which contribute to their remote control.

The *second chapter* presents the theory of the signal transmission and the communication methods with other devices, wired and wireless, incorporated in the IASTS. Furthermore, a comparison between the above communication methods is performed in order to conclude which of these methods are appropriate in the implementation of the Remote Survey method.

The *third chapter* introduces the new methodologies for the Remote Survey method. In the beginning, the theoretical background of this

method is analyzed and then the basic idea and the initial experiments of this method are described. Finally, the results of the performed experiments and the advantages and disadvantages of the new methodologies are mentioned.

The *fourth chapter* presents time as a factor of the Remote Survey methodologies. Initially, the theoretical analysis of time takes place and then follows an analysis on the *Network Time Protocol*, which is used for the synchronization between any computer and the global time servers via the internet. Also, in this chapter a methodology is introduced, used for the recording of UTC time at the remote place and when the user performs the measurement and the respective UTC time when the measurement is executed in the IASTS. The last part of this chapter includes the conclusions of the above.

The *fifth chapter* presents the theoretical analysis of the uncertainty factors of the Remote Survey method, the methodology for the determination of the "*Uncertainty Equation of a Remote Survey Method based System*" and the conclusions of these subjects.

In the *sixth chapter* additional geodetic techniques based on Remote Survey method, are presented. Initially, the experiments for the evaluation of the precision achieved during the horizontal and vertical directions measurements of the IASTS, in accordance with the standard ISO 17123-3, are shown. The IASTS in these experiments is connected to the internet via a Wi-Fi connection. The same chapter describes the deformation monitoring work of an existing geodetic network with the realization of the wireless Remote Survey methodology and then the results of this work. Finally, the sixth chapter describes the theoretical background of the astrogeodetic measurements for the determination of the astronomical azimuth of a random direction, the observations which took place with the realization of the wireless Remote Survey methodology for this purpose and the results of this work.

The *seventh and final chapter* aggregates the above conclusions and presents the main conclusion and proposals of this Phd thesis.

The main conclusion of the thesis is that the remote control of the IASTS is based on the existing Remote Survey method [Lambrou E., 2014] and is implemented with the two following methodologies:

1st Remote Survey Methodology: Wired connection of the IASTS to the internet via the server device and remote control of the IASTS via the user device. The main advantage of this methodology is the achieved communication stability and high speed in signal transmission because of the high bandwidth in the data transfer. The main disadvantage of this methodology is the constraints in the physical movements of the IASTS because of the connecting cable usage which probably creates

malfunction during the operation of the instrument. On this point it is important to highlight the weakness of the user to predict this malfunction and prevent it.

2nd Remote Survey Methodology: Wireless connection of the IASTS to the internet and remote control of the IASTS via the user device. The main advantage of this methodology is the freedom in the physical movements of the IASTS. There is no danger anymore because of the connecting cable usage and the relevant malfunction during the operation of the instrument. The main disadvantage of this methodology is the instability caused by the interventions of other wireless networks and the weakness of the IASTS to connect to preferred networks. Both of the aforementioned reasons result in the necessity for the operator to solve the problem in situ in order to reconnect the IASTS to the wireless network.

For the implementation of the above methodologies two Remote Survey Systems were developed and are presented in this thesis.

1st Remote Survey System. This system is developed in order to support the wired Remote Survey Methodology and consists of the following integral components:

- The IASTS
- The screen of the server device
- The screen of the user device
- The observer
- The target and
- The environmental conditions.

The main advantage of this system is the capability of recording the UTC time at the remote place when the user performs the measurement and the respective UTC time when the measurement is executed in the IASTS, in accordance with the analysis in the fourth chapter of this thesis. The main disadvantage of this system is the necessity to use two subsidiary devices (user device και server device) and this necessity has probably a negative effect on the transmitted image from the IASTS to the remote operator, as it is presented in the fifth chapter of this thesis. In addition to this come the aforementioned constraints in the physical movements of the IASTS because of the connecting cable usage is a serious disadvantage of the system.

2nd Remote Survey System. This system is developed in order to support the wireless Remote Survey Methodology and consists of the following integral components:

- The IASTS
- The screen of the user device

- The observer
- The target and
- The environmental conditions

The main advantage of this system is the reduction of the factors related to transmission of the image from the IASTS to the remote operator, as it is presented in the fifth chapter of this thesis, because the usage of the server device isn't needed anymore. Also, the aforementioned freedom in the movements of the IASTS is a significant advantage of this system. The main disadvantage of this system is the weakness in recording the UTC time when the observer performs the measurement at the remote place. Nevertheless, the operator still has the capability to record the UTC time when the measurement is executed in the IASTS, if he/she installs in the IASTS the relevant nil cost software, as described in the fourth chapter of this thesis.

The main originalities of this thesis are:

- ***Comparison of the signal-data transmission methodologies used in the IASTSs.*** A detailed analysis of the technical characteristics of the modern IASTSs takes place which facilitate the remote survey measurements. Particular emphasis was placed on the analysis of the communication methods incorporated by the stations, both wired and wireless, followed by their evaluation, resulting in substantiated proposals on which ones should be used in remote control and which should not.
- ***Investigation of methodologies for synchronizing the IASTSs with global time or International Coordinated Universal Time (UTC).*** The above investigations were carried out and resulted in the development of a methodology for recording the time lag between the time when the measurement was ordered to be carried out from the remote point and the time when the measurement was eventually carried out at the IASTS.
- ***Perform astrogeodetic observations using the Remote Survey method.*** Astrogeodetic observations were performed to the Polar Star for the calculation of a random direction astronomical Azimuth, using the Remote Survey method as well as through the telescope of the instrument under the same conditions to the same direction and the same star. A comparison of the two calculated Azimuths demonstrated the feasibility of applying the method to the execution of astrogeodetic observations as well as its advantages and disadvantages.

- ***Perform remote deformation control on a geodetic network.*** A remote deformation control was carried out on an existing geodetic network in Zografos Polytechnic Campus using the Remote Survey method, with acceptable results.
- ***Apply the full control procedure according to ISO 17123-3, using a Wi-Fi connection.*** A Remote Survey method system connected to the internet via Wi-Fi was tested by ISO 17123-3, in a laboratory.
- ***Development of the "Uncertainty Equation of a Remote Survey System" method.*** It was based on the theory of linear regression and conclusions were drawn concerning the uncertainty brought about by the the system on the horizontal directions measurements.
- ***Analysis of the error sources in the Remote Survey method.*** In this analysis, the main focus is on the influence of the displays of the auxiliary devices (user device and server device) on the quality of the transmitted image.

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1: Χρονολόγιο εξέλιξης επίγειων γεωδαιτικών οργάνων [Μπαλοδήμος Δ. Δ., κ. α., 2005], [Tuno N., et al, 2019].....	7
Σχήμα 2.1: Η διαδικασία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό [Smith W. S., 1999].....	16
Σχήμα 2.2: Μέθοδοι κωδικοποίησης σήματος [Stallings W., 2007].....	18
Σχήμα 2.3: Καθυστέρηση διάδοσης σήματος [Παπαπέτρου Ε., 10/10/2019].....	19
Σχήμα 2.4: Καθυστέρηση μετάδοσης σήματος [Παπαπέτρου Ε., 10/10/2019].....	19
Σχήμα 2.5: Γράφημα λανθάνοντος χρόνου (Perceived latency) και χρόνου μετάβασης και επιστροφής (round trip time, RTT) [Peterson L., Davie B., 2019].....	20
Σχήμα 2.6: Το γινόμενο καθυστέρησης-εύρους ζώνης (bandwidth-delay product) με τη μορφή ενός σωλήνα μετάδοσης δεδομένων [Peterson L., Davie B., 2019].....	21
Σχήμα 2.7: Το φάσμα συχνοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων) [Peterson L., Davie B., 2019].....	24
Σχήμα 2.8: Διάγραμμα σύνδεσης H/Y στο δίκτυο [Παπαπέτρου Ε., 09/10/2019].....	25
Σχήμα 2.9: Η λειτουργία "frequency hopping" της τεχνολογίας BWT [Hewlett-Packard Co., 2004].....	34
Σχήμα 2.10: Συγκριτική θεώρηση των γενικών χαρακτηριστικών των μεθόδων μετάδοσης σήματος [Walrand J., Parekh S., 2010].....	41
Σχήμα 3.1: Σκαρίφημα διάταξης οργάνων για την υλοποίηση της τριγωνομετρικής υψομετρίας ακριβείας εκατέρωθεν ποταμού. [Yang D. L., Zou J. G., 2021].....	49
Σχήμα 5.1: Η μεταβολή του σφάλματος σκόπευσης ενός IATS, με 30x μεγέθυνση [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012].....	79
Σχήμα 5.2: Η απόκλιση λόγω εσφαλμένης οριζοντίωσης από την κατακόρυφο και το οριζόντιο επίπεδο [Topcon Co., 2009].....	79
Σχήμα 5.3: Η επίδραση της μη ορθής κέντρωσης στη μέτρηση οριζοντίων γωνιών [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].....	80
Σχήμα 5.4: Η οθόνη του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού Topcon IS.....	83
Σχήμα 5.5: Η οθόνη της user device.....	84
Σχήμα 5.6: Γεωδαιτική διάθλαση [Μολύβας Χ., 2007].....	89
Σχήμα 5.7: Αριστερά ο στόχος του πεδίου ελέγχου και δεξιά η μεγέθυνση του κέντρου του [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012].....	92
Σχήμα 5.8: Η προσαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey.....	94

Σχήμα 5.9: Τα υπόλοιπα συνόρθωσης της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey.....	95
Σχήμα 6.1: Το γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου [Lambrou E., Pantazis G., 2004].....	107
Σχήμα 6.2: Απεικόνιση διανυσμάτων και ελλείψεων σφάλματος απόλυτης οριζοντιογραφικής μετακίνησης	111
Σχήμα 6.3: Απεικόνιση διανυσμάτων απόλυτης κατακόρυφης μετακίνησης.....	112
Σχήμα 6.4: Απεικόνιση διανυσμάτων και ελλείψεων σφάλματος σχετικής οριζοντιογραφικής μετακίνησης.....	112
Σχήμα 6.5: Απεικόνιση διανυσμάτων σχετικής κατακόρυφης μετακίνησης.....	112
Σχήμα 6.6: Το αστρονομικό αζιμούθιο [Λάμπρου E., 2003]	114
Σχήμα 6.7: Τρίγωνο θέσης ενός αστέρα S [Τσονάκας N., 2007].....	115
Σχήμα 6.8: Σκαρίφημα Πολικού Αστέρα [Κορακίτης P., 2008].....	117

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών [Lachat E., et al, 2017B]	9
Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά δικτύων Ethernet [Αρβανίτης, Κ., κ.α., 2001]	28
Πίνακας 2.2: Ταξινόμηση των συσκευών που μπορεί να υποστηρίξει μια σύνδεση USB 2.0 [Compaq Co., et al, 2000].....	32
Πίνακας 2.3: Βασικά χαρακτηριστικά των κλάσεων των συσκευών Bluetooth [PC Magazine, 2020].....	36
Πίνακας 2.4: Βασικά χαρακτηριστικά των εκδόσεων των συσκευών Bluetooth [Chadha S. S., et al, 2013].....	36
Πίνακας 2.5: Βασικά χαρακτηριστικά προτύπων IEEE 802.11 που χρησιμοποιούνται στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς [Digi Int. Inc., 2008].....	38
Πίνακας 2.6: Συγκριτική θεώρηση των επιμέρους χαρακτηριστικών των μεθόδων μετάδοσης σήματος [Freeman L. R., 2005].....	41
Πίνακας 5.1: Επίδραση της μη ορθής κέντρωσης του σταθμού στο σφάλμα μέτρησης της οριζόντιας γωνίας [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].....	81
Πίνακας 5.2: Καταλληλότητα για χρησιμοποίηση στη Μέθοδο Remote Survey των προτεινόμενων από την εταιρία Microsoft συνδυασμών οθονών/αναλύσεων.....	86
Πίνακας 5.3: Συνδυασμοί αναλύσεων/οθονών που δεν υποβαθμίζουν την ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας στη Μέθοδο Remote Survey.....	86
Πίνακας 5.4: Το φαινόμενο πάχος των γραμμών στόχων.	88
Πίνακας 6.1: Στοιχεία ελλείψεων σφάλματος απόλυτης μετακίνησης..	111
Πίνακας 6.2: Στοιχεία ελλείψεων σφάλματος σχετικής μετακίνησης...	111

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1:Η αποτύπωση με τον σταθμό Trimble SX10 της εκκλησίας "Saint-Pierre-le-Jeune" [Lachat E.,et al, 2017A]	12
Εικόνα 2.1:Το συνεστραμμένο ζεύγος [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011]	23
Εικόνα 2.2:Το ομοαξονικό καλώδιο [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011]	23
Εικόνα 2.3:Η οπτική ίνα [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011]	24
Εικόνα 2.4:Καλώδιο τύπου RS-23	229
Εικόνα 2.5:Τύποι Βυσμάτων USB	33
Εικόνα 3.1:Σύστημα καταγραφής της ανασκαφής ενός γεωλογικού ρήγματος στο ηφαίστειο Eniwa στο Hokkaido Ιαπωνίας	44
Εικόνα 3.2:Structural Health Monitoring [Wagner A., et al, 2016]	47
Εικόνα 3.3:Geo-monitoring – Stereo configuration [Wagner A., et al, 2016]	47
Εικόνα 3.4:Οι στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν στους ελέγχους της μεθόδου Remote Survey [Lambrou E., 2014]	53
Εικόνα 3.5:Σύνδεση χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού σε δίκτυο Wi-Fi [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]	58
Εικόνα 3.6:Το λογισμικό συγχρονισμού SP TimeSync 2.3 [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]	58
Εικόνα 3.7:Το παράθυρο του λογισμικού MyMobiler στη user device [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]	59
Εικόνα 3.8:Η εικόνα του σταθμού στη user device, μέσω σύνδεσης Wi-Fi [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]	59
Εικόνα 4.1:Το print screen της user device [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019]	71
Εικόνα 4.2:Το print screen της server device [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019]	71
Εικόνα 6.1:Το βάθρο στην ταράτσα της Σχολής Χημικών Μηχανικών	108
Εικόνα 6.2:Βάθρο του δικτύου της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου [Lambrou E., Pantazis G., 2004]	108
Εικόνα 6.3:Βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης [Lambrou E., Pantazis G., 2004]	109
Εικόνα 6.4:Ο Πολικός Αστéρας όπως διακρίνεται στην οθόνη της user device	119
Εικόνα 6.5:Σκόπευση του Πολικού Αστéρα με τηλεχειρισμό.	120

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

H/Y	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
EIM	Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας
EMΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
MET	Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων
ΦΓΕ	Φυσική Γήινη Επιφάνεια
ACK	ACKnowledgement
BER	Bit Error Rate
BWT	Bluetooth wireless technology
CCD	Charge-coupled device
CR	Carriage Return
DCE	Data Circuit-terminating equipment
DTE	Data terminal equipment
EDM	Electro-optical distance measurement system
GMT	Greenwich Mean Time
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IASTS	Image Assisted Scanning Total Stations
IATS	Image Assisted Total Stations
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Science Medical band
ISO	International Organization for Standardization
LF	Line Feed
LRR	Long Range Radio
MEMS	Microelectromechanical systems
NTP	Network Time Protocol
PER	Packet Error Rate
ppm	parts per million
R	Throughput
RS-232	Recommended Standard 232
RTT	Round Trip Time
SI	International System of Units
TS	Total Stations
USB	Universal Serial Bus
UTC	Coordinated Universal Time
Wi-Fi	Wireless-Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

(Σύμφωνα με τη σειρά εμφάνισής τους στο κείμενο)

V	Το πλήθος των διακριτών τιμών που λαμβάνει το ψηφιακό σήμα (σύμβολα)
T_s ,	Η διάρκεια των συμβόλων
W	Το εύρος ζώνης συχνοτήτων ενός καναλιού
S/N ή SNR	Η σηματοθορυβική σχέση ενός καναλιού
t_{pr}	Propagation delay ή καθυστέρηση διάδοσης
t_{tr}	Transmission delay ή καθυστέρηση μετάδοσης
S	Το μήκος συνδέσμου
u_s	Η ταχύτητα διάδοσης του σήματος, συνήθως η ταχύτητα του φωτός
l	Το μέγεθος δεδομένων σε bits
C	Το εύρος ζώνης του καναλιού
F	Ο βαθμός ελευθερίας στη διαδικασία ISO 17123-3
σ_o	Η ονομαστική ακρίβεια του σταθμού στη διαδικασία ISO 17123-3
θ	<i>Time offset</i> (στο πρωτόκολλο NTP)
δ	<i>Trip delay</i> (στο πρωτόκολλο NTP)
t_{icl}	Χρονική στιγμή i σύμφωνα με το ρολόι του client computer
t_{iserv}	Χρονική στιγμή i σύμφωνα με το ρολόι του time server
σ_p	Το σφάλμα σκόπευσης (pointing error)
M	Η μεγέθυνση των αντικειμενικών φακών του οργάνου
σ_d	Το σφάλμα σκόπευσης της μιας διεύθυνσης
σ_p	Το σφάλμα σκόπευσης (pointing error)
n	Οι σειρές μετρήσεων από το ίδιο σύστημα
z	Η ζενίθια γωνία σκόπευσης
σ_I	Το σφάλμα λόγω της ευαισθησίας της αεροστάθμης
σ^{cc}	Το σφάλμα στην οριζόντια γωνία
σ_κ	Το σφάλμα λόγω της μη ορθής κέντρωσης
ρ^{cc}	Η ποσότητα 636620 ^{cc}
K	Ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης
R	Η ακτίνα καμπυλότητας της Γης
ρ	Η ακτίνα καμπυλότητας μιας οπτικής ακτίνας
y	Οι μετρήσεις ενός συστήματος, σε ένα πεδίο ελέγχου, σε εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης
x	Οι πρότυπες μετρήσεις ή μετρήσεις αναφοράς, στο ανωτέρω πεδίο ελέγχου, σε εφαρμογή της γραμμικής

	παλινδρόμησης
α	Η κλίμακα του συστήματος, που μαθηματικά εκφράζει την κλίση της ευθείας προσαρμογής καθώς επίσης και την κατανομή του σφάλματος σε όλο το εύρος των μετρήσεων, σε εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης
β	Το σημείο τομής της ευθείας προσαρμογής με τον άξονα y , που εκφράζει το συστηματικό σφάλμα ενός συστήματος, σε εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης
r	Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης σε εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης
\sqrt{P}	Η τετραγωνική ρίζα του πίνακα βαρών P των παρατηρήσεων, διαστάσεων $n \times n$, σε εφαρμογή της MET
A	Ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων, οι οποίοι βασίζονται στις προσωρινές τιμές των αγνώστων παραμέτρων, διαστάσεων $n \times m$, σε εφαρμογή της MET
\hat{x}	Ο a posteriori πίνακας των αγνώστων παραμέτρων, διαστάσεων $m \times 1$, σε εφαρμογή της MET
l	Ο πίνακας των μετρούμενων μεγεθών, τα οποία βασίζονται επίσης στις προσωρινές τιμές των αγνώστων, διαστάσεων $n \times 1$, σε εφαρμογή της MET
v	Ο πίνακας των υπολοίπων των παρατηρήσεων, διαστάσεων $n \times 1$, σε εφαρμογή της MET
σ_0	Το a priori σφάλμα της μονάδας βάρους, σε εφαρμογή της MET
$\hat{\sigma}_0$	Το a posteriori σφάλμα της μονάδας βάρους, σε εφαρμογή της MET
$V_{\hat{x}}$	Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας, σε εφαρμογή της MET
H_0	Η μηδενική υπόθεση
$\bar{\sigma}_{x_i}$	Το μέσο σφάλμα θέσης
$\bar{\sigma}_{S_{ij}}$	Το μέσο σφάλμα αποστάσεων
$\bar{\sigma}_{a_{ij}}$	Το μέσο σφάλμα γωνιών διεύθυνσης
$\bar{\sigma}_{r_{ij}}$	Το μέσο σφάλμα σχετικών θέσεων
p	Το επίπεδο εμπιστοσύνης, συνήθως 95% ή 99%
r	Ο βαθμός ελευθερίας του δικτύου
$\Delta R_{t_2-t_1}$	Το διάνυσμα μεταβολής μιας κορυφής του δικτύου ανάμεσα σε δύο χρονικές στιγμές t_1 και t_2

A_{AB}	Το αστρονομικό αζιμούθιο μίας διεύθυνσης AB
A_S	Το αζιμούθιο ενός ουρανίου σώματος S
x	Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του κατακορύφου κύκλου του B και του κατακορύφου κύκλου ενός ουρανίου σώματος S
h	Η ωριαία γωνία (hour angle) του αστέρα S
θ	Ο αστρικός χρόνος Greenwich
λ	Το αστρονομικό μήκος (astronomical longitude) ενός τόπου
α	Η ορθή αναφορά του αστέρα S
γ	Το Εαρινό Ισημερινό σημείο του Κριού
P	Ο Βόρειος Πόλος
Z	Το ζενίθ του τόπου
S	Ο αστέρας που παρατηρείται
δ	Η απόκλιση (declination) του αστέρα S
Φ	Το αστρονομικό πλάτος (astronomical latitude) ενός τόπου
UMa	Ο αστερισμός της Μεγάλης Άρκτου
Cas	Ο αστερισμός της Κασσιόπης

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωδαισία είναι: *"η Γεωεπιστήμη που ασχολείται με μετρήσεις και υπολογισμούς, με σκοπό να προσδιορίσει το σχήμα (μορφή), το μέγεθος (διαστάσεις) και το πεδίο βαρύτητας της Γης καθώς και τις μεταβολές τους με τον χρόνο. Ασχολείται επίσης με την αποτύπωση και απόδοση, σε χάρτες ή τοπογραφικά διαγράμματα, τμημάτων της φυσικής γήινης επιφάνειας"* [Μπιλλήρης Χ., κ.α., 2007].

Η καταγραφή και η παρακολούθηση των μεταβολών της φυσικής γήινης επιφάνειας (ΦΓΕ) και των τεχνικών έργων που εδράζονται σε αυτήν αποτελεί την πεμπτούσια της επιστήμης της Γεωδαισίας. Για την εκτέλεση αυτού του έργου οι επιστήμονες του χώρου χρησιμοποιούν κατάλληλο εξοπλισμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αναγκαίες παρατηρήσεις. Στη συνέχεια, οι παρατηρήσεις αυτές επαναλαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα και από τη σύγκριση των διαχρονικών πλέον παρατηρήσεων, προκύπτουν ασφαλή συμπεράσματα για την ύπαρξη ή μη μεταβολών. Ειδικότερα, οι εργασίες που εντάσσονται στο εν λόγω πλαίσιο είναι η παρακολούθηση μετακινήσεων και παραμορφώσεων σε κατασκευές, σε φράγματα ποταμών, σε σήραγγες συγκοινωνιακών αξόνων, σε γεωλογικά ρήγματα, σε αποτυπώσεις λατομείων, η καταγραφή ταλαντώσεων γεφυρών και γενικά οι εργασίες που απαιτούν συνεχείς και διαχρονικές μετρήσεις.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς για την εκτέλεση των εργασιών αυτών εξελίσσεται διαρκώς, ενσωματώνοντας τις καινοτομίες της τεχνολογίας και της επιστήμης, όπως για παράδειγμα τη δυνατότητα διασύνδεσης των τοπογραφικών οργάνων στο διαδίκτυο, καινοτομίες οι οποίες φάνταζαν αδύνατες μερικά χρόνια πριν. Ως εκ τούτου, σήμερα αποτελεί πρόκληση η διερεύνηση των δυνατοτήτων τηλεχειρισμού των συγκεκριμένων οργάνων και μάλιστα μέσω του διαδικτύου.

Η διερεύνηση των δυνατοτήτων των σύγχρονων γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης, απασχολεί τη διεθνή ακαδημαϊκή κοινότητα. Ωστόσο, διεθνώς η μόνη ίσως ολοκληρωμένη προσπάθεια τηλεχειρισμού των σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών (Image Assisted Scanning Total Stations – IASTS), οι οποίοι ωστόσο είναι ευρέως γνωστοί στη διεθνή βιβλιογραφία ως εικονογεωδαιτικοί σταθμοί (Image Assisted Total Stations - IATS), μέσω διαδικτύου και με μετρήσιμα αποτελέσματα είναι η εργασία της Δρ. Ε. Λάμπρου που υλοποιήθηκε στα εργαστήρια του ΕΜΠ [Lambrou E., 2014]. Εκεί επιτεύχθηκε η εκτέλεση παρατηρήσεων με τηλεχειρισμό ενός IATS μέσω διαδικτύου, ενώ παράλληλα εκτιμήθηκε και η ποιότητα των παρατηρήσεων αυτών, χρησιμοποιώντας κατάλληλες στατιστικές μεθόδους. Η όλη διαδικασία

απέφερε αξιόλογα αποτελέσματα και αποτελεί σημείο αναφοράς για κάθε μελλοντική εργασία στην συγκεκριμένη επιστημονική περιοχή.

Σε αυτό το πλαίσιο βασίστηκε και η παρούσα έρευνα η οποία έχει ως αντικείμενό της σκοπό την ανάπτυξη συστημάτων και μεθοδολογιών συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων με τηλεχειρισμό, έτσι ώστε να διευκολυνθεί στην πράξη ο σύγχρονος μηχανικός στο έργο που επιτελεί και να βελτιώσει τις συνθήκες εργασίας του. Η επιτυχής της έκβαση ενδιαφέρει τη γεωδαιτική κοινότητα, οπότε αποτελεί και αντικείμενο ερευνητικού ενδιαφέροντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

1.1 Γενικά

Η εξέλιξη της τεχνολογίας δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την εκτέλεση αξιόπιστων γεωδαιτικών παρατηρήσεων με τηλεχειρισμό. Η διαπίστωση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι τα σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα διαθέτουν πρωτοποριακά χαρακτηριστικά τα οποία δεν υπήρχαν στο παρελθόν, όπως:

- Ενσωματωμένες ψηφιακές κάμερες, οι οποίες μεταδίδουν την εικόνα του στόχου, που ο παρατηρητής παραδοσιακά έβλεπε μόνο μέσα από το τηλεσκόπιο.
- Ηλεκτρονικά συστήματα με σύγχρονες διατάξεις μετάδοσης του σήματος, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα διασύνδεσης των οργάνων με απομακρυσμένου Η/Υ.
- Λειτουργικό σύστημα, το οποίο επιτρέπει την εγκατάσταση εφαρμογών για τον τηλεχειρισμό του.

Τα επιστημονικά όργανα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την εκτέλεση των συνηθισμένων τοπογραφικών εργασιών είναι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Stations - TS).

Έχοντας ως βάση τους σταθμούς αυτούς, οι κατασκευαστικοί οίκοι επινόησαν τους σύγχρονους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς, διεθνώς γνωστούς ως Image Assisted Total Stations (IATS) [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010] ή κατά άλλους Image Assisted Scanning Total Stations (IASTS) [Scherer M., Lerma, J.L., 2009], οι οποίοι και ενσωματώνουν τις καινοτομίες που προαναφέρθηκαν.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία των σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μία σύντομη ιστορική αναδρομή και καταγραφή της εξέλιξης των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων, από τα απλά οπτικομηχανικά θεοδόλια του παρελθόντος στα σημερινά ηλεκτρονικά - τηλεχειριζόμενα. Έπειτα, η αναδρομή θα συμπληρωθεί με μια συγκριτική θεώρηση των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών προκειμένου να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους επιδρούν στη μεθοδολογία τηλεχειρισμού τους.

1.2 Ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της ΦΓΕ είχε ως αφετηρία του τη δίοπτρα της αρχαιότητας και κατάληξη τους σύγχρονους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς. Οι αρχαίοι Ασύριοι, οι Βαβυλώνιοι και οι Αιγύπτιοι ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν εργαλεία και μεθόδους προκειμένου να διανείμουν τις εύφορες γαίες στις οποίες κατοικούσαν και για το λόγο αυτό θεωρούνται και οι πρώτοι Γεωδαίτες στην ιστορία. Στη συνέχεια σημαντική συμβολή στην εξέλιξη των οργάνων και μεθόδων της Γεωδαισίας κατέγραψαν οι αρχαίοι Έλληνες, όπως ο Θαλής ο Μιλήσιος, ο Ευπαλίνος ο Μεγαρεύς, ο οποίος χάραξε το Ευπαλίνειο όρυγμα για να υδραγωγηθεί η Σάμος, ο Πυθαγόρας ο Σάμιος, ο Αριστοτέλης ο Σταγειρίτης, ο Αρχιμήδης ο Συρακούσιος, ο Ερατοσθένης ο Κυρηναίος, ο οποίος ήταν και ο πρώτος που ασχολήθηκε επιτυχώς με τον προσδιορισμό των διαστάσεων της Γης, ο Ήρωνας ο Αλεξανδρέας, ο οποίος κατασκεύασε το πρώτο γεωδαιτικό όργανο, τη δίοπτρα και ο Ποσειδώνιος ο Απαμέας, ο οποίος ασχολήθηκε με τη μέτρηση των διαστάσεων της Γης και κατασκεύασε την πρώτη υδρόγειο σφαίρα [Γεωργακόπουλος Κ., 1995].

Έπειτα, αφού ξεπεράσθηκε ο καταστροφικός σκοταδισμός του Μεσαίωνα, ήρθε η περίοδος της Αναγέννησης στην Ευρώπη κατά την οποία άνθισαν οι τέχνες, τα γράμματα και οι επιστήμες, μεταξύ αυτών και η Γεωδαισία. Τότε ήταν λοιπόν που ο Πολωνός Νικόλαος Κοπέρνικος διατύπωσε το ηλιοκεντρικό μοντέλο του σύμπαντος, τοποθετώντας τον Ήλιο και όχι τη Γη στο κέντρο του και ο Γερμανός Γιοχάνες Κέπλερ, που όρισε τους νόμους της κίνησης των πλανητών γύρω από τον Ήλιο.

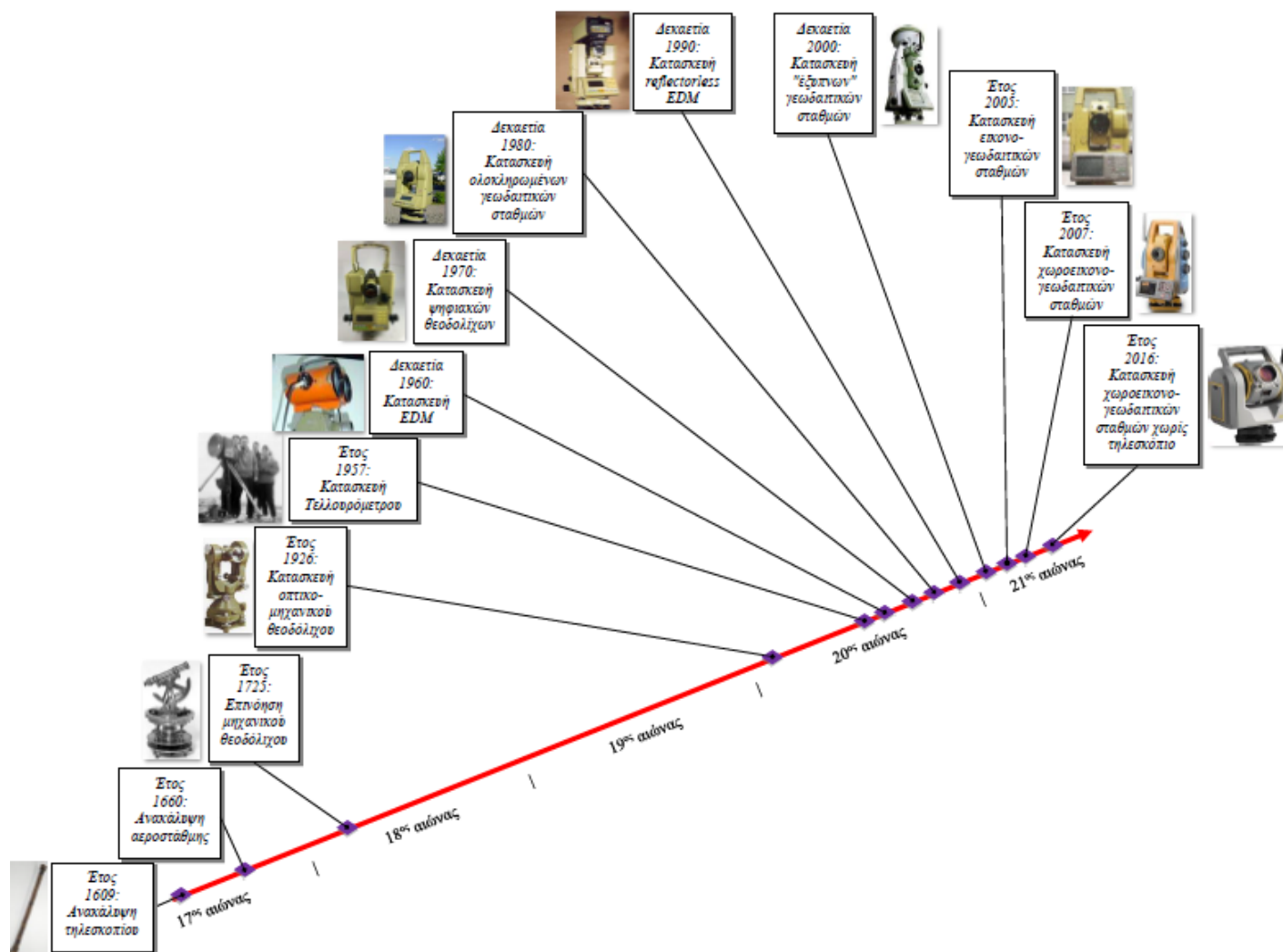
Επιγραμματικά, οι σταθμοί στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων έχουν ως εξής:

- *Έτος 1609*: Ανακάλυψη του τηλεσκοπίου από τον Γαλιλαίο Γαλιλέι. Σημαντική και αποφασιστική ώθηση για την επιβεβαίωση των θεωριών έδωσε η εφεύρεση, ο σχεδιασμός και η κατασκευή νέων επιστημονικών οργάνων. Ο Ιταλός επιστήμονας χρησιμοποίησε για πρώτη φορά στην Αστρονομία, το τηλεσκόπιο που σχεδίασε και κατασκεύασε. Η εφεύρεση αυτή υπήρξε καταλυτική για τις επιστήμες και ειδικότερα για την Αστρονομία και τη Γεωδαισία.
- *Έτος 1660*: Ανακάλυψη της αεροστάθμης από τον Γάλλο Μ. Τεβενό.
- *Έτος 1725*: Επινόηση του μηχανικού θεοδόλιχου από τον Άγγλο Jonathan Sisson.

- *Έτος 1926:* Κατασκευή του πρώτου οπτικομηχανικού θεοδόλιχου Wild T2 από τον Ελβετό γεωδαίτη Heinrich Wild.
- *Έτος 1957:* Κατασκευή του Τελλουρόμετρου, που ήταν ουσιαστικά ένα μικροκυματικό τηλέμετρο για τη μέτρηση μεγάλων αποστάσεων [Μπαλοδήμος Δ. Δ., κ.α., 2005].
- *Δεκαετία 1960:* Κατασκευή των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μικρού βεληνικού (EDM). Τα όργανα αυτά είχαν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται σε θεοδόλιχα, με αποτέλεσμα την μέτρηση μηκών και γωνιών σχεδόν ταυτόχρονα [Γιαννακόπουλος Λ., 2007].
- *Δεκαετία 1970:* Κατασκευή των ηλεκτρονικών (ψηφιακών) θεοδολίων. Σε αυτά διατηρήθηκε η αρχή λειτουργίας των οπτικομηχανικών, αλλά ο οπτικός τρόπος ανάγνωσης αντικαταστάθηκε από ψηφιακό και έτσι η ανάγνωση δεν διαβάζεται πλέον από τον παρατηρητή, αλλά εμφανίζεται σε ειδική οθόνη [Μολύβας Χ., 2007].
- *Δεκαετία 1970:* Κατασκευή των γεωδαιτικών οργάνων που λειτουργούσαν ως θεοδόλιχα αλλά και ως EDM.
- *Δεκαετία 1980:* Κατασκευή των πρώτων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (total stations). Οι σταθμοί αυτοί αποτελούνται από ένα ηλεκτρονικό θεοδόλιχο, ένα ηλεκτρονικό αποστασιόμετρο EDM και ένα μικροϋπολογιστή. Με τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς είναι δυνατή η ανάγνωση και καταγραφή οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών με την ταυτόχρονη καταγραφή μηκών, ενώ οι μικροεπεξεργαστές που διαθέτουν επιτρέπουν την εκτέλεση μεγάλου εύρους μαθηματικών πράξεων [Kavanagh, B. F. et al, 2000].
- *Δεκαετία 1990:* Κατασκευή EDM με δυνατότητα μέτρησης μήκους με ή χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless).
- *Δεκαετία 1990:* Κατασκευή ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών που επιτυγχάνουν υψηλή ακρίβεια στη μέτρηση αποστάσεων, της τάξης των $\pm 1\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ έως και 10km με χρήση ειδικών ανακλαστήρων και στη μέτρηση γωνιών, της τάξης των $\pm 1''$.
- *Δεκαετία 1990:* Δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων σε ενσωματωμένη καταγραφική μονάδα των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Επίσης, ψηφιακή διαδικασία αποκατάστασης της ορθής λειτουργίας τους (κέντρωση, οριζοντίωση). Επιπλέον, ενσωμάτωση στους σταθμούς αυτόματου συστήματος αναγνώρισης και διόρθωσης των τιμών των μετρούμενων γωνιών.

- *Δεκαετία 2000*: Εμφάνιση των "έξυπνων" γεωδαιτικών σταθμών (Smart Stations). Αυτοί έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν στο σώμα τους επιβατηγά μια κεραία - δέκτη του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού. Μπορούν επίσης να λαμβάνουν ταυτόχρονα δορυφορικά δεδομένα και επίγειες μετρήσεις και να τα συνδυάζουν ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].
- *Έτος 2005*: Κατασκευή των εικονογεωδαιτικών σταθμών - Image Assisted Total Stations (IATS). Οι σταθμοί αυτοί διαθέτουν μία κάμερα υψηλής ανάλυσης CCD, ενσωματωμένη στο κέντρο του τηλεσκοπίου τους και μια δεύτερη κάμερα τοποθετημένη εξωτερικά του τηλεσκοπίου και παράλληλα με αυτό. Η εικόνα που βλέπει το τηλεσκόπιο του γεωδαιτικού σταθμού μεταφέρεται μέσω της ενσωματωμένης κάμερας στην οθόνη του, όπου εμφανίζεται με την προσθήκη ψηφιακού σταυρονήματος το οποίο είναι συμβατό με αυτό του τηλεσκοπίου. Έτσι, είναι δυνατή η σκόπευση ενός σημείου μέσω της οθόνης, με ταυτόχρονη λήψη εικόνας για το σημείο αυτό και αποθήκευση της εικόνας μαζί με τα στοιχεία της μέτρησης στη μνήμη του Η/Υ του σταθμού. Επίσης, έχουν εγκατεστημένο το φιλικό προς το χρήστη λειτουργικό Windows CE στον εσωτερικό Η/Υ. Η ύπαρξη αυτού του λειτουργικού καθιστά πιο εύκολο τον χειρισμό του σταθμού μέσω της οθόνης αφής που διαθέτει, επιτρέπει την εγκατάσταση συμβατών εφαρμογών στον Η/Υ του σταθμού σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη και επιτρέπει την επικοινωνία του σταθμού με άλλα περιφερειακά συστήματα, ενσύρματα ή ασύρματα μέσω Bluetooth (π.χ. κινητά τηλέφωνα) αλλά και με το διαδίκτυο. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].
- *Έτος 2007*: Κατασκευή των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών - spatial imaging stations ή Image Assisted Scanning Total Stations (IASTS) που διαθέτουν δυνατότητες σάρωσης (scanning), [Scherer M., Lerma J. L., 2009].
- *Έτος 2016*: Κατασκευή των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών χωρίς διάταξη τηλεσκοπίου, τα οποία μάλιστα έχουν χαρακτηριστεί και ως ηλεκτρονικά θεοδόλιχα 5^{ης} γενιάς εγκαινιάζοντας ουσιαστικά μια νέα κατηγορία οργάνων [Tuno N., et al, 2019].

Στο σχήμα 1.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό χρονολόγιο εξέλιξης των γεωδαιτιών οργάνων, από το οποίο γίνεται άμεσα αντιληπτή η αργή εξέλιξη των οργάνων μέχρι τον 20^ο αιώνα και η ταχεία εξέλιξή τους μετά την δεκαετία του 1960, προφανώς λόγω της αλματώδους τεχνολογικής και επιστημονικής προόδου.



Σχήμα 1.1: Χρονολόγιο εξέλιξης επίγειων γεωδαιτικών οργάνων [Μπαλοδήμος Δ. Δ., κ. α., 2005], [Tuno N., et al, 2019]

1.3 Χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για δημιουργία τριδιάστατων μοντέλων που αναπαριστούν αντικείμενα της ΦΓΕ καθώς και η τεχνολογική εξέλιξη των συσκευών σάρωσης, οδήγησε τους κατασκευαστικούς οίκους στην ανάπτυξη εικονογεωδαιτικών σταθμών με δυνατότητες σάρωσης, τους ονομαζόμενους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς ή IASTS. Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι το ακρωνύμιο IASTS έχει επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία για τα όργανα της κατηγορίας και για αυτό το λόγο θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα διατριβή.

Οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί λοιπόν, εκτός των ανωτέρω χαρακτηριστικών των εικονογεωδαιτικών σταθμών που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.2, ενσωματώνουν επιπλέον ένα είδος σαρωτή (light scanner) με τον οποίο είναι εφικτή η σάρωση επιφανειών με συγκεκριμένο οριζόντιο και κατακόρυφο βήμα.




Παράλληλα με τις μετρήσεις των σημείων κατά τη σάρωση, λαμβάνονται και εικόνες της περιοχής σάρωσης, οι οποίες ανάγονται κατάλληλα και συμπληρώνουν ως υπόβαθρο το τριδιάστατο μοντέλο, παρέχοντας και ποιοτική πληροφορία για αυτό, ενώ υφίσταται και η δυνατότητα παρουσίασης του τριδιάστατου μοντέλου στην οθόνη του σταθμού για τον έλεγχο της πληρότητας της πληροφορίας που συλλέχθηκε επί τόπου στο πεδίο, πριν μεταφερθεί σε άλλο αποθηκευτικό μέσο για περαιτέρω αξιοποίηση. Εκτός των άλλων, οι σταθμοί της κατηγορίας αυτής είναι και σερβοκινούμενοι, με δυνατότητα να στρέφονται, να εστιάζουν και να σκοπεύουν αυτόματα στο σημείο που επιλέγει ο παρατηρητής στην οθόνη τους, ενώ μπορούν να "κλειδώνουν" και να παρακολουθούν έναν στόχο. Επίσης, διαθέτουν και διατάξεις ασύρματης επικοινωνίας (όπως για παράδειγμα Bluetooth), ενώ είναι δυνατή η σκόπευση του επιθυμητού σημείου μέσω της οθόνης συσκευών ελέγχου (controllers) που πιθανώς να διαθέτει ο παρατηρητής. Οι διατάξεις ασύρματης επικοινωνίας σε συνδυασμό με το λειτουργικό Windows CE επιτρέπουν στους σταθμούς αυτούς να στέλνουν σε πραγματικό χρόνο, αρχεία μετρήσεων και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία στο γραφείο, να λαμβάνουν αντίστοιχα στοιχεία από απόσταση και επιπλέον να λειτουργούν ως τηλεχειριζόμενοι με κατάλληλο προγραμματισμό [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Επισημαίνεται ότι, από την έρευνα για την εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων διαπιστώθηκε ότι οι κάμερες ενσωματώθηκαν αρχικά στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς και έπειτα στους εικονογεωδαιτικούς και χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς, προκειμένου να διευκολυνθεί ο αυτόματος εντοπισμός στόχων, η εστίαση στους

στόχους και να υλοποιηθεί έτσι η ρομποτική λειτουργία των σερβοκινούμενων πλέον σταθμών [Paar R., et al, 2021]. Οι υπόλοιπες χρήσεις τους, όπως στην μέθοδο Remote Survey αποτελούν προϊόν της επιστημονικής έρευνας.

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών αποτελούν ο Topcon Imaging Station 3, ο Leica Nova MS60 MultiStation και ο Trimble SX10. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εν λόγω σταθμών παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1, ενώ οι τεχνολογικές τους καινοτομίες περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα "Α". Ωστόσο, αξίζει να γίνει μία συνοπτική αναφορά στις καινοτομίες που ενσωματώνουν οι σταθμοί της κατηγορίας, που είναι οι ακόλουθες:

- Οι τεχνολογίες αφής επιτρέπουν τον χειρισμό των σταθμών από την οθόνη τους και την εκτέλεση μετρήσεων ακριβείας.
- Ο συνδυασμός των διατάξεων ασύρματης επικοινωνίας και του λειτουργικού Windows CE επιτρέπουν στους σταθμούς αυτούς να διακινούν σε πραγματικό χρόνο αρχεία μετρήσεων, μέσω του διαδικτύου.

	Topcon IS-3	Leica MS60	Trimble SX10
			
Date of release	2011	2015	2016
Angular accuracy	1", 3" or 5"	1"	1"
EDM maximum range	5000 m (prism) 2000 m (non prism)	10,000 m (prism) 2000 m (non prism)	5500 m (prism) 800 m (non prism)
EDM accuracy (prism)	2 mm + 2 ppm	1 mm + 1.5 ppm	1 mm + 1.5 ppm
EDM accuracy (non-prism)	10 mm + 10 ppm	2 mm + 2 ppm	2 mm + 1.5 ppm
Imaging			
Number and kind of cameras	wide-angle + coaxial	overview + telescope	overview + primary + coaxial
Resolution	1.3 megapixel	5 megapixel	5 megapixel
Frame rate	up to 10 Hz	up to 20 Hz	up to 15 Hz
Scanning			
Maximum rate	20 pts/s	1000 pts/s @ 300 m	26,600 pts/s
Maximum range	2000 m	1000 m (limited to 1 Hz)	600 m
Scanning range noise	-	1 mm @ 50 m	1.5 mm @ 50 m

Πίνακας 1.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών [Lachat E., et al, 2017B]

Εκτός των ανωτέρω, επιμέρους τεχνολογικές καινοτομίες που ενσωματώνουν μεμονωμένα οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί είναι οι ακόλουθες:

- Εξελιγμένα EDM τα οποία καθιστούν ικανή την αξιόπιστη αυτόματη μέτρηση μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα έως 2000m και με τη χρήση ανακλαστήρα έως 10000m.
- Μέθοδοι που αναγνωρίζουν αυτόματα τα όρια των αντικειμένων που περιλαμβάνονται στην περιοχή που σαρώνεται.
- Εξελιγμένες τεχνολογίες αυτόματου εντοπισμού και συνεχούς παρακολούθησης στόχου, ακόμη και κάτω από τις πιο αντίξοες συνθήκες, με δυνατότητα αυτόματης σκόπευσης στόχου έως τα 1500m και με αυτόματο εγκλωβισμό στόχου έως τα 1000m.
- Βελτιωμένες διατάξεις ασύρματης επικοινωνίας, οι οποίες καθιστούν πιο αποδοτική τη ρομποτική λειτουργία των σταθμών και τον τηλεχειρισμό τους από απόσταση έως 1000m.
- Εξελιγμένο λογισμικό που αξιοποιεί τις δυνατότητες των σταθμών για τον έλεγχο των εικόνων και των σαρώσεων που λαμβάνονται στο πεδίο μέσω διαδικτύου από το γραφείο. Επισημαίνεται ότι το εν λόγω λογισμικό είναι προσανατολισμένο μέχρι στιγμής στη λήψη εικόνων και σαρώσεων και όχι στην εξ αποστάσεως εκτέλεση κλασικών γεωδαιτικών μετρήσεων. Άρα, δεν λειτουργεί ανταγωνιστικά ως προς τη μέθοδο Remote Survey.
- Σύγχρονοι αλγόριθμοι που επιτρέπουν στους σταθμούς να αυτοεκπαιδευτούν και να προσαρμόζονται διαρκώς στις συνθήκες του περιβάλλοντος όπου εκτελούνται οι μετρήσεις, όπως στη βροχή, στην ομίχλη, στη σκόνη, στον ήλιο, στη ζέστη και στις αντανάκλασεις. Επίσης, τους επιτρέπουν να βρίσκουν τους στόχους ενδιαφέροντος γρήγορα και αποδοτικά, ακόμη και αν αυτοί κινούνται και να αγνοούν τους υπόλοιπους που πιθανόν να βρίσκονται στην περιοχή εργασιών.
- Ειδικά φίλτρα τα οποία ενεργοποιούνται σε περίπτωση που ο σταθμός σταματήσει να εστιάζει σε κινούμενο στόχο που παρακολουθεί, ερευνούν μια κυβική περιοχή γύρω από την τελευταία γνωστή θέση του στόχου και επιτρέπουν στον σταθμό να εστιάσει ξανά στον κινούμενο στόχο.
- Έως και τρεις κάμερες υψηλής ανάλυσης, της τάξης των 5 megapixels με δυνατότητα αυτόματης εστίασης και μεγέθυνσης έως 30x.
- Ειδικές διατάξεις και λογισμικό με τα οποία επιτυγχάνεται η ενισχυμένη λειτουργικότητά τους, μέσω της συνδεσιμότητας με δέκτες GNSS, της λήψης εικόνων υψηλής ανάλυσης και της 3D laser σάρωσης.
- Ειδικές διατάξεις και λογισμικό που επιτρέπουν την αποκλειστική ρομποτική λειτουργία των σταθμών. Ειδικότερα, οι οπτικές

διατάξεις των σταθμών αυτών έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτρέπουν τις σκοπεύσεις σημείων χωρίς να απαιτείται η χρήση του τηλεσκοπίου, παρά μόνο η χρήση χειριστηρίων πεδίου (controllars) ή tablets με εγκατεστημένο το λειτουργικό των Windows. Συνεπώς, οι σταθμοί με τις ανωτέρω καινοτομίες δεν διαθέτουν πλέον ενσωματωμένη οθόνη όπως τα υπόλοιπα όργανα της κατηγορίας τους.

- Εξελιγμένους ενσωματωμένους σαρωτές που παρέχουν σαρώσεις συγκρίσιμης ποιότητας με εκείνες των μεμονωμένων σαρωτών.

Από την επιστημονική έρευνα τα τελευταία χρόνια αποδείχτηκε ότι οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ακόλουθες εφαρμογές [Reiterer A., Wagner A., 2012]:

- Σε ημι-αυτοματοποιημένα συστήματα ανακατασκευής αντικειμένων.
- Σε πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα παρακολούθησης παραμορφώσεων.
- Σε συστήματα βιομηχανικής γεωδαισίας.
- Σε μετρήσεις του πλάτους ταλαντώσεων αντικειμένων και κατασκευών.
- Σε παρακολούθηση ρωγμών κατασκευών.

Αναφέρεται χαρακτηριστικά το ακόλουθο παράδειγμα από τη χρήση ενός IATS (Trimble SX10) για αποτύπωση της πρόσοψης μιας εκκλησίας. (καθολική εκκλησία "Saint-Pierre-le-Jeune", στο Στρασβούργο της Γαλλίας). Στην εικόνα 1.1, αριστερά παρουσιάζεται η πρόσοψη της εκκλησίας, ενώ δεξιά οι αποκλίσεις που υπολογίστηκαν ανάμεσα στο νέφος σημείων του σταθμού Trimble SX10 και σε ένα αντίστοιχο νέφος του μεγαλύτερης ακρίβειας σαρωτή Trimble TX8, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε ως επιφάνεια αναφοράς, με ικανοποιητικά αποτελέσματα. [Lachat E., et al, 2017A].



Εικόνα 1.1: Η αποτύπωση με τον σταθμό Trimble SX10 της εκκλησίας "Saint-Pierre-le-Jeune" [Lachat E., et al, 2017A]

1.4 Διαπιστώσεις από την ανάλυση των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων

Συνοψίζοντας την ανωτέρω ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων και προχωρώντας σε μια συγκριτική θεώρηση των σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις.

Η εξέλιξη των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων από την αρχαιότητα έως και τον Μεσαίωνα δεν υπήρξε σημαντική. Το κύριο αίτιο αυτής της υστέρησης ήταν οι προκαταλήψεις, οι ιδεοληψίες και οι θρησκοληψίες που αποτέλεσαν τροχοπέδη σε κάθε είδους επιστημονική δραστηριότητα – καινοτομία, που διαφοροποιούνταν από το αποδεκτό πολιτικό αλλά και θρησκευτικό πλαίσιο.

Η επινόηση του τηλεσκόπιου, της αεροστάθμης και του μηχανικού θεοδολίχου υπήρξαν σταθμοί στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων καθώς κατέστη δυνατή η μέτρηση γωνιών με ακρίβεια, δυνατότητα η οποία και βελτιώθηκε με την κατασκευή του οπτικομηχανικού θεοδολίχου.

Η χρησιμοποίηση των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης μηκών υπήρξε ο δεύτερος μεγάλος σταθμός στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων, καθόσον μέχρι τότε για τη μέτρηση μηκών και γεωδαιτικών

βάσεων ακριβείας χρησιμοποιούνταν τα ειδικού χειρισμού σύρματα Invar.

Η κατασκευή των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (total stations) αποτελεί την τρίτη σημαντική καινοτομία στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων, καθόσον ενσωματώθηκε σε ένα όργανο το ψηφιακό θεοδόλιχο και το αποστασιόμετρο. Άρα κατέστη δυνατή για πρώτη φορά η μέτρηση γωνιών και μηκών με μια μόνο παρατήρηση, με κοινό σημείο αφετηρίας το κέντρο του οργάνου, δηλαδή το σημείο τομής πρωτεύοντος, δευτερεύοντος και σκοπευτικού άξονα, καινοτομία που είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των σφαλμάτων στις μετρήσεις.

Η επόμενη σημαντική εξέλιξη είναι η εμφάνιση των εικονογεωδαιτικών σταθμών (Image Assisted Total Stations). Αυτοί οι σταθμοί βασίστηκαν στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, στους οποίους ενσωματώθηκαν εξελιγμένες ψηφιακές κάμερες. Με την ενσωμάτωση αυτή κατέστη δυνατή η αυτόματη αποθήκευση εικόνας του στόχου κατά τη στιγμή που εκτελείται η μέτρηση από τον παρατηρητή.

Η εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων ολοκληρώθηκε με την ενσωμάτωση στους εικονογεωδαιτικούς σταθμούς, συσκευών σάρωσης (scanners) οπότε και είναι δυνατή πλέον η εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων, η λήψη εικόνων των στόχων και η σάρωση αντικειμένων της ΦΓΕ για τη δημιουργία 3D μοντέλων από ένα όργανο. Τα όργανα αυτά ονομάζονται χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί (spatial imaging stations ή Image Assisted Scanning Total Stations – IASTS).

Εν κατακλείδι, η γενική διαπίστωση που προκύπτει από την ανάλυση που προηγήθηκε είναι ότι οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί συγκεντρώνουν όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων με τηλεχειρισμό. Οπότε, το επόμενο ζήτημα που τίθεται προς διερεύνηση είναι η αξιολόγηση των ιδιοτήτων των διατάξεων επικοινωνίας που διαθέτουν οι εν λόγω σταθμοί, προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα και η ταχύτητα του σήματος που διαδίδεται μέσω του διαδικτύου από τον σταθμό στον απομακρυσμένο χειριστή του κατά την εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων με τηλεχειρισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΕΡΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

2.1 Γενικά

Από την ανάλυση που προηγήθηκε, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί συγκεντρώνουν όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων με τηλεχειρισμό. Στο πλαίσιο αυτό αποφασίσθηκε να διερευνηθούν οι ιδιότητες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διατάξεων επικοινωνίας που διαθέτουν οι εν λόγω σταθμοί σήμερα, προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα και η ταχύτητα του σήματος που διαδίδεται μέσω του διαδικτύου από τον σταθμό στον απομακρυσμένο χειριστή του, κατά την εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων με τηλεχειρισμό. Στα παλαιότερα όργανα, στα θεοδόλιχα και στα αποστασιόμετρα, οι μετρήσεις λαμβάνονταν με την ανάγνωση του παρατηρητή από τις ενδείξεις των οργάνων και καταγράφονταν σε ειδικά έντυπα. Στη συνέχεια, η ενσωμάτωση των καταγραφικών μονάδων στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς δημιούργησε και την ανάγκη για μεταφορά των ψηφιακών αρχείων των μετρήσεων εκτός των σταθμών σε Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό για περαιτέρω επεξεργασία. Για την ικανοποίηση της ανάγκης αυτής χρησιμοποιήθηκαν αρχικά ενσύρματα μέσα, όπως το καλώδιο τύπου RS-232 και στη συνέχεια ασύρματα μέσα, όπως οι μεθοδολογίες Bluetooth και Wi-Fi.

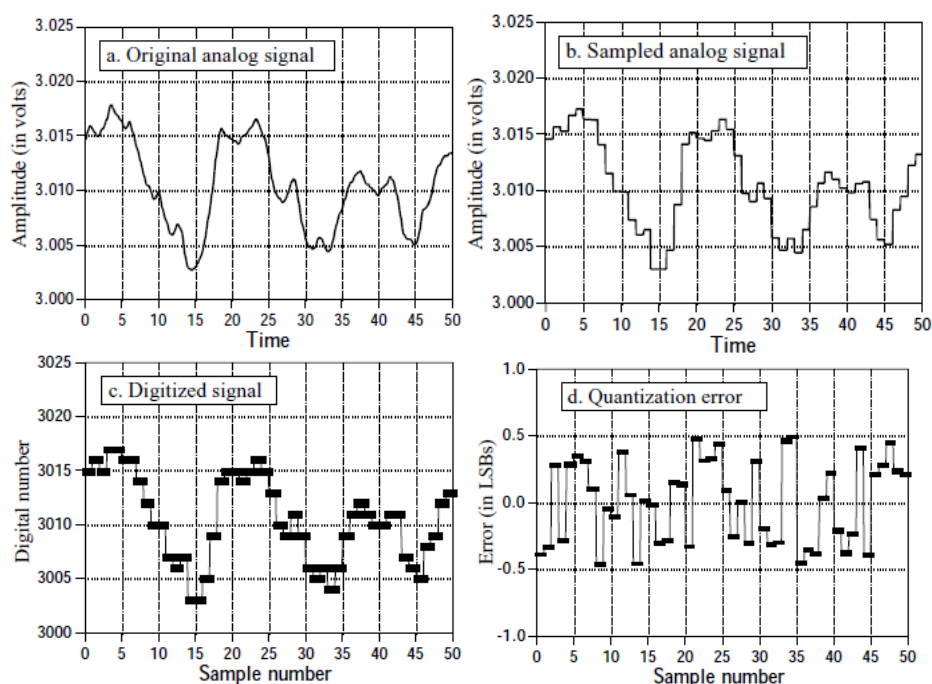
Οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στο Παράρτημα "Α", περιλαμβάνουν κατά περίπτωση ορισμένες από τις ακόλουθες ενσύρματες και ασύρματες διατάξεις επικοινωνίας:

- Θύρα RS-232C, για ενσύρματη επικοινωνία
- Θύρα USB Type A, Type mini B και USB 2.0, για ενσύρματη επικοινωνία
- Διάταξη Bluetooth, για ασύρματη επικοινωνία
- Διάταξη Wireless LAN ή αλλιώς Wi-Fi (2.4 Ghz Spread Spectrum σύμφωνα με το πρότυπο IEEE802.11b/g), για ασύρματη επικοινωνία

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία των ανωτέρω μεθόδων επικοινωνίας θα ακολουθήσει ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου της διάδοσης του σήματος και στη συνέχεια παρουσίαση των επιμέρους τεχνικών χαρακτηριστικών των μεθόδων επικοινωνίας, η οποία και θα επιτρέψει τη συγκριτική θεώρηση των μεθόδων αυτών.

2.2 Βασικές έννοιες από τη θεωρία της διάδοσης σημάτων

Η διάδοση του ψηφιακού σήματος υλοποιείται με τη μετάδοση της πληροφορίας μέσα από ένα σύνδεσμο-κανάλι σε ψηφιακή μορφή. Το αντίθετο του ψηφιακού σήματος είναι το αναλογικό σήμα, που αποτελείται από ένα συνεχές πεδίο τιμών. Η μετάδοση ενός αναλογικού σήματος μέσα από ένα σύνδεσμο είναι εφικτή αλλά όχι αποδοτική διότι το αναλογικό σήμα είναι ευάλωτο στο θόρυβο που υπάρχει στο κανάλι επικοινωνίας. Αντίθετα, τα ψηφιακά σήματα λαμβάνουν διακριτές τιμές και όχι συνεχές πεδίο τιμών, άρα είναι πιο ανθεκτικά στο θόρυβο και μπορούν πιο εύκολα να ανακατασκευαστούν. Επίσης, τα ψηφιακά σήματα μπορούν να μεταδοθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τα αναλογικά, με τη χρήση αναμεταδοτών, οι οποίοι εφαρμόζουν τεχνικές για την απομόνωση του θορύβου και την ενίσχυση του σήματος, πιο αποδοτικές τεχνικές μεταγωγής και τεχνικές για την ασφάλεια στη μετάδοση μέσω της κρυπτογράφησης. Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν αναλογικά σήματα για τη μετάδοση πληροφορίας ονομάζονται αναλογικά δίκτυα, ενώ εκείνα που χρησιμοποιούν ψηφιακά σήματα ονομάζονται ψηφιακά δίκτυα.



Σχήμα 2.1: Η διαδικασία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό [Smith W. S., 1999]

Τα πρώτα δεν χρησιμοποιούνται πλέον καθότι όλα τα δίκτυα Η/Υ και τηλεπικοινωνιών είναι ψηφιακά και ενώ τα αναλογικά σήματα μπορούν

να μεταδοθούν μέσα από ένα κανάλι επικοινωνίας, επιλέγεται συνήθως η μετατροπή τους σε ψηφιακά. Η διαδικασία αυτή ουσιαστικά αποτελείται από δύο μέρη όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1. Αρχικά το αναλογικό σήμα έχει τη μορφή *Original analog signal*. Σε πρώτο στάδιο καταγράφεται η στιγμιαία τιμή του σήματος στις διάφορες θέσεις της περιοδικής δειγματοληψίας, οπότε προκύπτει η μορφή *Sampled analog signal*. Σε δεύτερο στάδιο μετατρέπεται η τιμή του αναλογικού σήματος (τιμή ηλεκτρικού ρεύματος) στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό, οπότε το σήμα έχει πλέον την ψηφιακή μορφή *Digitized signal*. Το ψηφιακό σήμα προφανώς έχει υποστεί αλλοιώσεις σε σχέση με το αναλογικό και προκύπτει θόρυβος που έχει τη μορφή του *Quantization error* (σχήμα 2.1).

Ως κωδικοποίηση φυσικού επιπέδου ή αλλιώς *Encoding*, ορίζεται η μεθοδολογία μετατροπής της πληροφορίας σε ένα ψηφιακό σήμα για τη μετάδοσή του σε ένα κανάλι. Ένα κωδικοποιημένο σήμα μπορεί να μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό:

$$\text{Ρυθμός μεταφοράς πληροφορίας} = \frac{\log_2 V}{T_s} \text{ bps} \quad (2.1)$$

όπου: V , το πλήθος των διακριτών τιμών που λαμβάνει το ψηφιακό σήμα (σύμβολα).

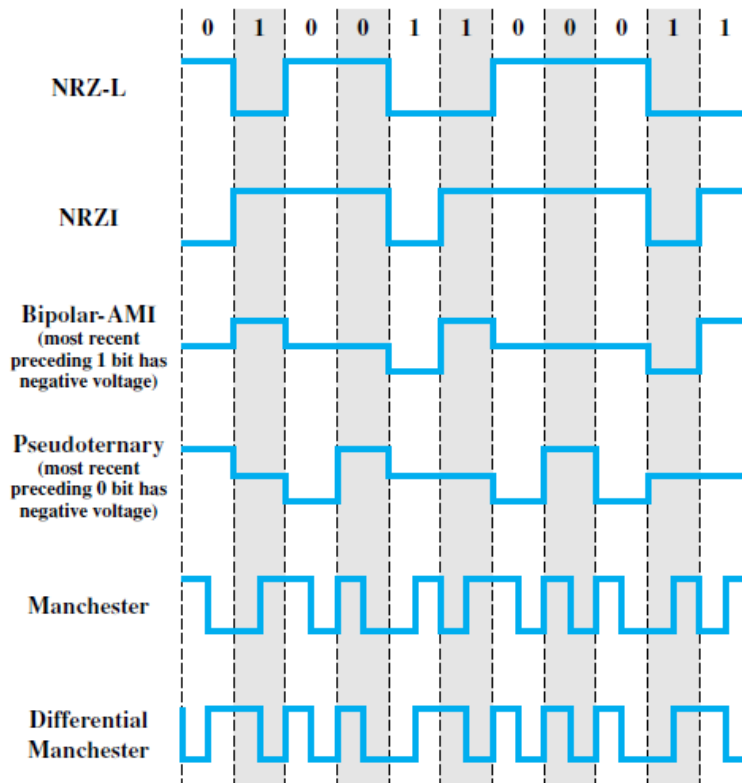
T_s , η διάρκεια των συμβόλων.

Η διάρκεια των συμβόλων T_s καθορίζει την ταχύτητα *baud* (*baud rate*) του κώδικα, ως εξής:

$$\text{baud rate} = \frac{1}{T_s} \text{ symbols/sec} \quad (2.2)$$

Οι κώδικες που χρησιμοποιούνται στην κωδικοποίηση του σήματος πρέπει κυρίως να εξοικονομούν ενέργεια και να επιτυγχάνουν ανθεκτικότητα στο θόρυβο. Οι σημαντικότεροι κώδικες που χρησιμοποιούνται φαίνονται στο σχήμα 2.2.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει ένα όριο στο ρυθμό με τον οποίο ένα κανάλι μπορεί να μεταδώσει δεδομένα. Το όριο αυτό ονομάζεται *μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης* (*maximum transmission speed*) ή *εύρος ζώνης* (*bandwidth*) του καναλιού. Συνήθως, δεν ενδιαφέρουν τους χρήστες οι λεπτομέρειες της μετάδοσης του σήματος, αλλά μόνο το εύρος ζώνης ενός καναλιού – συνδέσμου, το οποίο πολλές φορές λανθασμένα συγχέεται με το εύρος ζώνης συχνοτήτων.



Σχήμα 2.2: Μέθοδοι κωδικοποίησης σήματος [Stallings W., 2007]

Η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας μέσα από ένα κανάλι (με λευκό προσθετικό θόρυβο), σύμφωνα με το Θεώρημα Shannon, ισούται με [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011]:

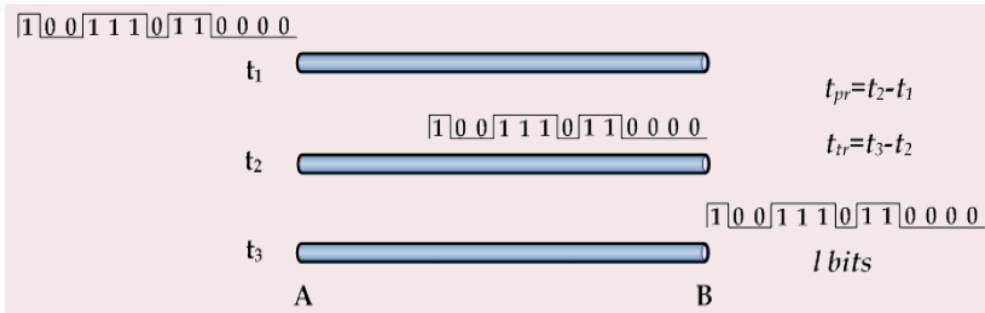
$$\text{maximum number of bits/sec} = C \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ bps} \quad (2.3)$$

όπου: C , το εύρος ζώνης συχνοτήτων του καναλιού.

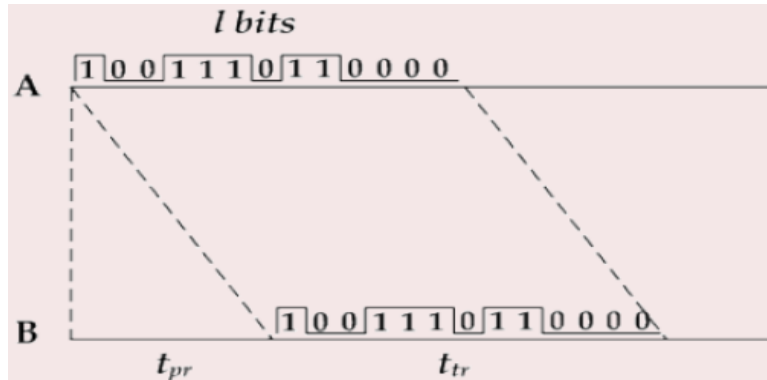
S , N , η ισχύς του σήματος πληροφορίας και του θορύβου αντίστοιχα.

S/N ή SNR , σηματοθορυβική σχέση του καναλιού.

Ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη μεταφορά πληροφορίας είναι η καθυστέρηση (*delay*), η οποία ονομάζεται και λανθάνων χρόνος (*latency*). Αυτή αποτελείται από την καθυστέρηση διάδοσης σήματος (*propagation delay* - t_{pr}), ως σχήμα 2.3 και την καθυστέρηση μετάδοσης σήματος (*transmission delay* - t_{tr}), ως σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.3: Καθυστέρηση διάδοσης σήματος [Παπαπέτρον Ε., 10/10/2019]



Σχήμα 2.4: Καθυστέρηση μετάδοσης σήματος [Παπαπέτρον Ε., 10/10/2019]

Η καθυστέρηση διάδοσης t_{pr} οφείλεται στην πεπερασμένη ταχύτητα διάδοσης του σήματος μέσα στο κανάλι και είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα για να διαδοθεί. Ισχύει:

$$t_{pr} = \frac{S}{u_s} \quad (2.4)$$

όπου: S , Το μήκος συνδέσμου.

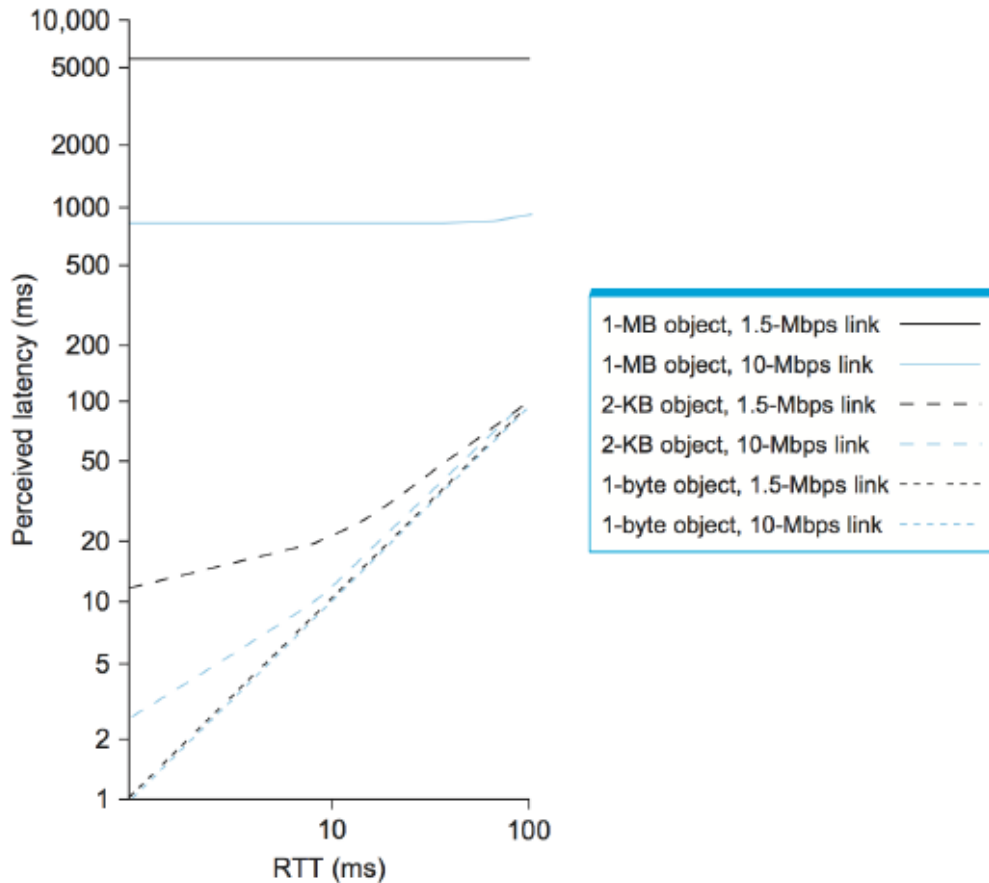
u_s , Η ταχύτητα διάδοσης του σήματος, συνήθως η ταχύτητα του φωτός.

Η καθυστέρηση μετάδοσης t_{tr} οφείλεται στον πεπερασμένο ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας και είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταδοθεί η πληροφορία. Ισχύει:

$$t_{tr} = \frac{l}{C} \quad (2.5)$$

όπου: l , μεγεθος δεδομένων σε bits,

C , το εύρος ζώνης του καναλιού.



Σχήμα 2.5: Γράφημα λανθάνοντος χρόνου (*Perceived latency*) και χρόνου μετάβασης και επιστροφής (*round trip time, RTT*) [Peterson L., Davie B., 2019]

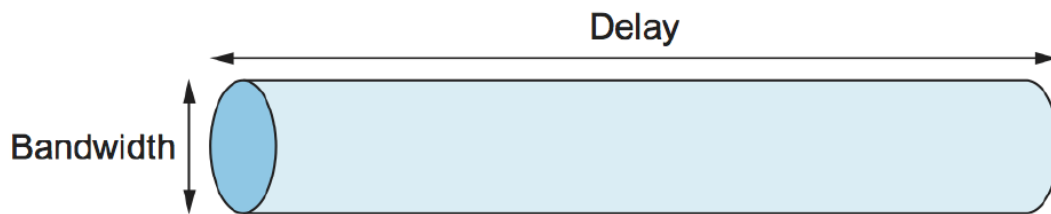
Ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής (*round trip time, RTT*), ως σχήμα 2.5, είναι ουσιαστικά η καθυστέρηση για τη διάδοση και την επιστροφή μεταξύ των δύο άκρων της επικοινωνίας και προσδιορίζει την ελάχιστη καθυστέρηση που απαιτείται για την αλληλεπίδραση δύο κόμβων, συνήθως δύο H/Y. Επίσης, ο όγκος των δεδομένων (l) που μεταδίδει μια εφαρμογή και η απόσταση των δύο άκρων της επικοινωνίας καθορίζουν την επίδραση της καθυστέρησης διάδοσης (*propagation delay - t_{pr}*) και της καθυστέρησης μετάδοσης (*transmission delay - t_{tr}*). Πιο συγκεκριμένα, όταν μεταδίδονται λίγα δεδομένα και η απόσταση επικοινωνίας είναι μεγάλη, τότε η καθυστέρηση διάδοσης είναι σημαντική, όπως αποδεικνύεται και από την ακόλουθη σχέση:

$$delay \text{ ή } d = \frac{RTT}{2} + \frac{1}{C} \rightarrow \frac{RTT}{2} \quad (2.6)$$

Αντίστοιχα, όταν μεταδίδονται πολλά δεδομένα και η απόσταση επικοινωνίας είναι μικρή, τότε η καθυστέρηση μετάδοσης είναι σημαντική, όπως αποδεικνύεται και από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{delay ή } d = \frac{RTT}{2} + \frac{1}{C} \rightarrow \frac{1}{C} \quad (2.7)$$

Αξίζει να αναφερθεί ότι το *γινόμενο καθυστέρησης-εύρους ζώνης* (*bandwidth-delay product*), το οποίο περιγράφει τον μέγιστο όγκο δεδομένων που μπορεί να βρίσκεται υπό μετάδοση μέσα στο κανάλι επικοινωνίας είναι πολύ σημαντικό αφενός επειδή προσδιορίζει τον ελάχιστο όγκο δεδομένων που πρέπει να μεταδώσει ένας κόμβος-αποστολέας, δηλαδή ένας H/Y, ώστε να αξιοποιήσει πλήρως το κανάλι, αφετέρου επειδή καθορίζει τον μέγιστο όγκο δεδομένων που ενδέχεται να λάβει ένας κόμβος-παραλήπτης, επίσης H/Y, πριν μπορέσει να ενημερώσει τον αποστολέα (σχήμα 2.6) [Peterson L., Davie B., 2019].



Σχήμα 2.6: Το γινόμενο καθυστέρησης-εύρους ζώνης (*bandwidth-delay product*) με τη μορφή ενός σωλήνα μετάδοσης δεδομένων [Peterson L., Davie B., 2019]

Ένα σημαντικό πρόβλημα που παρατηρείται κατά τη διάδοση του ψηφιακού σήματος είναι ο θόρυβος που υπάρχει σε ένα κανάλι επικοινωνίας και ενδέχεται να προκαλέσει αλλοίωση σε μεμονωμένα bits της μεταφερόμενης πληροφορίας (*bit errors*). Ο θόρυβος αυτός είναι διαφορετικός σε κάθε κανάλι, με αποτέλεσμα το κάθε κανάλι να χαρακτηρίζεται από διαφορετικό *ρυθμό σφαλμάτων* (*bit error rate, BER*). Υπάρχουν μάλιστα περιπτώσεις όπου ορισμένα κανάλια καταστρέφουν μεταδιδόμενα πακέτα πληροφορίας σε τέτοιο βαθμό που δεν είναι εφικτή ούτε καν η ανίχνευσή τους, οπότε αυτά τα κανάλια χαρακτηρίζονται από το *ρυθμό απώλειας πακέτων* (*packet error rate, PER*). Το πρόβλημα αυτό θεραπεύεται με την εφαρμογή μηχανισμών για την *ανίχνευση* (*error detection*) ή και για τη *διόρθωση* σφαλμάτων (*error correction*) σε ένα αλλοιωμένο πακέτο πληροφορίας.

Στην πράξη, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας καθορίζεται από το εύρος της ζώνης του καναλιού επικοινωνίας, ενώ υπάρχουν και διάφοροι λοιποί παράγοντες που τον περιορίζουν όπως τα σφάλματα κατά τη μετάδοση, η ενδεχόμενη αδράνεια του συνδέσμου καθώς και η μετάδοση των δεδομένων είναι τμηματική και το διάστημα μεταξύ έναρξης μετάδοσης-έναρξης λήψης το οποίο δεν είναι αμελητέο.

Τελικά, ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης ενός καναλιού, ονομάζεται διεκπεραιωτική ικανότητα (*throughput*, R) ή *ρυθμαπόδοση* και ορίζεται ως εξής:

$$R = \frac{l}{t} \leq C \quad (2.8)$$

όπου: l , το μέγεθος δεδομένων σε bits,

t , ο χρόνος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της μετάδοσης,

C , το εύρος ζώνης του καναλιού.

Η ρυθμαπόδοση στα σύγχρονα ψηφιακά δίκτυα υψηλών ταχυτήτων εξαρτάται κυρίως από την απόσταση επικοινωνίας, άρα από την καθυστέρηση διάδοσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός οι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται πλέον είναι προηγμένης τεχνολογίας και παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα η καθυστέρηση μετάδοσης συνεχώς μειώνεται και τείνει να γίνει αμελητέα, γεγονός που αποδεικνύεται και από τη σχέση που ακολουθεί:

$$R = \frac{l}{t} = \frac{l}{t_{pr} + t_{tr}} = \frac{l}{t_{pr} + \frac{l}{C}} \xrightarrow{C \rightarrow \infty} \frac{l}{t_{pr}} \leq C \quad (2.9)$$

2.2.1 Σύνδεσμοι

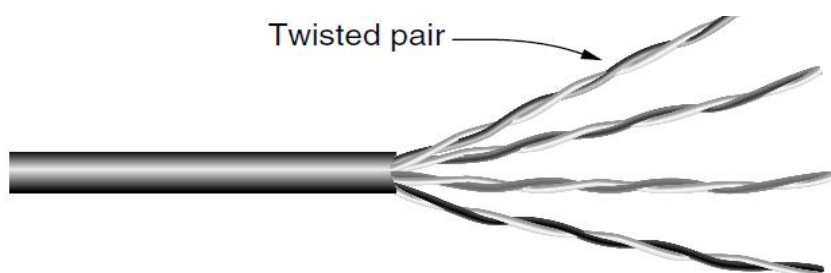
Οι σύνδεσμοι ή αλλιώς φυσικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα στα σύγχρονα ψηφιακά δίκτυα υψηλών ταχυτήτων κατηγοριοποιούνται σε *κατευθυντικά* και *μη κατευθυντικά*, ανάλογα με το αν περιορίζουν ή όχι τη διάδοση του σήματος και *ενσύρματα* ή *ασύρματα*. Τα χαρακτηριστικά των ανωτέρω συνδέσμων είναι:

- οι παράμετροι λειτουργίας τους, όπως εύρος ζώνης συχνοτήτων, επίπεδα προστασίας από το θόρυβο, εξασθένιση που προκαλούν στο σήμα,
- το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης,
- η προστασία από υποκλοπές της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Οι σημαντικότεροι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται είναι το *συνεστραμμένο ζεύγος* (*twisted pair*), το *ομοαξονικό καλώδιο* (*coaxial cable*), η *οπτική ίνα* (*optical fiber*) και το *ασύρματο κανάλι* (*wireless channel*).

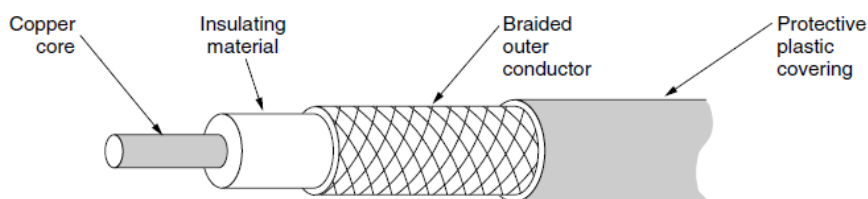
Ειδικότερα, το συνεστραμμένο ζεύγος (*twisted pair*), (εικόνα 2.1), αποτελείται από ζεύγη χάλκινων αγωγών τα οποία στρέφονται ελικοειδώς προκειμένου να αποφεύγονται οι παρεμβολές καθώς σε ευθεία διάταξη οι αγωγοί δημιουργούν ιδανική κεραία που είναι ευάλωτη

σε θόρυβο. Το ζεύγος χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρό εύρος ζώνης συχνοτήτων και εύρος ζώνης μέχρι 100Mbps σε αποστάσεις έως 100m, από μεγάλη εξασθένηση του σήματος και ευαισθησία στην επίδραση του θορύβου και από χαμηλό κόστος. Για παράδειγμα, το 100-Mbps Ethernet χρησιμοποιεί δύο ζεύγη ενός καλωδίου, ένα σε κάθε κατεύθυνση, για τη μετάδοση του σήματος ενώ το 1-Gbps Ethernet χρησιμοποιεί τέσσερα ζεύγη και στις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα. Υπάρχουν εκδόσεις του με θωράκιση (Shielded Twisted Pair, STP) και χωρίς θωράκιση (Unshielded Twisted Pair, UTP), ενώ χρησιμοποιείται κυρίως στο τηλεφωνικό δίκτυο και σε τοπικά δίκτυα Η/Υ [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011].



Εικόνα 2.1 : Το συνεστραμμένο ζεύγος [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011]

Αντίστοιχα, το ομοαξονικό καλώδιο (coaxial cable), (εικόνα 2.2), αποτελείται από έναν χάλκινο αγωγό στον πυρήνα του, που περικλείεται από μονωτικό υλικό και αυτό από ένα μεταλλικό πλέγμα. Παρέχει εύρος ζώνης μέχρι 100Mbps σε αποστάσεις έως 500m και η θωράκιση που διαθέτει προσφέρει μεγαλύτερη προστασία από το θόρυβο σε σχέση με το συνεστραμμένο ζεύγος.

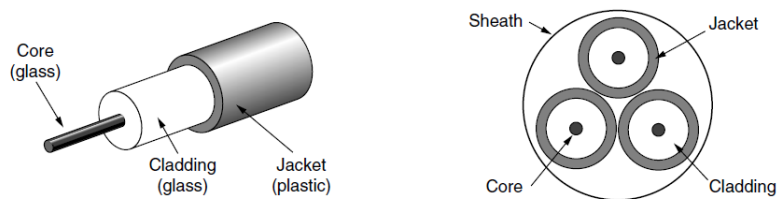


Εικόνα 2.2: Το ομοαξονικό καλώδιο [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011]

Ωστόσο το κόστος του αν και είναι χαμηλό αλλά μεγαλύτερο από αυτό του ζεύγους. Χρησιμοποιείται ευρέως σε καλωδιώσεις τηλεοράσεων και σε κάποια αστικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

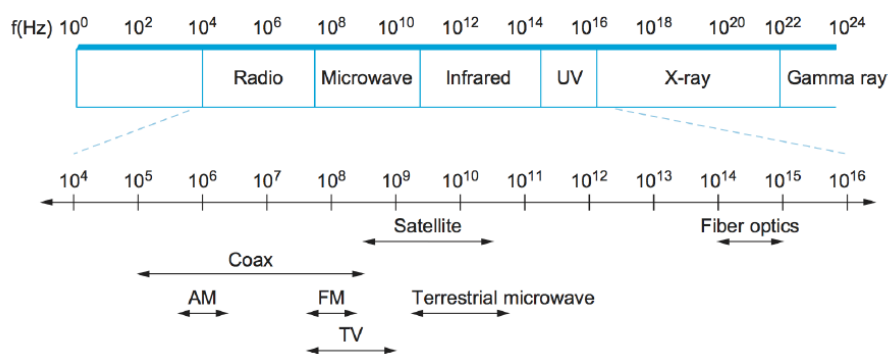
Το καλώδιο οπτικών ινών έχει παρόμοια δομή με το ομοαξονικό με τη διαφορά ότι δεν περιλαμβάνει το πλέγμα, ο πυρήνας του δεν είναι χάλκινος αλλά γυάλινος και σε ένα καλώδιο μπορεί περιλαμβάνονται περισσότεροι από έναν πυρήνες (εικόνα 2.3). Τα χαρακτηριστικά της

οπτικής ίνας είναι ότι προσφέρει πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, μέχρι 10Gbps σε αποστάσεις έως 40km, ότι προκαλεί μικρή εξασθένηση του σήματος, μικρή ευαισθησία στην επίδραση του θορύβου και ότι απαιτεί υψηλό κόστος. Κυρίως χρησιμοποιείται για διασύνδεση κόμβων του δικτύου. Προφανώς τα καλώδια οπτικών ινών υπερτερούν εκείνων του χαλκού που προαναφέρθηκαν διότι αφενός επιτυγχάνουν μεγαλύτερο bandwidth αφετέρου διότι η μικρότερη εξασθένηση του μεταφερόμενου σήματος επιτρέπει την εγκατάσταση στις γραμμές τηλεπικοινωνιών αναμεταδοτών ανά 50km. Αντίθετα, στις γραμμές τηλεπικοινωνιών με καλώδια χαλκού οι αναμεταδότες εγκαθίστανται ανά 5km, αυξάνοντας έτσι το συνολικό κόστος.



Εικόνα 2.3: Η οπτική ίνα [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011]

Εκτός των ανωτέρω ενσύρματων μέσων, η μετάδοση της πληροφορίας μπορεί να γίνει και με τη χρήση μιας περιοχής συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που καλείται *ασύρματο κανάλι*, ως σχήμα 2.7. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα προβλέφθηκαν θεωρητικά αρχικά από τον Βρετανό φυσικό James Clerk Maxwell το έτος 1865 και παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά από τον Γερμανό φυσικό Heinrich Hertz το έτος 1887. Ο αριθμός των ταλαντώσεων ανά δευτερόλεπτο ενός κύματος, ήτοι η συχνότητά του, εκφράζεται σε μονάδες Hz, προς τιμήν του Heinrich Hertz.



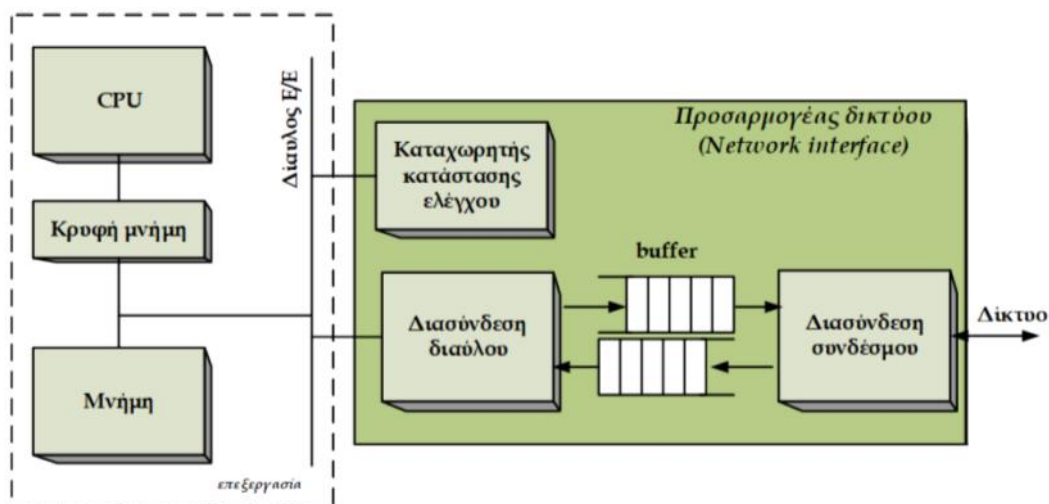
Σχήμα 2.7: Το φάσμα συχνοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων) [Peterson L., Davie B., 2019]

Λόγω της ευελιξίας της, η ασύρματη μετάδοση έχει πολλές εφαρμογές όπως σε ασύρματα τοπικά δίκτυα, σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και σε

δορυφορικά δίκτυα. Επισημαίνεται ωστόσο, ότι η χρήση των συχνοτήτων δεν είναι ελεύθερη. Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζεται η θέση που κατέχουν στο φάσμα συχνοτήτων οι τηλεπικοινωνίες με χαλκό (coax), οπτικές ίνες (fiber optics) και επίγεια ασύρματα δίκτυα (terrestrial microwave). Είναι προφανές ότι στις οπτικές ίνες υπάρχουν περισσότερα GHz bandwidth για τη μετάδοση δεδομένων από ότι στις άλλες κατηγορίες [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011].

2.2.2 Δίκτυα Η/Υ

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει μια αναφορά στα δίκτυα των Η/Υ. Ως δίκτυο Η/Υ λοιπόν ορίζεται ένα σύνολο από δύο ή περισσότερους Η/Υ που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα φυσικά μέσα. Ως κόμβος του δικτύου μπορεί να είναι κάθε είδους Η/Υ. Για τον κάθε κόμβο αποδίδεται μια τουλάχιστον αλφαριθμητική τιμή, που καλείται διεύθυνση. Εκτός των κόμβων υπάρχουν και τα φυσικά μέσα τα οποία καλούνται σύνδεσμοι (links), κανάλια ή ζεύξεις, όπως για παράδειγμα η οπτική ίνα και το ομοαξονικό καλώδιο που προαναφέρθηκαν. Οι κόμβοι και οι σύνδεσμοι αποτελούν τους πόρους (resources) του δικτύου.



Σχήμα 2.8: Διάγραμμα σύνδεσης Η/Υ στο δίκτυο [Παπαπέτρου Ε., 09/10/2019]

Για να συνδεθεί ένας Η/Υ με το δίκτυο χρησιμοποιείται ο προσαρμογέας δικτύου (network interface) ή αλλιώς κάρτα δικτύου και άλλα μέρη του Η/Υ όπως η μνήμη και η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8. Ο προσαρμογέας δικτύου υλοποιεί τη φυσική σύνδεση ενός κόμβου, όπως για παράδειγμα του Η/Υ με έναν

σύνδεσμο και για κάθε τύπο δικτύου υπάρχει διαφορετικός τύπος προσαρμογέα.

Εντός του προσαρμογέα, η διάταξη της διασύνδεσης συνδέσμου πραγματοποιεί την κωδικοποίηση και τη μετάδοση του σήματος στο σύνδεσμο και αντίστροφα. Επίσης, υλοποιεί τους κανόνες - πρωτόκολλα χρήσης του συνδέσμου, όπως για παράδειγμα τη δημιουργία πλαισίων και την πρόσβαση στο κοινό μέσο. Επιπλέον, εντός του προσαρμογέα βρίσκεται ο καταχωρητής κατάστασης ελέγχου και η διασύνδεση διαύλου, που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του προσαρμογέα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας και που ελέγχονται με τη βοήθεια λογισμικού, το οποίο καλείται *πρόγραμμα οδήγησης συσκευής (device driver)*. Γενικά, ο προσαρμογέας διαχειρίζεται δεδομένα σε δύο κατευθύνσεις, από το δίκτυο στον Η/Υ και από τον Η/Υ στο δίκτυο. Οι ρυθμοί δεδομένων από και προς τον προσαρμογέα είναι χρονικά μεταβαλλόμενοι και διαφορετικοί γιατί το δίκτυο και ο Η/Υ λειτουργούν ανεξάρτητα. Συνήθως, ο μέσος ρυθμός δεδομένων προς τον προσαρμογέα είναι μικρότερος ή ίσος με τον μέσο ρυθμό δεδομένων από τον προσαρμογέα, χωρίς να αποκλείονται μικρά χρονικά διαστήματα στα οποία δεν ισχύει η παραπάνω διαπίστωση.

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι απαιτείται χώρος για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, που συνήθως αποκαλείται *ουρά αναμονής* ή *buffer*, ως σχήμα 2.8. Στην κατεύθυνση από το δίκτυο στον Η/Υ, *buffer εισόδου* χρειάζεται όταν ο ρυθμός λήψης δεδομένων από το δίκτυο είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τον ρυθμό επεξεργασίας δεδομένων από τον Η/Υ. Αντίστοιχα, στην κατεύθυνση από τον Η/Υ στο δίκτυο, *buffer εξόδου* χρειάζεται όταν ο ρυθμός δεδομένων από τον Η/Υ είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο δίκτυο. Η μετάδοση δεδομένων μέσα από έναν κόμβο συνοδεύεται από την *καθυστέρηση αναμονής* και την *καθυστέρηση επεξεργασίας*. Ως *καθυστέρηση επεξεργασίας (processing delay ή t_s)* ορίζεται ο χρόνος που είναι απαραίτητος για την επεξεργασία ενός πακέτου ενώ ως *καθυστέρηση αναμονής (queueing delay ή t_q)* ορίζεται ο χρόνος που ένα πακέτο αναμένει στην ουρά.

Ένα σημαντικό φαινόμενο που μπορεί να μειώσει την αξιοπιστία του δικτύου είναι η *απώλεια πακέτων*, λόγω της λειτουργίας ενός κόμβου. Επίσης, απώλεια πακέτων μπορεί να συμβεί εξαιτίας της κατάρρευσης ενός κόμβου είτε λόγω διακοπής ρεύματος, είτε λόγω δυσλειτουργίας του προσαρμογέα δικτύου. Στην περίπτωση αυτή προκαλείται σημαντική μείωση της αξιοπιστίας του δικτύου για σημαντικό χρονικό διάστημα, πρόβλημα που αντιμετωπίζεται παρακάμπτοντας τον κόμβο με δρομολόγηση. Τέλος, απώλεια πακέτων εμφανίζεται και λόγω εξάντλησης αποθηκευτικού χώρου και αυτή αντιμετωπίζεται με σύνθετη

διαδικασία. Σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να ανιχνευθεί αν η απώλεια πακέτων οφείλεται στη λειτουργία ενός συνδέσμου, στην κατάρρευση ενός κόμβου ή στην εξάντληση του αποθηκευτικού του χώρου.

2.3 Δίκτυα Ethernet

Το δίκτυο Ethernet αναπτύχθηκε αρχικά στα μέσα της δεκαετίας του 1970 από τους Bob Metcalfe και David Boggs. Το αρχικό Ethernet LAN βασίστηκε σε ομοαξονικό καλώδιο για τη σύνδεση των κόμβων και λειτουργούσε με ταχύτητα 2.94Mbps [Kurose F. J., Ross W. K., 2013]. Το 1978 οι εταιρείες Xerox και Intel καθόρισαν μια νέα έκδοση του Ethernet που λειτουργούσε στα 10 Mbps. Έπειτα, ο οργανισμός Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) επέκτεινε το Ethernet και εξέδωσε το πρότυπο IEEE 802, με το οποίο προδιαγράφηκαν οι φυσικές ιδιότητες του δικτύου αλλά και ο μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης. Επίσης, το εν λόγω πρότυπο προβλέπει τη δικτύωση με τις βασικές αρχές του Ethernet σε μεγαλύτερες πλέον ταχύτητες και χρησιμοποιώντας μια μεγαλύτερη συλλογή φυσικών μέσων. Τέλος, περιλαμβάνει εκδόσεις με ταχύτητες 100 Mbps (Fast Ethernet) και 1 Gbps (Gigabit Ethernet) [Παπαπέτρου Ε., 11/2019].

Αξίζει να αναφερθεί ότι ανάμεσα στο αρχικό Ethernet και το πρότυπο IEEE 802.3 υπάρχουν μικρές διαφορές. Ωστόσο, το δεύτερο διεύρυνε τη λειτουργία του πρώτου και έτσι θεωρείται υπερσύνολό του. Το Ethernet υλοποιείται από τμήματα ομοαξονικού καλωδίου, τα οποία πρέπει να έχουν μήκος μέχρι 500 μέτρα. Τα δίκτυα με αυτά τα χαρακτηριστικά ονομάζονται *10Base5* και το ομοαξονικό καλώδιο *μεγάλης διαμέτρου (thick-net)*. Ο συμβολισμός 10Base5 αντιπροσωπεύει ταχύτητα 10Mbps (**10**Base**5**), με δίκτυο βασικής ζώνης (**10Base5**) και τμήματα καλωδίου μέχρι 500m (**10Base5**). Επίσης, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση καλωδίου *μικρής διαμέτρου (thin-net)* με μήκος μέχρι 200 m (**10Base2**).

Οι κόμβοι-H/Y συνδέονται στο καλώδιο σε τοπολογία αρτηρίας με βύσματα. Οι κόμβοι πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 2.5m. Ο πομποδέκτης (transceiver) εκπέμπει και λαμβάνει ένα σήμα ενώ στον προσαρμογέα (adaptor) υλοποιούνται οι μηχανισμοί του Ethernet.

Η μέγιστη έκταση ενός δικτύου Ethernet είναι 2500m, με δυνατότητα να μπορούν να διασυνδεθούν μέχρι 1024 H/Y υπηρεσίας. Εκτός από τμήματα ομοαξονικού καλωδίου, σε δίκτυα Ethernet μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν τμήματα καλωδίου τύπου συνεστραμμένου ζεύγους (twisted pair). Τα τμήματα πρέπει να έχουν μήκος μέχρι 100 μέτρα. Τα δίκτυα αυτής της τεχνολογίας ονομάζονται 10BaseT. Επίσης, με καλώδια

συνεστραμμένου ζεύγους μπορούν να λειτουργήσουν και δίκτυα Ethernet 100Mbps και 1Gbps.

Το πρότυπο IEEE 802.3 προδιαγράφει διαφορετικούς τύπους δικτύων Ethernet και προβλέπει τη χρησιμοποίηση φυσικών μέσων, όπως οι οπτικές ίνες ή τα θωρακισμένα συνεστραμμένα ζεύγη. Τα χαρακτηριστικά των δικτύων Ethernet παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 2.1.

Τύπος Δικτύου	Μέσο Μετάδοσης	Μέθοδος Σηματοδότησης	Ρυθμός Δεδομένων	Μέγιστο μήκος τμήματος	Τοπολογία
10Base5	Ομοαξονικό 50 Ohm thick	Βασικής ζώνης	10 Mbps	500 m	Αρτηρίας
10Base2	Ομοαξονικό 50 Ohm thin (RG-58)	Βασικής ζώνης	10 Mbps	185 m	Αρτηρίας
1Base5	Αθωράκιστο συνεστραμμένο (UTP)	Βασικής ζώνης	1 Mbps	250 m	Αστέρα
10BaseT	Αθωράκιστο συνεστραμμένο (UTP)	Βασικής ζώνης	10 Mbps	100 m	Αστέρα
10Broad36	Ομοαξονικό 75 Ohm	Ευρυζωνική	10 Mbps	3600 m	Αρτηρίας

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά δικτύων Ethernet [Αρβανίτης, Κ., κ.α., 2001]

2.4 Ενσύρματη επικοινωνία RS-232

Η ενσύρματη επικοινωνία RS-232 αποτέλεσε την πρώτη μέθοδο ενσύρματης επικοινωνίας για τη μεταφορά μετρήσεων από τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς στους Η/Υ. Ουσιαστικά, βασίζεται στο πρότυπο RS-232 (Recommended Standard 232) για τη σειριακή μετάδοση δυαδικών δεδομένων μεταξύ ενός *DTE* (*Data terminal equipment*) και ενός *DCE* (*Data Circuit-terminating equipment*). Η αρχική εφαρμογή του προτύπου υλοποιήθηκε στην επικοινωνία των συσκευών φαξ (*DTE*), με τις συσκευές μόντεμ (*DCE*). Έπειτα, προέκυψε η ανάγκη να ενσωματωθούν στο υπάρχον πρότυπο τα χαρακτηριστικά των τερματικών που σταδιακά κατασκευάστηκαν. Έτσι, το 1969 δημοσιεύτηκε η αναθεωρημένη έκδοση C του προτύπου, η οποία ενσωμάτωσε τα ανωτέρω χαρακτηριστικά και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ευρέως στους προσωπικούς Η/Υ με αποτέλεσμα συχνά

να ταυτίζεται η θύρα RS-232, με τη σειριακή τους θύρα [Salciunas V.A., 1991].

Έπειτα, η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε την κατασκευή των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, με ενσωματωμένες καταγραφικές μονάδες για την αποθήκευση των μετρήσεων. Από αυτήν την καινοτομία προέκυψε η ανάγκη για τη μεταφορά των αποθηκευμένων μετρήσεων από τις καταγραφικές μονάδες των σταθμών στους Η/Υ για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτοί διέθεταν ήδη θύρες RS-232, οπότε και στους σταθμούς ενσωματώθηκαν αντίστοιχες θύρες, για να είναι συμβατή η μεταξύ τους επικοινωνία. Η σύνδεση ολοκληρώθηκε με τη χρήση ειδικού 9pins καλωδίου (εικόνα 2.4), το οποίο περιλαμβάνει έναν αγωγό για την εκπομπή δεδομένων, έναν για λήψη δεδομένων και μία γείωση, ενώ το μήκος του δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15m [Salciunas V.A., 1991]. Τα δεδομένα μεταφέρονται στον Η/Υ με τη μορφή αρχείων ASCII ή .txt και στη συνέχεια ο χρήστης δύναται να επεξεργαστεί τα αρχεία αυτά μέσω ενός μετατροπέα αρχείων (files converter) και να τα εισάγει σε κάποιο σχεδιαστικό ή υπολογιστικό λογισμικό.



Εικόνα 2.4: Καλώδιο τύπου RS-232

Το πρότυπο RS-232 χρησιμοποιήθηκε ευρέως μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1990, οπότε και αντικαταστάθηκε σταδιακά από άλλα πρότυπα επικοινωνίας, Σήμερα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε αρκετά επίγεια γεωδαιτικά όργανα, όπως στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon IS-3 και στον Leica Nova MS60 MultiStation. Σε αρκετές περιπτώσεις, τα εν λόγω όργανα διαθέτουν κατάλληλο λογισμικό που δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη τους να προσαρμόζει τις ρυθμίσεις της σύνδεσης RS-232 σύμφωνα με τις ανάγκες του, όπως στην ανάλυση που ακολουθεί:

Παράμετρος Data Length. Γενικά, ένα δυαδικό ψηφίο (Binary digit - BIT) μπορεί να οριστεί ως μια μεταβλητή η οποία μπορεί να έχει μόνο δύο πιθανές τιμές, οι οποίες αναπαρίστανται με τους αριθμούς 0 και 1. Η φυσική υλοποίηση των τιμών 0 και 1 στους ημιαγωγούς (τρανζίστορ) είναι η ύπαρξη ή η ανυπαρξία αντίστοιχα ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Ειδικότερα, για τον καθορισμό του μεγέθους της στοιχειώδους πληροφορίας που μεταδίδεται (Data Length) υπάρχουν διάφορες επιλογές στη διάθεση του χρήστη. Για παράδειγμα, για τον χωροεικονογεωδαιτικό

σταθμό Topcon IS-2 η προεπιλεγμένη τιμή από τον κατασκευαστή είναι 7 BIT, ενώ υφίσταται και η επιλογή 8 BIT [Topcon Co, 2009].

Παράμετρος Parity Bit. Χρησιμοποιείται ως μια απλή μέθοδος για τον εντοπισμό σφαλμάτων κατά τη μετάδοση των δεδομένων. Στην πράξη προστίθεται ένα bit σε μία τιμή string δυαδικού κώδικα που πρόκειται να μεταφερθεί μέσω ενός καλωδίου για να εξασφαλιστεί ότι ο συνολικός αριθμός των bits στην τιμή string είναι άρτιος (even) ή περιττός (odd). Έτσι εάν πρέπει να μεταφερθεί η 7bits string με τιμή 1101111, στην οποία ο αριθμός των 1 είναι 6, εφαρμόζοντας τη μέθοδο Even Parity bit τότε θα προστεθεί ο αριθμός 0 στην τιμή string, η οποία και θα πάρει τελικά την 8bits μορφή 01101111. Στην περίπτωση που η 8 bits string που θα φτάσει στον αποδέκτη δεν είναι even τότε θα ανιχνευθεί σφάλμα στη διάδοση του σήματος. Για παράδειγμα, για τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon IS-2 η προεπιλεγμένη τιμή από τον κατασκευαστή είναι EVEN. Επίσης, επιπλέον επιλογές του χρήστη είναι NON, ODD [Topcon Co, 2009].

Παράμετρος Stop Bit. Χρησιμοποιείται στην ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία κατά την οποία δεν χρησιμοποιείται για συγχρονισμό ανάμεσα στους δύο πόλους της επικοινωνίας ένα κοινό σήμα βασισμένο σε μία κοινή πηγή χρόνου, αλλά σε σήματα έναρξης και τέλους (start and stop signals) πριν και μετά την εκπομπή της πληροφορίας αντίστοιχα. Το start signal προετοιμάζει τον δέκτη για την άφιξη της επερχόμενης πληροφορίας ενώ το stop signal επαναφέρει τον δέκτη σε κατάσταση αναμονής για την υποδοχή νέων δεδομένων. Για παράδειγμα, για τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon IS-2 η προεπιλεγμένη τιμή από τον κατασκευαστή είναι 1 BIT, ενώ υφίσταται και η επιλογή 2 BIT [Topcon Co, 2009].

Παράμετρος Baud Rate. Αποτελεί έναν αριθμό που σχετίζεται με την ταχύτητα της διάδοσης δεδομένων-συμβόλων σε ένα σύστημα. Συνήθως το baud rate ταυτίζεται με το bit rate. Ειδικότερα, ο ρυθμός Baud υποδεικνύει τον αριθμό των ηλεκτρικών ταλαντώσεων ανά δευτερόλεπτο, οι οποίες πραγματοποιούνται κατά τη διάδοση δεδομένων. Όσο μεγαλύτερος ο baud rate τόσο περισσότερα bits μεταφέρονται ανά δευτερόλεπτο, άρα και μεγαλύτερη ταχύτητα στη μεταφορά δεδομένων, όμως και απαίτηση για μεγαλύτερο bandwidth (μέγιστη ικανότητα μεταφοράς δεδομένων) για ένα κανάλι μεταφοράς σήματος. Ένας υψηλός ρυθμός baud rate απαιτεί ένα ευρύ bandwidth και γενικά είναι ευάλωτος στον θόρυβο κατά τη μετάδοση του σήματος. Για παράδειγμα, για τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon IS-2 η προεπιλεγμένη τιμή από τον κατασκευαστή είναι 1200 bits per second. Επίσης, επιπλέον επιλογές του χρήστη είναι 2400 bits per second, 4800 bits per second, 9600 bits per second και 19200 bits per second [Topcon Co, 2009].

Παράμετρος CR, LF. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι OFF και ON. Συνήθως προεπιλογή από τον κατασκευαστή είναι το OFF [Topcon Co, 2009]. Το ON επιλέγεται για την επιστροφή φορέα (Carriage Return – CR) και την τροφοδοσία γραμμής (Line Feed – LF) όταν συλλέγονται δεδομένα μετρήσεων με έναν Η/Υ.

Παράμετρος ACKMODE. Συνήθως προεπιλογή από τον κατασκευαστή είναι το ON [Topcon Co, 2009]. Το OFF επιλέγεται για την παράλειψη του σήματος ACK. Ειδικότερα, το σήμα ACK (ACKnowledgement) αποτελεί μέρος του πρωτοκόλλου επικοινωνίας και διαβιβάζεται ανάμεσα στις συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους για να δηλωθεί η λήψη της πληροφορίας από τον αποδέκτη της. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας ανάμεσα στον γεωδαιτικό σταθμό και σε μία εξωτερική συσκευή, μπορεί να παραλείψει το σήμα ACK που προέρχεται από την εξωτερική συσκευή προκειμένου να μην σταλεί περιττή πληροφορία.

Συνοψίζοντας, η σύνδεση RS-232 υποστηρίζει τη μεταφορά αρχείων από και προς τον Η/Υ είτε στη μορφή αρχείων ASCII είτε με διαφορετική μορφή, η οποία ωστόσο θα πρέπει να είναι συμβατή και αναγνωρίσιμη από το λειτουργικό του εκάστοτε σταθμού.

2.5 Ενσύρματη επικοινωνία USB

Ο Universal Serial Bus (USB) είναι ένας σειριακός διάυλος που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ενός Η/Υ με τα περιφερειακά του συστήματα. Ο διάυλος αυτός έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει την ταυτόχρονη σύνδεση πολλαπλών συσκευών στον Η/Υ. Αρχικά, οι κατασκευαστές συσκευών USB εξέφρασαν ανησυχίες για τις επιδόσεις διακίνησης πληροφορίας της νέας αυτής τεχνολογίας σε σχέση με τις υφιστάμενες δημοφιλείς ενσύρματες συνδέσεις του Η/Υ εκείνης της εποχής, όπως η σειριακή θύρα RS-232. Η μεγάλη καινοτομία της τεχνολογίας USB είναι το γεγονός ότι μπορεί να υποστηρίζει ταυτόχρονα πολλές συσκευές σε μια θύρα, σε αντίθεση με τις προηγούμενες συνδέσεις όπως η σειριακή θύρα RS-232 και η παράλληλη θύρα LPT που έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν μόνο μια συσκευή κάθε φορά. Επίσης, η σύνδεση USB επιτρέπει να γίνεται η σύνδεση και η αποσύνδεση των συσκευών ενώ ο Η/Υ βρίσκεται σε λειτουργία χωρίς να απαιτείται επανεκκίνηση για να χρησιμοποιείται μια συσκευή που συνδέθηκε πρόσφατα. Η μέγιστη ταχύτητα του εύρους ζώνης της σύνδεσης USB [USB full speed (FS) bandwidth] είναι 12Mbps [Garney J., 1996].

PERFORMANCE	APPLICATIONS	ATTRIBUTES
LOW-SPEED • Interactive Devices • 10 – 100 kb/s	Keyboard, Mouse Stylus Game Peripherals Virtual Reality Peripherals	Lowest Cost Ease-of-Use Dynamic Attach-Detach Multiple Peripherals
FULL-SPEED • Phone, Audio, Compressed Video • 500 kb/s – 10 Mb/s	POTS Broadband Audio Microphone	Lower Cost Ease-of-Use Dynamic Attach-Detach Multiple Peripherals Guaranteed Bandwidth Guaranteed Latency
HIGH-SPEED • Video, Storage • 25 – 400 Mb/s	Video Storage Imaging Broadband	Low Cost Ease-of-Use Dynamic Attach-Detach Multiple Peripherals Guaranteed Bandwidth Guaranteed Latency High Bandwidth

Πίνακας 2.2: Ταξινόμηση των συσκευών που μπορεί να υποστηρίξει μια σύνδεση USB 2.0 [Compaq Co., et al, 2000]

Έπειτα, επινοήθηκε η σύνδεση USB 2.0, η οποία διαθέτει μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας (high speed) η οποία φθάνει στα 480 Mbps. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζεται μια ταξινόμηση των συσκευών που μπορεί να υποστηρίξει μια σύνδεση USB 2.0, με βάση το φορτίο δεδομένων που θα διακινηθεί κατά τη λειτουργία τους [Compaq Co., et al, 2000].

Κατόπιν, εμφανίστηκαν οι θύρες USB 3.2 οι οποίες έλαβαν και τον χαρακτηρισμό Super Speed USB. Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας σήμερα, νέα είδη συσκευών και φθηνών μεγάλων αποθηκευτικών μέσων έχουν κατασκευασθεί. Αυτές απαιτούν αρκετά σημαντικό bandwidth προκειμένου να διατηρήσουν την διαλειτουργικότητα που απαιτούν οι χρήστες τους. Επιπλέον, οι εφαρμογές των χρηστών απαιτούν μια σύνδεση υψηλών δυνατοτήτων ανάμεσα στον Η/Υ και τα εξελιγμένα περιφερειακά. Η θύρα Super Speed USB καλύπτει αυτήν την ανάγκη προσθέτοντας μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς για να καλύψουν τις νέες αυτές απαιτήσεις και συσκευές. Γενικά, η θύρα USB εξακολουθεί να αποτελεί τη λύση για τη διασύνδεση και τη φόρτιση για Η/Υ και άλλες κινητές συσκευές.

Ενώ οι θύρες USB αρχικά σχεδιάστηκαν για να υποστηρίζουν μία λειτουργία, δηλαδή τη σύνδεση μιας συσκευής σε ένα Η/Υ, η θύρα USB 3.2 επιτρέπει πλέον την ταυτόχρονη λειτουργία πολλών συσκευών, σε δύο γραμμές επικοινωνίας με ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων 10 Gbps για κάθε γραμμή, άρα έως 20 Gbps στο σύνολο. Επίσης, το καλώδιο USB Type-C σχεδιάστηκε από την αρχή προκειμένου να υποστηρίξει την

ανωτέρω δυνατότητα. Οι τύποι βυσμάτων που χρησιμοποιούνται στη θύρα USB παρουσιάζονται στην εικόνα 2.5.



USB Type-A Standard-A



USB Type-A Mini-A



USB Type-A Micro-A



USB Type-B Standard-B



USB Type-B Mini-B



USB Type-B Micro-B



USB Type-C

Εικόνα 2.5: Τύποι Βυσμάτων USB

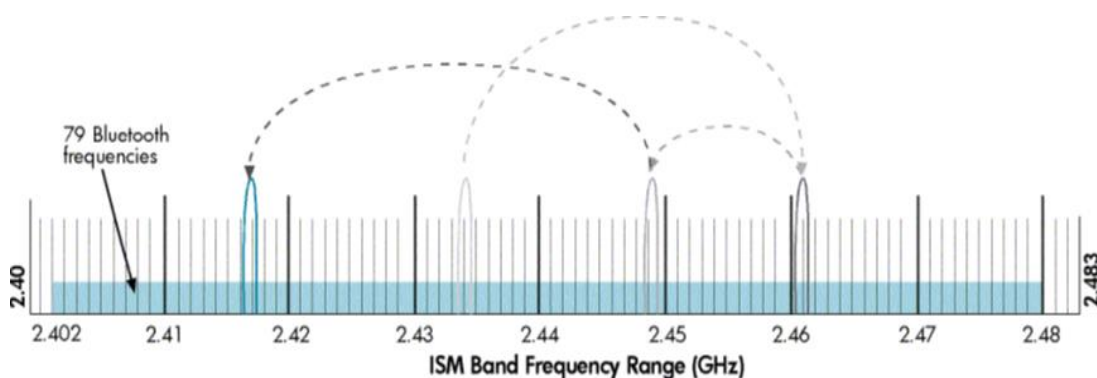
Αναλυτικά, με τη θύρα USB επιτυγχάνονται οι ακόλουθες ταχύτητες:

- 1.5 Mbps, χαμηλή (low) ταχύτητα για τη θύρα USB.
- 12 Mbps, πλήρης (full) ταχύτητα για τη θύρα USB 1.1.
- 480 Mbps, υψηλή (high) ταχύτητα για τη θύρα USB 2.
- 5 Gbps, υπερυψηλή (super speed) ταχύτητα για τη θύρα USB 3.
- 10 Gbps, υπερυψηλή (super speed) ταχύτητα για τη θύρα USB 3.1.
- 20 Gbps, υπερυψηλή (super speed) ταχύτητα για τη θύρα USB 3.2.

2.6 Ασύρματη επικοινωνία Bluetooth

Η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth (Bluetooth wireless technology - BWT) αναπτύχθηκε το έτος 1994 από την εταιρεία Ericsson στη Σουηδία. Η ονομασία Bluetooth δόθηκε στην εν λόγω τεχνολογία προς τιμή του βασιλιά των Βίκινγκς Harald Blåtand ο οποίος έζησε τον 10^ο αιώνα μ.Χ. και ένωσε ειρηνικά τη Δανία και τη Νορβηγία. Ο βασιλιάς Harald συνήθιζε να τρώει μπλε βατόμουρα, με αποτέλεσμα να χρωματίζονται αντίστοιχα και τα δόντια του. Για το λόγο αυτό είχε και το παρατσούκλι Bluetooth. Η αρχική αποστολή της τεχνολογίας BWT ήταν ο περιορισμός της ανάγκης για χρησιμοποίηση καλωδιώσεων ανάμεσα

στις φορητές συσκευές, όπως τα PDAs και τα notebook PCs. Μάλιστα, τη δεδομένη χρονική περίοδο υπήρχε ήδη σε ευρεία χρήση η υπέρυθρη τεχνολογία (infrared communication) για την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή δεν παρείχε ευελιξία, καθόσον απαιτούσε οπτική επαφή ανάμεσα στις συνδεδεμένες συσκευές. Για το λόγο αυτό η Ericsson επέλεξε να δημιουργήσει μια νέα τεχνολογία, φθηνή, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενσωματωμένη σε κάθε συσκευή, με την ικανότητα να συνδέει ασύρματα τις εν λόγω συσκευές, ακόμη κι αν παρεμβάλλονταν κάποιος τοίχος ή άλλα μη μεταλλικά αντικείμενα ανάμεσά τους.



Σχήμα 2.9: Η λειτουργία "frequency hopping" της τεχνολογίας BWT
[Hewlett-Packard Co., 2004]

Εξαιτίας των μεγάλων δυνατοτήτων της τεχνολογίας BWT, δημιουργήθηκε η Ομάδα Bluetooth Special Interest Group (SIG) το έτος 1998, προκειμένου να αναπτύξει τις προδιαγραφές IEEE 802.15. Οι προδιαγραφές αυτές τυποποίησαν την ανάπτυξη συσκευών με εγκατεστημένη τη λειτουργία BWT, προκειμένου οι συσκευές αυτές που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές να μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους [Hewlett-Packard Co., 2004].

Όσον αφορά στα τεχνικά της χαρακτηριστικά, η τεχνολογία BWT χρησιμοποιεί την ελεύθερη συχνότητα 2.4-gigahertz (GHz), η οποία ονομάζεται Industrial, Science Medical band (ISM). Το εύρος συχνοτήτων ISM ποικίλει από 2.400 GHz έως 2.483 GHz. Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται 71 επιμέρους συχνότητες του 1-megahertz (από 2.402 GHz έως 2.480 GHz) στην ISM. Οι συσκευές που εφαρμόζουν την τεχνολογία BWT, χρησιμοποιούν την τεχνική που αποκαλείται frequency hopping προκειμένου να περιοριστούν οι υποκλοπές και οι παρεμβολές από άλλα δίκτυα που χρησιμοποιούν τη συχνότητα ISM, ως σχήμα 2.9. Με την τεχνική αυτή τα δεδομένα χωρίζονται σε μικρά πακέτα που αποκαλούνται packets. Ο πομπός και ο δέκτης ανταλλάσσουν ένα data

packet σε μία συχνότητα και έπειτα χρησιμοποιούν άλλη συχνότητα (hop) για να ανταλλάξουν το επόμενο data packet.

Έπειτα, επαναλαμβάνουν αυτή τη διαδικασία, ώσπου το σύνολο της πληροφορίας να μεταδοθεί. Οι επαναλήψεις αυτές φθάνουν τις 1600 ανά δευτερόλεπτο, ρυθμός πολύ μεγαλύτερος από εκείνο των λοιπών συσκευών που χρησιμοποιούν τις συχνότητες ISM. Συνεπώς οι συσκευές BWT είναι θωρακισμένες από την παρεμβολή των λοιπών συσκευών που προαναφέρθηκαν. Επιπλέον, η τεχνολογία BWT χρησιμοποιεί τρεις μηχανισμούς ασφάλειας, ως εξής [Hewlett-Packard Co., 2004]:

- *Πιστοποίηση* (Authentication). Πιστοποιεί την ταυτότητα μιας BWT συσκευής που προσπαθεί να συνδεθεί με την συσκευή του υπόψη χρήστη.
- *Εξουσιοδότηση* (Authorization). Εφόσον ολοκληρωθεί ο μηχανισμός πιστοποίησης, η BWT συσκευή εξουσιοδοτεί (authorizes) την άλλη BWT συσκευή να έχει πρόσβαση σε συγκεκριμένη υπηρεσία της.
- *Κρυπτογράφηση* (Encryption). Μεταφράζει τα δεδομένα σε ένα μορφότυπο (format) το οποίο μπορεί να είναι αναγνώσιμο μόνο από την άλλη συσκευή που είναι σε ζεύξη, καθώς αυτή έχει το ίδιο encryption key.

Η τεχνολογία BWT χρησιμοποιεί τρία επίπεδα ασφάλειας (modes), ως εξής [Hewlett-Packard Co., 2004]:

- *Επίπεδο 1 (Mode 1)*. Κανένας περιορισμός ασφάλειας. Ο καθένας μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτή τη BWT συσκευή. Συνήθως χρησιμοποιείται σε κοινόχρηστες συσκευές, όπως οι εκτυπωτές.
- *Επίπεδο 2 (Mode 2)*. Ο χρήστης παραχωρεί το δικαίωμα χρήσης σε συγκεκριμένες υπηρεσίες της συσκευής σε άλλους χρήστες (*Service Level security*). Για παράδειγμα κάποιος χρήστης μπορεί να επιτρέψει σε άλλους χρήστες την πρόσβαση στην ηλεκτρονική του κάρτα στο PDA του αλλά όχι σε άλλες πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό.
- *Επίπεδο 3 (Mode 3)*. Οι BWT συσκευές θα πρέπει να "ζευγαρώσουν", διαδικασία που ονομάζεται και ως *Pairing*, πριν να καθιερώσουν μια σύνδεση για την ανταλλαγή δεδομένων (*Link Level security*).

Με τη διαδικασία *Pairing* καθίσταται δυνατή η αυτόματη σύνδεση ανάμεσα σε δύο BWT συσκευές, εφόσον έχει προηγηθεί μια επιτυχής μεταξύ τους σύνδεση. Αναλυτικότερα, εφόσον είναι ενεργοποιημένη η επιλογή *Secure Connection*, οι δύο συσκευές θα βρεθούν σε ζεύξη αυτόματα την πρώτη φορά που συνδέονται, με την προϋπόθεση ένα

password ή passkey να έχει ανταλλαγή μεταξύ τους επιτυχώς. Έπειτα, στις δύο αυτές συσκευές αποθηκεύεται ένα κοινό *link key*, οπότε στις μελλοντικές μεταξύ τους συνδέσεις, δεν απαιτείται η ανταλλαγή του passkey. Οι BWT συσκευές παραμένουν σε ζεύξη, ακόμη κι όταν, μία από τις συσκευές δεν είναι ενεργοποιημένη, μία ή και οι δύο συσκευές επανεκκινήσουν, η υπηρεσία διασύνδεσης (service connection) έχει διακοπή ή τερματιστεί.

Κλάση (Class)	Μέγιστη Ισχύς (Max. Power) (mW)	Εκτιμώμενη Εμβέλεια (Approx. Range) (m)
1	100	100
2	2.5	10
3	1	1

Πίνακας 2.3: Βασικά χαρακτηριστικά των κλάσεων των συσκευών Bluetooth [PC Magazine, 2020]

Version	Data Rate
Version 1.2	1 Mbit/s
Version 2.0	3 Mbit/s
Version 3.0	24 Mbit/s

Πίνακας 2.4: Βασικά χαρακτηριστικά των εκδόσεων των συσκευών Bluetooth [Chadha S. S., et al, 2013]

Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των κλάσεων και στον πίνακα 2.4 τα βασικά χαρακτηριστικά των εκδόσεων Bluetooth.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί η επισήμανση κατασκευαστικών οίκων για τη μη καταλληλότητα της τεχνολογίας Bluetooth για τις λειτουργίες Video και Scanning των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών που παράγουν [Trimble, 2007].

2.7 Ασύρματη επικοινωνία Wi-Fi

Το ασύρματο τοπικό δίκτυο WLAN (Wireless Local Area Network) είναι μία μεθοδολογία επικοινωνίας, η οποία καθιστά δυνατή την επικοινωνία και τη μεταφορά δεδομένων μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η πρώτη προσπάθεια για την ασύρματη διασύνδεση H/Y πραγματοποιήθηκε το έτος 1971 στο πανεπιστήμιο της Χαβάης των ΗΠΑ, η οποία και ονομάστηκε ALOHANET. Ο ερευνητής Norman Abramson και οι συνεργάτες του επινόησαν μια μεθοδολογία με βάση τα

ραδιοκύματα για τη διασύνδεση απομακρυσμένων Η/Υ στα νησιά του συμπλέγματος της Χαβάης με έναν κεντρικό Η/Υ στη Χονολουλού, καθώς η πόντιση καλωδίων στον Ειρηνικό ωκεανό ήταν αδύνατη [Tanenbaum A., Wetherall D., 2011].

Το έτος 1985 η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των Η.Π.Α (FCC – Federal Communications Commission) καθόρισε το εύρος συχνοτήτων που θα χρησιμοποιείται για κάθε τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή μέσω της κοινής χρήσης του φάσματος συχνοτήτων ISM (Instrumentation, Scientific and Medical), στο οποίο στηρίχθηκε και η κατασκευή όλων των τεχνολογιών WLAN [Λεβέντης Σ., 2006].

Αντίστοιχα, στην Ευρώπη το έτος 1991 ξεκίνησε ο σχεδιασμός του προτύπου hiperLAN από το ETSI (European Telecommunications Standards Institute), το οποίο εγκρίθηκε το έτος 1996 και επέδειξε αξιολογικά αποτελέσματα. Το έτος 1997 ο Οργανισμός IEEE παρουσίασε το πρότυπο IEEE 802.11, το οποίο αποτελεί το πρώτο πρότυπο που αναπτύχθηκε για την ασύρματη δικτύωση και εξακολουθεί να ακολουθείται από τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα μέχρι και σήμερα [Καπόνιας Α., 2016].

Το πρότυπο IEEE 802.11 χρησιμοποιείται με πολλές και διαφορετικές ονομασίες. Κάποιοι το αποκαλούν *wireless Ethernet*, προκειμένου να δώσουν έμφαση στην αντίθεση αλλά και τη συνάφεια με το ενσύρματο Ethernet (802.3). Επίσης, η Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) προώθησε το πρόγραμμα πιστοποίησης με τίτλο *Wi-Fi* (Wireless-Fidelity). Κάθε κατασκευαστής που ενσωματώνει το πρότυπο IEEE 802.11 μπορεί να ζητήσει να ελεγχθούν τα προϊόντα του για την διαλειτουργικότητα κατά το πρότυπο. Σε περίπτωση που τα προϊόντα περνούν επιτυχώς τον έλεγχο μπορούν να φέρουν την ένδειξη *Wi-Fi* [Gast M., 2002].

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν υποπρότυπα του IEEE 802.11, όπως το IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11f, IEEE 802.11g και IEEE802.11n [Ξύθαλη Ι., 2014]. Από τα ανωτέρω υποπρότυπα, στους σύγχρονους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα.

Το υποπρότυπο IEEE 802.11b. Αναπτύχθηκε το έτος 1999 και αποτελεί μια επέκταση του αρχικού προτύπου IEEE 802.11. Η αποτελεσματικότητα και η διαλειτουργικότητα που το διακρίνουν το καθιστούν το δημοφιλέστερο ανάμεσα σε όλα τα υποπρότυπα. Σε σχέση με το πρότυπο IEEE 802.11 ο τρόπος πρόσβασης των συσκευών και οι τρόποι λειτουργίας παραμένουν οι ίδιοι και οι περαιτέρω προσθήκες του αφορούν στον τρόπο μετάδοσης. Ειδικότερα, η μετάδοση γίνεται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz, σε ρυθμούς 5.5Mbps και 11Mbps με

κωδικοποίηση Complementary Code Keying (CCK) [Hiertz G., et al, 2010].

Το υποπρότυπο IEEE 802.11g. Αποτελεί ουσιαστικά επέκταση του υποπροτύπου IEEE 802.11b. Πέραν των ρυθμών μετάδοσης με διαμόρφωση CCK, προδιαγράφει και ρυθμούς μετάδοσης με διαμόρφωση Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), έως 54Mbps. Οι συσκευές που το εφαρμόζουν διατηρούν τη συμβατότητά τους με το υποπρότυπο IEEE 802.11b [Hiertz G., et al, 2010].

Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των υποπροτύπων που χρησιμοποιούνται στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς, όπως και τα αντίστοιχα του αρχικού προτύπου.

802.11 Extension	Supported Data Rates
802.11	1, 2 Mbps
802.11a	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps 6, 12, and 24 Mbps are mandatory
802.11b	1, 2, 5.5, 11 Mbps
802.11g	1, 2, 5.5, 11, 6, 9, 12, 18, 22, 24, 33, 36, 48, 54 Mbps 1, 2, 5.5, 11, 6, 12 and 24 Mbps are mandatory 22 and 33 Mbps are typically not supported
802.11n	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54, 121.5, 130, 144.44, 270, 300 Mbps

Πίνακας 2.5: Βασικά χαρακτηριστικά προτύπων IEEE 802.11 που χρησιμοποιούνται στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς [Digi Int. Inc., 2008]

Ένα πλεονέκτημα του δικτύου Wi-Fi είναι η διαθεσιμότητα των προϊόντων Wi-Fi καθώς και πολλές εταιρείες προσπαθούν να προσφέρουν στους πελάτες τους εξοπλισμό και λογισμικό, προκειμένου να έχουν πρόσβαση σε ένα δίκτυο Wi-Fi. Επίσης, η κινητικότητα αποτελεί ένα πλεονέκτημα του δικτύου Wi-Fi, διότι οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται σε συγκεκριμένο hotspot χωρίς να χάνουν τη σύνδεση δικτύου Wi-Fi. Μειονέκτημα είναι η χρήση των συχνοτήτων του δικτύου Wi-Fi από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, τις συσκευές Bluetooth και άλλες οικιακές συσκευές όπως φούρνους μικροκυμάτων. Έτσι, ελλοχεύει ο κίνδυνος οι χρήστες του να επιλέξουν ένα σημείο πρόσβασης που να είναι κοντά σε κάποια από τις συσκευές που αναφέρθηκαν και να προκληθεί απώλεια σήματος ή επιδείνωση της σύνδεσης ή ακόμη και διακοπή [Al-Alawi A. I., 2006].

2.8 Σύγκριση μεθόδων επικοινωνίας

Από την ανάλυση της θεωρίας διάδοσης σημάτων και των διατάξεων επικοινωνίας που ενσωματώνουν οι σύγχρονοι χωροεικογεωδαιτικοί σταθμοί, συγκρατούνται τα ακόλουθα κύρια σημεία που αφορούν την παρούσα μελέτη.

Το μέγεθος που καθορίζει το όριο στον ρυθμό με τον οποίο ένα κανάλι μπορεί να μεταδώσει δεδομένα, ονομάζεται *μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης* (*maximum transmission speed*) ή *εύρος ζώνης* (*bandwidth*) του καναλιού.

Ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη μεταφορά πληροφορίας είναι η *καθυστέρηση* (*delay*) και αποτελείται από την *καθυστέρηση διάδοσης* (*propagation delay - t_{pr}*) και την *καθυστέρηση μετάδοσης* (*transmission delay - t_{tr}*). Η καθυστέρηση διάδοσης t_{pr} οφείλεται στην πεπερασμένη ταχύτητα διάδοσης του σήματος μέσα στο κανάλι και εξαρτάται από το φυσικό μήκος του συνδέσμου, ενώ η καθυστέρηση μετάδοσης t_{tr} οφείλεται στον πεπερασμένο ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας και εξαρτάται από το μέγεθος των δεδομένων που μεταδίδονται και το *εύρος ζώνης* (*bandwidth*) του καναλιού.

Στην πράξη, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας καθορίζεται από το εύρος της ζώνης του καναλιού επικοινωνίας, ενώ υπάρχουν και διάφοροι λοιποί παράγοντες που τον περιορίζουν. Τελικά, ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης ενός καναλιού, ονομάζεται *διεκπεραιωτική ικανότητα* (*throughput, R*) ή *ρυθμαπόδοση* και ορίζεται ως το πηλίκο ανάμεσα στο *μεγεθος δεδομένων* (l , σε bits) και στον *χρόνο* που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της μετάδοσης (t).

Η *ρυθμαπόδοση* στα σύγχρονα ψηφιακά δίκτυα υψηλών ταχυτήτων εξαρτάται κυρίως από την απόσταση επικοινωνίας, άρα από την καθυστέρηση διάδοσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός οι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται πλέον είναι προηγμένης τεχνολογίας και παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα η καθυστέρηση μετάδοσης συνεχώς μειώνεται και τείνει να γίνει αμελητέα.

Τα φυσικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα στα σύγχρονα ψηφιακά δίκτυα υψηλών ταχυτήτων καλούνται σύνδεσμοι και τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- Το *συνεστραμμένο ζεύγος* (*twisted pair*), με εύρος ζώνης μέχρι 100Mbps σε αποστάσεις έως 100m. Χρησιμοποιείται κυρίως στο τηλεφωνικό δίκτυο και σε τοπικά δίκτυα H/Y (Ethernet).
- Το *ομοαξονικό καλώδιο* (*coaxial cable*), με εύρος ζώνης μέχρι 100Mbps σε αποστάσεις έως 500m.

- Η *οπτική ίνα (optical fiber)*, με εύρος ζώνης μέχρι 10Gbps σε αποστάσεις έως 40km.
- Το *ασύρματο κανάλι (wireless channel)*, με εύρος ζώνης που ποικίλει ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία. Το ασύρματο κανάλι ουσιαστικά χρησιμοποιεί μια περιοχή συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, για τη μετάδοση της πληροφορίας. Επισημαίνεται ωστόσο, ότι η χρήση των συχνοτήτων δεν είναι ελεύθερη.

Ως *δίκτυο Η/Υ* ορίζεται ένα σύνολο από δύο ή περισσότερους Η/Υ, που αποκαλούνται *κόμβοι (nodes)* και είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα φυσικά μέσα. Οι *κόμβοι* και οι *σύνδεσμοι* αποτελούν τους *πόρους (resources)* του δικτύου.

Προκειμένου να συνδεθεί ένας Η/Υ με το δίκτυο Η/Υ χρησιμοποιείται ο *προσαρμογέας δικτύου (network interface)*. Ένα σημαντικό φαινόμενο που μπορεί να μειώσει την αξιοπιστία του δικτύου είναι η *απώλεια πακέτων* λόγω της λειτουργίας ενός κόμβου, λόγω της κατάρρευσης ενός κόμβου και λόγω της εξάντλησης αποθηκευτικού χώρου, χωρίς να είναι δυνατό να ανιχνευθεί ποια από τις τρεις είναι η αιτία για την απώλεια πακέτων.

Τα δίκτυα Ethernet αναπτύχθηκαν αρχικά στα μέσα της δεκαετίας του 1970 και σήμερα αποτελούν την πλέον επιτυχημένη τεχνολογία στην υλοποίηση τοπικών δικτύων με εκδόσεις που επιτυγχάνουν ταχύτητες από 100 Mbps έως και 1 Gbps.

Η ενσύρματη επικοινωνία RS-232, βασίζεται στο πρότυπο Recommended Standard 232 για τη σειριακή μετάδοση δυαδικών δεδομένων και αποτέλεσε την πρώτη μέθοδο ενσύρματης επικοινωνίας για τη μεταφορά μετρήσεων από τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς στους Η/Υ. Τα δεδομένα μεταφέρονται στον Η/Υ με τη μορφή αρχείων ASCII ή .txt. Στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς η ικανότητα μεταφοράς δεδομένων φτάνει συνήθως τα 19200 bits per second (19.2 Kbps).

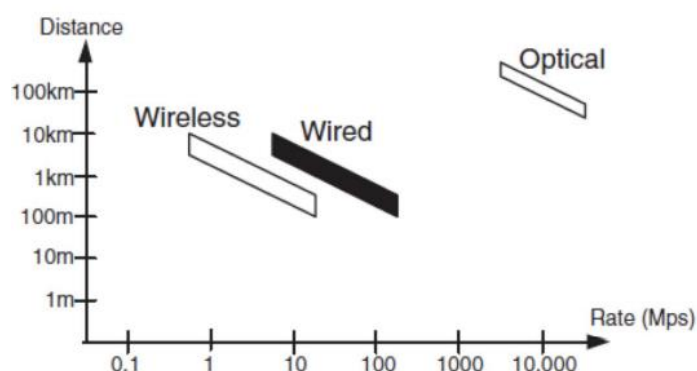
Η ενσύρματη επικοινωνία USB (Universal Serial Bus) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ενός Η/Υ με τα περιφερειακά του συστήματα. Με τη θύρα USB επιτυγχάνονται ταχύτητες από 1.5 Mbps έως και 20 Gbps. Προκειμένου να μεταδοθούν εικόνες και αρχεία video ενδείκνυται η χρησιμοποίηση της έκδοσης USB 2.0, η οποία παρέχει τη δυνατότητα υψηλής ταχύτητας από 25 Mbps έως 480 Mbps.

Η ασύρματη επικοινωνία Bluetooth αναπτύχθηκε το έτος 1994 με σκοπό την ασύρματη σύνδεση συσκευών. Οι συνήθεις διατάξεις Bluetooth που ενσωματώνουν οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί είναι Ver.1.2/Class2, με εκτιμώμενη εμβέλεια έως 10m και ρυθμό μετάδοσης

δεδομένων έως 0.7 Mbps. Αξίζει να σημειωθεί ότι από κατασκευαστικούς οίκους χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών έχει επισημανθεί ότι η τεχνολογία BWT δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λειτουργίες Video και Scanning.

Το ασύρματο τοπικό δίκτυο WLAN είναι μία μεθοδολογία ασύρματης επικοινωνίας. Το έτος 1997 παρουσιάστηκε το πρότυπο IEEE 802.11, το οποίο αποτελεί το πρώτο πρότυπο που αναπτύχθηκε για την ασύρματη δικτύωση και εξακολουθεί να εφαρμόζεται με τα υποπρότυπά του μέχρι και σήμερα από τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα. Το υποπρότυπο IEEE 802.11b είναι το πιο δημοφιλές από όλα τα υποπρότυπα και επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης 5.5Mbps και 11Mbps. Αντίστοιχα, το υποπρότυπο IEEE 802.11g αποτελεί μια επέκταση του 802.11b με σκοπό την υποστήριξη μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης μέχρι 54Mbps.

Στο σχήμα 2.10 παρουσιάζεται εποπτικά η σύγκριση ανάμεσα στους ενσύρματους, ασύρματους και οπτικούς συνδέσμους με τους τελευταίους προφανώς να υπερτερούν στη μετάδοση του σήματος.



Σχήμα 2.10: Συγκριτική θεώρηση των γενικών χαρακτηριστικών των μεθόδων μετάδοσης σήματος [Walrand J., Parekh S., 2010]

Item	Satellite				
	Wire-Pair Cable	LOS Microwave	Communication	Fiber Optics	Coaxial Cable
Bandwidth	2 MHz to 400 MHz	500/2500 MHz	500/2500 MHz	120 GHz per band	up to 1 GHz
Common bit rates	1.544/2.048 Mbps	155 Mbps	2.048 Mbps	2.4/10/40 Gbps	100 Mbps
Achievable bit rates	100 Mbps	622 Mbps	155 Mbps	4000 Gbps per fiber	1 Gbps
Limitations	Length-limited	By statute	By statute; delay	Severing cable	Severing cable
Applications	LANs, TelCo outside plant	Long-distance/short-distance links, TelCo and CATV, private networks	VSAT networks, long-distance links, video transport	For every broadband terrestrial application	CATV last mile/last 100 feet; RF transport short distances; otherwise limited.

Πίνακας 2.6: Συγκριτική θεώρηση των επιμέρους χαρακτηριστικών των μεθόδων μετάδοσης σήματος [Freeman L. R., 2005]

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις για τις διατάξεις επικοινωνίας που ενσωματώνουν οι σύγχρονοι χωροεικογεωδαιτικοί σταθμοί:

- Η ενσύρματη επικοινωνία με θύρα **RS-232C**, δεν ενδείκνυται για την εκτέλεση μετρήσεων εξ αποστάσεως αφενός διότι τα δεδομένα μεταφέρονται στον Η/Υ με τη μορφή αρχείων ASCII ή .txt και αφετέρου διότι η ικανότητα μεταφοράς δεδομένων φτάνει τα 19.2 Kbps, που δεν επαρκεί για τη μεταφορά εικόνας και video.
- Η ενσύρματη επικοινωνία με θύρα **USB 2.0** ενδείκνυται για την εκτέλεση μετρήσεων εξ αποστάσεως διότι παρέχει τη δυνατότητα υψηλής ταχύτητας από 25 Mbps έως 480 Mbps.
- Η ασύρματη τεχνολογία **Bluetooth** δεν ενδείκνυται για την εκτέλεση μετρήσεων εξ αποστάσεως αφενός διότι διαθέτει περιορισμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (0.7 Mbps) και αφετέρου διότι έχει ήδη επισημανθεί από κατασκευαστικούς οίκους ότι η τεχνολογία αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λειτουργίες Video και Scanning.
- Η ασύρματη τεχνολογία **WLAN** ή αλλιώς **Wi-Fi**, με την εφαρμογή των υποπροτύπων IEEE 802.11b και IEEE 802.11g ενδείκνυται για την εκτέλεση μετρήσεων εξ αποστάσεως καθόσον μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μέχρι 54Mbps.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟ

3.1 Γενικά

Η μέθοδος Remote Survey που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το έτος 2014 [Lambrou E., 2014], αποτελεί ουσιαστικά έναν συνδυασμό εξοπλισμού, λογισμικού και τρόπων μετάδοσης του σήματος, ο οποίος επιτρέπει στον Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό να εκτελεί παρατηρήσεις από ένα απομακρυσμένο σημείο, χωρίς να βρίσκεται υποχρεωτικά στη θέση που βρίσκεται εγκατεστημένος ο γεωδαιτικός σταθμός. Η εν λόγω μέθοδος αποτελεί σημείο αναφοράς για κάθε μελλοντική προσπάθεια καθόσον έθεσε το πλαίσιο για τον τηλεχειρισμό των σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών. Πιο συγκεκριμένα, στα εργαστήρια του ΕΜΠ, κατέστη δυνατός ο τηλεχειρισμός ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού και η εκτέλεση παρατηρήσεων εξ αποστάσεως από έναν παρατηρητή, με τη βοήθεια δύο Η/Υ που συνδέθηκαν ενσύρματα στο διαδίκτυο. Επίσης, εκτελέστηκαν παρατηρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων σύμφωνα με τις προβλέψεις του προτύπου ISO 17123-3 προκειμένου να διαπιστωθεί η ποιότητα των εξ αποστάσεως παρατηρήσεων.

Οι στατιστικοί έλεγχοι που εφαρμόστηκαν σύμφωνα με το εν λόγω πρότυπο απέδειξαν ότι ο εξ αποστάσεως χειρισμός του σταθμού δεν υποβάθμισε την ονομαστική ακρίβεια που επιτυγχάνει στη μέτρηση διευθύνσεων. Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε και με διαφορετικά είδη στόχων και τα αποτελέσματα ήταν εξίσου αποδεκτά.

3.2 Το θεωρητικό πλαίσιο της μεθόδου Remote Survey

Τη σημερινή εποχή αυξάνεται διαρκώς η ζήτηση για εξειδικευμένες γεωδαιτικές εργασίες, όπως για αποτυπώσεις μεγάλων κτηρίων, παρακολούθηση γεφυρών, ουρανοξυστών, φραγμάτων και άλλων σύγχρονων κατασκευών. Οι εργασίες αυτές αποτελούν πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα διότι παρουσιάζουν αυξημένες απαιτήσεις σε προσωπικό και λοιπούς διαθέσιμους πόρους. Για την εκτέλεσή τους έχουν αναπτυχθεί πολλές και διαφορετικές τεχνικές τριδιάστατων γεωδαιτικών αλλά και φωτογραμμετρικών μετρήσεων.

Μια πρωτοποριακή προσπάθεια διασύνδεσης ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού (Topcon GTS3) με έναν Η/Υ (Laptop με

εγκατεστημένο το λογισμικό Autocad) μέσω ενσύρματης σύνδεσης RS 232, πραγματοποιήθηκε το 1998 στην Ιαπωνία, κοντά στο ηφαίστειο Eniwa, για την καταγραφή της ανασκαφής ενός γεωλογικού ρήγματος, που είχε προκύψει από σεισμό, εξαιτίας μιας έκρηξης του ηφαιστείου. Στο σύστημα αυτό ο χειριστής σκόπευε το πρίσμα από το όργανο και μετά με το ποντίκι στο Laptop έδινε εντολή μέτρησης και καταγραφής, με αποτέλεσμα το σχέδιο να υλοποιείται σχεδόν εξ ολοκλήρου στο πεδίο (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Σύστημα καταγραφής της ανασκαφής ενός γεωλογικού ρήγματος στο ηφαίστειο Eniwa στο Hokkaido Ιαπωνίας

Επιπλέον, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρουσίαση ενός πρωτότυπου συνδυασμού ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού και ψηφιακής κάμερας και η περιγραφή των διαδικασιών βαθμονόμησης του συστήματος αυτού [Walser B. H., 2004]. Στην ίδια εργασία συγκρίθηκαν μετρήσεις στόχων που υλοποιήθηκαν στις ληφθείσες εικόνες με αντίστοιχες κλασικές μετρήσεις στους ίδιους στόχους. Έμφαση δόθηκε στην αξιολόγηση της ακρίβειας των εν λόγω μετρήσεων, ενώ αναπτύχθηκαν και αλγόριθμοι για την ημιαυτόματη ανίχνευση στόχων από τις εικόνες με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Ακόμη ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τοποθέτηση καμερών βίντεο σε έναν γεωδαιτικό σταθμό για την αποτύπωση κτηρίων. Με τον τρόπο αυτό υλοποιήθηκε επίσης η διασύνδεση ανάμεσα στην Τοπογραφία και στη Φωτογραμμετρία στον τομέα της αποτύπωσης κτηρίων [Juretzko M., 2005].

Επίσης, αξιοσημείωτες εργασίες πραγματοποιήθηκαν στο επιστημονικό πεδίο των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων, προκειμένου να προσδιοριστούν οι συνιστώσες της απόκλισης της κατακορύφου (ξ , η). Αυτές οι προσπάθειες στοχεύουν στην αξιοποίηση είτε των εικόνων

μιας CCD κάμερας που είναι συνδεδεμένη στον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό [Hirt C., et al, 2010] είτε των δυνατοτήτων που προκύπτουν από τη διασύνδεση ενός δέκτη του Global Navigation Satellite System (GNSS) με έναν ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό [Balodimos D. D., et al, 2003], [Λάμπρου E., 2003], [Lambrou E., Pantazis G., 2008] προκειμένου να διευκολυνθεί ο παρατηρητής κατά τις δύσκολες νυχτερινές παρατηρήσεις.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα της Γεωδαισίας οδήγησε στην κατασκευή των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών. Αυτοί βασίζονται στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, που κατ' ελάχιστον περιλαμβάνουν ένα ηλεκτρονικό θεοδόλιχο, ένα αποστασιόμετρο EDM και έναν μικροεπεξεργαστή [Kavanagh B., Bird S., 2000], ενώ επιπλέον ενσωματώνουν αφενός στο τηλεσκόπιό τους μία CCD κάμερα υψηλής ανάλυσης για την καταγραφή του στόχου και την αναμετάδοσή του στην οθόνη τους, αφετέρου στον H/Y τους το ευρέως διαδεδομένο και φιλικό στο χρήστη λειτουργικό σύστημα Windows CE. Το εν λόγω λειτουργικό επιτρέπει την εγκατάσταση πολλών εφαρμογών για τον χειρισμό των σταθμών και την εκτέλεση πολλαπλών εργασιών στο πεδίο. Οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται ήδη σε ειδικές εφαρμογές όπως στις μεθόδους απομακρυσμένης παρακολούθησης αντί των laser scanners ή των terrestrial aperture radar και στις αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις [Lambrou E., 2013]. Ο κύριος λόγος είναι ότι καθιστούν ικανή την υψηλή ακρίβεια, καλύτερη του 1 mm και στις τρεις διαστάσεις [Reiterer A., et al, 2008].

Επίσης, ένα νέο σύστημα αναπτύχθηκε, βασισμένο σε χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς, για την ανίχνευση ειδικών στόχων, όπως τομές ακμών [Reiterer A., et al, 2007]. Ταυτόχρονα με την εξέλιξη των ρομποτικών ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών υπήρξε και σημαντική εξέλιξη στον τομέα της πληροφορικής με την ανάπτυξη εξελιγμένων λογισμικών. Έτσι, η αμφίδρομη διαβίβαση της πληροφορίας που συλλέγεται από το πεδίο στο γραφείο και αντίστροφα μέσω του διαδικτύου κατέστη εφικτή [Brooks O., 2011]. Ακόμη, αναπτύχθηκαν εξελιγμένα συστήματα που αποτελούνται από ρομποτικούς ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς και δέκτες με μικρομηχανισμούς, βασισμένους σε μικροηλεκτρονικά μηχανικά συστήματα (microelectromechanical systems - MEMS). Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση παραμορφώσεων καθώς υποστηρίζονται από λογισμικό εντοπισμού παραμορφώσεων. Επιπρόσθετα, αυτά τα όργανα μπορούν να αξιοποιήσουν μεθόδους ασύρματης ενδοεπικοινωνίας που ενσωματώνουν μεταφορά δεδομένων μέσω του διαδικτύου [Danisch L., et al, 2008]. Επιπλέον, σε παγκόσμια κλίμακα χρησιμοποιούνται δέκτες του GNSS, σε μόνιμα δίκτυα, για την

παρακολούθηση κατασκευών, όπως φράγματα και γέφυρες. Αυτοί οι δέκτες συνδέονται είτε ενσύρματα είτε ασύρματα στο διαδίκτυο με σκοπό τη διάδοση της πληροφορίας σε χρήστες σε όλο τον κόσμο [Hongwei L., Jinping O., 2006].

Για την υποβοήθηση των πελατών τους, αξιόπιστοι κατασκευαστικοί οίκοι παράγουν έξυπνο λογισμικό το οποίο επιτρέπει την αποστολή ή θέαση πληροφορίας από ένα όργανο προς έναν Η/Υ και το αντίστροφο, μέσω ασύρματης σύνδεσης στο διαδίκτυο. Έτσι, καθίσταται δυνατή η εξ αποστάσεως ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας ενός οργάνου, δέκτη GNSS ή ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, με τη συνδρομή της εταιρείας. Αυτό το λογισμικό, το οποίο δεν διατίθεται δωρεάν, όπως το Trimble Access [Trimble, 2009] ή το Leica Active Assist [Leica, 2011], στοχεύει στην παροχή βοήθειας στους χρήστες τους σε δύσκολες καταστάσεις.

Ένα βήμα μπροστά βρίσκεται η μέθοδος Remote Survey, η οποία βασίζεται στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών και κατέστησε δυνατό τον τηλεχειρισμό ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού και την εκτέλεση παρατηρήσεων εξ αποστάσεως από έναν παρατηρητή, με τη βοήθεια δύο Η/Υ που συνδέθηκαν ενσύρματα στο διαδίκτυο [Lambrou E., 2014]. Αυτό σημαίνει ότι ένας παρατηρητής είναι ικανός να σκοπεύσει, να μετρήσει, να σαρώσει, να εμποτεύσει το πεδίο εργασιών και να επικοινωνήσει με τους συνεργάτες του από απόσταση μέσω της οθόνης ενός Η/Υ. Επιπλέον, είναι ικανός να επιλέξει ή και να αλλάξει τον χρόνο της σκόπευσης ή οτιδήποτε άλλο στο χρονοδιάγραμμα του πεδίου εργασιών σε πραγματικό χρόνο σύμφωνα με τις προθέσεις του. Όλα τα ανωτέρω πλεονεκτήματα επιτυγχάνονται χωρίς επιπρόσθετο κόστος με τη χρήση εύχρηστων διασυνδέσεων. Η μόνη επιβάρυνση αφορά στην εγκατάσταση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στην κατάλληλη τοποθεσία ή στην αντικατάσταση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που είναι δυνατόν να αποφευχθεί εάν ο σταθμός συνδεθεί σε μια μόνιμη πηγή ρεύματος. Σε κάθε περίπτωση, η κύρια μέριμνα του παρατηρητή θα είναι η φυσική ασφάλεια του οργάνου. Ουσιαστικά, η Remote Survey είναι μια εναλλακτική μέθοδος για τη συλλογή πληροφορίας. Τονίζεται ότι, αυτή η διαδικασία αφορά κυρίως σε εξειδικευμένες γεωδαιτικές εφαρμογές όπως η παρακολούθηση κατασκευών ή την επιστημονική έρευνα και δεν ενδείκνυται για οριοθετήσεις ή πιστοποιήσεις ή λοιπές εργασίες που αναλαμβάνουν αδειοδοτημένοι επαγγελματίες Τοπογράφοι Μηχανικοί.

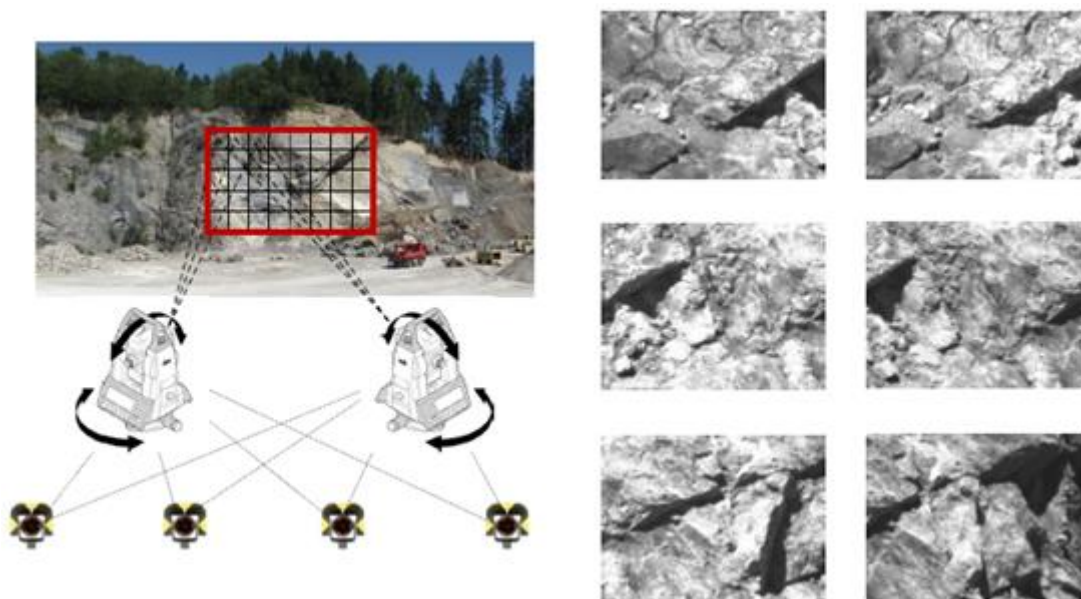
Μετά την παρουσίαση της μεθόδου Remote Survey συνεχίστηκε η προσπάθεια για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων των νέων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών, κάποιιοι από τους οποίους μάλιστα δεν

περιλαμβάνουν πλέον τηλεσκόπιο [Lachat E., et al, 2017] και η διεθνής επιστημονική έρευνα εστιάστηκε κυρίως στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων των ενσωματωμένων καμερών στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς, με την ανάπτυξη τεχνικών ανάλυσης της εικόνας και βελτιστοποίησης της διαδικασίας αναγνώρισης εντοπισμού και καταγραφής των στόχων.

Ειδικότερα, αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι χρήσης των IATS που αφορούν στην παρακολούθηση κατασκευών - structural monitoring (εικόνα 3.2) και σε εφαρμογές γεωεπιτήρησης - geo-monitoring (εικόνα 3.3), με απώτερο σκοπό την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των σταθμών για αυτόματη και αυτόνομη λειτουργία σε συστήματα παρακολούθησης [Wagner A., 2017].



Εικόνα 3.2: Structural Health Monitoring [Wagner A., et al, 2016]

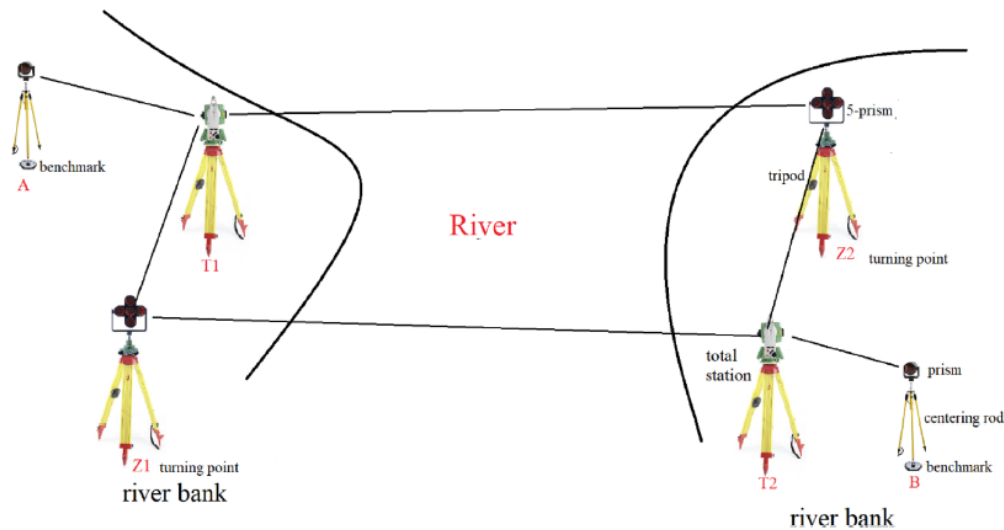


Εικόνα 3.3: Geo-monitoring – Stereo configuration [Wagner A., et al, 2016]

Όσον αφορά στην παρακολούθηση κατασκευών οι μετρήσεις των IATSs αποδείχθηκε ότι είναι εφάμιλλες με τις συμβατικές μετρήσεις των ρομποτικών σταθμών ή με τις μετρήσεις των επιταχυνσιομέτρων, ενώ έχουν το πλεονέκτημα της παρατήρησης καταγραφής των φυσικών χαρακτηριστικών των κατασκευών από την κάμερα που διαθέτουν εγκατεστημένη στο τηλεσκόπιο τους [Ehrhart M., et al, 2017]. Σε άλλη περίπτωση υλοποιήθηκε ανάλυση μετατοπίσεων και ταλαντώσεων σε δύο διαφορετικές συνθήκες [Omidalizarandi M., et al, 2018]. Η πρώτη υπό ελεγχόμενη διέγερση σε εργαστηριακό περιβάλλον και η δεύτερη υπό μη ελεγχόμενη διέγερση σε πραγματικές συνθήκες, παρατηρώντας μια πεζογέφυρα. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε η τηλεσκοπική κάμερα ενός IATS με συχνότητα δειγματοληψίας 10 Hz. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι οι εκτιμώμενες συχνότητες και τα πλάτη των ταλαντώσεων από τις μετρήσεις της κάμερας του IATS ήταν πολύ κοντά σε αυτά που προέκυψαν από τους δύο αισθητήρες αναφοράς υψηλής ακρίβειας (laser tracker και portable shaker vibration calibrator).

Από την άλλη μεριά, διερευνήθηκε και η συνδυασμένη χρήση επιταχυνσιόμετρων (Micro-Electro-Mechanical Systems - MEMS) και ενός IATS για τη βραχυπρόθεσμη αλλά και τη μακροπρόθεσμη παρακολούθηση των παραμορφώσεων γεφυρών [Omidalizarandi M., et al, 2019]. Το πείραμα διεξήχθη σε μια συνθετική γέφυρα και από την ανάλυση των αποτελεσμάτων υπολογίστηκε σφάλμα καλύτερο του χιλιοστού για τα πλάτη και πολύ καλύτερο από 0.1 Hz για τις συχνότητες.

Επιπρόσθετα, αποδείχθηκε ότι οι IATSs είναι κατάλληλοι για την εκτέλεση χωροσταθμίσεων, υλοποιώντας τις μετρήσεις επί των ψηφιακών σταδίων που χρησιμοποιούνται στη χωροστάθμιση, στις εικόνες που λαμβάνει η ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο κάμερα που διαθέτουν [Wiedemann W., et al, 2017]. Επίσης για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών, οι DingLiang Yang και JinGui Zou παρουσίασαν μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία τριγωνομετρικής υψομετρίας ακριβείας για μεγάλες αποστάσεις άνω των 5km, πάνω από υδάτινη επιφάνεια. Χρησιμοποίησαν στόχους που ο καθένας τους αποτελούνταν από συνδυασμό πέντε φωτιζόμενων με LED πρισμάτων, δύο IATSs για την ταυτόχρονη καταγραφή της εικόνας των στόχων και τον προσδιορισμό της ζενίθιας γωνίας των στόχων και δύο δέκτες GNSS για τη μέτρηση της κεκλιμένης απόστασης, σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Σκαρίφημα διάταξης οργάνων για την υλοποίηση της τριγωνομετρικής υψομετρίας ακριβείας εκατέρωθεν ποταμού. [Yang D. L., Zou J. G., 2021]

Επιπρόσθετα, αξιολογήθηκαν οι διαφορετικές πηγές σφάλματος που προκύπτουν κατά την εκτέλεση μετρήσεων με έναν IATS, αναπτύχθηκε η θεωρητική προέλευση αυτών των σφαλμάτων και προτάθηκαν τεχνικές για την αποφυγή τους [Ehrhart M., Werner L., 2017]. Στο ίδιο πλαίσιο, προσδιορίστηκε ένα μοντέλο για τη συσχέτιση των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων των εικόνων που λαμβάνονται από τους IATS, με τις μετρήσεις γωνιών καθώς και ένα μοντέλο διόρθωσης των σφαλμάτων που προκαλούνται στον υπολογισμό των γωνιών, από τις μετρήσεις στις εικόνες που λαμβάνονται [Zhang H., et al, 2021].

Παράλληλα, αναπτύχθηκε μια μέθοδος βαθμονόμησης της κάμερας που βρίσκεται ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο του IATS. Για την εκτέλεση της βαθμονόμησης χρησιμοποιείται ως στόχος ένας collimator που είναι εστιασμένος στο άπειρο και τοποθετείται σε απόσταση λίγων μέτρων από τον σταθμό [Volgyesi L., Toth G., 2020]. Η μέθοδος βαθμονόμησης ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας το αστρογεωδαιτικό σύστημα μετρήσεων QDaedalus και διερευνήθηκε ο βέλτιστος αριθμός μετρήσεων για την επιτυχή εκτέλεση της βαθμονόμησης, το βέλτιστο μέγεθος της εικόνας (optimal raster size) και η επίδραση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου στις μετρήσεις. Επισημαίνεται ότι, το σύστημα QDaedalus αναπτύχθηκε ως πρωτότυπος IATS στο Institute of Geodesy and Photogrammetry, του ETH Ζυρίχης [Guillaume S., et al, 2016].

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιοποίηση των λαμβανόμενων εικόνων των IATS για την διόρθωση της διάθλασης στη μέτρηση κατακόρυφων γωνιών [Ehrhart M., 2017]. Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας υπολογίστηκε ο συντελεστής διάθλασης με κλασικές μεθόδους και ταυτόχρονα με

μετρήσεις στις εικόνες που λήφθηκαν από τον IATS. Για συγκεκριμένες ώρες της ημέρας μάλιστα τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων συνέκλιναν απόλυτα. Επίσης, για τον προσδιορισμό των αλλαγών του φαινομένου της διάθλασης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα αρχεία βίντεο ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού, τα οποία μάλιστα μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση του αυτόματου εντοπισμού και εστίασης αντανακλαστικών στόχων [Ehrhart M., 2019].

Ολοκληρώνοντας την αναφορά στις πρόσφατες επιστημονικές έρευνες που αφορούν στη διερεύνηση και περαιτέρω ανάπτυξη των δυνατοτήτων των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών αξίζει να αναφερθεί η πρωτοτυπία επίτευξης προσανατολισμού ενός ρομποτικού χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού σε εσωτερικό χώρο, για την υλοποίηση ενός τριδιάστατου μοντέλου CAD, χωρίς την ανάγκη σκόπευσης σημείων ελέγχου γνωστών συντεταγμένων [Klug C., et al, 2018]. Ως μόνη προϋπόθεση ορίζεται η ανάγκη να υποβοηθήσει αρχικά ο παρατηρητής τον σταθμό, αναγνωρίζοντας και επιλέγοντας μία γωνία στην κατασκευή τύπου *Manhattan*, αφενός στην οθόνη του σταθμού και αφετέρου στο μοντέλο CAD.

Τέλος, παρά το γεγονός ότι οι ρομποτικοί σταθμοί είναι ικανοί να παρακολουθούν και να καταγράφουν κινητούς ανακλαστικούς στόχους (reflectors), πραγματοποιήθηκε έρευνα στην κατεύθυνση της αναγνώρισης και παρακολούθησης κινητών μη ανακλαστικών στόχων [Schwieger V, et al, 2019]. Ειδικότερα, στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιούνται δύο χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί για ταυτόχρονη λήψη εικόνων των στόχων και ειδικοί αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας. Η ποιότητα αυτών των διαδικασιών εντοπισμού επαληθεύτηκε με τη χρήση ενός ανιχνευτή λέιζερ, που αποτελεί ουσιαστικά ένα όργανο μεγαλύτερης ακρίβειας.

3.3 Η βασική ιδέα της μεθόδου Remote Survey

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εκτέλεση γεωδαιτικών παρατηρήσεων με τη μέθοδο Remote Survey αποτελεί η χρήση ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού, ο οποίος ενσωματώνει στο τηλεσκόπιο του μία κάμερα CCD υψηλής ανάλυσης. Η ενσωματωμένη CCD κάμερα χρησιμεύει για τη μεταφορά της εικόνας του οπτικού πεδίου του στόχου στην οθόνη του σταθμού και από εκεί σε κάθε απομακρυσμένη συσκευή. Πέραν του σταθμού, δύο βοηθητικές συσκευές είναι απαραίτητες. Αυτές μπορεί να είναι H/Y ή tablets ή smart phones. Η πρώτη βοηθητική συσκευή που συνδέεται με τον σταθμό ονομάζεται *server device*, ενώ η

δεύτερη που βρίσκεται στην απομακρυσμένη θέση ονομάζεται *user device*.

Το πρώτο στάδιο της μεθόδου είναι η αποκατάσταση της επικοινωνίας ανάμεσα στον σταθμό και στη *server device*. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος σύνδεσης ανάμεσα στις δύο συσκευές είναι χρησιμοποιώντας καλώδιο USB. Μόλις συνδεθούν οι δύο συσκευές ενεργοποιείται αυτόματα το λογισμικό *ActiveSync*, το οποίο ενεργοποιεί και πιστοποιεί την αμφίδρομη επικοινωνία ανάμεσα στο σταθμό και στη *server device*. Αξίζει να σημειωθεί ότι στους Η/Υ που χρησιμοποιούν το λειτουργικό *Windows Vista* καθώς και τις επόμενες εκδόσεις των *Windows*, για την επικοινωνία με περιφερειακές συσκευές δεν χρησιμοποιείται πλέον το λογισμικό *ActiveSync*, αλλά το λογισμικό *Windows Mobile Center*.

Το δεύτερο στάδιο της μεθόδου είναι η διαχείριση της οθόνης του σταθμού από την οθόνη της *server device*. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση του λογισμικού *MyMobiler* [7] στο σταθμό και στη *server device*. Το εν λόγω λογισμικό αναγνωρίζει και διαχειρίζεται, μέσω της οθόνης της *server device* την οθόνη κάθε συνδεδεμένης κινητής συσκευής, άρα και την οθόνη του σταθμού. Επισημαίνεται ότι, ο σταθμός διαθέτει μηχανισμό αυτόματης κίνησης, που λειτουργεί με τη χρήση ηλεκτρικής ή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, ενώ οι κινήσεις του τηλεσκοπίου του μπορούν να ελεγχθούν από την οθόνη του, μέσω ειδικού λογισμικού του κατασκευαστή. Έτσι, υλοποιείται σε πραγματικό χρόνο η μετάδοση της εικόνας από την οθόνη του σταθμού στην οθόνη της *server device* και ταυτόχρονα καθίσταται εφικτός ο συνολικός χειρισμός του σταθμού με τη χρήση του πληκτρολογίου και του ποντικιού της *server device*.

Το τρίτο στάδιο της μεθόδου είναι η σύνδεση των δύο βοηθητικών συσκευών, *server device* και *user device* μέσω του διαδικτύου. Προκειμένου να επιτευχθεί η ενδοεπικοινωνία τους χρησιμοποιείται το λογισμικό *Teamviewer* [8]. Αυτό το λογισμικό επιτρέπει τη θέαση του περιεχομένου της οθόνης ενός Η/Υ καθώς και τη διαχείρισή του από έναν άλλο που βρίσκεται τοποθετημένος σε μεγάλη απόσταση. Συνεπώς, με τη χρησιμοποίηση του λογισμικού *Teamviewer* στις δύο βοηθητικές συσκευές, αφενός μεταφέρεται η εικόνα του οπτικού πεδίου του σταθμού στην *user device*, αφετέρου καθίσταται δυνατός ο χειρισμός του μέσω του πληκτρολογίου και του ποντικιού της *user device*. Άρα, με τη χρήση τριών ελεύθερων λογισμικών, επιτυγχάνεται η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού και των δύο βοηθητικών συσκευών. Η διασύνδεση του ανωτέρω εξοπλισμού μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ενσύρματα είτε ασύρματα.

3.4. Η πρώτη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey

Στην πρώτη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey εκτελέστηκαν μετρήσεις και διερευνήθηκε η αξιοπιστία των σκοπεύσεων των οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων μέσω της οθόνης της user device [Lambrou E., 2014]. Ειδικότερα, προκειμένου να εκτιμηθεί η τυπική απόκλιση των μετρήσεων των διευθύνσεων, ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες που περιγράφονται στο πρότυπο ISO 17123-3 και υπολογίστηκε το τυπικό σφάλμα σ_{ISO} για τις οριζόντιες διευθύνσεις και το τυπικό σφάλμα σ_{ISO-V} για τις κατακόρυφες.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-3, για τον έλεγχο των μετρήσεων των οριζόντιων διευθύνσεων τοποθετήθηκαν πέντε στόχοι σε ίση κατανομή στο εργαστήριο. Οι στόχοι σκοπεύτηκαν και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου, σε τέσσερις σειρές μετρήσεων και σε τρεις περιόδους ανά σειρά. Αντίστοιχα για τον έλεγχο των μετρήσεων των κατακόρυφων διευθύνσεων τοποθετήθηκε στο εργαστήριο μία κατακόρυφη ράβδος και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε τέσσερις θέσεις επί της ράβδου και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου, σε τέσσερις σειρές μετρήσεων και σε τρεις περιόδους ανά σειρά.

Έπειτα ακολούθησαν οι στατιστικοί έλεγχοι που προβλέπονται στο εν λόγω πρότυπο. Εάν η εξίσωση (3.1) είναι έγκυρη και για τις δύο διευθύνσεις (Hz and V), ακολουθώντας την κατανομή χ^2 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, τότε οι μετρήσεις καλύπτουν την ονομαστική ακρίβεια του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού [Lambrou E., 2014].

$$\sigma_{ISO} \leq \sigma_o \cdot \sqrt{\frac{\chi_{F,1-a}^2}{F}} \quad (3.1)$$

όπου: F , είναι ο βαθμός ελευθερίας της διαδικασίας του ISO.

σ_o , η ονομαστική ακρίβεια του σταθμού.

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 01, ο οποίος έχει ακρίβεια $\sigma_o = \pm 1''$ στις οριζόντιες και κατακόρυφες διευθύνσεις [Topcon Co, 2009].

Το αποτέλεσμα της ανωτέρω διαδικασίας για τις οριζόντιες διευθύνσεις, για $F=36$ και $F,1-a=21.03$ ήταν:

$$0.45 \leq 1 \cdot 0.764 \Leftrightarrow 0.45'' \leq 0.76'' \quad (3.2)$$

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα για τις κατακόρυφες διευθύνσεις, για $F=40$ και $F,1-a=55.76$ ήταν:

$$1.03'' \leq 1'' \cdot 1.18 \Leftrightarrow 1.035'' \leq 1.18'' \quad (3.3)$$

Από τις εξισώσεις (3.2) και (3.3) διαπιστώθηκε ότι η εξ αποστάσεως μέτρηση των στόχων με τη μέθοδο Remote Survey πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές, σύμφωνα με το ISO 17123-3.



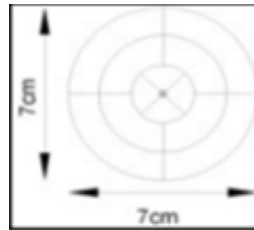
(a) Standard circular prism



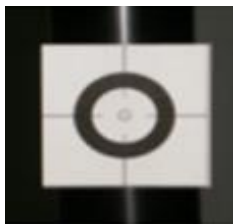
(b) mini prism



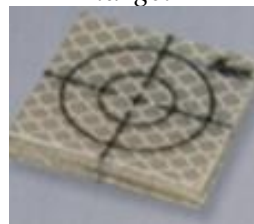
(c) plastic self-adhesive black and white target



(d) special metrological target



(e) special metrological target



(f) reflective self-adhesive target



(g) magnetic target for industrial geodesy

Εικόνα 3.4: Οι στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν στους ελέγχους της μεθόδου Remote Survey [Lambrou E., 2014]

Επίσης, στην πρώτη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey ένα ακόμη πείραμα έλαβε χώρα στο εργαστήριο. Επτά στόχοι, διαφορετικών τύπων (εικόνα 3.4), τοποθετήθηκαν σε απόσταση 15m από τον σταθμό και σκοπεύτηκαν από τον ίδιο παρατηρητή, τέσσερις φορές με τους εξής τρόπους:

- Μέσω του τηλεσκοπίου του σταθμού, με τη χρήση του κοινού σταυρονήματος.
- Μέσω της οθόνης του σταθμού, με τη χρήση του ψηφιακού σταυρονήματος.
- Μέσω της οθόνης μίας user device, που βρισκόταν σε απομακρυσμένη θέση.

Έπειτα υπολογίστηκε η μέση τιμή των παρατηρήσεων (d) για κάθε στόχο και για κάθε έναν από τους τρεις τρόπους και από αυτές τις τιμές υπολογίστηκαν οι διαφορές Δd ανάμεσα:

- Στις μέσες τιμές των μετρήσεων του τηλεσκοπίου (d_t) και των μετρήσεων της user device (d_{ud}), δηλαδή ($\Delta d = d_t - d_{ud}$) και
- Στις μέσες τιμές των μετρήσεων της οθόνης (display) του σταθμού (d_d) και των μετρήσεων της user device (d_{ud}), δηλαδή ($\Delta d = d_d - d_{ud}$).

Οι ανωτέρω διαφορές υπολογίστηκαν τόσο για τις οριζόντιες όσο και για τις κατακόρυφες διευθύνσεις.

Κατόπιν εκτέλεσης στατιστικών ελέγχων διαπιστώθηκε ότι οι διαφορές των σκοπεύσεων Δd ικανοποιούν την εξίσωση (3.4).

$$-\sigma_{\Delta d} \cdot Z_{95\%} \leq \Delta d \leq \sigma_{\Delta d} \cdot Z_{95\%} \quad (3.4)$$

Επιπλέον, οι διαφορές που υπολογίστηκαν κυμαίνονται από 0.3" έως 3" και είναι ικανοποιητικές.

Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πρώτη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey, διακρίνονται τα εξής [Lambrou E., 2014]:

- Οι παρατηρήσεις μέσω της οθόνης της user device είναι ισοδύναμες με εκείνες που εκτελούνται μέσω του τηλεσκοπίου του οργάνου.
- Θα πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω μετρήσεις σε μεγαλύτερες αποστάσεις εκτός εργαστηρίου προκειμένου να διερευνηθεί και να καθορισθεί η λειτουργία της μεθόδου στο αντίστοιχο περιβάλλον.
- Οι έλεγχοι που υλοποιήθηκαν απέδειξαν ότι οι ενσύρματες συνδέσεις δεν παρουσιάζουν διακοπές και καθυστερήσεις στη μετάδοση του σήματος, σύμφωνα με τις αισθήσεις του ανθρώπου.
- Αντιθέτως, η σύνδεση Bluetooth παρουσιάζει μια καθυστέρηση από 3 έως και 5 δευτερόλεπτα για να εκτελέσει μια εντολή που δίνεται από την server device.
- Μερικές φορές το οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου δεν είναι δυνατό να μεταδοθεί μέσω σύνδεσης Bluetooth, εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων.
- Ορισμένοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται απευθείας στο διαδίκτυο. Στην περίπτωση αυτή η server device θα μπορούσε να παρακαμφθεί εάν το λογισμικό Teamviewer θα μπορούσε να εγκατασταθεί στον H/Y του σταθμού.
- Θα ήταν ενδιαφέρον να καθορισθεί η χρονική υστέρηση η οποία παρατηρείται στους συνδυασμούς συνδέσεων, πληροφορία που

είναι σημαντική για πολλές εφαρμογές που σχετίζονται με ακριβή καταγραφή του χρόνου, όπως στις αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις, στην παρακολούθηση κινούμενων στόχων ή στις ταλαντώσεις γεφυρών.

- Με την εφαρμογή της Remote Survey, ένας μηχανικός μπορεί εύκολα να παρακολουθεί τα πεδία εργασιών με τη χρήση της εικόνας που μεταδίδει ένας χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός, κάτι που του δίνει τη δυνατότητα να αξιολογεί την εξέλιξη ενός φαινομένου. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα μπορεί να ελέγξει ή και να συμβουλευτεί τους συνεργάτες του που βρίσκονται στο πεδίο ακόμη και μέσω της χρήσης του κινητού του τηλεφώνου. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο πλεονέκτημα σε ιδιαίτερα απαιτητικές και εξειδικευμένες κατασκευαστικές εργασίες οι οποίες προϋποθέτουν συνεχή παρακολούθηση και καθοδήγηση από κάποιον σύμβουλο όπως η χάραξη μιας σήραγγας ή η παρακολούθηση πρανών, που δύναται ενδεχομένως να υλοποιηθούν από το γραφείο.
- Το γεγονός ότι η πρώτη εφαρμογή της Remote Survey ικανοποιεί τις προδιαγραφές της ονομαστικής ακρίβειας του IATS, για τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες διευθύνσεις σύμφωνα με τη διαδικασία του προτύπου ISO17123-3 είναι ενθαρρυντικό και πολλά υποσχόμενο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινισθεί ότι αυτή η διαδικασία δεν είναι κατάλληλη για όλα τα πεδία που δραστηριοποιούνται οι Τοπογράφοι Μηχανικοί. Ειδικά στις εργασίες εκείνες που ο πιστοποιημένος μηχανικός δια νόμου επιβάλλεται να έχει τη φυσική παρουσία και την ευθύνη για την υλοποίηση των εργασιών στο πεδίο.

Συνεπώς, η μέθοδος Remote Survey αποτελεί μια πρακτική εναλλακτική μέθοδο για τη συλλογή δεδομένων, με μηδενικό επιπλέον κόστος, σε συγκεκριμένες εφαρμογές και δίνει πολλά πλεονεκτήματα στους χρήστες της, όπως επίσης ανοίγει νέες προοπτικές για περαιτέρω εξέλιξη και χρήση.

3.5. Η δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey

Στη δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020], τέθηκε ως στόχος η περαιτέρω διερεύνηση της αξιοπιστίας μέτρησης οριζόντιων διευθύνσεων με εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey, με την εκτέλεση ενός πειράματος που συνδύασε τα δύο που προαναφέρθηκαν. Ειδικότερα, εκτελέστηκαν μετρήσεις από έναν

παρατηρητή, με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon IS-01, στην αίθουσα Υ23 του κτηρίου Λαμπαδάριου του ΕΜΠ, προς τέσσερις κοινούς πλαστικούς αυτοκόλλητους στόχους που τοποθετήθηκαν, σε ομοιόμορφη κατανομή στους τοίχους της αίθουσας. Συνολικά εκτελέστηκαν τρεις περίοδοι μετρήσεων και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου για κάθε στόχο, με τους εξής τρόπους:

- Μέσω του τηλεσκοπίου του σταθμού και με τη χρήση του κοινού σταυρονήματος.
- Μέσω της οθόνης του σταθμού και με τη χρήση του ψηφιακού σταυρονήματος.
- Μέσω της οθόνης της user device και με τη χρήση του ψηφιακού σταυρονήματος.

Ο ανωτέρω συνδυασμός μετρήσεων υλοποιήθηκε σύμφωνα με το *απλοποιημένο τεστ* του προτύπου ISO-17123-3 και από την επεξεργασία των εν λόγω μετρήσεων προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- Το σφάλμα της μίας μέτρησης μέσω του τηλεσκοπίου του σταθμού ήταν $\sigma_{ISOt}=3^{cc}$.
- Το σφάλμα της μίας μέτρησης μέσω της οθόνης (display) του σταθμού, με τη χρήση του ψηφιακού σταυρονήματος ήταν $\sigma_{ISOd}=\pm 3.7^{cc}$.
- Το σφάλμα της μίας μέτρησης μέσω της οθόνης της user device, με τη χρήση του ψηφιακού σταυρονήματος ήταν $\sigma_{ISOud}=\pm 4.6^{cc}$.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα ανωτέρω αποτελέσματα είναι ότι οι μετρήσεις από το τηλεσκόπιο είναι οριακά ακριβέστερες σε σχέση με εκείνες από την οθόνη του σταθμού και από την οθόνη της user device, οι οποίες στο συγκεκριμένο πείραμα υστερούν κατά 0.6^{cc} και 1.7^{cc} αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά ουσιαστικά επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα της πρώτης εφαρμογής της μεθόδου [Lambrou E., 2014].

Ειδικότερα, διαπιστώνεται ότι το τυπικό σφάλμα που υπολογίστηκε για τις σκοπεύσεις από τη user device στην πρώτη εφαρμογή ($\sigma_{ISOud}=\pm 0.45''$ ή $\sigma_{ISOud}=\pm 1.39^{cc}$) ήταν μικρότερο σε σχέση με τα σφάλματα της δεύτερης εφαρμογής. Αυτή η διαφορά ενδέχεται να οφείλεται στις μέτριες συνθήκες φωτισμού που επικρατούσαν στην αίθουσα Υ23 κατά την εκτέλεση των πρόσφατων μετρήσεων ή και στο γεγονός ότι οι αυτοκόλλητοι στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν στις πρόσφατες μετρήσεις ήταν χαμηλότερης ποιότητας σε σχέση με εκείνους που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν.

Επιπλέον διαπιστώσεις που προέκυψαν από τη δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Σε περίπτωση επανάληψης του πειράματος στο μέλλον, κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν καλύτερης ποιότητας στόχοι, για

παράδειγμα ανακλαστικοί αυτοκόλλητοι στόχοι και το πείραμα να εκτελεσθεί σε ανοικτό πεδίο, έτσι ώστε να υλοποιηθεί η πρόβλεψη του ISO 17123-3 για τοποθέτηση των στόχων σε αποστάσεις από 100m έως 250m από τον σταθμό.

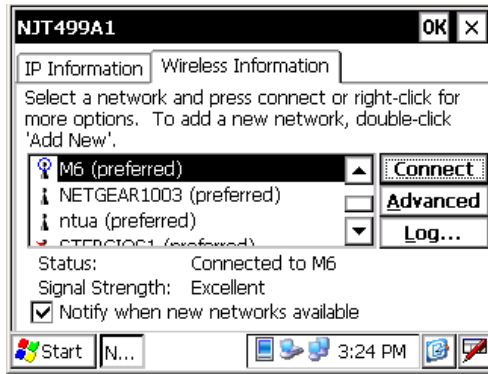
- ✓ Σε περίπτωση αστοχίας του υλικού, όπως για παράδειγμα σε περίπτωση απώλειας της οριζοντίωσης του σταθμού ή απώλειας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στον σταθμό ή ακόμη και σε περίπτωση αστοχίας του λογισμικού, τότε ο παρατηρητής δεν μπορεί να συνεχίσει τις μετρήσεις εξ αποστάσεως και θα πρέπει να μεταβεί στον χώρο που είναι εγκατεστημένος για να αποκαταστήσει την όποια βλάβη.

3.6 Σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi

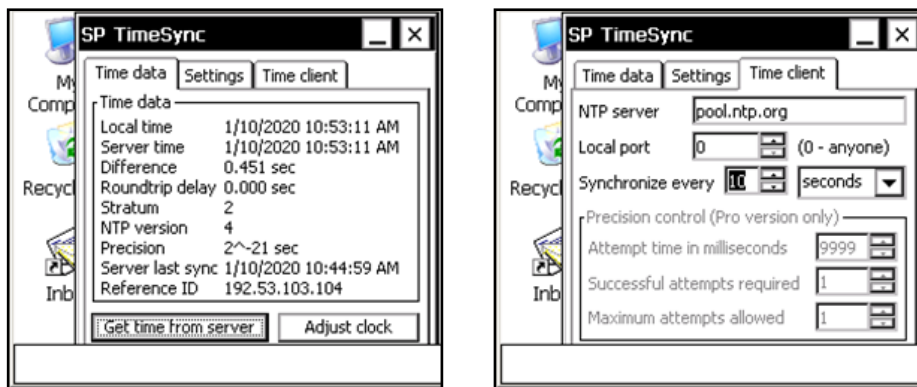
Η μέθοδος Remote Survey αρχικά υλοποιήθηκε με την χρησιμοποίηση ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού και δύο βοηθητικών συσκευών, της server device και της user device. Ωστόσο, εάν ο σταθμός διαθέτει τη δυνατότητα απευθείας σύνδεσης στο διαδίκτυο με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi, τότε μπορεί να παρακαμφθεί η server device και ο παρατηρητής δύναται να αποκτήσει τον έλεγχο του σταθμού μόνο με τη user device [Μολύβας X., Πανταζής Γ., 2020].

Στο πλαίσιο λοιπόν της δεύτερης εφαρμογής της μεθόδου επιχειρήθηκε η υλοποίηση της σύνδεσης ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi. Αυτό κατέστη δυνατό για τον σταθμό Topcon IS-203, ο οποίος διαθέτει ενσωματωμένη κάρτα Wi-Fi. Ο σταθμός συνδέθηκε σε ασύρματο δίκτυο που υλοποιήθηκε ενεργοποιώντας τη λειτουργία hotspot ενός smartphone με εγκατεστημένο λειτουργικό Android (εικόνα 3.5) [Μολύβας X., Πανταζής Γ., 2020].

Από τη στιγμή που αποκαταστάθηκε η επικοινωνία Wi-Fi του σταθμού με το διαδίκτυο, τέθηκε το ζήτημα του συγχρονισμού του εσωτερικού ρολογιού του σταθμού με τον παγκόσμιο χρόνο UTC. Στη μέθοδο Remote Survey με ενσύρματη σύνδεση του σταθμού ο συγχρονισμός γίνεται αυτόματα καθόσον το λογισμικό ActiveSync συγχρονίζει κάθε εξωτερική συσκευή που συνδέεται στη server device. Αντίστοιχα, με τη σύνδεση Wi-Fi του σταθμού στο διαδίκτυο ο συγχρονισμός γίνεται επίσης αυτόματα.



Εικόνα 3.5: Σύνδεση χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού σε δίκτυο Wi-Fi [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]



Εικόνα 3.6: Το λογισμικό συγχρονισμού SP TimeSync 2.3 [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]

Ωστόσο, επιλέχθηκε η εγκατάσταση του ελεύθερου λογισμικού *SP TimeSync* 2.3 [6] στον σταθμό (εικόνα 3.6), αφενός διότι παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα επιλογής του διακομιστή παγκόσμιου χρόνου, αφετέρου διότι δίνει τη δυνατότητα επιλογής του χρονικού διαστήματος για την επανάληψη του συγχρονισμού. Στο παράδειγμα της εικόνας 3.6 επιλέχθηκε να επαναλαμβάνεται ο συγχρονισμός του σταθμού κάθε 10sec.

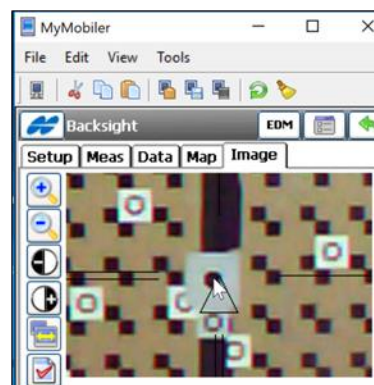
Το επόμενο ζήτημα που προέκυψε ήταν ο τρόπος που θα καταγραφεί η πληροφορία του χρόνου κατά τη στιγμή της εκτέλεσης της μέτρησης. Εφόσον διαπιστώθηκε ότι στα πρωτογενή αρχεία των μετρήσεων (raw data) αποθηκεύεται και η πληροφορία του χρόνου με ακρίβεια δευτερολέπτου, δημιουργήθηκε κατάλληλη διαμόρφωση αρχείου εξαγωγής δεδομένων από τον σταθμό, η οποία προβλέφθηκε να περιλαμβάνει και την πληροφορία του χρόνου.

Το τελευταίο και σημαντικότερο πρόβλημα που έπρεπε να επιλυθεί ήταν η σύνδεση του σταθμού στη user device μέσω διαδικτύου. Αυτό το πρόβλημα επιλύθηκε με την εγκατάσταση και στη user device του λογισμικού MyMobiler, το οποίο ήταν ήδη εγκατεστημένο στον σταθμό.

Αρχικά θα πρέπει να γίνει σύνδεση του σταθμού και της user device στο διαδίκτυο με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi. Στη συνέχεια το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του *MyMobiler/Connect IP* και στις δύο συσκευές. Στο πεδίο *Mobile IP* της user device συμπληρώνεται η IP address του σταθμού και έπειτα επιλέγεται το *Connect*, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7: Το παράθυρο του λογισμικού *MyMobiler* στη user device [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]



Εικόνα 3.8: Η εικόνα του σταθμού στη user device, μέσω σύνδεσης Wi-Fi [Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., 2020]

Η σύνδεση με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi ολοκληρώνεται με την εμφάνιση σχετικού αναδυόμενου μηνύματος στην μπάρα συντομεύσεων και την επιλογή από τον χρήστη του *Open Mobiler* από το μενού του προγράμματος. Η εικόνα στη user device είναι αντίστοιχης ποιότητας με εκείνη της κλασικής μεθόδου που έχει υιοθετηθεί με τη χρήση της server device, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.8.

3.7 Διαπιστώσεις από τις εφαρμογές της μεθόδου Remote Survey

Συνοψίζοντας τα διαλαμβανόμενα στις ανωτέρω εφαρμογές της μεθόδου Remote Survey προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις.

Η Remote Survey αποτελεί μια μέθοδο με μηδενικό επιπλέον κόστος, καθόσον το λογισμικό και οι βοηθητικές συσκευές που απαιτούνται είναι ευρέως διαδεδομένα, εφόσον βέβαια υφίσταται ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός που απαιτεί ένα σημαντικό κόστος για την προμήθειά του.

Με την εφαρμογή της Remote Survey, ένας μηχανικός μπορεί εύκολα να παρακολουθεί το πεδίο εργασιών με τη χρήση της εικόνας που μεταδίδεται, κάτι που του δίνει τη δυνατότητα να αξιολογεί την εξέλιξη ενός φαινομένου.

Επιστημονικές έρευνες ή εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις, μπορούν να υλοποιηθούν πιο εύκολα με

την εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey, επιτυγχάνοντας έτσι την προστάσια του παρατηρητή από δύσκολες μετεωρολογικές συνθήκες.

Οι μετρήσεις που έγιναν στην πρώτη εφαρμογή της μεθόδου και σε εφαρμογή του προτύπου ISO17123-3 ικανοποίησαν τις προδιαγραφές της ονομαστικής ακρίβειας του υπό έλεγχο σταθμού, για τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες διευθύνσεις. Επιπλέον, οι παρατηρήσεις μέσω της οθόνης της user device σε διαφορετικούς τύπους στόχων είναι ισοδύναμες με εκείνες που εκτελούνται με παραδοσιακά μέσα.

Αντίστοιχα, οι μετρήσεις που έγιναν στην δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου από το τηλεσκόπιο ήταν οριακά ακριβέστερες σε σχέση με εκείνες από την οθόνη του σταθμού και από την οθόνη της user device. Συνεπώς, επιβεβαιώθηκαν με τον τρόπο αυτό και τα συμπεράσματα της πρώτης εφαρμογής της μεθόδου.

Επιπρόσθετα, κατέστη δυνατό να παρακαμφθεί η server device και ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός να συνδεθεί απευθείας στο διαδίκτυο με με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi.

Μελλοντικά θα πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω μετρήσεις σε μεγαλύτερες αποστάσεις, εκτός εργαστηρίου, προκειμένου να διερευνηθεί και να καθορισθεί η λειτουργία της μεθόδου στο αντίστοιχο περιβάλλον.

Όσον αφορά στις εφαρμογές που σχετίζονται με ακριβή καταγραφή του χρόνου, όπως τις αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις, την παρακολούθηση κινούμενων στόχων ή τις ταλαντώσεις γεφυρών, θα ήταν ενδιαφέρον να καθορισθεί η χρονική υστέρηση η οποία παρατηρείται με την εφαρμογή της μεθόδου.

Τελικά η μέθοδος Remote Survey μπορεί να υλοποιηθεί με δύο επιμέρους μεθοδολογίες:

1^η Μεθοδολογία: Η ενσύρματη σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο μέσω της server device. Πλεονέκτημα της μεθοδολογίας η σταθερότητα που επιτυγχάνεται στη σύνδεση καθώς ο σταθμός αναγνωρίζεται ως εξωτερική συσκευή της server device και η σύνδεση στο διαδίκτυο γίνεται ενσύρματα. Μειονέκτημα της μεθοδολογίας αποτελεί η δέσμευση για ενσύρματη σύνδεση η οποία και περιορίζει την ελευθερία των κινήσεων του σταθμού. Για παράδειγμα ελλοχεύει ο κίνδυνος να περιελιχθεί το καλώδιο γύρω από τον σταθμό και να προκληθεί μηχανική βλάβη ή δυσλειτουργία του σταθμού.

2^η Μεθοδολογία: Η ασύρματη σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο μέσω της σύνδεσης Wi-Fi. Πλεονέκτημα της μεθοδολογίας η ελευθερία των κινήσεων του σταθμού. Δεν ελλοχεύει πλέον ο κίνδυνος να περιελιχθεί το καλώδιο γύρω από τον σταθμό και να προκληθεί μηχανική βλάβη ή δυσλειτουργία του σταθμού. Μειονέκτημα της μεθοδολογίας αποτελεί η μη σταθερότητα στη σύνδεση καθώς ο

διαπιστώθηκαν περιπτώσεις που είτε διακόπηκε η σύνδεση του σταθμού στο διαδίκτυο λόγω παρεμβολής άλλων δικτύων Wi-Fi είτε δεν ήταν δυνατή η σύνδεση σε επιθυμητά Wi-Fi δίκτυα. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτήθηκε η μετάβαση από το απομακρυσμένο σημείο στο χώρο που ήταν εγκατεστημένος ο σταθμός για την αποκατάσταση της σύνδεσής του στο διαδίκτυο.

Κατόπιν των ανωτέρω κρίνεται σκόπιμο όπως διερευνηθούν περαιτέρω τα ακόλουθα κομβικά σημεία της μεθόδου Remote Survey:

- Διερεύνηση μεθοδολογιών συγχρονισμού των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών με τον παγκόσμιο χρόνο UTC, με τη βοήθεια των servers του διαδικτύου.
- Διερεύνηση της χρονικής υστέρησης ανάμεσα στη χρονική στιγμή που ο παρατηρητής δίνει την εντολή για εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο και στη στιγμή που ο σταθμός θα εκτελέσει την εντολή.
- Εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με εφαρμογή της μεθόδου.
- Εκτέλεση παρακολούθησης τεχνικού έργου ή ελέγχου γεωδαιτικού δικτύου με εφαρμογή της μεθόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ο ΧΡΟΝΟΣ ΩΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟ

4.1 Γενικά

Από την ανάλυση της μεθόδου Remote Survey που προηγήθηκε, αναδείχθηκε η αναγκαιότητα της καταγραφής του χρόνου εκτέλεσης των παρατηρήσεων με τηλεχειρισμό με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Για παράδειγμα, οι αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις, η παρακολούθηση κινούμενων στόχων και οι ταλαντώσεις γεφυρών, αποτελούν εξειδικευμένες γεωδαιτικές εργασίες για τις οποίες απαιτείται η ανωτέρω καταγραφή. Πιο συγκεκριμένα, για να προσδιορισθεί η συμβολή του χρόνου ως παραμέτρου των γεωδαιτικών παρατηρήσεων με τηλεχειρισμό κρίνεται σκόπιμο να:

- Διερευνηθούν οι μεθοδολογίες συγχρονισμού των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών με τον παγκόσμιο χρόνο UTC, μέσω των διακομιστών χρόνου του διαδικτύου.
- Προσδιορισθεί η χρονική υστέρηση ανάμεσα στη χρονική στιγμή που ο παρατηρητής δίνει την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο και στη στιγμή που ο σταθμός θα εκτελέσει την εντολή.

Προκειμένου να ακολουθήσει η ανάλυση των ανωτέρω ζητημάτων είναι επιβεβλημένο να προηγηθεί η ανάλυση της φιλοσοφικής, φυσικής, τεχνολογικής αλλά και νομικής διάστασης του χρόνου.

4.2 Θεωρητική προσέγγιση του χρόνου

Όσον αφορά στη φιλοσοφική διάσταση του χρόνου, ο John A. Wheeler διατύπωσε την άποψη ότι: *"χρόνος είναι το φυσικό φαινόμενο που εμποδίζει όλα τα γεγονότα από το να συμβαίνουν ταυτόχρονα"* [Αλεξούδη Ξ., κ.α., 2012], ενώ ο Αριστοτέλης στο έργο του *Τα Φυσικά*, κατέγραψε ότι: *"... αντιλαμβανόμαστε το χρόνο μόνο όταν έχουμε έκδηλη κίνηση..., δε μετράμε μόνο την κίνηση με το χρόνο, αλλά και το χρόνο με την κίνηση, γιατί και τα δύο αυτά αλληλοορίζονται"* [Κόκκοτας Π., κ.α., 2014].

Εξετάζοντας τη φυσική διάσταση του χρόνου αξίζει να σημειωθεί ότι η θεμελιώδης κίνηση που καθορίζει την έννοια του χρόνου είναι η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο. Αυτή προκαλεί την εναλλαγή της ημέρας με

τη νύχτα φαινόμενο που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος σαν το πέρασμα του χρόνου. Οι αρχαίοι λαοί της Μεσοποταμίας, Σουμέριοι και Βαβυλώνιοι άρχισαν πρώτοι να καταγράφουν τον χρόνο, έπειτα ακολούθησαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι και οι αρχαίοι Έλληνες, συνέχισαν οι Άραβες και έπειτα οι Ευρωπαίοι. Στη σημερινή εποχή ο χρόνος καταγράφεται με τη βοήθεια των ατομικών ρολογιών καισίου, με το έτος να διαιρείται σε 12 μήνες, η ημέρα σε 24 ώρες, η ώρα σε 60 λεπτά και το λεπτό σε 60 δευτερόλεπτα [Thompson A., Taylor B. 2008].

Στην εξέλιξη που προαναφέρθηκε κομβικό σημείο αποτέλεσε η 11^η Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών, που πραγματοποιήθηκε το έτος 1960 στις Σέβρες της Γαλλίας. Εκεί έγινε αποδεκτό να χρησιμοποιούν όλες οι χώρες το ίδιο σύστημα μονάδων, το οποίο ονομάστηκε Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI (International System of Units). Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI έχει επτά θεμελιώδεις μονάδες, από τις οποίες για το φυσικό μέγεθος του χρόνου επιλέχθηκε ως μονάδα μέτρησης το δευτερόλεπτο. Από το 1967 το δευτερόλεπτο ορίστηκε με βάση το ρολόι καισίου, ως εξής: *"1 δευτερόλεπτο είναι η χρονική διάρκεια μέσα στην οποία συμβαίνουν 9192631770 καθορισμένες περιοδικές ενεργειακές μεταβολές στο άτομο του καισίου (Cs133)"* [Bureau International des Poids et Mesures, 2006].

Όσον αφορά στη νομική διάσταση του χρόνου πρέπει να αναφερθεί ότι στο νόμο 4155/2013, άρθρο 41 Παρ.1, εδάφιο ιθ, ως *"Εθνικός Χρόνος"* ορίζεται: *"το πρότυπο φυσικό μέγεθος του χρόνου όπως αυτό παράγεται και τηρείται από το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ), ως χρονική κλίμακα UTC, η οποία αποτελεί την τοπική αναπαράσταση του Διεθνούς Συντονισμένου Χρόνου – UTC"*.

Εφόσον ορίστηκε ο χρόνος ως φιλοσοφικό, φυσικό και νομικό μέγεθος αξίζει να γίνει μια αναφορά στην τεχνολογική διάσταση του χρόνου και πως υλοποιείται στον ψηφιακό κόσμο. Η μέτρηση του χρόνου είναι μια διεθνής και διαρκής διαδικασία, κρυμμένη στα εργαστήρια μέτρησης χρόνου που βρίσκονται σκορπισμένα σε όλη την υφήλιο, υπό την καθοδήγηση και ευθύνη του Bureau International des Poids et Mesures. Τα εμπορικά ατομικά ρολόγια μπορούν να επιτύχουν σταθερότητα της τάξης του 1×10^{-14} , σε ένα χρονικό πλαίσιο πέντε ημερών [Arias E. F, 2005], ενώ τα σύγχρονα ρολόγια καισίου παρέχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια στην παραγωγή χρόνου, όπως για παράδειγμα το NIST-F2 που χρησιμοποιείται ως επίσημο πρότυπο στις ΗΠΑ, το οποίο δεν αναμένεται να κερδίσει ούτε όμως και να χάσει ένα δευτερόλεπτο σε περίπου 300 εκατομμύρια χρόνια [Ost L., 2018].

Όπως προαναφέρθηκε, το ΕΙΜ είναι υπεύθυνο για την τοπική αναπαράσταση του χρόνου UTC στην Ελλάδα, συμμετέχοντας ως μέλος της EURAMET στη διαμόρφωση του παγκόσμιου χρόνου UTC.

Ειδικότερα ο Ελληνικός Εθνικός Χρόνος UTC, παράγεται στο Εργαστήριο Χρόνου και Συχνότητας του ΕΙΜ, από τον μέσο όρο τριών πρότυπων ατομικών ρολογιών Καισίου, με ακρίβεια τήρησης του χρόνου UTC της τάξης των 10 nsec. Το ΕΙΜ διαθέτει στο κοινό τον εθνικό χρόνο που παράγει δωρεάν, μέσω του διαδικτύου με εφαρμογή της τεχνολογίας Network Time Protocol (NTP) και με ακρίβεια της τάξης του 1 δευτερολέπτου. Για παροχή υπηρεσιών χρόνου με καλύτερη ακρίβεια το ΕΙΜ επιβάλλει χρεώσεις. Για παράδειγμα το κόστος για τη χορήγηση χρονοσήμανσης, ήτοι τη σήμανση κάθε χρονικής αναφοράς επικοινωνίας που αναφέρεται στον Ελληνικό Εθνικό Χρόνο (Ωρα Ελλάδας), ανέρχεται ετησίως στο ποσό των 4000€ [1].

Η ανάγκη για την απόκτηση της χρονικής αναφοράς, με την ανωτέρω ακρίβεια και το αντίστοιχο καταβαλλόμενο κόστος, βρίσκει εφαρμογή σε μια πληθώρα δραστηριοτήτων του ανθρώπου στη σημερινή εποχή, όπως στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, στην επικοινωνία μέσω διαδικτύου, στις παγκόσμιες διαδικτυακές οικονομικές συναλλαγές και στα παγκόσμια συστήματα προσδιορισμού θέσης (Global Positioning System – GPS, GLONASS, GALILEO).

Ειδικότερα, όσον αφορά στον Διεθνή Συντονισμένο Χρόνο UTC, αξίζει να αναφερθεί ότι αρχικά επινοήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 προκειμένου να βελτιωθεί η διάδοση του Παγκόσμιου Χρόνου και να υλοποιηθεί μια σταθερή συχνότητα των ατομικών προτύπων σε μια ενιαία εκπομπή χρονικού σήματος. Τη δεκαετία του 1970 άρχισε η εξέλιξή του και σταδιακά έλαβε τη μορφή που υφίσταται σήμερα. Επισημαίνεται ότι, εξαιτίας της επιβράδυνσης της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονα περιστροφής της, παρατηρείται το φαινόμενο των *leap seconds*, με αποτέλεσμα να πρέπει να προστεθούν κατά καιρούς στον χρόνο UTC κάποια δευτερόλεπτα [Arias F., Guinot B., 2005].

Τελικά, η χρήση μεθόδων και μέσων παραγωγής χρόνου στο πλαίσιο πιο χρηστικών για τον άνθρωπο εφαρμογών, επιφέρει ορισμένες "θυσίες" όσον αφορά στις ιδιότητές του, προς όφελος της αξιοπιστίας και του μειωμένου κόστους. Ωστόσο, τα εν λόγω μέσα υπολείπονται μερικές φορές ελάχιστα από εκείνα που προορίζονται για την επίσημη παραγωγή του χρόνου σε εργαστηριακό περιβάλλον, όσον αφορά στην ακρίβεια και στη σταθερότητα. Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System – GPS) αποτελεί ένα καλό παράδειγμα αυτής της διαπίστωσης [Audoin C., Guinot B., 2001].

4.3 Το πρωτόκολλο Network Time Protocol

Ο συγχρονισμός των ρολογιών που βρίσκονται ενσωματωμένα στους Η/Υ πραγματοποιείται αυτόματα με τη σύνδεσή τους στο διαδίκτυο και με τη χρήση του πρωτοκόλλου *Network Time Protocol (NTP)*. Η ανάγκη για την καθιέρωση του εν λόγω πρωτοκόλλου προέκυψε από τη διαπίστωση ότι εάν το εσωτερικό ρολόι ενός Η/Υ συγχρονιστεί με μια αξιόπιστη πηγή παροχής χρόνου στην αρχή μιας εβδομάδας, τότε στο τέλος αυτής θα παρατηρηθεί μία απόκλιση στον χρόνο που αποδίδει σε σχέση με την πηγή χρόνου η οποία απόκλιση μπορεί να φτάσει από 1sec/ημέρα [Mills D. L., 1991] έως και αρκετά secs/ημέρα [Αλεξούδη Ξ., κ.α., 2012]. Μάλιστα, η διαπίστωση αυτή σταδιακά εξελίχθηκε σε σοβαρό πρόβλημα λόγω της ραγδαίας επέκτασης του διαδικτύου τις τελευταίες δεκαετίες. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτάθηκε το έτος 1985 από τον καθηγητή του Πανεπιστημίου του Delaware, David L. Mills, η εφαρμογή του πρωτοκόλλου NTP [Mills D. L., 1985]. Το πρωτόκολλο NTP συνέχισε να βελτιώνεται μέχρι το έτος 2010, όταν και παρουσιάστηκε η 4^η έκδοσή του [Mills D. L., 2010]. Ουσιαστικά το πρωτόκολλο συγχρονίζει το ρολόι του Η/Υ με τη βοήθεια δικτυακών διακομιστών χρόνου (*internet time servers*), οι οποίοι παρέχουν τον χρόνο UTC, που σε κάποιες χώρες καλείται και *Greenwich Mean Time (GMT)*. Οι διακομιστές αυτοί ταξινομούνται σε μια ιεραρχία επιπέδων *stratum*. Από αυτούς εκείνοι που ανήκουν στο επίπεδο *stratum 1* παρέχουν τον χρόνο με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια καθόσον συγχρονίζονται απευθείας με εθνικούς διακομιστές χρόνου ή όργανα GPS πολύ υψηλής ακρίβειας. Μικρότερης ακρίβειας διακομιστές ανήκουν στα επίπεδα *stratum 2*, *stratum 3*, κ.ο.κ. [Mills L. D., 1991].

Η βασική αρχή λειτουργίας του πρωτοκόλλου NTP είναι ότι ο Η/Υ (*client computer*) στέλνει ερώτημα στον διακομιστή χρόνου (*time server*) μέσω του Internet κατά τη χρονική στιγμή t_{1cl} (σύμφωνα με το ρολόι του *client computer*) και ο διακομιστής χρόνου λαμβάνει το ερώτημα κατά τη χρονική στιγμή t_{1serv} (σύμφωνα με το ρολόι του *time server*). Έπειτα, ο *time server* ανταποκρίνεται σε αυτό το ερώτημα κατά τη χρονική στιγμή t_{2serv} (σύμφωνα με το ρολόι του *time server*) και ο *client computer* λαμβάνει την απάντηση κατά τη χρονική στιγμή t_{2cl} (σύμφωνα με το ρολόι του *client computer*). Έπειτα, τα μεγέθη *time offset* (θ) και *trip delay* (δ) ανάμεσα στον *client computer* και τον *time server* υπολογίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις [Mills L. D., 1991]:

$$\theta = 0,5 \cdot [(t_{1serv} - t_{1cl}) + (t_{2serv} - t_{2cl})] \quad (4.1)$$

και

$$\delta = (t_{2_{cl}} - t_{1_{cl}}) + (t_{2_{serv}} - t_{1_{serv}}) \quad (4.2)$$

Ωστόσο, μια θεμελιώδης αδυναμία αυτού του πρωτοκόλλου είναι η υπόθεση ότι ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση του ερωτήματος από τον client computer στον time server είναι ο ίδιος με εκείνον για τη μετάδοση της απάντησης από τον time server στον client computer, κάτι το οποίο δεν ισχύει καθόσον συνήθως οι δύο συσκευές βρίσκονται τοποθετημένες σε μακρινές αποστάσεις και οι ενδιάμεσοι δρομολογητές του διαδικτύου (internet routers) συνήθως είναι διαφορετικοί σε ποιότητα και αριθμό, στη μετάβαση του ερωτήματος και στην επιστροφή της απάντησης [Αλεξούδη Ξ., κ.α., 2012].

Για την εφαρμογή του πρωτοκόλλου έχουν αναπτυχθεί σχετικά λογισμικά, πολλά από τα οποία μάλιστα διατίθενται και ελεύθερα μέσω του διαδικτύου.

4.4 Ο χρόνος ως παράμετρος στη μέθοδο Remote Survey

Οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί ενσωματώνουν στις διατάξεις τους έναν μικρό H/Y, το ρολόι του οποίου συγχρονίζεται με τον παγκόσμιο χρόνο UTC με τη χρήση του πρωτοκόλλου NTP, όπως οι κοινά H/Y. Έπειτα, ο διορθωμένος χρόνος που καταγράφει το εσωτερικό ρολόι του H/Y μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες γεωδαιτικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη Γεωδαιτική Αστρονομία. Μάλιστα, από την πρώτη εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey [Lambrou E., 2014] διαπιστώθηκε ότι ο καθορισμός της χρονικής υστέρησης ανάμεσα στη στιγμή που δίνεται η εντολή για την εκτέλεση μιας μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο που βρίσκεται ο παρατηρητής και στη στιγμή που εκτελείται η μέτρηση στον σταθμό, αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης. Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιήθηκε σχετικό πείραμα στο ΕΜΠ με δύο στόχους. Πρώτος στόχος, ο συγχρονισμός του εσωτερικού ρολογιού του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού, της server device και της user device με τους διακομιστές παγκόσμιου χρόνου. Δεύτερος στόχος, η καταγραφή:

- της χρονικής στιγμής κατά την οποία ο παρατηρητής δίνει την εντολή μέσω της user device στο απομακρυσμένο σημείο για να εκτελεστεί μια μέτρηση και
- της χρονικής στιγμής κατά την οποία η εντολή εκτελείται από τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.

Από τη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών προκύπτει και η ζητούμενη χρονική υστέρηση [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019].

Ακολουθώντας τα ανωτέρω, εκτελέστηκαν μετρήσεις με την εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey και την ταυτόχρονη καταγραφή της χρονικής στιγμής κατά την οποία πραγματοποιούνταν η κάθε μία από τις ανωτέρω ενέργειες [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019].

Αρχικά επιλέχθηκε ο σταθμός Topcon IS-01, να συνδεθεί με καλώδιο USB με την server device. Το καλώδιο αυτό παρέχει μια ονομαστική ταχύτητα μετάδοσης σήματος της τάξης των 12Mb/s [Garney J., 1996], ταχύτητα που ουσιαστικά δεν επιφέρει ανιχνεύσιμη χρονική υστέρηση στη μεταφορά του σήματος από τον σταθμό στην server device. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, για τη μεταφορά της εικόνας της οθόνης του σταθμού στη server device καθώς και για τον χειρισμό του σταθμού από τη server device εγκαταστάθηκε και στις δύο συσκευές το λογισμικό MyMobiler, ενώ για τον τηλεχειρισμό της server device από τη user device εγκαταστάθηκε το λογισμικό Teamviewer και στις δύο βοηθητικές συσκευές.

Για τον συγχρονισμό των ρολογιών της server device και της user device με τους διακομιστές παγκόσμιου χρόνου εγκαταστάθηκε στις δύο συσκευές το ελεύθερο λογισμικό *Precision Time Calibrator* [2]. Το λογισμικό αυτό επιλέχθηκε ανάμεσα σε άλλα διότι [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019]:

- ✓ Είναι ελεύθερο.
- ✓ Εμφανίζει ταυτόχρονα την πληροφορία του χρόνου UTC και του ρολογιού του H/Y με αναφορά της τάξης του 0.001sec.
- ✓ Παρέχει την ικανότητα στον χρήστη να επιλέγει ποιόν διακομιστή χρόνου θα επιλέξει ως πηγή χρονικής πληροφορίας μέσα από μια μεγάλη λίστα διακομιστών.
- ✓ Παρέχει απλά εργαλεία για τη βαθμονόμηση της εφαρμογής.

Παρά τα ανωτέρω πλεονεκτήματα το λογισμικό *Precision Time Calibrator* έχει ένα μειονέκτημα, όπως και τα υπόλοιπα συναφή λογισμικά. Ο χρήστης δεν έχει τη δυνατότητα να καταγράψει σε κάποιο αρχείο την πληροφορία του χρόνου που παρέχει το λογισμικό σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, όπως για παράδειγμα κατά τη στιγμή που ο παρατηρητής δίνει την εντολή στη user device για να εκτελεστεί η μέτρηση.

Τονίζεται ότι με την ενεργοποίηση της επικοινωνίας ανάμεσα στον σταθμό και την server device λαμβάνει χώρα αυτόματα συγχρονισμός του πρώτου ως προς τη δεύτερη με αποτέλεσμα να συγχρονίζεται και το ρολόι του σταθμού με εκείνο της server device, άρα και με τους διακομιστές παγκόσμιου χρόνου. Επίσης, μια σημαντική λεπτομέρεια είναι ότι το εσωτερικό ρολόι του μικροϋπολογιστή του σταθμού, όπως

και κάθε Η/Υ, παρέχει τη χρονική πληροφορία με ανάλυση ενός (1) δευτερολέπτου και όχι με καλύτερη αυτού. Συνεπώς ακόμη κι αν χρησιμοποιηθεί κάποιο λογισμικό για τον συγχρονισμό του σταθμού σε διακομιστές παγκοσμίου χρόνου όπως το Precision Time Calibrator, με αναφορά καλύτερη του 1 δευτερολέπτου, τότε ο χρόνος που θα αποδώσει ο σταθμός δεν θα είναι καλύτερος από τη δυνατότητα του διαθέτει κατασκευαστικά.

Προκειμένου να καταγραφεί η πληροφορία του χρόνου από το λογισμικό Precision Time Calibrator και υπό το φως της επισήμανσης, ότι το εν λόγω λογισμικό δεν επιτρέπει την αυτόματη καταγραφή του χρόνου σε κάποιο ψηφιακό αρχείο, αποφασίσθηκε να γίνει η καταγραφή του χρόνου του λογισμικού Precision Time Calibrator, με χρήση της δυνατότητας *print screen* των *Windows*. Ειδικότερα, αποφασίσθηκε να καταγραφεί:

- η εικόνα της οθόνης της user device που περιέχει το παράθυρο του λογισμικού Precision Time Calibrator κατά τη χρονική στιγμή που δίνεται η εντολή για την εκτέλεση μιας μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο που βρίσκεται ο παρατηρητής και
- η εικόνα της οθόνης της server device που περιέχει επίσης το παράθυρο του λογισμικού Precision Time Calibrator τη χρονική στιγμή που εκτελείται η μέτρηση στον σταθμό.

Το πρόβλημα που προέκυψε στη συγκεκριμένη περίπτωση από τη χρήση του *print screen* είναι ότι η εικόνα της οθόνης επιλέγεται προσωρινά στο *Clipboard* και δεν μπορεί να γίνει αυτόματα εκμεταλλεύσιμη καθώς πρέπει να εισαχθεί σε άλλη εφαρμογή διαχείρισης εικόνας, ενώ εάν χρησιμοποιηθεί εκ νέου το *print screen* τότε η προηγούμενη εικόνα χάνεται από το *Clipboard*. Η λύση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε με την εγκατάσταση του ελεύθερου λογισμικού *Greenshot* [3] στη server device και στη user device. Με τη χρήση του καθίσταται δυνατή η αυτόματη αποθήκευση των *printscreens* σε φάκελο και μορφότυπο (*format*) εικόνας που επιλέγει ο χρήστης.

Η τελική πρόκληση που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η αναγκαιότητα υλοποίησης του *print screen* τη στιγμή που δίνεται η εντολή για την εκτέλεση μιας μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο που βρίσκεται ο παρατηρητής και τη στιγμή που εκτελείται η μέτρηση στον σταθμό. Η λύση σε αυτό πρόβλημα αυτό δόθηκε με την εγκατάσταση στις δύο συσκευές του ελεύθερου λογισμικού *X-Mouse Button Control* [4]. Με την εφαρμογή του ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προγραμματίσει τα πλήκτρα του ποντικιού (*mouse*) του Η/Υ και να τους αναθέσει συγκεκριμένες λειτουργίες για συγκεκριμένες εφαρμογές. Έτσι, για την κάλυψη των αναγκών του πειράματος επιλέχθηκε η γενική χρήση του ποντικιού να παραμένει η ίδια για τις δύο συσκευές (*user*

device και server device). Όσον αφορά στη user device, όταν το ποντίκι χρησιμοποιείται εντός της εφαρμογής Teamviewer, το κλικ στο μεσαίο πλήκτρο (ροδάκι) επιλέχθηκε να αντιστοιχεί σε κλικ στο αριστερό πλήκτρο του ποντικιού και ταυτόχρονα σε επιλογή του πλήκτρου print screen του πληκτρολογίου. Αντίστοιχα για την server device, όταν το ποντίκι χρησιμοποιείται εντός της εφαρμογής Mymobiler, το κλικ στο αριστερό πλήκτρο επιλέχθηκε να αντιστοιχεί σε κλικ στο αριστερό πλήκτρο του ποντικιού και ταυτόχρονα σε επιλογή του πλήκτρου print screen του πληκτρολογίου.

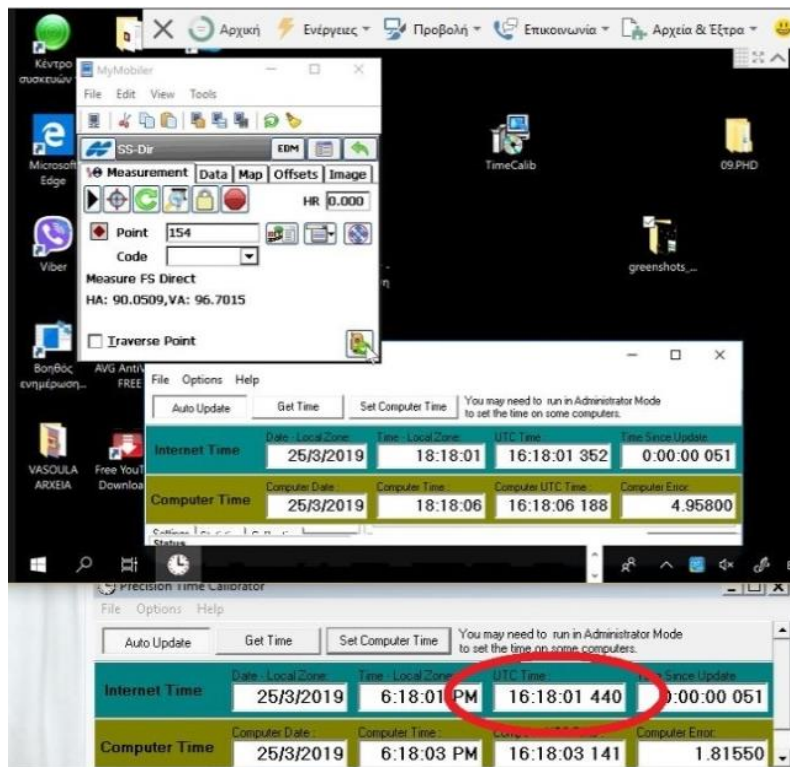
Με τον ανωτέρω συνδυασμό διαφορετικών ελεύθερων λογισμικών και ειδικών ρυθμίσεων επιτυγχάνονται οι ακόλουθες λειτουργίες:

- ✓ Ο παρατηρητής μπορεί να χειρισθεί τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό από την user device, μέσω της server device.
- ✓ Με ένα κλικ του μεσαίου πλήκτρου του ποντικιού εντός του λογισμικού Teamviewer στην user device, ενεργοποιείται η εκτέλεση της μέτρησης στη server device, άρα και στο σταθμό.
- ✓ Ταυτόχρονα αποθηκεύονται σε μορφή εικόνας δύο διαφορετικά print screens, το ένα στη user device τη στιγμή που ο παρατηρητής δίνει την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης (εικόνα 4.1) και το άλλο στη server device τη στιγμή που η εντολή αυτή εκτελείται (εικόνα 4.2).
- ✓ Στο print screen της user device καταγράφεται και ο ακριβής χρόνος UTC κατά τη στιγμή που δίνεται η εντολή της μέτρησης.
- ✓ Στο print screen της server device καταγράφεται και ο ακριβής χρόνος UTC κατά τη στιγμή που εκτελείται η μέτρηση.

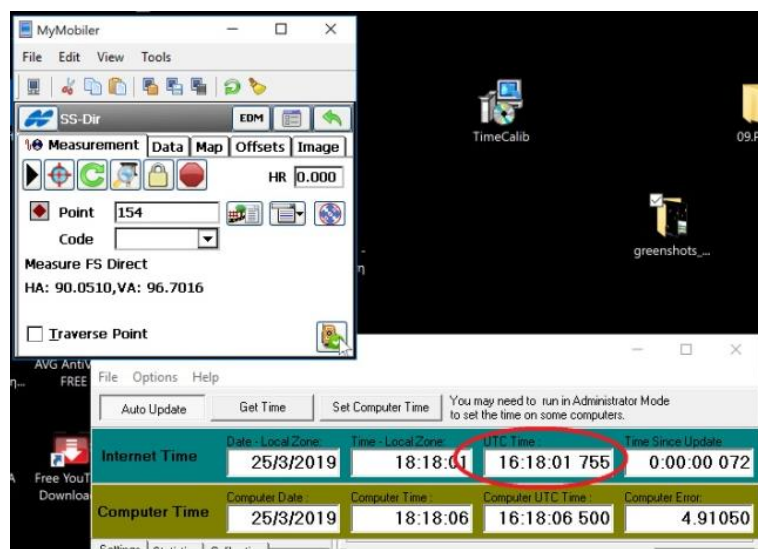
Από τη διαφορά των δύο χρονικών στιγμών που καταγράφονται στα δύο print screens προκύπτει και ο υπολογισμός της χρονικής υστέρησης, το οποίο ήταν και το ζητούμενο. Ειδικότερα, στην εικόνα 4.1 απεικονίζεται στο άνω μέρος της οθόνης το παράθυρο του λογισμικού Teamviewer το οποίο περιέχει την οθόνη του server device και στο κάτω μέρος το παράθυρο του λογισμικού Precision Time Calibrator, στο οποίο με κόκκινο κύκλο επισημαίνεται ο χρόνος UTC κατά τον οποίο δίνει την εντολή ο παρατηρητής να εκτελεσθεί η μέτρηση. Αντίστοιχα στην εικόνα 4.2 απεικονίζεται στο άνω μέρος της οθόνης το παράθυρο του λογισμικού Mymobiler το οποίο περιέχει την οθόνη του σταθμού και στο κάτω μέρος το παράθυρο του λογισμικού Precision Time Calibrator, στο οποίο με κόκκινο κύκλο επισημαίνεται ο χρόνος UTC κατά τον οποίον εκτελείται η εντολή του παρατηρητή.

Η πρώτη προσπάθεια για υλοποίηση του πειράματος πραγματοποιήθηκε στην αίθουσα Υ23 της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Εκεί, συνδέθηκε με καλώδιο USB ο

χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS-01 με τη server device (ένα laptop με λειτουργικό σύστημα Windows 10) και αυτή συνδέθηκε στο Internet μέσω καλωδίου Ethernet. Έπειτα, η user device (ένα laptop με λειτουργικό σύστημα Windows 10) συνδέθηκε επίσης στο Internet μέσω καλωδίου Ethernet στην ίδια αίθουσα. Στις δύο συσκευές είχαν εγκατασταθεί όλες οι προαναφερθείσες εφαρμογές και είχαν υλοποιηθεί και οι σχετικές ρυθμίσεις.



Εικόνα 4.1: To print screen της user device [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019]



Εικόνα 4.2: To print screen της server device [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019]

Τα αποτελέσματα της πρώτης προσπάθειας ήταν τα εξής:

- Ο χειρισμός του σταθμού από τη user device κατέστη δυνατός.
- Η χρονική υστέρηση ανάμεσα στη στιγμή που ο παρατηρητής έδωσε την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης και τη στιγμή που η εντολή αυτή εκτελέστηκε από τον σταθμό δεν κατέστη δυνατό να ανιχνευθεί καθόσον οι καταγραφές του χρόνου στα print screens που προαναφέρθηκαν ήταν ίδιες. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πιθανό να προκλήθηκε από το γεγονός ότι οι δύο συσκευές συνδέθηκαν στον ίδιο δρομολογητή (router), συνεπώς οι δύο καταγραφές του χρόνου ήταν μεταξύ τους εξαρτημένες.

Στη δεύτερη προσπάθεια για υλοποίηση του πειράματος πραγματοποιήθηκαν ορισμένες αλλαγές σε σχέση με την αρχική διαμόρφωση προκειμένου να γίνει πιο ρεαλιστικό το πείραμα σε σχέση με τις ανάγκες του Τοπογράφου Μηχανικού. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος συνδυασμός εξοπλισμού και λογισμικών και άλλαξε ο συνδυασμός συνδέσεων για την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η user device συνδέθηκε στο Internet μέσω ενός κοινού Wi-Fi router σε ένα διαμέρισμα στην Ηλιούπολη Αττικής. Η server device τοποθετήθηκε στον 3^ο όροφο του Κτηρίου Λαμπαδαρίου στο ΕΜΠ και συνδέθηκε επίσης στο Internet μέσω μιας σύνδεσης Wi-Fi, με τη χρήση ενός κοινού τηλεφώνου ως Internet Hotspot. Η φυσική απόσταση ανάμεσα στις δύο συσκευές ήταν περίπου 5 km. Τα αποτελέσματα της δεύτερης προσπάθειας ήταν τα εξής:

- Ο χειρισμός του σταθμού από τη user device κατέστη δυνατός.
- Η χρονική υστέρηση ανάμεσα στη στιγμή που ο παρατηρητής έδωσε την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης και τη στιγμή που η εντολή αυτή εκτελέστηκε στον σταθμό ανιχνεύθηκε (Εικόνες 4.1 και 4.2) και κυμάνθηκε από 0.045sec έως 0.351sec [Molyvas Ch., Lambrou E., 2019].

Το βασικό συμπέρασμα που εξάγεται από τα ανωτέρω πειράματα είναι ότι η εκτέλεση μετρήσεων με τη μέθοδο Remote Survey, με παράλληλη καταγραφή του χρόνου UTC στην user device και στη server device είναι εφικτή. Στην όλη διαδικασία επιδιώχθηκε η χρήση ελεύθερων λογισμικών, αρχή η οποία και τηρήθηκε. Πέραν των ανωτέρω, κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της διαδικασίας προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ❖ Το εσωτερικό ρολόι του σταθμού ακόμη κι αν συγχρονισθεί με μια δικτυακή πηγή χρόνου υψηλής ακρίβειας, καλύτερης του ενός δευτερολέπτου, ο χρόνος που θα αποδώσει δεν θα είναι καλύτερος από τη δυνατότητα που διαθέτει κατασκευαστικά. Συνεπώς ο

χρόνος θα αποδίδεται σε ώρες, λεπτά και πλήρη δευτερόλεπτα, χωρίς περαιτέρω υποδιαίρεση.

- ❖ Τα περισσότερα λογισμικά που εγκαταστάθηκαν στη server device και στη user device δεν είναι συμβατά με το λειτουργικό σύστημα του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού (Windows CE). Συνεπώς η απευθείας σύνδεση του σταθμού με το διαδίκτυο χωρίς τη χρήση της server device δεν ενδείκνυται εάν είναι επιθυμητή η καταγραφή του χρόνου με ανάλυση καλύτερη του ενός δευτερολέπτου.
- ❖ Διαπιστώθηκε ότι, η ενσύρματη σύνδεση USB ανάμεσα στον σταθμό και την server device δεν παρουσιάζει διακοπές και καθυστερήσεις στην μετάδοση του σήματος.
- ❖ Ως user device δοκιμάστηκε ένα tablet και ένα smartphone, στα οποία υπήρχε εγκατεστημένο το λειτουργικό σύστημα Android και επιπλέον εγκαταστάθηκε το λογισμικό Teamviewer. Με τη χρήση αυτών των συσκευών κατέστη δυνατή η εκτέλεση μετρήσεων με τηλεχειρισμό, χωρίς ωστόσο να καταστεί δυνατή η καταγραφή της χρονικής στιγμής που ο χρήστης δίνει την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο.

4.5 Διαπιστώσεις για τον χρόνο ως παράμετρο της μεθόδου Remote Survey

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις:

- ✓ Η εκτέλεση μετρήσεων με τη μέθοδο Remote Survey, με παράλληλη καταγραφή του χρόνου UTC στη user device και στη server device είναι εφικτή. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, η χρονική υστέρηση που καταγράφηκε πειραματικά ανάμεσα στη στιγμή που ο παρατηρητής έδωσε την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης και στη στιγμή που η εντολή αυτή εκτελέστηκε στον σταθμό κυμάνθηκε από 0.045sec έως 0.351sec, όταν η φυσική απόσταση ανάμεσα στις δύο συσκευές ήταν περίπου 5 km.
- ✓ Το εσωτερικό ρολόι του σταθμού ακόμη κι αν συγχρονισθεί με μια δικτυακή πηγή χρόνου υψηλής ακρίβειας, καλύτερης του 1 δευτερολέπτου, ο χρόνος που θα αποδώσει δεν θα είναι καλύτερος από τη δυνατότητα που διαθέτει κατασκευαστικά. Συνεπώς ο χρόνος θα αποδίδεται σε ώρες, λεπτά και πλήρη δευτερόλεπτα, χωρίς περαιτέρω υποδιαίρεση.

- ✓ Η χρήση ενός tablet ή smartphone ως user device είναι εφικτή με την επισήμανση ότι δεν είναι δυνατή η καταγραφή της χρονικής στιγμής που ο χρήστης δίνει την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ - Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ REMOTE SURVEY

5.1 Γενικά

Όπως ήδη έχει αποδειχθεί, η εκτέλεση μετρήσεων εξ αποστάσεως με τη μέθοδο Remote Survey είναι εφικτή με τη χρήση των σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών. Στο πλαίσιο αυτό ένα ενδιαφέρον αντικείμενο διερεύνησης αποτελεί η ανάλυση όλων των επιμέρους παραγόντων που επιφέρουν σφάλματα στις εν λόγω μετρήσεις και η διαμόρφωση της *εξίσωσης αβεβαιότητας της μεθόδου Remote Survey*, με την οποία ουσιαστικά επιδιώκεται η μοντελοποίηση της αβεβαιότητας της μεθόδου.

Ως θεμελιώδης αρχή για την ανάλυση που θα ακολουθήσει ορίζεται η διαπίστωση που προέκυψε κατόπιν πειραματικών μετρήσεων, ότι η μη ορθή σκόπευση ενός στόχου δεν επηρεάζει σημαντικά τη μέτρηση του μήκους αλλά αντίθετα τη μέτρηση της διεύθυνσης [Καραγεώργου Μ., 2011].

Οι παράγοντες μάλιστα που επιδρούν στην ποιότητα των κλασικών γεωδαιτικών μετρήσεων διευθύνσεων και ορίζουν στην πράξη ένα αδιαίρετο σύστημα, είναι [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012]:

- ο γεωδαιτικός σταθμός
- ο παρατηρητής
- ο στόχος και
- οι συνθήκες.

Όσον αφορά στις μετρήσεις με τη μέθοδο Remote Survey, ο παράγοντας γεωδαιτικός σταθμός αντικαθίσταται από τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, ενώ προστίθενται και επιπλέον πηγές αβεβαιότητας όπως η οθόνη της server device και της user device. Συνεπώς, οι παράγοντες που διαμορφώνουν το αντίστοιχο αδιαίρετο σύστημα της μεθόδου Remote Survey, είναι οι εξής:

- ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός
- η οθόνη της server device
- η οθόνη της user device
- ο παρατηρητής
- ο στόχος και
- οι συνθήκες

Τα ωφέλη από τη διαμόρφωση της εξίσωσης αβεβαιότητας της μεθόδου Remote Survey, όπως και κάθε άλλου συστήματος μετρήσεων διευθύνσεων, είναι σημαντικά και συνοψίζονται στα εξής [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012]:

- Προσδιορισμός διορθώσεων των μετρήσεων που πραγματοποιούνται από το συγκεκριμένο σύστημα.
- Εκτίμηση της επιτυγχανόμενης ακρίβειας σε σχέση με την ονομαστική κατασκευαστική ακρίβεια του χρησιμοποιούμενου οργάνου.
- Εκτίμηση της καταλληλότητας του συστήματος για κάποια συγκεκριμένη εργασία.
- Υπολογισμός της κλίμακας ενός συστήματος, ήτοι ο βαθμός της ταύτισής του με το πρότυπο ή η ομοιομορφία του.
- Υπολογισμός του συστηματικού σφάλματος και προσέγγιση του τυχαίου σφάλματος του συστήματος.

5.2 Ανάλυση σφαλμάτων του Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey

Το Σύστημα της Μεθόδου Remote Survey αποτελείται από διαφορετικά μέρη, κυρίαρχη θέση μεταξύ των οποίων καταλαμβάνει ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός, καθόσον η εμφάνισή του δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της μεθόδου. Τα όργανα της εν λόγω κατηγορίας περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό αφενός εξελιγμένων ηλεκτρονικών και μηχανικών διατάξεων (hardware) και αφετέρου άυλων προγραμμάτων (software), που λειτουργούν από κοινού για την εκτέλεση των πάσης φύσεως μετρήσεων. Ειδικότερα, περιλαμβάνουν διατάξεις για τον έλεγχο και την αποκατάσταση των συνθηκών ορθής θέσης και λειτουργίας, για τη μέτρηση μηκών, για την ανάγνωση των οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων, ψηφιακές κάμερες για την μετάδοση της εικόνας του στόχου στην οθόνη τους, ηλεκτρονικά συστήματα μετάδοσης του σήματος, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα διασύνδεσής τους με απομακρυσμένους Η/Υ, λειτουργικό σύστημα, το οποίο επιτρέπει την εγκατάσταση εφαρμογών για την εκτέλεση όλων των κλασικών γεωδαιτικών εργασιών και τον τηλεχειρισμό τους. Ενσωματώνοντας μάλιστα όλες τις τεχνολογικές καινοτομίες των λοιπών κοινών ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί διαθέτουν σύγχρονες διατάξεις που όπως προαναφέρθηκε επιτρέπουν την εκτέλεση μετρήσεων μηκών σε

ανακλαστήρα με υψηλή ακρίβεια, χωρίς να εξαρτάται το αποτέλεσμα αυτό από τη σκόπευση του παρατηρητή.

Αντίθετα, όσον αφορά στη μέτρηση διευθύνσεων και παρά το γεγονός ότι οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί επιτυγχάνουν σήμερα ονομαστική αβεβαιότητα στην ανάγνωση διεύθυνσης της τάξης του $\pm 1''$, $\pm 3''$ και $\pm 5''$, όπως παρουσιάστηκε ήδη στο Κεφάλαιο 1, ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας κατά την ανάγνωση της διεύθυνσης από τον παρατηρητή εξακολουθεί να επιφέρει σφάλματα. Η διαπίστωση αυτή γίνεται ακόμη πιο ορατή στην εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey αφού ο παρατηρητής σκοπεύει τον στόχο, όχι άμεσα μέσω του τηλεσκοπίου αλλά από την απομακρυσμένη οθόνη του.

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός που διαμορφώνει το τελικό σφάλμα στη μέτρηση διευθύνσεων στο Σύστημα της Μεθόδου Remote Survey, θα ακολουθήσει η ανάλυση της συμβολής ενός εκάστου των παραγόντων που το αποτελούν στη διαμόρφωση του συνολικού σφάλματος.

5.2.1 Ο παράγοντας χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός

Η συμβολή του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στη διαμόρφωση του σφάλματος ανάγνωσης διευθύνσεων, είναι η πιο σημαντική μεταξύ των παραγόντων ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey και οφείλεται στις ακόλουθες παραμέτρους [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012].

Στις κατασκευαστικές ατέλειες που έχουν ως αποτέλεσμα τη μη τήρηση των βασικών αρχών λειτουργίας των θεοδόλιγων, των οποίων εξέλιξη αποτελούν και οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοι. Σύμφωνα με τις ανωτέρω αρχές πρέπει [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]:

- Να είναι κατακόρυφος ο πρωτεύων άξονας ΠΠ΄.
- Να είναι ο δευτερεύων άξονας ΔΔ΄ κάθετος στον πρωτεύοντα άξονα ΠΠ΄.
- Να είναι κάθετος ο σκοπευτικός άξονας ΣΣ΄ στον δευτερεύοντα ΔΔ΄.

Για να θεραπευτούν αυτές οι ατέλειες οι κατασκευαστικοί οίκοι ενσωματώνουν στους σταθμούς ειδικό λογισμικό που υπολογίζει την απόκλιση και εφαρμόζει την κατάλληλη διόρθωση στις αναγνώσεις.

Στο σύστημα ανάγνωσης των διευθύνσεων. Στους πρώτους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς για την ανάγνωση των διευθύνσεων εφαρμόστηκε η "αυξητική μέθοδος", η οποία βασιζόταν στην φωτοηλεκτρική ανίχνευση από έναν αισθητήρα CCD της ποσότητας του φωτός που διέρχονταν από σύστημα γυάλινων, βαθμονομημένων και

περιστρεφόμενων δίσκων, αποδίδοντας έτσι τις τιμές των διευθύνσεων. Στους νέους σταθμούς εφαρμόζεται πλέον η "απόλυτη μέθοδος", με την αντικατάσταση του ανωτέρω συστήματος δίσκων, από έναν γυάλινο, κωδικοποιημένο με συγκεκριμένο πρότυπο γραμμικό κώδικα (barcode), δίσκο. Ο νέος δίσκος, σε συνδυασμό με τη χρήση πολλαπλών, έως και τέσσερις, "αναγνώστών", ήτοι συσκευών που καταγράφουν τις ενδείξεις του δίσκου, όπως και η χρήση ειδικού λογισμικού από τα σύγχρονα όργανα, εξασφαλίζουν τον περιορισμό της επίδρασης του σφάλματος που οφείλεται στο σύστημα ανάγνωσης [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Στη διάταξη του τηλεσκοπίου και πιο συγκεκριμένα στο σύστημα των φακών του, στη μεγέθυνση που επιτυγχάνει, στο πάχος του σταυρονήματος. Μια εκτίμηση για το μέγεθος του σφάλματος στη σκόπευση που οφείλεται στη μεγέθυνση του τηλεσκοπίου προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση [US Army Corps of Engineers, 2018]:

$$\sigma_p = \frac{45''}{M} \quad (5.1)$$

όπου: σ_p , το σφάλμα σκόπευσης (pointing error).

M , η μεγέθυνση των αντικειμενικών φακών του οργάνου.

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών συγκρατείται ότι οι εν λόγω σταθμοί επιτυγχάνουν μεγέθυνση 30x. Συνεπώς, το σφάλμα που προκαλείται είναι της τάξης του $\pm 1.5''$. Ωστόσο, εάν ληφθούν n σειρές μετρήσεων από το ίδιο σύστημα τότε το σφάλμα αυτό θα περιορισθεί, σύμφωνα με τη σχέση [US Army Corps of Engineers, 2018]:

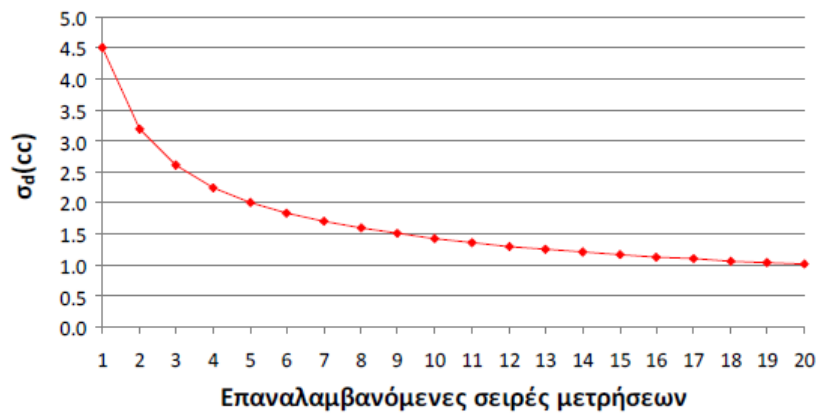
$$\sigma_d = \frac{\sigma_p}{\sqrt{n}} \quad (5.2)$$

όπου: σ_d , το σφάλμα σκόπευσης της μιας διεύθυνσης (single direction pointing error).

σ_p , το σφάλμα σκόπευσης (pointing error).

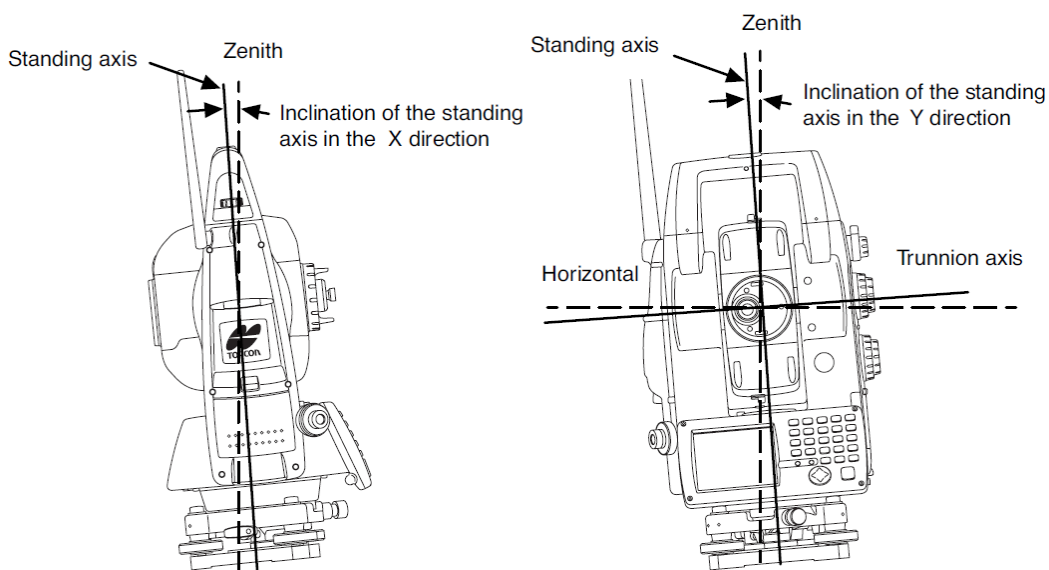
n , οι σειρές μετρήσεων από το ίδιο σύστημα.

Η μεταβολή του σφάλματος σκόπευσης σ_d , ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού με 30x μεγέθυνση, ανάλογα με τις επαναλαμβανόμενες σειρές μετρήσεων, καταγράφεται στο σχήμα 5.1 από το οποίο διαπιστώνεται ότι για να επιτευχθεί η ονομαστική αβεβαιότητα ενός σταθμού υψηλής ακρίβειας, της τάξης του 1" απαιτείται η εκτέλεση τουλάχιστον 3 σειρών μετρήσεων.



Σχήμα 5.1: Η μεταβολή του σφάλματος σκόπευσης ενός IATS, με 30x μεγέθυνση [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012]

Στην αδυναμία τέλεις οριζοντίωσης και κέντρωσης του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού. Η εσφαλμένη οριζοντίωση επιφέρει αποκλίσεις από την κατακόρυφο και το οριζόντιο επίπεδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Η απόκλιση λόγω εσφαλμένης οριζοντίωσης από την κατακόρυφο και το οριζόντιο επίπεδο [Topcon Co., 2009]

Το σφάλμα σ_L , που προκαλείται σε κάθε μέτρηση οριζόντιας διεύθυνσης, εξαρτάται από την ευαισθησία της αεροστάμης και μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τη σχέση [US Army Corps of Engineers, 2018]:

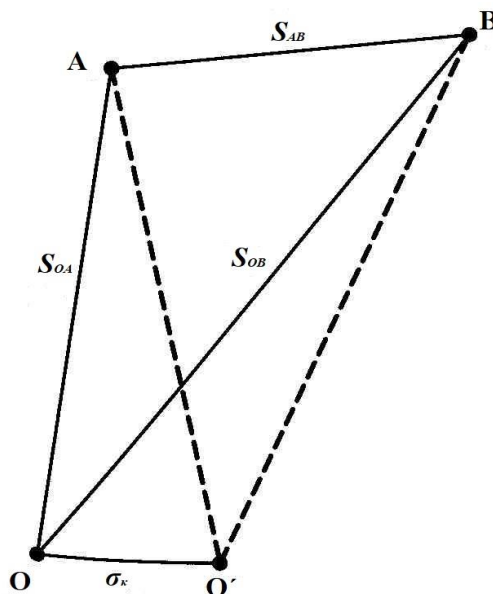
$$\sigma_L = \frac{\sigma_I}{\tan z} \quad (5.3)$$

όπου: z , η ζενίθια γωνία σκόπευσης,

σ_I , το σφάλμα λόγω της ευαισθησίας της αεροστάθμης S , το οποίο ισούται με:

$$\sigma_I = 0.2 \cdot S \quad (5.4)$$

Για μικρές αποκλίσεις από την κατακόρυφο οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί διαθέτουν έναν ή και περισσότερους ισοσταθμητές (compensators) που διορθώνουν αντίστοιχα τις τιμές των διευθύνσεων [US Army Corps of Engineers, 2018]. Ωστόσο, εάν παρεκκλίνει ο σταθμός περισσότερο από προκαθορισμένες τιμές που μπορούν να αντισταθμίσουν οι ισοσταθμητές του, τότε διακόπτει τη διαδικασία της μέτρησης και ζητά από τον χειριστή του την αποκατάσταση της οριζοντίωσης.



Σχήμα 5.3: Η επίδραση της μη ορθής κέντρωσης στη μέτρηση οριζοντίων γωνιών [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Η εσφαλμένη κέντρωση προκαλείται όταν ο κατακόρυφος άξονας του οργάνου (πρωτεύων ΠΠ΄) δεν συμπίπτει με το σημείο στάσης του οργάνου (O), αλλά με ένα άλλο σημείο της επιφάνειας του εδάφους (O΄), όπως στο σχήμα 5.3. Τότε το σφάλμα που εισάγεται στη μέτρηση της διεύθυνσης ισούται με [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]:

$$\sigma^{cc} = \pm \frac{\sigma_k \cdot S_{AB}}{S_{OA} \cdot S_{OB}} \cdot \rho^{cc} \quad (5.5)$$

όπου: σ^{cc} , το σφάλμα στην οριζόντια γωνία.

σ_k , το σφάλμα λόγω της μη ορθής κέντρωσης.

S_{AB} , η απόσταση ανάμεσα στο σημείο A που ορίζει την αρχή και το σημείο B που ορίζει το πέρας της γωνίας AOB.

S_{OA} , η απόσταση ανάμεσα στην κορυφή O της γωνίας AOB και το σημείο A που ορίζει την αρχή της γωνίας.

S_{OB} , η απόσταση ανάμεσα στην κορυφή O της γωνίας AOB και το σημείο B που ορίζει το πέρας της γωνίας AOB.

ρ^{cc} , η ποσότητα 636620^{cc}.

Στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του σφάλματος στη μέτρηση της οριζόντιας γωνίας σ^{cc} , λόγω μη ορθής κέντρωσης του σταθμού, κατά σφάλμα $\sigma_k, \pm 2\text{mm}$ και $\pm 1\text{cm}$, σε διαδοχικές αποστάσεις σταθμού – στόχων S από 50m έως 1000m.

Σφάλμα στη μέτρηση της οριζόντιας γωνίας σ^{cc}		
S εκφρασμένη σε m	σ_k εκφρασμένο σε mm	
		± 2
		± 10
50		± 25
100		± 13
200		± 6
500		± 2.5
1000		± 1.3

Πίνακας 5.1: Επίδραση της μη ορθής κέντρωσης του σταθμού στο σφάλμα μέτρησης της οριζόντιας γωνίας [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το σφάλμα αυτό είναι μεγαλύτερο όταν χρησιμοποιείται τρίποδας και μικρότερο όταν χρησιμοποιείται βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης. Επίσης, όσο αυξάνεται η απόσταση ανάμεσα στον σταθμό και τον στόχο τόσο μειώνεται η επίδραση του εν λόγω σφάλματος. Μια μέθοδος για να περιοριστεί η επίδραση αυτού του σφάλματος είναι η λήψη περισσότερων της μίας περιόδων μετρήσεων και η επανάληψη της κέντρωσης πριν από την κάθε περίοδο [US Army Corps of Engineers, 2018].

Στη μη τέλεια ευθυγράμμιση του σταυρονήματος του τηλεσκοπίου του σταθμού με το σταυρόνημα που ψηφιακά αποτυπώνεται στην εικόνα που μεταδίδει η ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο κάμερα. Οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί περιλαμβάνουν συνήθως τουλάχιστον δύο κάμερες. Η μία βρίσκεται εκτός τηλεσκοπίου και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της περιοχής που βρίσκεται ο στόχος ενώ η δεύτερη βρίσκεται εντός τηλεσκοπίου και χρησιμοποιείται για τη λεπτομερή σκόπευση του στόχου.

Στην εικόνα του στόχου που μεταδίδουν οι κάμερες προστίθεται από το λογισμικό των σταθμών ένα ψηφιακό σταυρόνημα, το οποίο ωστόσο ενώ εργοστασιακά είναι ευθυγραμμισμένο με το σταυρόνημα του τηλεσκοπίου, εντούτοις με τη χρήση απορρυθμίζεται και ο παρατηρητής θα πρέπει να το ρυθμίσει εκ νέου, ειδικά όταν πρόκειται να εκτελέσει μετρήσεις ακριβείας. Για τη ρύθμιση αυτή συνήθως υπάρχει ειδική επιλογή στα εργοστασιακά λογισμικά που συνοδεύουν τους σταθμούς, που βασίζεται στην αρχή ότι το ψηφιακό σταυρόνημα θα πρέπει να αλλάξει για να ευθυγραμμιστεί με το αναλογικό. Έτσι, αφού ελεγχθεί πολύ προσεκτικά η κέντρωση του σταθμού, ακολουθεί η σκόπευση ενός στόχου σε κοντινή απόσταση (συνήθως στα 15m περίπου) με το σταυρόνημα του τηλεσκοπίου και έπειτα μέσα από το λογισμικό των σταθμών μετακινείται το ψηφιακό σταυρόνημα για να αποδώσει σωστά το κέντρο του στόχου.

Στην ανάλυση της εικόνας που αποδίδουν οι κάμερες, η οθόνη και το λογισμικό μετάδοσης της εικόνας από τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό. Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, οι κάμερες που ενσωματώνονται στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς έχουν μια συγκεκριμένη ανάλυση με την οποία αποδίδουν την εικόνα του στόχου που ποικίλει από 1.3MPixels έως και 5MPixels.

Η ψηφιοποίηση της εικόνας του στόχου και η απόδοσή της με διακριτά εικονοστοιχεία (Pixels) εισάγει περιορισμούς και αβεβαιότητα στην εκτέλεση των μετρήσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Trimble SX10 ένα pixel της κάμερας που είναι ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο του αντιστοιχεί σε 0.88mm, σε απόσταση 50m [Trimble Co., 2016].

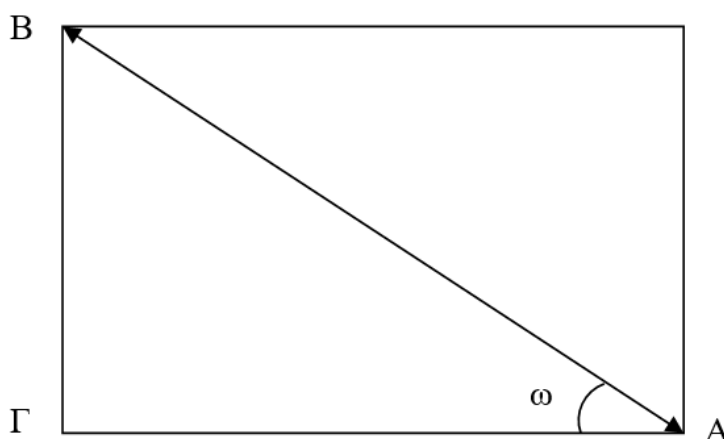
Συνεπώς, θεωρητικά ένας στόχος που έχει πάχος γραμμών 1mm θα μπορεί να σκοπευτεί οριακά έως την απόσταση των 56.818m, ένας που έχει πάχος γραμμών 5mm θα μπορεί να σκοπευτεί οριακά έως την απόσταση των 284.091m και ένας που έχει πάχος γραμμών 10mm θα μπορεί να σκοπευτεί οριακά έως την απόσταση των 586.182m.

Όσον αφορά στην οθόνη των σταθμών, αυτή συνήθως υποβαθμίζει την ποιότητα της εικόνας που λαμβάνει η ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο κάμερα καθώς έχει μικρότερη ανάλυση από τη δεύτερη. Για παράδειγμα, η τηλεσκοπική κάμερα του σταθμού Topcon IS-203 λαμβάνει εικόνες με ονομαστικό μέγεθος 1.3MPixels. Ωστόσο, η οθόνη του έχει ανάλυση 320dots x 240dots ή 320pixels x 240pixels = 76800pixels. Άρα η εικόνα που θα αναλάβει να μεταδώσει το κατάλληλο λογισμικό, για παράδειγμα το Mymobiler θα έχει μέγεθος 0.0768MPixels, σαφώς μικρότερο από το ονομαστικό μέγεθος της τηλεσκοπικής κάμερας.

Τέλος, η ανάλυση της εικόνας που υποστηρίζει το ανωτέρω λογισμικό μετάδοσης, επίσης επιδρά στην αβεβαιότητα της μέτρησης, καθώς καθορίζει και την εικόνα που θα εκπεμφθεί από τον σταθμό στον μεμακρυσμένο χρήστη. Ενδεικτικά επισημαίνεται ότι το λογισμικό Mymobiler που χρησιμοποιείται σε Συστήματα της Μεθόδου Remote Survey, μεταδίδει εικόνα video με ανάλυση του κάθε στιγμιαίου πλαισίου (frame) 320pixels x 240pixels [SAP Com., 1991], άρα μεγέθους 0.0768 MPixels, εικόνα που τελικά θα μεταδοθεί.

5.2.2 Οι παράγοντες οθόνη της server device και οθόνη της user device

Η οθόνη της user device, όπως και της server device στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται η Wi-Fi σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού, επιδρούν στην αβεβαιότητα της μέτρησης με τη μέθοδο Remote Survey. Ειδικότερα, είναι γνωστό ότι το λογισμικό μεταφοράς της εικόνας Mymobiler μεταδίδει εικόνα video με ανάλυση 320pixels x 240pixels.



Σχήμα 5.4: Η οθόνη του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού Topcon IS

Εάν υποτεθεί ότι για το Σύστημα της Μεθόδου Remote Survey θα χρησιμοποιηθεί ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS που διαθέτει οθόνη μεγέθους 3.5 ιντσών, τότε σύμφωνα με το σχήμα 5.4 θα ισχύει:

$$\tan \omega = \frac{B\Gamma}{A\Gamma} = \frac{240 \text{ pixels}}{320 \text{ pixels}} = 0,75 \Rightarrow$$

$$\omega = \tan^{-1} 0,75 = 0.643501109 \text{ rad}$$

Όμως:

$$\sin \omega = \frac{B\Gamma}{AB} \Rightarrow$$

$$B\Gamma = AB \cdot \sin \omega = 3.5 \text{ inches} \cdot \sin 0.643501109 = 2.1 \text{ inches}$$

και

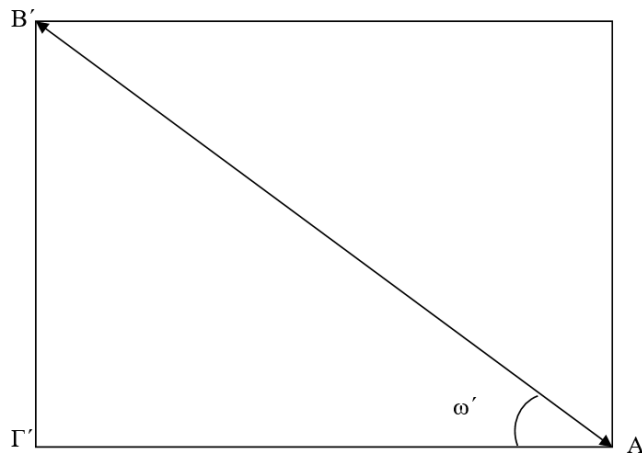
$$\cos \omega = \frac{A\Gamma}{AB} \Rightarrow$$

$$A\Gamma = AB \cdot \cos \omega = 3.5 \text{ inches} \cdot \cos 0.643501109 = 2.8 \text{ inches}$$

Συνεπώς το φυσικό μέγεθος του μοναδιαίου pixel θα ισούται με:

$$\frac{A\Gamma \text{ σε inches}}{\text{pixels της } A\Gamma} \times \frac{B\Gamma \text{ σε inches}}{\text{pixels της } B\Gamma} \Rightarrow \frac{2.8 \text{ inches}}{320} \times \frac{2.1 \text{ inches}}{240} \Rightarrow 0.00875 \text{ inches} \times 0.00875 \text{ inches}$$

Αντίστοιχα, η οθόνη του laptop/tablet Lenovo M1X 3-1030 που χρησιμοποιήθηκε ως user device στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έχει ανάλυση οθόνης 1920x1200 και μέγεθος 10.1 inches.



Σχήμα 5.5: Η οθόνη της user device

Τότε σύμφωνα με το σχήμα 5.5 θα ισχύει:

$$\tan \omega = \frac{B'\Gamma'}{A'\Gamma'} = \frac{1200 \text{ pixels}}{1920 \text{ pixels}} = 0.625 \Rightarrow$$

$$\omega = \tan^{-1} 0.625 = 0.558599315 \text{ rad}$$

Όμως:

$$\sin \omega = \frac{B'\Gamma'}{A'B'} \Rightarrow$$

$$B'\Gamma' = A'B' \cdot \sin \omega = 10.1 \text{ inches} \cdot \sin 0.55859 = 5.35 \text{ inches}$$

και

$$\cos \omega = \frac{A'G'}{A'B'} \Rightarrow$$

$$A'G' = A'B' \cdot \cos \omega = 10.1 \text{ inches} \cdot \cos 0.55859 = 8.56 \text{ inches}$$

Συνεπώς το φυσικό μέγεθος του μοναδιαίου pixel στην οθόνη του user device θα ισούται με:

$$\frac{A'G' \text{ σε inches}}{\text{pixels της } A'G'} \times \frac{B'G' \text{ σε inches}}{\text{pixels της } B'G'} \Rightarrow \frac{8,56 \text{ inches}}{1920} \times \frac{5,35 \text{ inches}}{1200} \Rightarrow$$

$$0.0045 \text{ inches} \times 0.0045 \text{ inches}$$

Διαπιστώνεται λοιπόν ότι το μοναδιαίο pixel στην οθόνη της user device είναι μικρότερο από εκείνο που μεταδίδεται από τον σταθμό. Στην περίπτωση αυτή η εικόνα του στόχου που έχει φυσικές διαστάσεις $AG \times BG$ ή $2.8 \text{ inches} \times 2.1 \text{ inches}$, θα συντίθεται στην οθόνη του user device από:

$$\frac{\text{pixels της } A'G' \times AG \text{ σε inches}}{A'G' \text{ σε inches}} \times \frac{\text{pixels της } B'G' \times BG \text{ σε inches}}{B'G' \text{ σε inches}} \Rightarrow$$

$$\frac{1920 \text{ pixels} \times 2.8 \text{ inches}}{8.56 \text{ inches}} \times \frac{1200 \text{ pixels} \times 2.8 \text{ inches}}{5.35 \text{ inches}} \Rightarrow$$

$$\cong 628 \text{ pixels} \times 471 \text{ pixels}$$

Συνεπώς, διαπιστώθηκε ότι ο αρχικός αριθμός των pixels για κάθε μια από τις διαστάσεις της οθόνης του σταθμού θα αποδοθεί με μεγαλύτερο αριθμό pixels στη user device. Ωστόσο αυτή η αλλοίωση της μεταδιδόμενης εικόνας δεν γίνεται αντιληπτή από τον παρατηρητή κάτι που θα συνέβαινε εάν η ανάλυση της οθόνης της user device απέδιδε με λιγότερα pixels ανά διάσταση την μεταδιδόμενη εικόνα σε σχέση με την αρχική, οπότε θα παρατηρούνταν και υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας.

Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι διαστάσεις των πλέον συνηθισμένων οθονών, οι προτεινόμενες αναλύσεις από την εταιρεία Microsoft [5] για κάθε μία από αυτές τις οθόνες, το φυσικό μέγεθος των pixels και ο αριθμός pixels που συνθέτουν την μεταφερόμενη εικόνα στην user device. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται η καταλληλότητα συνδυασμού οθόνης/ανάλυσης για τη μέθοδο Remote Survey, σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε και θεωρώντας ότι χρησιμοποιείται στην εφαρμογή της μεθόδου ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS και το λογισμικό Mymobiler για τη μετάδοση της εικόνας. Σύμφωνα

λοιπόν με τα ανωτέρω, ορισμένοι συνδυασμοί χαρακτηρίζονται ως κατάλληλοι και κάποιοι ως ακατάλληλοι διότι υποβαθμίζουν την ποιότητα της εικόνας που βλέπει ο χρήστης στη user device.

Μέγεθος Οθόνης H/Y ή Laptop	Προτεινόμενη Ανάλυση (σε pixels)	Φυσικό Μέγεθος pixels (σε inch)	Αριθμός pixels που συνθέτουν την μεταφερόμενη εικόνα στην user device	Καταλληλότητα Συνδυασμού οθόνης/ ανάλυσης για τη Μέθοδο Remote Survey
13-inch laptop screen	1400 × 1050	0.0074 × 0.0074	377 × 283	NAI
13-inch laptop screen	1280 × 800	0.0086 × 0.0086	325 × 244	NAI
15-inch laptop screen	1400 × 1050	0.0086 × 0.0086	327 × 245	NAI
15-inch laptop screen	1280 × 800	0.0099 × 0.0099	282 × 211	OXI
17-inch laptop screen	1680 × 1050	0.0086 × 0.0086	326 × 245	NAI
19-inch LCD monitor	1280 × 1024	0.0116 × 0.0116	242 × 181	OXI
20-inch LCD monitor	1600 × 1200	0.0116 × 0.0116	242 × 181	OXI
20-inch LCD monitors	1680 × 1050	0.0101 × 0.0101	277 × 208	OXI
22-inch LCD monitors	1680 × 1050	0.0111 × 0.0111	252 × 189	OXI
24-inch LCD monitor	1920 × 1200	0.0106 × 0.0106	264 × 198	OXI

Πίνακας 5.2: Καταλληλότητα για χρησιμοποίηση στη Μέθοδο Remote Survey των προτεινόμενων από την εταιρία Microsoft συνδυασμών οθονών/αναλύσεων.

Μέγεθος Οθόνης H/Y ή Laptop	Προτεινόμενη Ανάλυση (σε pixels)	Φυσικό Μέγεθος pixels (σε inch)	Αριθμός pixels που συνθέτουν την μεταφερόμενη εικόνα στην user device
10.1-inch	1920x1200	0.0045 × 0.0045	628 × 471
12.3-inch	2736 × 1824	0.0043 × 0.0043	658 × 493
13.3-inch	1920 × 1080	0.0060 × 0.0060	464 × 348
14-inch	1920 × 1080	0.0064 × 0.0064	441 × 330
15.6-inch	1920 × 1080	0.0071 × 0.0071	395 × 297
16.1-inch	1920 × 1080	0.0073 × 0.0073	383 × 287
17.3-inch	1920 × 1080	0.0079 × 0.0079	357 × 267
19-inch	1920 × 1080	0.0086 × 0.0086	352 × 243

Πίνακας 5.3: Συνδυασμοί αναλύσεων/οθονών που δεν υποβαθμίζουν την ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας στη Μέθοδο Remote Survey

Έπειτα, στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι συνδυασμοί οθονών/αναλύσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μέθοδο

Remote Survey, με τη χρήση των ανωτέρω λογισμικού και εξοπλισμού, χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας.

5.2.3 Ο παράγοντας παρατηρητής

Η επίδραση του παρατηρητή στην τελική διαμόρφωση της αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey, είναι αδιαμφισβήτη η πλέον δύσκολη να καταγραφεί και να τυποποιηθεί. Αυτό ισχύει διότι το σφάλμα που προκαλεί ο κάθε παρατηρητής στις μετρήσεις διευθύνσεων, αποτελείται:

- αφενός από ένα συστηματικό σφάλμα που οφείλεται στον ιδιαίτερο τρόπο που αντιλαμβάνεται τον χώρο, αναγνωρίζει τον στόχο που σκοπεύεται και ταυτίζει το σταυρόνημα του σταθμού με τον στόχο,
- αφετέρου από ένα τυχαίο σφάλμα που οφείλεται στην ικανότητα ή μη συγκέντρωσής του τη στιγμή της παρατήρησης, στην ευεξία ή στην κόπωση που θα αισθάνεται την ίδια στιγμή, όπως επίσης εάν διαθέτει ή όχι εμπειρία [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012].

5.2.4 Ο παράγοντας στόχος

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του στόχου, όπως το μέγεθός του, το σχήμα του, το πάχος των γραμμών του, το σχήμα και μέγεθος του κέντρου του, καθορίζουν και την επίδρασή του στη διαμόρφωση του σφάλματος της μεθόδου. Μάλιστα, όταν ο στόχος σκοπεύεται μέσα από το τηλεσκόπιο του σταθμού, τότε το φαινόμενο μέγεθός του μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μήκος σκόπευσης (D) και το μήκος του τηλεσκοπίου ($L_{τηλ}$). Στην περίπτωση αυτή, το φαινόμενο πάχος των γραμμών που συνθέτουν το κέντρο του στόχου ($\Pi_{\text{φαινόμενο}}$) σε σχέση με το πραγματικό τους πάχος ($\Pi_{\text{πραγματικό}}$) θα συνδέονται με την ακόλουθη σχέση [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012]:

$$\Pi_{\text{φαινόμενο}} = \Pi_{\text{πραγματικό}} \cdot \text{κλίμακα} \quad (5.6)$$

ή

$$\Pi_{\text{φαινόμενο}} = \Pi_{\text{πραγματικό}} \cdot \frac{L_{τηλ}}{D} \quad (5.7)$$

Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζεται ενδεικτικά η μεταβολή του φαινόμενου πάχους των γραμμών του κέντρου του στόχου σε συνάρτηση με πραγματικό τους πάχος για έναν σταθμό με μήκος τηλεσκοπίου της τάξης των 15cm. Εάν στον εν λόγω σταθμό το πάχος των γραμμών του σταυρονήματος είναι της τάξης των 3μm και λαμβάνοντας υπόψη το

γεγονός ότι για μια ορθή σκόπευση, οι γραμμές του σταυρονήματος του σταθμού δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες των φαινόμενων γραμμών του στόχου, τότε προκύπτει το συμπέρασμα ότι ένας στόχος με πάχος γραμμών 1mm, θα σκοπευτεί ορθά έως την απόσταση των 50m, ένας με πάχος γραμμών 5mm θα σκοπευτεί ορθά έως την απόσταση των 250m και ένας με πάχος γραμμών 10mm θα σκοπευτεί ορθά έως την απόσταση των 500m.

Φαινόμενο πάχος των γραμμών του στόχου (εκφρασμένο σε μm)				
<i>Μήκος Σκόπευσης, (εκφρασμένο σε m) με χρήση οργάνου που διαθέτει μήκος τηλεσκοπίου 15cm</i>	<i>Πραγματικό Πάχος των γραμμών του στόχου (εκφρασμένο σε mm)</i>			
		<i>1</i>	<i>5</i>	<i>10</i>
<i>10</i>		<i>15</i>	<i>75</i>	<i>150</i>
<i>20</i>		<i>7.5</i>	<i>37.5</i>	<i>75</i>
<i>40</i>		<i>3.75</i>	<i>18.75</i>	<i>37.5</i>
<i>50</i>		<i>3</i>	<i>15</i>	<i>30</i>
<i>100</i>		<i>Απαράδεκτος συνδυασμός</i>	<i>7.5</i>	<i>15</i>
<i>200</i>		<i>Απαράδεκτος συνδυασμός</i>	<i>3.8</i>	<i>75</i>
<i>250</i>		<i>Απαράδεκτος συνδυασμός</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>300</i>		<i>Απαράδεκτος συνδυασμός</i>	<i>Απαράδεκτος συνδυασμός</i>	<i>5</i>
<i>500</i>		<i>Απαράδεκτος συνδυασμός</i>	<i>Απαράδεκτος συνδυασμός</i>	<i>3</i>

Πίνακας 5.4: Το φαινόμενο πάχος των γραμμών στόχων.

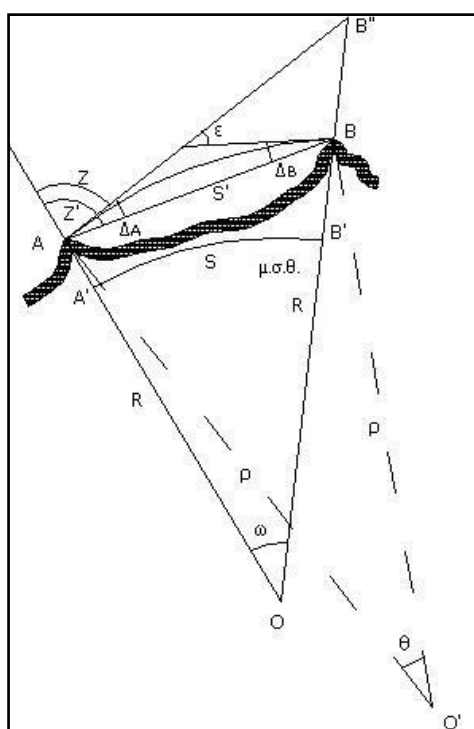
5.2.5 Ο παράγοντας συνθήκες

Σε ένα Σύστημα της μεθόδου Remote Survey περιλαμβάνονται ως παράμετρος πρόκλησης αβεβαιότητας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν κατά την εκτέλεση της μέτρησης, οι οποίες μάλιστα δεν είναι προβλέψιμες και δύσκολα αντισταθμίζονται. Αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν τη φωτεινότητα, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ομίχλη και έχουν ως συνέπεια τους το φαινόμενο της γεωδαιτικής

διάθλασης που επηρεάζει περισσότερο τη μέτρηση κατακόρυφων γωνιών και μηκών και λιγότερο τη μέτρηση οριζοντίων γωνιών. Ειδικότερα, στο σχήμα 5.6 η οπτική ακτίνα AB που υλοποιείται από τα αντίστοιχα σημεία A και B είναι καμπύλη και όχι ευθεία εξαιτίας της επίδρασης της γεωδαιτικής διάθλασης.

Η ποσοτική έκφραση αυτού του φαινομένου είναι ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης (K), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ακτίνας καμπυλότητας της γης (R) προς την ακτίνα καμπυλότητας της οπτικής ακτίνας (ρ), ήτοι [Μολύβας X., 2007]:

$$K = \frac{R}{\rho} \quad (5.8)$$



Σχήμα 5.6: Γεωδαιτική διάθλαση [Μολύβας X., 2007]

Η τιμή του K που χρησιμοποιείται ως διόρθωση στις γεωδαιτικές μετρήσεις δεν είναι σταθερή και παρουσιάζει μια διακύμανση με περιοδικότητα ενός εικοσιτετράωρου. Το πρωί έχει την τάση να μειώνεται, με ελάχιστη τιμή το μεσημέρι, το απόγευμα αυξάνεται σταδιακά και μετά τη δύση του ηλίου αυξάνεται απότομα, με τη μέγιστη τιμή του να παρατηρείται αργά τη νύχτα. Στη συνέχεια, αρχίζει να μειώνεται προς την ανατολή του ηλίου, ενώ λίγο πριν και λίγο μετά από αυτήν μειώνεται απότομα, μείωση η οποία σταθεροποιείται κατά τις επερχόμενες πρωινές ώρες [Μολύβας X., 2007].

Τονίζεται ότι σε εργαστηριακό περιβάλλον δεν υφίστανται τα ανωτέρω λόγω των περιορισμένων αποστάσεων ανάμεσα στο όργανο και τους στόχους και τις ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού, θερμοκρασίας και υγρασίας.

5.3 Ανάλυση μεθοδολογίας προσδιορισμού της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey

Ως εξίσωση αβεβαιότητας ενός Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey ορίζεται η εξίσωση που περιγράφει το τυχαίο και το συστηματικό σφάλμα των μετρούμενων οριζόντιων γωνιών με το συγκεκριμένο Σύστημα. Η εξίσωση αυτή βασίζεται στη θεωρία της γραμμικής παλινδρόμησης και δύναται να έχει τη μορφή [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012]:

$$y = a \cdot x + \beta \quad (5.9)$$

όπου: y , οι μετρήσεις του συστήματος, σε ένα πεδίο ελέγχου.
 x , οι πρότυπες μετρήσεις ή μετρήσεις αναφοράς, στο ίδιο πεδίο ελέγχου.

a , η κλίμακα του συστήματος, που μαθηματικά εκφράζει την κλίση της ευθείας προσαρμογής καθώς επίσης και την κατανομή του σφάλματος σε όλο το εύρος των μετρήσεων.

β , το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y , που εκφράζει το συστηματικό σφάλμα του συστήματος.

Ο προσδιορισμός των αγνώστων a και β , οι αβεβαιότητες προσδιορισμού τους καθώς και η αβεβαιότητα σ_o της προσαρμογής της γραμμικής παλινδρόμησης, υλοποιείται με την εφαρμογή της Μεθόδου των Ελαχίστων Τετραγώνων, εφαρμόζοντας το ακόλουθο τυπολόγιο [Young D. H., 1962] [Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.Μ., 2004] [Δερμάνης Α., Φωτίου Α., 1992] [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012]:

- Ευθεία προσαρμογής:

$$\hat{y} = \hat{a} \cdot x + \hat{\beta} \quad (5.10)$$

με σφάλμα:

$$\sigma_o^2 = \frac{1}{v} \cdot \sum_{i=1}^v (\hat{a} \cdot x_i + \hat{\beta} - y_i)^2 \quad (5.11)$$

το οποίο εκφράζει και την τιμή του συστηματικού σφάλματος. Στην περίπτωση μάλιστα που υπάρχει χονδροειδές τοπικό σφάλμα ή βλάβη σε

ένα ή περισσότερα σημεία κατά τη μέτρηση της διεύθυνσης, τότε η τιμή του σ_o της προσαρμογής, είναι μεγαλύτερη της ονομαστικής αβεβαιότητας του σταθμού. Γενικά, εάν ισχύει η ανωτέρω διαπίστωση τότε δεν ενδείκνυται η εκτέλεση μετρήσεων με το υπό έλεγχο σύστημα [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012].

- Παράμετρος κλίσης της ευθείας:

$$\hat{\alpha} = \frac{[v \cdot \sum_{i=1}^v (x_i \cdot y_i)] - [(\sum_{i=1}^v x_i) \cdot (\sum_{i=1}^v y_i)]}{[v \cdot \sum_{i=1}^v (x_i^2)] - (\sum_{i=1}^v x_i)^2} \quad (5.12)$$

με σφάλμα:

$$\sigma_{\hat{\alpha}} = \sqrt{\frac{v \cdot \sigma^2}{[v \cdot \sum_{i=1}^v (x_i^2)] - (\sum_{i=1}^v x_i)^2}} \quad (5.13)$$

Επίσης, στην περίπτωση που υπάρχει χονδροειδές τοπικό σφάλμα ή βλάβη σε ένα ή περισσότερα σημεία κατά τη μέτρηση της διεύθυνσης, τότε η τιμή της κλίμακας αποκλίνει της μονάδας, ενώ η τυπική της απόκλιση σ_a έχει τιμές της τάξης του $\pm 10^{-5}$ έως $\pm 10^{-4}$ [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012].

- Παράμετρος τομής με τον άξονα y, η οποία εκφράζει και την τιμή του συστηματικού σφάλματος:

$$\hat{\beta} = \frac{[\sum_{i=1}^v y_i \cdot \sum_{i=1}^v (x_i^2)] - (\sum_{i=1}^v x_i) \cdot [\sum_{i=1}^v (x_i \cdot y_i)]}{[v \cdot \sum_{i=1}^v (x_i^2)] - (\sum_{i=1}^v x_i)^2} \quad (5.14)$$

με σφάλμα:

$$\sigma_{\hat{\beta}} = \sqrt{\frac{\sigma^2 \cdot \sum_{i=1}^v (x_i^2)}{[v \cdot \sum_{i=1}^v (x_i^2)] - (\sum_{i=1}^v x_i)^2}} \quad (5.15)$$

Τονίζεται ότι όταν το σφάλμα $\sigma_{\hat{\beta}}$ μετά τη συνόρθωση προκύπτει μεγαλύτερο από το $\hat{\beta}$, τότε η τιμή του $\hat{\beta}$ είναι αμελητέα και δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012].

- Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης:

$$r = \frac{[v \cdot \sum_{i=1}^v (x_i \cdot y_i)] - [(\sum_{i=1}^v x_i) \cdot (\sum_{i=1}^v y_i)]}{\sqrt{[v \cdot \sum_{i=1}^v (x_i^2)] - (\sum_{i=1}^v x_i)^2} \cdot \sqrt{[v \cdot \sum_{i=1}^v (y_i^2)] - (\sum_{i=1}^v y_i)^2}} \quad (5.16)$$

Για τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης ισχύει η γενική σχέση [Δρακάτος Κ., 1984]:

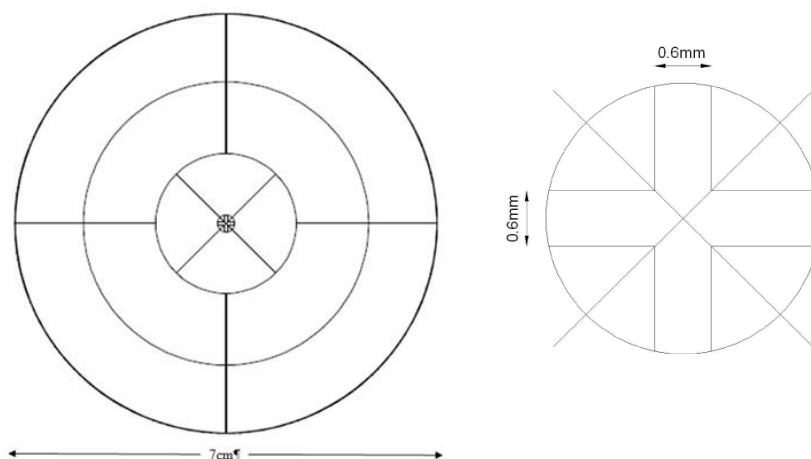
$$-1 \leq r \leq 1 \quad (5.17)$$

όταν: $r=1$, τότε λέμε ότι μεταξύ των x και y υπάρχει τέλεια θετική συσχέτιση.

$r=-1$, τότε λέμε ότι μεταξύ των x και y υπάρχει τέλεια αρνητική συσχέτιση.

$r=0$, τότε λέμε ότι μεταξύ των x και y δεν υπάρχει γραμμική σχέση.

Ο υπολογισμός της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey, όπως επίσης και αρκετοί μετρολογικοί έλεγχοι, βασίζεται στη σύγκριση της τιμής που παρέχει ένα όργανο με αυτή που παρέχεται από ένα πρότυπο όργανο και θεωρείται αληθής - πραγματική τιμή [Woschitz H., et al, 2002]. Και αυτό συμβαίνει διότι η αληθής - πραγματική τιμή ενός μεγέθους δεν μπορεί να είναι ποτέ γνωστή. Μια γενική αρχή που έχει αποδειχθεί πειραματικά είναι ότι το πρότυπο όργανο θα πρέπει να είναι 10 φορές πιο ακριβές από το όργανο ή το σύστημα που θα ελεγχθεί [Doebelin E.O., 1995].



Σχήμα 5.7: Αριστερά ο στόχος του πεδίου ελέγχου και δεξιά η μεγέθυνση του κέντρου του [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2012]

Με την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας υπολογίζεται με οικονομικό και σύντομο τρόπο, η αβεβαιότητα στη μέτρηση των οριζόντιων διευθύνσεων που μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του υπό έλεγχο Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey, καθώς επίσης εντοπίζονται τυχόν συστηματικά σφάλματα που προκαλούνται από τον σταθμό και χρήζουν επιδιόρθωσης.

Για την εφαρμογή του πειράματος επιλέχθηκε ως πεδίο ελέγχου η αίθουσα Υ23 στο κτήριο Λαμπαδάριο του ΕΜΠ, όπου τοποθετήθηκαν 20 στόχοι (σχήμα 5.7), ανά 20^s περίπου και σε αποστάσεις από 4.64m έως και 13.69m, γύρω από το σημείο στάσης του οργάνου. Η επιλογή του συγκεκριμένου αριθμού στόχων βασίστηκε στην ανάλυση των Λάμπρου Ε. και Νικολίτσα Κ. [Λάμπρου Ε., Νικολίτσα Κ., 2012], όπου εφαρμόζοντας μια προσομοίωση της εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης, σχέση (5.9), με τη μέθοδο Monte Carlo, για 106 επαναλήψεις, κρίθηκε ότι η βέλτιστη επιλογή είναι αυτή των 20 στόχων.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (5.7) και το σχήμα 5.7 προκύπτει ότι για τις αποστάσεις από 4m έως 11m περίπου, που υλοποιήθηκαν στο πεδίο ελέγχου της παρούσας εφαρμογής, η χρησιμοποίηση του ανωτέρω στόχου εξασφάλισε ότι το πάχος του σταυρονήματος του τηλεσκοπίου του οργάνου ήταν μικρότερο των γραμμών του στόχου, αναγκαία συνθήκη για την εκτέλεση ορθών μετρήσεων.

Όσον αφορά στις πρότυπες μετρήσεις ή αλλιώς στις μετρήσεις αναφοράς, αυτές προσδιορίζονται για ένα πεδίο ελέγχου κατόπιν πάρα πολλών μετρήσεων με συστήματα ανώτερης τάξης, στα οποία μάλιστα ενδέχεται να μην συμμετέχει και παρατηρητής και αβεβαιότητα με τιμή υποπολλαπλάσια των οργάνων που ελέγχονται. Ωστόσο, εάν τα όργανα μέγιστης ακρίβειας εκτελέσουν μεγάλο αριθμό περιόδων για τον καθορισμό των πρότυπων τιμών του πεδίου ελέγχου τότε η μέση τιμή των μετρηθέντων γωνιών προσεγγίζουν την αληθή τιμή τους και η τυπική τους απόκλιση τείνει στο μηδέν. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για να χρησιμοποιηθεί ένα όργανο για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών ενός πεδίου ελέγχου, τότε αυτό θα πρέπει να επιτυγχάνει ακρίβεια υποδεκαπλάσια της ονομαστικής τιμής της ακρίβειας του οργάνου που ελέγχεται [Λάμπρου Ε., Νικολίτσα Κ., 2012]. Στην παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε ως πρότυπο όργανο ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των σταθμών μέγιστης ακρίβειας, με ονομαστική ακρίβεια της τάξης των 3" [Topcon Co., 2009], ενώ εκτελέστηκαν 9 περίοδοι μετρήσεων οριζοντίων γωνιών, οι οποίες σύμφωνα με το σχήμα 5.1, καλύπτουν επαρκώς την απαίτηση για επίτευξη της ονομαστικής ακρίβειας του εν λόγω σταθμού.

Έπειτα, ακολούθησαν οι μετρήσεις οριζοντίων γωνιών ενός Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey, στο ίδιο πεδίο ελέγχου, προς

τους ίδιους είκοσι στόχους και για δύο περιόδους. Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203 συνδέθηκε μέσω Wi-Fi στο διαδίκτυο, με χρήση ενός smartphone ως Wi-Fi hotspot και ενός laptop ως user device. Με τον τρόπο αυτό παρακάμφθηκε η απαίτηση για την ύπαρξη μιας server device.

5.3.1 Αποτελέσματα του προσδιορισμού της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της Μεθόδου Remote Survey

Από την εφαρμογή των σχέσεων της γραμμικής παλινδρόμησης, με την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων, στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Αίθουσα Υ23 προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- ✓ Παράμετρος κλίσης της ευθείας η κλίμακα του συστήματος:

$$\hat{\alpha} = 1,000006 \pm 0,000001$$

- ✓ Παράμετρος τομής με τον άξονα y:

$$\hat{\beta} = 0,000247 \pm 0,000292$$

- ✓ Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης:

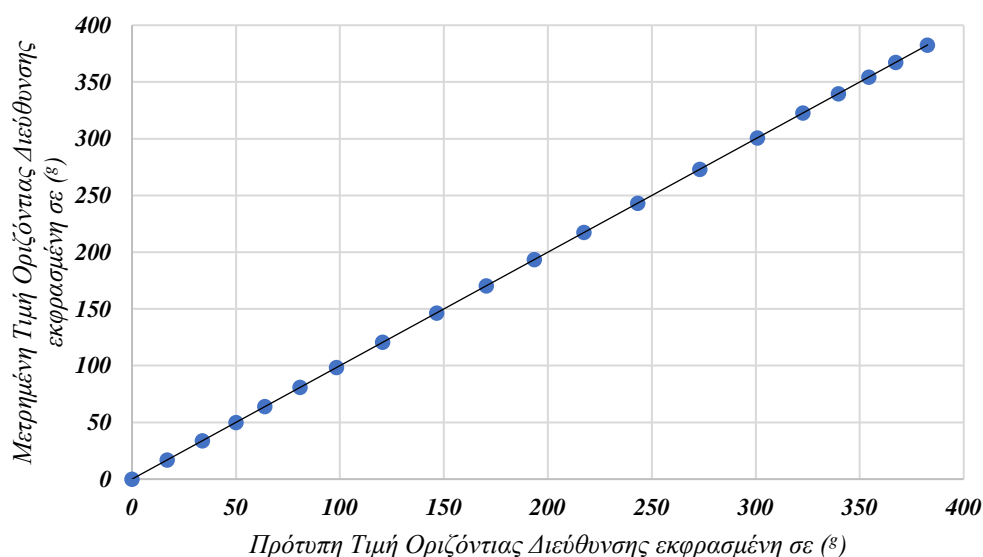
$$r = 1$$

- ✓ Ευθεία προσαρμογής:

$$\hat{y} = 1,000006 \cdot x + 0,000247$$

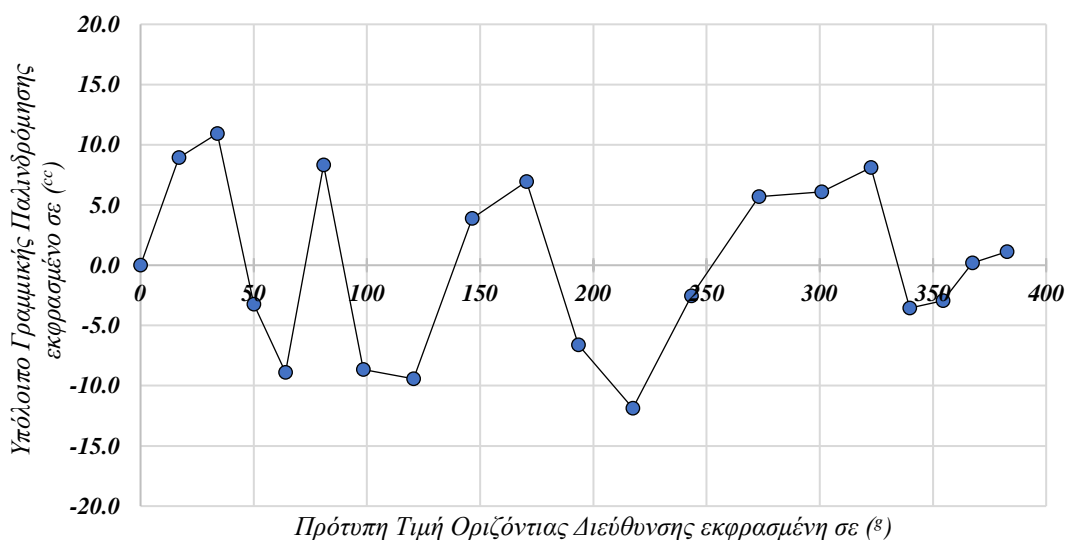
με σφάλμα:

$$\sigma_o = \pm 0,000684$$



Σχήμα 5.8: Η προσαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey.

Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζεται η προσαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης της Εξίσωσης του υπό εξέταση Συστήματος της μεθόδου Remote Survey, ενώ στο σχήμα 5.9 παρουσιάζονται τα υπόλοιπα της συνόρθωσης της ανωτέρω Εξίσωσης.



Σχήμα 5.9: Τα υπόλοιπα συνόρθωσης της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της συνόρθωσης, τα οποία μάλιστα παρουσιάζονται στα σχήματα 5.8 και 5.9, προκύπτουν τα εξής:

- Η κλίμακα της συνόρθωσης έχει τιμή 1, με προσέγγιση στο 6^ο δεκαδικό ψηφίο. Συνεπώς δεν υπάρχει χονδροειδές σφάλμα ή βλάβη σε ένα ή περισσότερα σημεία που μετρήθηκαν.
- Τα υπόλοιπα της συνόρθωσης κυμαίνονται από -11.9^{cc} έως +10.9^{cc}, με ομοιόμορφη κατανομή θετικών και αρνητικών τιμών στις μετρημένες διευθύνσεις.
- Ο συντελεστής συσχέτισης προέκυψε ίσος με 1. Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι μεταξύ των προτύπων τιμών (x) και των πειραματικών μετρήσεων (y) υπάρχει τέλεια θετική συσχέτιση.
- Το σφάλμα της κλίμακας συστήματος είναι της τάξης του $\pm 1 \cdot 10^{-6}$.
- Η τιμή του συστηματικού σφάλματος είναι $\pm 2.5^{\text{cc}}$ και του τυχαίου σφάλματος $\pm 6.8^{\text{cc}}$.
- Συνεπώς, τόσο το συστηματικό όσο και το τυχαίο σφάλμα κυμαίνονται μέσα στην ονομαστική αβεβαιότητα μέτρησης διευθύνσεων του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού που χρησιμοποιήθηκε, ήτοι $\pm 3''$ ή $\pm 9.3^{\text{cc}}$.

5.4 Διαπιστώσεις από την ανάλυση των πηγών σφαλμάτων και της εξίσωση αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey

Συνοψίζοντας τα διαλαμβανόμενα των παραγράφων που προηγήθηκαν προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις που αφορούν στις πηγές σφαλμάτων και στην εξίσωση αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey.

Η μη ορθή σκόπευση ενός στόχου δεν επηρεάζει σημαντικά τη μέτρηση του μήκους αλλά αντίθετα τη μέτρηση της διεύθυνσης. Μάλιστα, οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί διαθέτουν διατάξεις που επιτρέπουν την εκτέλεση μετρήσεων μηκών σε ανακλαστήρα με υψηλή ακρίβεια, χωρίς να εξαρτάται το αποτέλεσμα αυτό από τη σκόπευση του παρατηρητή.

Αντίθετα, όσον αφορά στη μέτρηση διευθύνσεων και παρά το γεγονός ότι οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί επιτυγχάνουν σήμερα υψηλή ονομαστική αβεβαιότητα στην ανάγνωση διεύθυνσης, από 1" έως και 5", ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας κατά την ανάγνωση της διεύθυνσης από τον παρατηρητή εξακολουθεί να επιφέρει σφάλματα. Η διαπίστωση αυτή γίνεται αντιληπτό ότι είναι ακόμη πιο ορατή στην εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey αφού ο παρατηρητής σκοπεύει τον στόχο, όχι άμεσα μέσω του τηλεσκοπίου αλλά από την απομακρυσμένη οθόνη του.

Οι παράγοντες που διαμορφώνουν το αδιαίρετο σύστημα της μεθόδου Remote Survey, είναι:

- ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός
- η οθόνη της server device
- η οθόνη της user device
- ο παρατηρητής
- ο στόχος και
- οι συνθήκες

Η συμβολή του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στη διαμόρφωση του σφάλματος ανάγνωσης διευθύνσεων, είναι η πιο σημαντική μεταξύ των παραγόντων ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey και οφείλεται στις ακόλουθες παραμέτρους:

- Στις κατασκευαστικές του ατέλειες.
- Στο σύστημα ανάγνωσης των διευθύνσεων.
- Στη διάταξη του τηλεσκοπίου του και ειδικότερα στο σύστημα των φακών του, στη μεγέθυνση που εξασφαλίζει, στο πάχος του σταυρονήματος.
- Στην αδυναμία τέλει οριζοντίωσης και κέντρωσής του.

- Στη μη τέλεια ευθυγράμμιση του σταυρονήματος του τηλεσκοπίου του με το σταυρόνημα που ψηφιακά αποτυπώνεται στην εικόνα που μεταδίδει η ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο κάμερα.
- Στην ανάλυση της εικόνας που αποδίδουν οι κάμερες, η οθόνη και το λογισμικό μετάδοσης της εικόνας σε εξωτερικές συσκευές.

Η οθόνη της user device και της server device επιδρούν στην αβεβαιότητα της μέτρησης με τη μέθοδο Remote Survey, μόνο εφόσον η ανάλυσή τους αλλοιώνει την εικόνα του στόχου αποδίδοντάς την στον απομακρυσμένο χρήστη με λιγότερα εικονοστοιχεία (pixels) σε σχέση με την εικόνα που εκπέμπεται από τον σταθμό. Επιπλέον, στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι συνδυασμοί οθονών/αναλύσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μέθοδο Remote Survey με τη χρήση του ανωτέρω λογισμικού και εξοπλισμού, χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας.

Η επίδραση του παρατηρητή στην τελική διαμόρφωση της αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey, είναι αδιαμφισβήτη η πλέον δύσκολη να καταγραφεί και να τυποποιηθεί.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του στόχου, όπως το μέγεθός του, το σχήμα του, το πάχος των γραμμών του, το σχήμα και μέγεθος του κέντρου του, καθορίζουν και την επίδρασή του στη διαμόρφωση του σφάλματος της μεθόδου, σε συνάρτηση πάντα με το μήκος σκόπευσης.

Τέλος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν κατά την εκτέλεση της μέτρησης δεν είναι προβλέψιμες, δύσκολα αντισταθμίζονται και επιδρούν σημαντικά στην αβεβαιότητα ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey. Αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν τη φωτεινότητα, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ομίχλη και έχουν ως συνέπεια την εμφάνιση του φαινομένου της γεωδαιτικής διάθλασης που επηρεάζει περισσότερο τη μέτρηση κατακόρυφων γωνιών και μηκών και λιγότερο τη μέτρηση οριζοντίων γωνιών.

Τα κυριότερα ωφέλη από τη διαμόρφωση της εξίσωσης αβεβαιότητας ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey είναι ο προσδιορισμός διορθώσεων των μετρήσεων που πραγματοποιούνται από το συγκεκριμένο Σύστημα, η εκτίμηση της επιτυγχανόμενης ακρίβειας σε σχέση με την ονομαστική κατασκευαστική ακρίβεια του χρησιμοποιούμενου σταθμού και η εκτίμηση της καταλληλότητας του Συστήματος για κάποια συγκεκριμένη εργασία. Η εξίσωση αυτή βασίζεται στη θεωρία της γραμμικής παλινδρόμησης.

Από τον πειραματικό προσδιορισμό της εξίσωσης του υπό εξέταση Συστήματος της μεθόδου Remote Survey προκύπτει ότι δεν παρατηρήθηκε κάποιο χονδροειδές σφάλμα ή βλάβη σε ένα ή περισσότερα σημεία που μετρήθηκαν, τα υπόλοιπα της συνόρθωσης

παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή θετικών και αρνητικών τιμών στις μετρημένες διευθύνσεις, μεταξύ των προτύπων τιμών (x) και των πειραματικών μετρήσεων (y) υπάρχει τέλεια θετική συσχέτιση και τόσο το συστηματικό όσο και το τυχαίο σφάλμα κυμαίνονται μέσα στην ονομαστική αβεβαιότητα μέτρησης διευθύνσεων του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού που χρησιμοποιήθηκε.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ REMOTE SURVEY

6.1 Μετρήσεις σε εσωτερικό πεδίο ελέγχου με τη μέθοδο Remote Survey, με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi

6.1.1 Περιγραφή του πειράματος

Στις πρώτες εφαρμογές της μεθόδου Remote Survey εκτελέστηκαν μετρήσεις με σκοπό τη διερεύνηση της αξιοπιστίας των σκοπεύσεων των οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων από την οθόνη της user device, δια μέσω της οθόνης της server device, ακολουθώντας τις διαδικασίες που προβλέπονται στο πρότυπο ISO 17123-3 [Lambrou E., 2014].

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι κατέστη δυνατός ο τηλεχειρισμός ενός χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού μέσω σύνδεσης Wi-Fi [Μολύβας X., Πανταζής Γ., 2020] κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί εκ νέου η αξιοπιστία των σκοπεύσεων των οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων από την οθόνη της user device χωρίς να παρεμβάλλεται πλέον η οθόνη της server device. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε με την εκ νέου εφαρμογή των διαδικασιών του ISO 17123-3 χρησιμοποιώντας τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon IS 203, ο οποίος διαθέτει ενσωματωμένη κάρτα δικτύου Wi-Fi για απευθείας σύνδεση στο διαδίκτυο και ονομαστική ακρίβεια στη μέτρηση των γωνιών της τάξης των 3" ή 9.3^{cc} [Topcon Co., 2009].

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-3, υφίστανται δύο ειδών μεθοδολογίες που μπορούν να εφαρμοσθούν προκειμένου να ελεγχθεί ένα όργανο για την ποιότητα των μετρούμενων οριζόντιων ή κατακόρυφων διευθύνσεων, η διαδικασία του απλοποιημένου ελέγχου (*Simplified test procedure*) και η διαδικασία του πλήρους ελέγχου (*Full test procedure*). Η πρώτη διαδικασία επιλέγεται όταν το ζητούμενο είναι ο έλεγχος ενός συστήματος οργάνου - παρατηρητή για να διαπιστωθεί εάν το μέτρο ακρίβειας (*measure of precision*) που επιτυγχάνει είναι επαρκές για την εκτέλεση εργασιών συγκεκριμένης ακρίβειας. Από την άλλη μεριά η δεύτερη διαδικασία επιλέγεται για να καθορισθεί το μέγιστο μέτρο ακρίβειας που επιτυγχάνει ένα όργανο (συμπεριλαμβανομένων και του βοηθητικού του εξοπλισμού) στη μέτρηση οριζοντίων ή κατακόρυφων διευθύνσεων σε συνθήκες πεδίου, ενώ επίσης βρίσκει εφαρμογή στον καθορισμό της εργαστηριακής τυπικής απόκλισης μιας

οριζόντιας διεύθυνσης (*SISO-THEO-HZ*) ή μιας κατακόρυφης γωνίας (*SISO-THEO-V*) που παρατηρείται στις ίδιες συνθήκες και σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου. Πέραν των ανωτέρω η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό [\[International Standards, 2001\]](#):

- του μέτρου της ακρίβειας ενός θεοδολίχου το οποίο χρησιμοποιείται από μια μεμονωμένη ομάδα τοπογράφων σε δεδομένο χρόνο,
- του μέτρου της ακρίβειας κατά τη διαχρονική χρήση ενός οργάνου,
- του μέτρου της ακρίβειας κατά τη χρήση καθενός από αρκετά θεοδολίχα προκειμένου να καταστεί ικανή η σύγκριση των ακριβειών που μπορούν να επιτευχθούν κάτω από παρόμοιες συνθήκες πεδίου.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας από τις δύο προαναφερθείσες διαδικασίες επιλέχθηκε η εκτέλεση του πλήρους ελέγχου διότι αυτός καλύπτει τις απαιτήσεις του πειράματος που καθορίστηκαν, ήτοι για να διαπιστωθεί εάν οι μετρήσεις γωνιών με τη μέθοδο Remote Survey μέσω Wi-Fi καλύπτουν την ονομαστική ακρίβεια του χρησιμοποιούμενου χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού.

Αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών ελέγχου μετρήσεων οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων σύμφωνα με το ISO 17123-3 παρουσιάζονται στο Παράρτημα "B".

6.1.2 Εκτέλεση του πειράματος

Για την εφαρμογή του προτύπου ISO 17123-3 στον έλεγχο των μετρήσεων οριζόντιων διευθύνσεων με τη μέθοδο Remote Survey τοποθετήθηκαν στην αίθουσα Υ.23 του κτηρίου Λαμπαδαρίου στο ΕΜΠ πέντε στόχοι σε ίση κατανομή. Οι στόχοι σκοπεύτηκαν και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου, σε τέσσερις περιόδους και σε τρεις σειρές μετρήσεων. Αντίστοιχα για τις κατακόρυφες διευθύνσεις τοποθετήθηκε μία κατακόρυφη ράβδος και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με σκόπευση σε συγκεκριμένα σημεία της ράβδου σε τέσσερις σειρές μετρήσεων και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου.

Επίσης, για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203, ο οποίος διαθέτει ενσωματωμένη κάρτα δικτύου Wi-Fi για απευθείας σύνδεση στο διαδίκτυο και ονομαστική ακρίβεια στη μέτρηση των γωνιών της τάξης των 3" ή 9.3^{cc}. Επίσης, ως user device χρησιμοποιήθηκε ένα laptop/tablet Lenovo M10X 3-1030, με μέγεθος οθόνης 10.1 inches και ανάλυση οθόνης 1920x1200.

6.1.3 Αποτελέσματα πειράματος - Διαπιστώσεις

Οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί των οριζόντιων διευθύνσεων παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες στο Παράρτημα "B". Εφαρμόζοντας τα αποτελέσματα των εν λόγω πινάκων στις αντίστοιχες σχέσεις του Παραρτήματος υπολογίζεται η πειραματική τυπική απόκλιση $s_{ISO-THEO-HZ}$ ή s . Συνεπώς:

$$s = \pm 6.6^{cc} \quad (6.1)$$

Για την ερμηνεία αυτού του αποτελέσματος θα πρέπει να εκτελεστεί συγκεκριμένος στατιστικός έλεγχος προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα εάν η υπολογισμένη με τη σχέση (6.1) πειραματική τυπική απόκλιση s έχει τιμή μικρότερη από την ονομαστική ακρίβεια σ του υπό έλεγχο οργάνου ή ενδεχομένως τιμή μικρότερη από μια άλλη προκαθορισμένη τιμή σ που ενδιαφέρει για συγκεκριμένη εφαρμογή. Επισημαίνεται ότι ο εν λόγω στατιστικός έλεγχος συνιστάται μόνο για τον πλήρη έλεγχο κατά ISO 17123-3 (full test procedure).

Για τον έλεγχο που θα εφαρμοσθεί θεωρείται ως επίπεδο εμπιστοσύνης το 95% ($1-\alpha=0.95$) και σύμφωνα με τον σχεδιασμό των μετρήσεων ο βαθμός ελευθερίας θα ισούται με $\nu=32$.

Η μηδενική υπόθεση που δηλώνει ότι η πειραματική τυπική απόκλιση s , της μίας οριζόντιας διεύθυνσης που μετρήθηκε σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου είναι μικρότερη από ή ίση με μια θεωρητική ή μια προκαθορισμένη τιμή σ , ήτοι $s \leq \sigma$, δεν απορρίπτεται εφόσον ισχύει η ακόλουθη συνθήκη:

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(\nu)}{\nu}} \Rightarrow \quad (6.3)$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(32)}{32}} \Rightarrow \quad (6.4)$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{46.19}{32}} \Rightarrow \quad (6.5)$$

$$s \leq \sigma \cdot 1.20 \quad (6.6)$$

Στην περίπτωση που δεν ισχύει η σχέση (6.6) η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (6.1) και το γεγονός ότι ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203 που χρησιμοποιήθηκε στο εν λόγω πείραμα έχει ονομαστική ακρίβεια σ στη μέτρηση των διευθύνσεων της τάξης των 3" ή 9.3^{cc}, η σχέση (6.6) γίνεται ως εξής:

$$s \leq \sigma \cdot 1.20 \Rightarrow 6.6^{cc} \leq 9.3^{cc} \cdot 1.20 \Rightarrow 6.6^{cc} \leq 11.16^{cc} \quad (6.7)$$

Η **σχέση (6.7) ισχύει**, οπότε **ισχύει και η μηδενική υπόθεση** που δηλώνει ότι η πειραματική **τυπική απόκλιση** s , της μίας οριζόντιας διεύθυνσης που μετρήθηκε σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου **είναι μικρότερη** από την **ονομαστική ακρίβεια** του υπό έλεγχο οργάνου.

Συνεπώς αποδεικνύεται ότι η μέθοδος Remote Survey μέσω σύνδεσης Wi-Fi **δεν υποβαθμίζει** την ονομαστική ακρίβεια που επιτυγχάνει το εν λόγω όργανο στη μέτρηση οριζόντιων διευθύνσεων.

Αντίστοιχα, οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί των κατακόρυφων διευθύνσεων παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες στο Παράρτημα "B". Εφαρμόζοντας τα αποτελέσματα των εν λόγω πινάκων στις αντίστοιχες σχέσεις του Παραρτήματος υπολογίζεται η πειραματική τυπική απόκλιση $s_{ISO-THEO-V}$ ή s . Συνεπώς:

$$s = \pm 4.8^{cc} \quad (6.8)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (6.8) και το γεγονός ότι ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203 που χρησιμοποιήθηκε στο εν λόγω πείραμα έχει ονομαστική ακρίβεια σ στη μέτρηση των διευθύνσεων της τάξης των 3" ή 9.3^{cc}, η σχέση (6.6) γίνεται ως εξής:

$$s \leq \sigma \cdot 1.20 \Rightarrow 4.8^{cc} \leq 9.3^{cc} \cdot 1.20 \Rightarrow 4.8^{cc} \leq 11.16^{cc} \quad (6.9)$$

Η **σχέση (6.9) ισχύει**, οπότε **ισχύει και η μηδενική υπόθεση** που δηλώνει ότι η **πειραματική τυπική απόκλιση** s , της μίας κατακόρυφης διεύθυνσης που μετρήθηκε σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου **είναι μικρότερη** από την **ονομαστική ακρίβεια** του υπό έλεγχο οργάνου.

Συνεπώς αποδεικνύεται ότι η μέθοδος Remote Survey μέσω σύνδεσης Wi-Fi **δεν υποβαθμίζει** την ονομαστική ακρίβεια που επιτυγχάνει το εν λόγω όργανο στη μέτρηση κατακόρυφων διευθύνσεων.

6.2 Έλεγχος γεωδαιτικού δικτύου με τη μέθοδο Remote Survey και με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi

6.2.1 Γενικά

Αφού ολοκληρώθηκε ο έλεγχος των μετρήσεων οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών σε εσωτερικό πεδίο ελέγχου τέθηκε ως επόμενος στόχος στο πλαίσιο της διατριβής ο έλεγχος ενός γεωδαιτικού δικτύου με τη μέθοδο Remote Survey και με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi, προκειμένου να διερευνηθεί η καταλληλότητα της μεθόδου για την εκτέλεση ελέγχων γεωδαιτικών δικτύων. Στην παράγραφο που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα θεμελιώδη στοιχεία που αφορούν στα γεωδαιτικά δίκτυα ελέγχου ενώ στο Παράρτημα "Γ" παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι συνόρθωσης δικτύων.

6.2.2 Περί γεωδαιτικών δικτύων

"Ως γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου ορίζεται ένα σύνολο σημείων των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές ως προς ένα σύστημα αναφοράς. Έτσι, το γεωδαιτικό δίκτυο υλοποιεί το σύστημα αναφοράς στην περιοχή στην οποία έχει ιδρυθεί" [Γεωργόπουλος Γ., κ.α., 2016].

Τα ανωτέρω σημεία της Φ.Γ.Ε. αποκαλούνται και κορυφές του γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου και προκειμένου να υπολογισθούν οι συντεταγμένες τους εκτελούνται μεταξύ τους παρατηρήσεις διευθύνσεων, μηκών, υψομετρικών διαφορών ή και φυσικών μεγεθών όπως η επιτάχυνση της βαρύτητας, με επίγειες συμβατικές γεωδαιτικές μεθόδους ή και με εφαρμογή μεθόδων δορυφορικής γεωδαισίας. Αφού ολοκληρωθούν οι εν λόγω παρατηρήσεις ακολουθεί η συνόρθωσή τους, με εφαρμογή της *Μεθόδου των Ελαχίστων Τετραγώνων (MET)*, διαδικασία που ονομάζεται και *επίλυση του δικτύου*, αποτέλεσμα της οποίας είναι οι άγνωστες συντεταγμένες των κορυφών. Η χρησιμότητα των γεωδαιτικών δικτύων ελέγχου είναι μεγάλη καθόσον χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο εργασιών γεωδαιτικής φύσης, όπως τη χάραξη τεχνικών έργων, τις αποτυπώσεις περιοχών, τον έλεγχο μετακινήσεων κατασκευών και άλλες.

Ανάλογα με τον τρόπο που ορίζονται τα δίκτυα, διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες. Στα τριδιάστατα γεωδαιτικά δίκτυα (3-Δ), όπου οι κορυφές τους ανήκουν σε τριδιάστατα τρισσορθογώνια καρτεσιανά (X, Y, Z) γεωκεντρικά ή μη, συστήματα αναφοράς και σε επιφανειακά ή διδιάστατα δίκτυα (2-Δ), όπου οι κορυφές τους ορίζονται από

επιφανειακές - γεωδαιτικές (φ, λ) ή επίπεδες συντεταγμένες (x, y) σε ένα γεωκεντρικό ή γεωδαιτικό ελλειψοειδές αναφοράς ή στο προβολικό επίπεδο αντίστοιχα [Γεωργόπουλος Γ., κ.α., 2016].

Επίσης, υπάρχουν και τα μονοδιάστατα δίκτυα ή δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου ή υψομετρικά δίκτυα τα οποία ελέγχουν τη θέση των κορυφών τους σε μία μόνο διάσταση, συνήθως στο υψόμετρο [Πανταζής Γ., 2020].

Η ίδρυση ενός επίγειου γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου πραγματοποιείται με τις εργασίες πεδίου και τις εργασίες γραφείου. Ειδικότερα, στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνεται η εγκατάσταση των κορυφών του δικτύου και η μέτρηση των γωνιών, των μηκών των πλευρών που σχηματίζονται ανάμεσα στις κορυφές του και των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των εν λόγω σημείων ή αλλιώς η μέτρηση των στοιχείων του. Αντίστοιχα στις εργασίες γραφείου περιλαμβάνεται η βελτιστοποίηση του δικτύου, η επεξεργασία των μετρήσεων προκειμένου να υπολογισθούν οι παρατηρήσεις των μεγεθών και η επίλυση του δικτύου με τη συνόρθωση των παρατηρήσεων [Γεωργόπουλος Γ., κ.α., 2016].

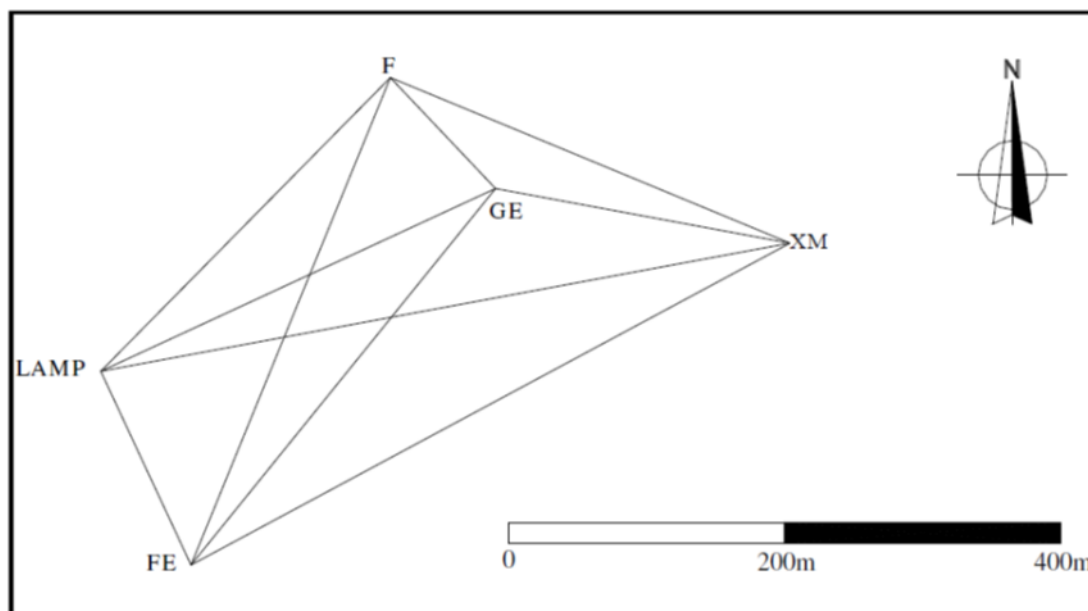
Αξίζει να επισημανθεί ότι η βελτιστοποίηση του δικτύου προηγείται των εργασιών πεδίου και αποσκοπεί στον βέλτιστο σχεδιασμό του δικτύου, δηλαδή στη βέλτιστη επιλογή του συστήματος αναφοράς, των θέσεων των κορυφών του, των παρατηρήσεων που θα υλοποιηθούν, των αβεβαιοτήτων των παρατηρήσεων, ενώ στην περίπτωση που υπάρχει υφιστάμενο δίκτυο στην βελτίωσή του. Επιπλέον, τα γεωδαιτικά δίκτυα πρέπει να σχεδιάζονται και να δοκιμάζονται πριν την εφαρμογή τους λαμβάνοντας υπόψη τρία θεμελιώδη κριτήρια για την ποιότητα και τη χρησιμότητά τους, που είναι η *ακρίβεια*, η *αξιοπιστία* και το *κόστος*. Δηλαδή, το ιδανικό γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου θα είναι ένα δίκτυο με καλή ακρίβεια, υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος [Even-Tzur G., 2006].

Τονίζεται ότι, τα γεωδαιτικά δίκτυα ελέγχου μπορούν να παραχθούν μόνο με πολύ ακριβείς μετρήσεις που αναφέρονται σε αναγνωρίσιμα σημεία ελέγχου, ήτοι τις κορυφές του. Ο συνδυασμός του σχεδιασμού των γεωδαιτικών μετρήσεων, των οργάνων, των μεθόδων βαθμονόμησης, των τεχνικών παρατήρησης και των μεθόδων βελτιστοποίησης είναι γνωστός και ως *Σύστημα Μετρήσεων* [Federal Geodetic Control Com., 1984].

6.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey στον έλεγχο επίγειου γεωδαιτικού δικτύου

Προκειμένου να διερευνηθεί η καταλληλότητα της μεθόδου Remote Survey για τον έλεγχο γεωδαιτικών δικτύων, επιλέχθηκε ως δίκτυο

ελέγχου, εκείνο που ιδρύθηκε το έτος 2000 από τους Πηνιώτη Γ. και Σαραφιάν Κ. στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και επαναμετρήθηκε από τους Δρ. Πανταζή Γεώργιο και Δρ. Λάμπρου Ευαγγελία το έτος 2004 (σχήμα 6.1) . Το ανωτέρω δίκτυο αποτελείται από πέντε κορυφές οι συντεταγμένες των οποίων υπολογίσθηκαν με εκτέλεση κλασικών γεωδαιτικών μετρήσεων [Lambrou E., Pantazis G., 2004].



Σχήμα 6.1: Το γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου [Lambrou E., Pantazis G., 2004]

Ειδικότερα οι κορυφές του δικτύου έχουν τις εξής ονομασίες:

- Κορυφή **LAMP**, που αντιστοιχεί σε βάθρο στην ταράτσα του κτηρίου Λαμπαδαρίου της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Η εν λόγω κορυφή κατά την επίλυση είχε την ονομασία **1**.
- Κορυφή **F**, που αντιστοιχεί σε βάθρο στην ταράτσα του κτηρίου Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών. Η εν λόγω κορυφή κατά την επίλυση είχε την ονομασία **2**.
- Κορυφή **GE**, που αντιστοιχεί σε βάθρο στην ταράτσα του κτηρίου Γενικών Εδρών της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών. Η εν λόγω κορυφή κατά την επίλυση είχε την ονομασία **3**.
- Κορυφή **XM**, που αντιστοιχεί σε βάθρο στην ταράτσα ενός κτηρίου της Σχολής Χημικών Μηχανικών. Η εν λόγω κορυφή κατά την επίλυση είχε την ονομασία **4**.

- Κορυφή **FE**, που αντιστοιχεί σε βάθρο στην ταράτσα του κτηρίου της Παλιάς Φοιτητικής Εστίας. Η εν λόγω κορυφή κατά την επίλυση είχε την ονομασία **5**.

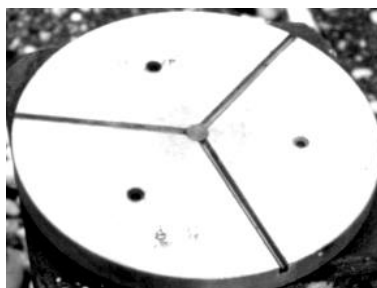
Η επιλογή του κάθε σημείου έγινε εφαρμόζοντας τα ακόλουθα κριτήρια:

- Εξασφάλιση της μονιμότητας και της σταθερότητας των θέσεων των σημείων.
- Η δημιουργία, ενός όσο το δυνατόν καλύτερου κανονικού γεωμετρικού σχήματος από τις κορυφές του δικτύου.



Εικόνα 6.1: Το βάθρο στην ταράτσα της Σχολής Χημικών Μηχανικών

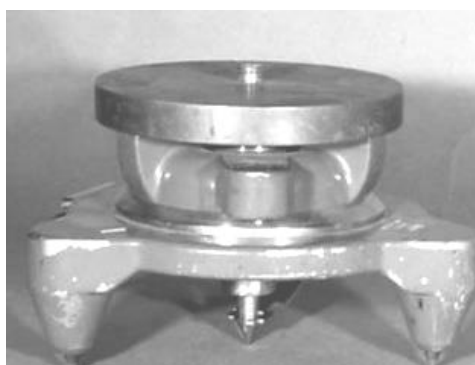
Η επισήμανση των κορυφών του δικτύου υλοποιήθηκε με τη χρήση ειδικών κατασκευών όπως βάθρων, ως εικόνες 6.1 και 6.2, τα οποία εξασφαλίζουν τον μοναδικό καθορισμό του κάθε σημείου και την εύκολη κέντρωση των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών ή ακόμη και των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών στις κορυφές του δικτύου.



*Εικόνα 6.2: Βάθρο του δικτύου της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου
[Lambrou E., Pantazis G., 2004]*

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια στην κέντρωση του σταθμού και των στόχων επί των βάθρων-κορυφών του δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν ειδικές βάσεις, βαρέως τύπου εξαναγκασμένης κέντρωσης, οι οποίες εξασφαλίζουν σφάλμα κέντρωσης $\pm 0.1\text{mm}$, όπως

εικόνα 6.3. Η κέντρωση ακριβείας εξασφαλίστηκε με την αμοιβαία αλλαγή ανάμεσα στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό και στους στόχους, επί των τοποθετημένων βάσεων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



Εικόνα 6.3: Βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης [Lambrou E., Pantazis G., 2004]

Κατά την υλοποίηση του πειράματος πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις οριζόντιων γωνιών, κατακόρυφων γωνιών και μηκών χρησιμοποιώντας έναν χωροεικονογεωδαιτικό γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS-203, με ακρίβεια της τάξης των $\pm 3''$ ($\cong 9''$) στη μέτρηση των γωνιών και $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ στη μέτρηση των μηκών [Topcon Co., 2009].

Οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και τα κεκλιμένα μήκη μετρήθηκαν και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου, για 4 περιόδους μετρήσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου. Η επίλυση του δικτύου έγινε στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (Greek Geodetic Reference System GGRS 87) και το ορθομετρικό υψόμετρο H χρησιμοποιήθηκε ως η τρίτη διάσταση. Επιπλέον, κατάλληλες διορθώσεις εφαρμόστηκαν στα μετρημένα μεγέθη πριν την επίλυση ως εξής:

- Διορθώσεις των κατακόρυφων γωνιών εξαιτίας της ατμοσφαιρικής διάθλασης.
- Διορθώσεις στις αποστάσεις εξαιτίας της χαρτογραφικής προβολής στο ΕΓΣΑ87, οι οποίες αλλάζουν τις μετρημένες αποστάσεις σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$S_{GGRS\ 87} = S_m \cdot K \quad (6.10)$$

όπου K είναι ο συντελεστής κλίμακας της χαρτογραφικής προβολής που υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$K = K_o + 0.012311 \cdot (X - X_o)^2 \quad (6.11)$$

όπου X , η μέση τετμημένη (X) της περιοχής του δικτύου σε Mm.

K_o , ο συντελεστής κλίμακας στον κεντρικό μεσημβρινό ($\lambda=24^\circ$) για το ΕΓΣΑ87, ο οποίος ισούται με 0.9996.

X_o , η τετμημένη (X) του κεντρικού μεσημβρινού, η οποία είναι ίση με 0.5 Mm.

Η συνόρθωση του δικτύου υλοποιήθηκε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού του ΕΜΠ. Οι συντεταγμένες του σημείου LAMP και το αζιμούθιο της διεύθυνσης ανάμεσα στα σημεία LAMP και F θεωρήθηκαν σταθερά για τη συνόρθωση.

6.2.4 Αποτελέσματα – Διαπιστώσεις

Στους πίνακες του Παραρτήματος "Γ" παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συνόρθωσης του τριδιάστατου δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκε ο ολικός έλεγχος αξιοπιστίας προκειμένου να ελεγχθεί το συναρτησιακό και το στατιστικό μοντέλο, ήτοι ο ολικός έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης H_o και οι στατιστικοί έλεγχοι των παρατηρήσεων για να διαπιστωθεί τυχόν ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων.

Στην παρούσα εργασία η μηδενική υπόθεση H_o ελέγχθηκε με χρήση της κατανομής χ^2 .

Ειδικότερα, θεωρώντας ότι $\sigma_o = 1$, $\hat{\sigma}_o = \pm 1.18$, $\alpha=0.05$ και $r=19$, τότε:

$$\frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2} \leq \frac{\chi_{r,(1-\alpha)}^2}{r} \Rightarrow \frac{1.18^2}{1^2} \leq \frac{\chi_{19,(1-0.05)}^2}{19} \Rightarrow$$

$$1.18^2 \cdot 19 \leq \chi_{19,(1-0.05)}^2 \Rightarrow 26.45 \leq 30.14 \quad (6.12)$$

Η σχέση (6.12) ισχύει, οπότε το αποτέλεσμα της συνόρθωσης γίνεται αποδεκτό.

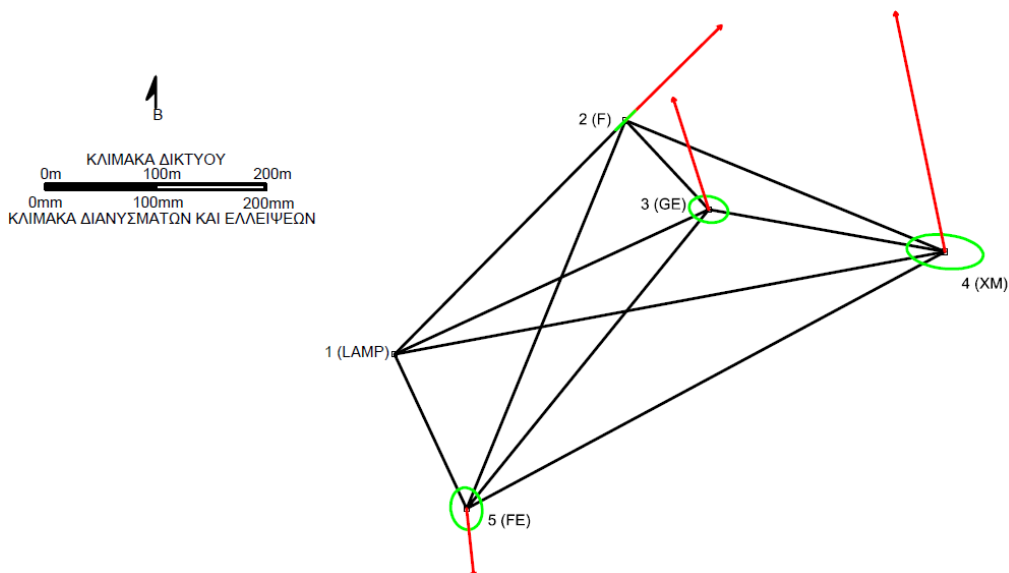
Επιπλέον, στους πίνακες και τα σχήματα που ακολουθούν διαπιστώνεται η απόλυτη μετακίνηση των κορυφών του δικτύου τόσο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση όσο και στο οριζόντιο επίπεδο. Αντίστοιχα, παρουσιάζονται οι σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των κορυφών του δικτύου. Υπενθυμίζεται ότι η κορυφή 1 (Κτήριο Λαμπαδάριου) και η διεύθυνση 1-2 (Κτήριο Λαμπαδάριου – Κτήριο Φυσικής) θεωρήθηκε σταθερή για τη συνόρθωση του δικτύου.

Σημείο	δr (mm)	φ (grad)	σ_U (mm)	σ_V (mm)	θ (grad)	Οριζόντια Μετακίνηση	δr_H (mm)	$\sigma_{\delta r_H}$ (mm)	Κατακόρυφη Μετακίνηση
2	122.25	49.5859	± 5.18	0.00	49.5859	NAI	-29.20	± 0.96	NAI
3	133.41	380.3434	± 7.31	± 4.80	187.7415	NAI	-24.66	± 9.71	NAI
4	222.03	386.9887	± 14.25	± 6.28	192.9413	NAI	-59.75	± 13.15	NAI
5	61.55	193.0776	± 7.85	± 5.83	110.2157	NAI	-20.99	± 7.52	NAI

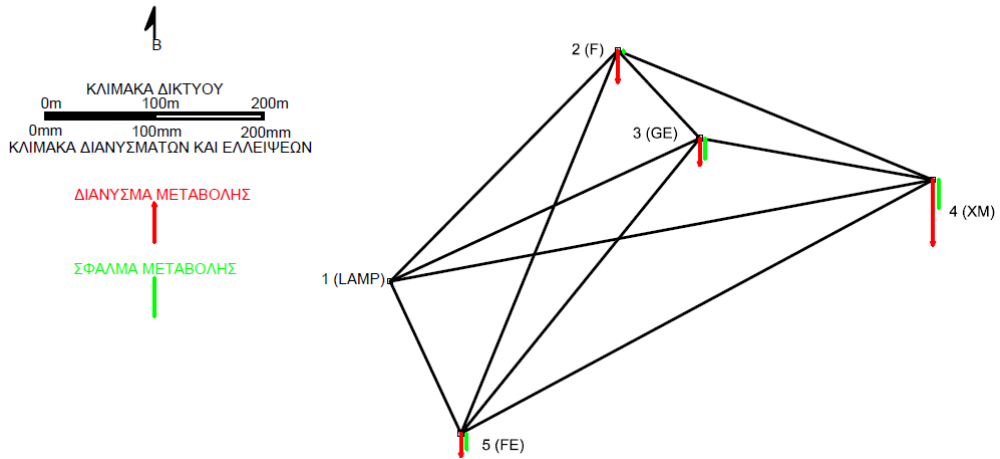
Πίνακας 6.1: Στοιχεία ελλείψεων σφάλματος απόλυτης μετακίνησης

από	προς	δr (mm)	φ (grad)	σ_U (mm)	σ_V (mm)	θ (grad)	Οριζόντια Μετακίνηση	δr_H (mm)	$\sigma_{\delta r_H}$ (mm)	Κατακόρυφη Μετακίνηση
1	2	122.25	300.0000	± 5.18	0.00	0.0000	NAI	-29.20	± 9.61	OXI
1	3	133.41	0.0000	± 7.31	± 4.80	115.2702	NAI	-24.66	± 9.71	NAI
1	4	222.03	308.3295	± 14.25	± 6.28	104.6799	NAI	-59.75	± 13.15	NAI
1	5	61.55	124.4531	± 7.85	± 5.83	137.9669	NAI	-20.99	± 7.52	NAI
2	3	38.63	311.7503	± 7.04	± 3.80	23.9637	NAI	4.54	± 18.52	OXI
2	4	126.52	315.6335	± 14.29	± 6.77	69.4924	NAI	-30.55	± 19.93	NAI
2	5	169.95	107.5943	± 8.22	± 5.88	77.3799	NAI	8.21	± 13.24	OXI
3	4	94.22	314.4630	± 9.58	± 6.15	82.9974	NAI	-35.09	± 20.64	NAI
3	5	169.48	103.5460	± 10.54	± 6.72	105.5305	NAI	3.67	± 13.15	OXI
4	5	245.37	304.2807	± 16.50	± 8.51	104.5851	NAI	38.76	15.75	NAI

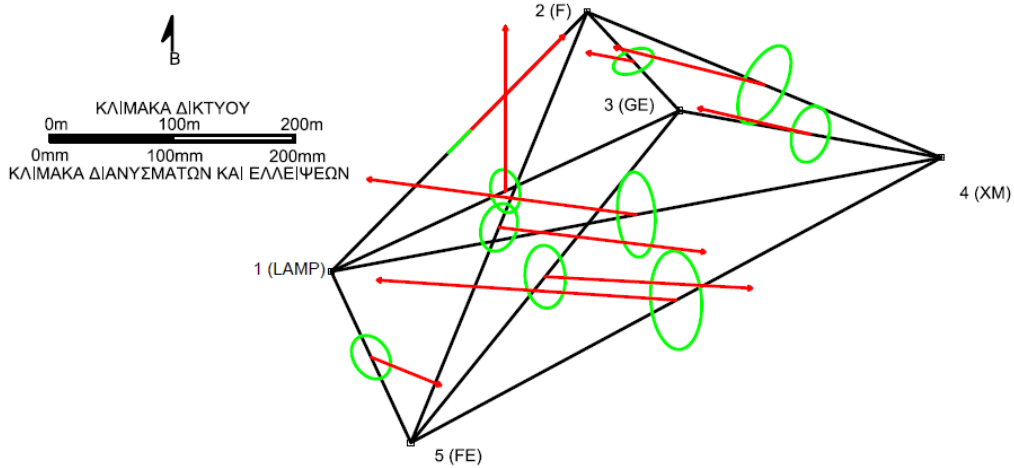
Πίνακας 6.2: Στοιχεία ελλείψεων σφάλματος σχετικής μετακίνησης



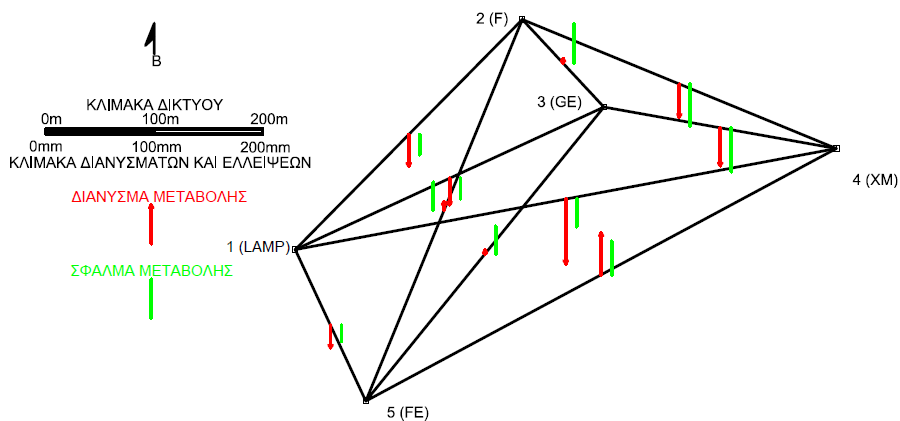
Σχήμα 6.2: Απεικόνιση διανυσμάτων και ελλείψεων σφάλματος απόλυτης οριζοντιογραφικής μετακίνησης



Σχήμα 6.3: Απεικόνιση διανυσμάτων απόλυτης κατακόρυφης μετακίνησης



Σχήμα 6.4: Απεικόνιση διανυσμάτων και ελλείψεων σφάλματος σχετικής οριζοντιογραφικής μετακίνησης



Σχήμα 6.5: Απεικόνιση διανυσμάτων σχετικής κατακόρυφης μετακίνησης

6.3 Αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις με τη μέθοδο Remote Survey

"ΠΕΡΙΣΚΟΠΕΙΝ ΑΣΤΡΩΝ ΔΡΟΜΟΥΣ ΩΣΠΕΡ ΣΥΜΠΕΡΙΘΕΟΝΤΑ"

*"Να παρατηρείς την κίνηση των άστρων σα να περιστρέφεται κι εσύ
μαζί τους"*

Μάρκος Αυρήλιος, ΕΙΣ ΕΑΥΤΟΝ, 7.47

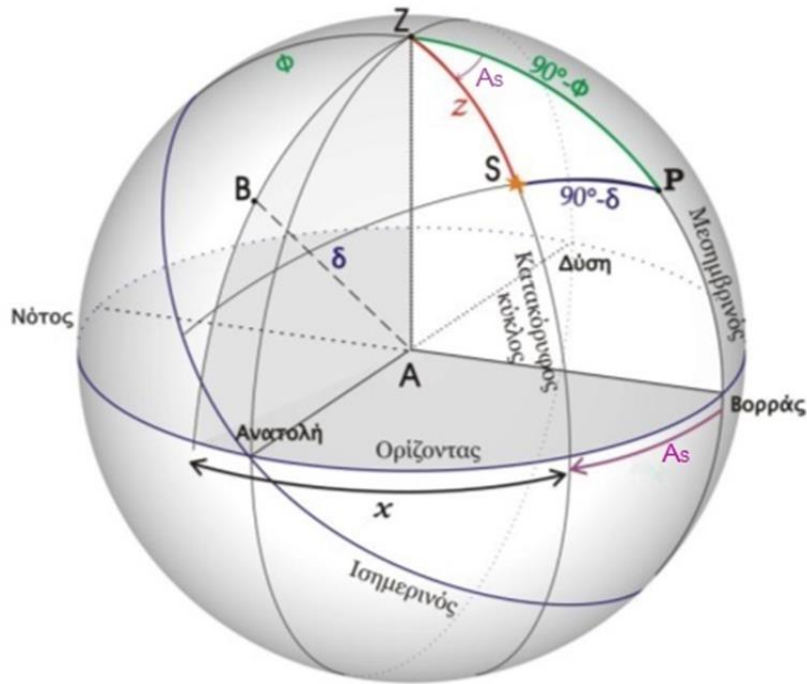
6.3.1 Γενικά

Η εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με τη μέθοδο Remote Survey αποτελεί μία πρωτοτυπία της διατριβής. Επιδιώχθηκε η εκτέλεση των παρατηρήσεων να λάβει χώρα συνδέοντας τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό στο διαδίκτυο με τεχνολογία Wi-Fi προκειμένου αφενός να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα του πειράματος και αφετέρου να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα των παρατηρήσεων.

Ειδικότερα, ορίστηκε ως στόχος η εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων προς τον Πολικό Αστέρα προκειμένου να υπολογισθεί το αστρονομικό αζιμούθιο διεύθυνσης. Για να συμβεί αυτό τέθηκε ως απαραίτητη προϋπόθεση ο συγχρονισμός του εσωτερικού ρολογιού του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού με τους παγκόσμιους διακομιστές χρόνου (UTC Servers) προκειμένου να επιτυγχάνεται η καταγραφή του χρόνου εκτέλεσης της παρατήρησης με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Όπως ήδη περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4, ο ανωτέρω συγχρονισμός κατέστη δυνατός με την εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού στον σταθμό, οπότε με την αποκατάσταση της σύνδεσής του στο διαδίκτυο, το εσωτερικό του ρολόι συγχρονίζεται με τον παγκόσμιο χρόνο UTC και καταγράφει τη χρονική στιγμή που εκτελούνταν οι μετρήσεις, με ακρίβεια της τάξης του 1sec.

6.3.2 Θεμελιώδεις Έννοιες της Γεωδαιτικής Αστρονομίας

Ως αστρονομικό αζιμούθιο A_{AB} μιας διεύθυνσης AB ορίζεται το μέτρο της διέδρης γωνίας μεταξύ των δύο επιπέδων που περιέχουν την κατακόρυφο στο σημείο A, που το ένα είναι παράλληλο προς τον άξονα περιστροφής της Γης, ενώ το άλλο περιέχει το σημείο B.



Σχήμα 6.6: Το αστρονομικό αζιμούθιο [Λάμπρου Ε., 2003]

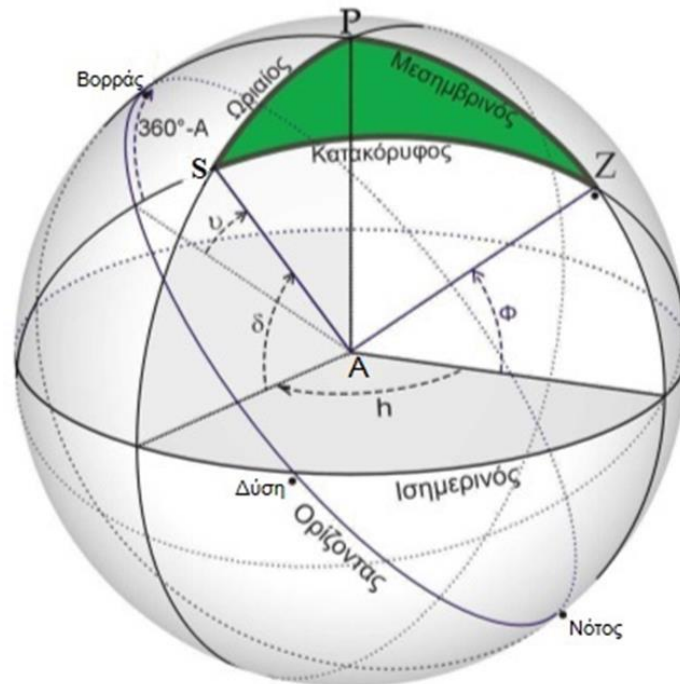
Ουσιαστικά, αποτελεί τη γωνία που ορίζεται μεταξύ του αστρονομικού μεσημβρινού που περιέχει το A και του κατακόρυφου επιπέδου στο A που περιέχει το B. Η μέτρηση του αστρονομικού αζιμούθιου γίνεται στο οριζόντιο επίπεδο με αφετηρία τη διεύθυνση του αστρονομικού Βορρά και φορά δεξιόστροφη προς την Ανατολή, ως σχήμα 6.6.

Η σχέση που ορίζει, σύμφωνα με το ίδιο σχήμα, το αστρονομικό αζιμούθιο μίας διεύθυνσης AB είναι η ακόλουθη:

$$A_{AB} = A_S + x \quad (6.13)$$

όπου: A_S , το αζιμούθιο ενός ουρανίου σώματος S, για δεδομένη χρονική στιγμή.

x , η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του κατακόρυφου κύκλου του B και του κατακόρυφου κύκλου ενός ουρανίου σώματος S, για την ίδια χρονική στιγμή.



Σχήμα 6.7: Τρίγωνο θέσης ενός αστέρα S [Τσονάκας Ν., 2007]

Θεωρητικά, το αζιμούθιο A_{AB} θα μπορούσε να μετρηθεί απευθείας, εάν υλοποιούνταν στο πεδίο άμεσα η διεύθυνση του μεσημβρινού, κάτι που δεν ισχύει. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό του αζιμούθιου υφίστανται δύο εναλλακτικές επιλογές:

- είτε να γίνει ο προσδιορισμός της διεύθυνσης του μεσημβρινού,
- είτε να υπολογιστεί το αζιμούθιο A_S ενός ουρανίου σώματος S σε δεδομένη χρονική στιγμή και να μετρηθεί ταυτόχρονα η γωνία x που σχηματίζεται μεταξύ του κατακορύφου κύκλου του B και του κατακορύφου κύκλου του ουρανίου σώματος.

Συνήθως, υλοποιείται η δεύτερη εναλλακτική επιλογή. Ο προσδιορισμός του αζιμούθιου A_S ενός αστέρα S υλοποιείται με χρήση του τριγώνου θέσης που σχηματίζει, ως σχήμα 6.7. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να είναι ήδη γνωστό το αστρονομικό πλάτος Φ του σημείου A (σημείο στάσης), η απόκλιση δ του αστέρα S , ενώ θα πρέπει να μετρηθεί είτε η ωριαία γωνία h , είτε η ζενίθια απόσταση z ή αλλιώς κατακόρυφη γωνία z , για δεδομένη χρονική στιγμή.

Στη μέτρηση της ωριαίας γωνίας θα πρέπει να είναι γνωστό το αστρονομικό μήκος λ του τόπου, η ορθή αναφορά α του αστέρα S και η χρονική στιγμή της παρατήρησης [Κορακίτης Ρ., 2008]. Για την μέτρηση της ζενίθιας απόστασης z δεν θα ακολουθήσει περαιτέρω ανάλυση διότι δεν χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής.

Όσον αφορά στον προσδιορισμό του αζιμούθιου από την ωριαία γωνία ενός αστέρα, είναι απαραίτητο να διευκρινισθεί ότι η γωνία αυτή

δεν μετριέται κατευθείαν και το μέγεθος που μετριέται είναι ο χρόνος κατά τη στιγμή της διάβασης του αστέρα από το κατακόρυφο νήμα, ήτοι όταν ο αστέρας διέρχεται από γνωστή οριζόντια ανάγνωση [Κορακίτης P., 2008].

Τελικά, το αστρονομικό αζιμούθιο A_S του αστέρα S , ως σχήμα 6.6, προκύπτει έπειτα από επίλυση του τριγώνου θέσης PSZ , ως σχήμα 6.7 και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση [Bhattacharji J. C., 1960]:

$$\cot A_S = \frac{\cos\Phi \cdot \tan\delta - \cosh \cdot \sin\Phi}{-\sinh} \quad (6.14)$$

όπου: P , ο Βόρειος Πόλος,

Z , το ζενίθ του τόπου,

S , ο αστέρας που παρατηρείται,

δ , η απόκλιση (declination) του αστέρα, η οποία μετριέται πάνω στον ωριαίο του αστέρα S , από τον Ισημερινό μέχρι τον αστέρα και είναι το μέτρο ενός τόξου του ωριαίου. Η απόκλιση μετριέται στο Βόρειο ημισφαίριο του ουρανού από 0° έως $+90^\circ$ προς τον Βόρειο Πόλο και στο Νότιο ημισφαίριο του ουρανού από 0° έως -90° προς τον Νότιο Πόλο [Κορακίτης P., 2008],

Φ , το αστρονομικό πλάτος (astronomical latitude) του τόπου, το οποίο μετριέται πάνω στον μεσημβρινό του τόπου, από τον Ισημερινό μέχρι το ζενίθ, ήτοι είναι το μέτρο ενός τόξου του μεσημβρινού. Το πλάτος μετριέται από 0° έως $+90^\circ$ προς τον Βόρειο Πόλο και από 0° έως -90° προς τον Νότιο Πόλο [Κορακίτης P., 2008],

h , η ωριαία γωνία του αστέρα.

Όσον αφορά στην ακρίβεια της μεθόδου της ωριαίας γωνίας, αυτή εξαρτάται από την ακρίβεια των αστρονομικών συντεταγμένων (Φ , A) του σημείου A , των ουρανογραφικών συντεταγμένων (α , δ) του αστέρα S και του χρόνου παρατήρησης. Θεωρώντας ότι οι ουρανογραφικές συντεταγμένες (α , δ) του αστέρα S είναι γνωστές με μεγάλη ακρίβεια, προκύπτει ότι η αβεβαιότητα προσδιορισμού του αζιμούθιου A_S υπολογίζεται με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση (6.14), οπότε ισχύει [Λάμπρου E., 2003]:

$$\sigma_{A_S} = \pm \sqrt{\sigma_{A_\Phi}^2 + \sigma_{A_h}^2} \quad (6.15)$$

ή

$$\sigma_{A_S} = \pm \sqrt{(\sin A_S \cdot \cot z)^2 \cdot \sigma_\Phi^2 + [\cos\Phi \cdot (\tan\Phi - \cos A_S \cdot \cot z)]^2 \cdot \sigma_h^2} \quad (6.16)$$

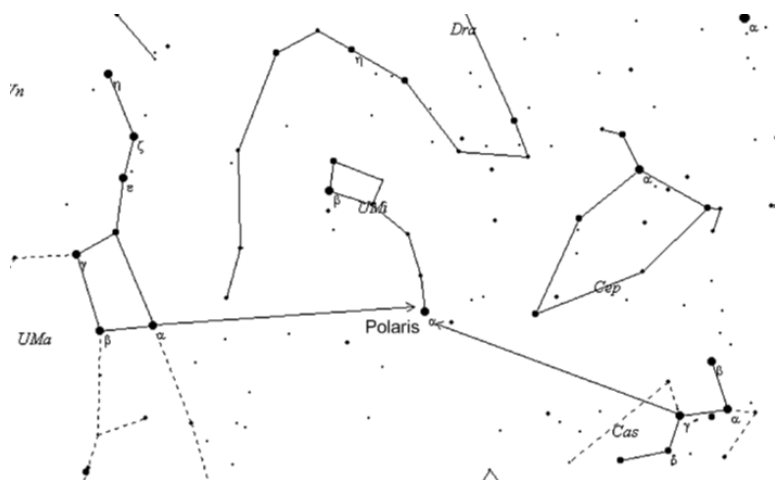
όπου: $\sigma_{A\Phi}$, το σφάλμα εξαιτίας του αστρονομικού πλάτους Φ ,

σ_{Ah} , το σφάλμα εξαιτίας της ωριαίας γωνίας h .

Συνήθως για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου εάν δεν είναι γνωστές οι αστρονομικές συντεταγμένες (A, Φ) χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχες γεωδαιτικές συντεταγμένες (λ, φ) . Η επίδραση των διαφορών $\delta\varphi$ ($\varphi - \Phi$) και $\delta\lambda$ ($\lambda - A$) στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου προσδιορίζεται από τη διερεύνηση της σχέσης (6.16). Ειδικότερα, η επίδραση της $\delta\varphi$ εξαρτάται από το ύψος στο οποίο παρατηρείται ο αστέρας παρατήρησης. Όταν για παράδειγμα, στην ελληνική επικράτεια παρατηρείται ο Πολικός Αστέρας, που βρίσκεται σε μεσαίο πλάτος ($\varphi \cong 38^\circ$), με ζενίθια απόσταση $z \cong 52^\circ$ και μέγιστο κατά απόλυτη τιμή αζιμούθιο $\cong 1^\circ$, τότε η επίδραση της $\delta\varphi$ στο σφάλμα του αζιμούθιου είναι αμελητέα [Λάμπρου Ε., 2003].

Όπως προαναφέρθηκε, στην Ελλάδα όπως και σε περιοχές που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και έχουν γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχο με του ελληνικού χώρου, ως αστέρας παρατήρησης S , επιλέγεται τις περισσότερες φορές ο Πολικός Αστέρας (α Ursa Minoris ή Polaris - α UMi), (σχήμα 6.8) διότι [Λάμπρου Ε., 2003]:

- Αναγνωρίζεται πολύ εύκολα.
- Το αζιμούθιο του έχει απόλυτη τιμή κοντά στο 0, περίπου 1° . Όταν μάλιστα, η ζενίθια απόστασή του είναι μεγάλη, όπως παρατηρείται σε μικρά και μεσαία πλάτη, τότε η επίδραση στο σφάλμα του αζιμούθιου, σφαλμάτων που τυχόν υπάρχουν στο πλάτος ($\delta\varphi$) είναι πολύ μικρή [Κορακίτης Ρ., 2008].
- Κινείται πολύ αργά σε σχέση με άλλα αστέρια με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η σκόπευσή του.
- Έχει αρκετή λαμπρότητα (μέγεθος περίπου 2).



Σχήμα 6.8: Σκαρίφημα Πολικού Αστήρα [Κορακίτης Ρ., 2008]

Στο Παράρτημα "Δ" της διατριβής παρουσιάζονται αναλυτικά οι θεμελιώδεις έννοιες της Γεωδαιτικής Αστρονομίας.

6.3.3 Προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμούθιου με τη μέθοδο Remote Survey

Στο πλαίσιο της διατριβής εκτελέστηκαν παρατηρήσεις για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου τυχαίας διεύθυνσης, με αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις προς τον Πολικό Αστέρα και με εφαρμογή της μεθόδου της ωριαίας γωνίας. Σκοπός αυτού του πειράματος ήταν να διαπιστωθεί:

- εάν ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Remote Survey για αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις και
- αν ναι τότε να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα των εν λόγω παρατηρήσεων.

Αρχικά επιλέχθηκε ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS - 203 για την εκτέλεση των παρατηρήσεων, ο οποίος είχε βαθμονομηθεί – ελεγχθεί για την ορθή λειτουργία του πρόσφατα από την αντίστοιχη αντιπροσωπεία της εταιρίας στην Ελλάδα. Επίσης, ο σταθμός ελέγχθηκε για την ταύτιση του ψηφιακού με το αναλογικό σταυρόνημα, σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφονται στην παράγραφο 5.2.1 της διατριβής.

Έπειτα, επιλέχθηκε ως σημείο στάσης, βάθρο στην ταράτσα του Κτηρίου Λαμπαδάριου στο ΕΜΠ με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες. Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε στο παρόν Κεφάλαιο η χρήση των γεωδαιτικών συντεταγμένων αντί των αστρονομικών στην ελληνική επικράτεια και με τη χρήση του Πολικού Αστέρα ως αστέρα παρατήρησης, εισάγει αποδεκτό σφάλμα στις παρατηρήσεις.

Κατόπιν, αφού ελέγχθηκε η καταλληλότητα των μετεωρολογικών συνθηκών, αίθριος καιρός χωρίς νετό και νεφώσεις, επιλέχθηκε το βράδυ της 10^{ης} Σεπτεμβρίου 2020 για την εκτέλεση των παρατηρήσεων.

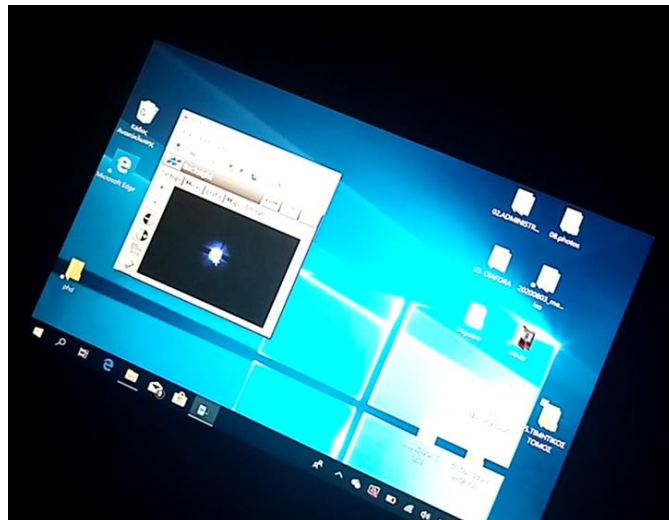
Αρχικά, επιλέχθηκε ως σημείο μηδενισμού ευδιάκριτη φωτιζόμενη κεραία στον Υμηττό και το σημείο σκοπεύθηκε επανειλημμένα προκειμένου να προσδιορισθεί η γωνία μηδενισμού και το σφάλμα μηδενισμού. Έπειτα, αφού αναγνωρίστηκε ο Πολικός Αστέρας ακολούθησε η εκτέλεση παρατηρήσεων προς αυτόν μέσω του τηλεσκοπίου του οργάνου.

Έπειτα, ο σταθμός συνδέθηκε στο διαδίκτυο μέσω της σύνδεσης Wi-Fi που διαθέτει, χρησιμοποιώντας ως Wi-Fi hotspot ένα κοινό smartphone που ήταν συνδεδεμένο σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Ως

user device επιλέχθηκε ένα laptop με μέγεθος οθόνης 10.1 ιντσών, ενώ ο υπόλοιπος συνδυασμός λογισμικών ταυτίζονται με το συνδυασμό λογισμικών της μεθόδου Remote Survey, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3.

Τονίζεται ότι, για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου θα πρέπει να επιτυγχάνεται η καταγραφή του χρόνου εκτέλεσης της κάθε παρατήρησης με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Αυτό κατέστη δυνατό με την εγκατάσταση στον σταθμό κατάλληλου λογισμικού, όπως αναφέρθηκε ήδη στο Κεφάλαιο 4, οπότε με την αποκατάσταση της σύνδεσής του στο διαδίκτυο, το εσωτερικό του ρολόι συγχρονίζεται με τον παγκόσμιο χρόνο UTC και καταγράφει τη χρονική στιγμή που εκτελούνταν οι μετρήσεις, με ακρίβεια της τάξης του 1sec.

Στην εικόνα 6.4 παρουσιάζεται η οθόνη της user device στο σύνολό της, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με τη μέθοδο Remote Survey, ενώ ειδικότερα στην εικόνα 6.5 παρουσιάζεται η σκόπευση του Πολικού Αστήρα με τηλεχειρισμό, στην οθόνη της user device.



Εικόνα 6.4: Ο Πολικός Αστήρας όπως διακρίνεται στην οθόνη της user device



Εικόνα 6.5: Σκόπευση του Πολικού Αστήρα με τηλεχειρισμό.

6.3.4 Αποτελέσματα-Διαπιστώσεις

Οι παρατηρήσεις επεξεργάστηκαν με κατάλληλο λογισμικό του ΕΜΠ και παρουσιάζονται στους πίνακες Δ.1 και Δ.2 του Παραρτήματος "Δ" της διατριβής. Ο πρώτος πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επίλυσης των παρατηρήσεων που εκτελέστηκαν από το τηλεσκόπιο του σταθμού, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα μέτρο σύγκρισης και ο δεύτερος περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της επίλυσης των παρατηρήσεων της μεθόδου Remote Survey.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που περιλαμβάνονται στους δύο πίνακες προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις:

- Η διαφορά ανάμεσα στις δύο γωνίες μηδενισμού ήταν της τάξης των 6° .
- Η διαφορά ανάμεσα στα δύο σφάλματα μηδενισμού ήταν καλύτερη του $\pm 1^{\circ}$.
- Η διαφορά ανάμεσα στα δύο αστρονομικά αζιμούθια ήταν της τάξης των 5° .
- Η διαφορά ανάμεσα στα δύο τελικά σφάλματα των αστρονομικών αζιμούθιων ήταν καλύτερη του $\pm 1^{\circ}$.

Περαιτέρω διαπιστώσεις από την εκτέλεση του ανωτέρω πειράματος έχουν ως εξής.

Ο εντοπισμός του Πολικού Αστήρα από το γραφείο ή κάποιο άλλο μεμακρυσμένο σημείο σε σχέση με τον σταθμό είναι μια επίπονη διαδικασία καθόσον ο μεμακρυσμένος παρατηρητής δεν έχει την αίσθηση του προσανατολισμού και του περιβάλλοντος χώρου, όπως όταν βρίσκεται στο πεδίο στο σημείο παρατήρησης και δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει το σκόπευτρο χονδρικής σκόπευσης του σταθμού για να

διευκολύνει τη διαδικασία. Άρα, θα πρέπει να προηγηθεί των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με τη μέθοδο Remote Survey, αναγνώριση του σημείου μηδενισμού σε συνθήκες σκότους καθώς και εκτέλεση δοκιμαστικών παρατηρήσεων προς τον Πολικό Αστέρα μέσω τηλεσκοπίου για την εξαγωγή της αρχικής τιμής του ζητούμενου αστρονομικού αζιμούθιου η οποία και θα χρησιμοποιείται για τον χονδρικό εντοπισμό του Πολικού Αστέρα από τον μεμακρυσμένο παρατηρητή.

Σε περίπτωση διακοπής της σύνδεσης του σταθμού ή της user device με τον πάροχο του διαδικτύου, τότε η διαδικασία σταματά και επανεκκινεί αφού αποκατασταθεί η επικοινωνία, κάτι που ενδεχομένως να απαιτεί και την εκ νέου μετάβαση στο σημείο παρατήρησης.

Παρόλα αυτά, η εκτέλεση των παρατηρήσεων από την οθόνη της user device απαλλάσσει τον παρατηρητή από την παρουσία του στο πεδίο κάτω από συχνά αντίξοες συνθήκες καθώς επίσης διευκολύνει και την εκτέλεση της σκόπευσης προς τον Πολικό Αστέρα ή οποιονδήποτε άλλο αστέρα παρατήρησης καθόσον στις σκοπεύσεις μέσω τηλεσκοπίου ο παρατηρητής πρέπει να σκοπεύει με το ένα του μάτι κρατώντας το άλλο κλειστό και ταυτόχρονα να χειρίζεται τους κοχλίες κίνησης του σταθμού, διαδικασία επίσης επίπονη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Συμπεράσματα

Το αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη συστημάτων και μεθοδολογιών συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων με τηλεχειρισμό. Από την ώσμωση των διαπιστώσεων της θεωρητικής ανάλυσης και των πειραματικών εφαρμογών που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στα κεφάλαια που προηγήθηκαν προέκυψαν πολλά χρήσιμα συμπεράσματα.

Το βασικό συμπέρασμα της διατριβής είναι ότι ο τηλεχειρισμός των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών είναι εφικτός, δεν αλλοιώνει την ονομαστική ακρίβεια των IATs στη μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο γεωδαιτικών δικτύων και για αστρονομικές παρατηρήσεις, βασίζεται στην υπάρχουσα μέθοδο Remote Survey [Lambrou E., 2014] και υλοποιείται με τις δύο μεθοδολογίες που ακολουθούν:

1^η Μεθοδολογία: Ενσύρματη σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο μέσω της server device και τηλεχειρισμός του από την user device. Πλεονέκτημα της μεθοδολογίας η σταθερότητα που επιτυγχάνεται στην επικοινωνία μεταξύ των επι μέρους συσκευών όπως επίσης και η μεγαλύτερη ταχύτητα στη διάδοση του εκπεμπόμενου σήματος, λόγω του μεγαλύτερου εύρους ζώνης (bandwidth) που παρέχει η ενσύρματη σύνδεση. Μειονέκτημα της μεθοδολογίας αποτελεί η δέσμευση για ενσύρματη σύνδεση η οποία και περιορίζει την ελευθερία των κινήσεων του σταθμού. Για παράδειγμα ελλοχεύει σοβαρός κίνδυνος να περιελιχθεί το καλώδιο γύρω από τον σταθμό και να προκληθεί μηχανική βλάβη ή δυσλειτουργία του σταθμού χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό από τον απομακρυσμένο χρήστη, φαινόμενο που παρατηρήθηκε στην εκτέλεση των μετρήσεων.

2^η Μεθοδολογία: Ασύρματη σύνδεση του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi και τηλεχειρισμός του από την user device. Πλεονέκτημα της μεθοδολογίας η ελευθερία των κινήσεων του σταθμού. Δεν ελλοχεύει πλέον ο κίνδυνος να περιελιχθεί το καλώδιο γύρω από τον σταθμό και να προκληθεί μηχανική βλάβη ή δυσλειτουργία του σταθμού λόγω μηχανικών περιορισμών. Μειονέκτημα της μεθοδολογίας αποτελεί η μη σταθερότητα στη σύνδεση καθώς διαπιστώθηκαν περιπτώσεις που είτε διακόπηκε η σύνδεση του σταθμού στο διαδίκτυο λόγω παρεμβολής άλλων δικτύων Wi-Fi είτε δεν ήταν δυνατή η σύνδεση σε επιθυμητά Wi-Fi δίκτυα. Και στις δύο

περιπτώσεις απαιτήθηκε η μετάβαση από το απομακρυσμένο σημείο στο χώρο που ήταν εγκατεστημένος ο σταθμός για την αποκατάσταση της σύνδεσής του στο διαδίκτυο.

Για την υλοποίηση των ανωτέρω μεθοδολογιών αναπτύχθηκαν συστήματα που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ως εξής:

1^ο Σύστημα της μεθόδου τηλεχειρισμού *Remote Survey*. Αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε προκειμένου να υποστηριχθεί η μεθοδολογία της ενσύρματης σύνδεσης του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο και αποτελείται από τα ακόλουθα αδιαίρετα επιμέρους στοιχεία:

- χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός
- οθόνη της server device
- οθόνη της user device
- παρατηρητής
- στόχος και
- συνθήκες

Πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η δυνατότητα ακριβούς καταγραφής της χρονικής στιγμής που δίνεται η εντολή για εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο καθώς και εκείνης που τελικά εκτελείται η μέτρηση στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 4 της διατριβής. Μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί η αναγκαιότητα για χρήση δύο βοηθητικών συσκευών (user device και server device) με αποτέλεσμα η ανάλυση της κάθε μίας από τις οθόνες των δύο συσκευών να επιδρά στην ποιότητα της εικόνας που τελικά φτάνει στον απομακρυσμένο χρήστη όπως και η ενσύρματη σύνδεση που προαναφέρθηκε η οποία είναι δεδομένο ότι θα περιορίσει την ελευθερία των κινήσεων του σταθμού.

2^ο Σύστημα της μεθόδου τηλεχειρισμού *Remote Survey*. Αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε προκειμένου να υποστηριχθεί η μεθοδολογία της ασύρματης σύνδεσης του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού στο διαδίκτυο και αποτελείται από τα ακόλουθα αδιαίρετα επιμέρους στοιχεία:

- χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός
- οθόνη της user device
- παρατηρητής
- στόχος και
- συνθήκες

Πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ο περιορισμός των παραγόντων που επιδρούν στην ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας, καθώςσον παρακάμπτεται η χρήση της οθόνης της server device, όπως και η ασύρματη σύνδεση που προαναφέρθηκε η οποία δεν περιορίζει την

ελευθερία των μηχανικών κινήσεων του σταθμού. Μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί η μη δυνατότητα ακριβούς καταγραφής της χρονικής στιγμής που δίνεται η εντολή για εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο. Ωστόσο, υφίσταται η δυνατότητα καταγραφής της χρονικής στιγμής εκτέλεσης της μέτρησης στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, το ρολόι του οποίου μάλιστα μπορεί να συγχρονίζεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με τον παγκόσμιο χρόνο UTC με εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού στον σταθμό.

Πέραν των ανωτέρω, οι πρωτοτυπίες της παρούσας διδακτορικής διατριβής, αφορούν στη:

- **Σύγκριση των μεθοδολογιών μετάδοσης του σήματος - πληροφορίας στους σύγχρονους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς.** Υλοποίηση λεπτομερούς ανάλυσης των τεχνικών χαρακτηριστικών των σύγχρονων χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών που διευκολύνουν την εκτέλεση μετρήσεων με τηλεχειρισμό. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάλυση των μεθόδων επικοινωνίας που ενσωματώνουν οι σταθμοί, ενσύρματων και ασύρματων, ενώ ακολούθησε και αξιολόγησή τους καταλήγοντας σε τεκμηριωμένες προτάσεις για το ποιες ενδείκνυται να χρησιμοποιηθούν στον τηλεχειρισμό και ποιες όχι.
- **Διερεύνηση μεθοδολογιών συγχρονισμού των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών με τον παγκόσμιο χρόνο UTC.** Η ανωτέρω διερεύνηση έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεθοδολογίας καταγραφής της χρονικής υστέρησης ανάμεσα στη χρονική στιγμή δίνεται η εντολή για εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο καθώς και εκείνης που τελικά εκτελείται η μέτρηση στον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.
- **Εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey.** Εκτελέστηκαν αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις προς τον Πολικό Αστέρα για τον υπολογισμό αστρονομικού αζιμούθιου τυχαίας διεύθυνσης με τη μέθοδο Remote Survey όπως επίσης και παρατηρήσεις μέσω του τηλεσκοπίου του οργάνου υπό τις ίδιες συνθήκες. Από τη σύγκριση των δύο υπολογισθέντων αζιμούθιων αποδείχθηκε η εφικτότητα της εφαρμογής της μεθόδου στην εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων όπως και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.
- **Εκτέλεση παρακολούθησης μετακινήσεων από απόσταση.** Εκτελέστηκε έλεγχος μετακινήσεων σε ένα υφιστάμενο γεωδαιτικό δίκτυο στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με τη μέθοδο Remote Survey, με αποδεκτά αποτελέσματα.

- **Εφαρμογή της διαδικασίας του πλήρους ελέγχου σύμφωνα με το ISO 17123-3, με χρήση σύνδεσης Wi-Fi.** Σε εσωτερικό πεδίο ελέγχεται κατά ISO 17123-3 ένα σύστημα της μεθόδου Remote Survey που συνδέθηκε στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi.
- **Ανάπτυξη της "Εξίσωσης αβεβαιότητας ενός συστήματος της μεθόδου Remote Survey".** Βασίστηκε στη θεωρία της γραμμικής παλινδρόμησης και εξήχθησαν συμπεράσματα που αφορούν στη συνολική αβεβαιότητα που προκαλεί η μέθοδος Remote Survey στη μέτρηση οριζόντιων γωνιών.
- **Ανάλυση των πηγών σφαλμάτων της μεθόδου Remote Survey.** Στην ανάλυση αυτή δεσπόζουσα θέση καταλαμβάνει η μελέτη της επίδρασης των οθονών των βοηθητικών συσκευών (user device και server device) στην ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας.

Επιπλέον συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση που προηγήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια και πλαισιώνουν το κύριο συμπέρασμα της παρούσας διατριβής είναι τα ακόλουθα.

Η εξέλιξη των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων, που είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών, οφείλεται στην εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης. Η εξέλιξη αυτή, από την αρχαιότητα έως και το Μεσαίωνα δεν υπήρξε σημαντική και είχε ως σταθμό της την επινόηση του τηλεσκοπίου το έτος 1609, της αεροστάμης το έτος 1660 και του πρώτου μηχανικού θεοδολίχου το έτος 1725. Οι επόμενοι σταθμοί στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων ήταν η χρησιμοποίηση των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης μηκών μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο και η κατασκευή των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (total stations) που επέτρεψε την ταυτόχρονη μέτρηση μηκών και διευθύνσεων με μια παρατήρηση.

Οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί συγκεντρώνουν όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων με τηλεχειρισμό, δυνατότητα που μέχρι πρόσφατα ήταν απλά αδιανότητη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πρόσφατα αναπτύχθηκε εξελιγμένο λογισμικό από κατασκευαστές χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη του να αξιοποιεί από το γραφείο τις δυνατότητες των σταθμών για τον έλεγχο των εικόνων και των σαρώσεων που λαμβάνονται στο πεδίο μέσω διαδικτύου. Ωστόσο, μέχρι στιγμής, το εν λόγω λογισμικό είναι προσανατολισμένο στη λήψη εικόνων και σαρώσεων από το γραφείο και όχι στην εκτέλεση κλασικών γεωδαιτικών μετρήσεων. Άρα, δεν λειτουργεί ανταγωνιστικά ως προς τη μέθοδο Remote Survey.

Όσον αφορά στις διατάξεις επικοινωνίας που ενσωματώνουν οι σύγχρονοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί, η ενσύρματη επικοινωνία με

θύρα USB 2.0 και η ασύρματη τεχνολογία WLAN ή αλλιώς Wi-Fi, με την εφαρμογή των υποπροτύπων IEEE 802.11b και IEEE 802.11g, ενδείκνυνται για την εκτέλεση μετρήσεων με τηλεχειρισμό. Αντίθετα, η ενσύρματη επικοινωνία με θύρα RS-232C και η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth, δεν ενδείκνυνται για την εκτέλεση των ανωτέρω μετρήσεων.

Η χρονική υστέρηση που καταγράφηκε πειραματικά ανάμεσα στη στιγμή που ο παρατηρητής έδωσε την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης και στη στιγμή που η εντολή αυτή εκτελέστηκε στον σταθμό κυμάνθηκε από 0.045sec έως 0.351sec, όταν η φυσική απόσταση ανάμεσα στις δύο συσκευές ήταν περίπου 5 km.

Το εσωτερικό ρολόι του σταθμού ακόμη κι αν συγχρονισθεί με μια δικτυακή πηγή χρόνου υψηλής ακρίβειας, καλύτερης του 1 δευτερολέπτου, ο χρόνος που θα αποδώσει δεν θα είναι καλύτερος από τη δυνατότητα που διαθέτει κατασκευαστικά. Συνεπώς ο χρόνος θα αποδίδεται σε ώρες, λεπτά και πλήρη δευτερόλεπτα, χωρίς περαιτέρω υποδιαίρεση.

Η χρήση ενός tablet ή smartphone ως user device είναι εφικτή με την επισήμανση ότι δεν είναι δυνατή η καταγραφή της χρονικής στιγμής που ο χρήστης δίνει την εντολή για την εκτέλεση της μέτρησης από το απομακρυσμένο σημείο.

Η οθόνη της user device και της server device επιδρούν στην αβεβαιότητα της μέτρησης με τη μέθοδο Remote Survey, μόνο εφόσον η ανάλυσή τους αλλοιώνει την εικόνα του στόχου αποδίδοντάς την στον απομακρυσμένο χρήστη με λιγότερα εικονοστοιχεία (pixels) σε σχέση με την εικόνα που εκπέμπεται από τον σταθμό. Στο πλαίσιο αυτό, στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι συνδυασμοί οθονών/αναλύσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μέθοδο Remote Survey με τη χρήση του λογισμικού και εξοπλισμού που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της μεταφερόμενης εικόνας.

Από τον πειραματικό προσδιορισμό της εξίσωσης του υπό εξέταση Συστήματος της μεθόδου Remote Survey προκύπτει ότι το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα κυμαίνονται μέσα στην ονομαστική αβεβαιότητα μέτρησης διευθύνσεων του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού που χρησιμοποιήθηκε.

Από την εφαρμογή της διαδικασίας του πλήρους ελέγχου σύμφωνα με το ISO 17123-3 σε εσωτερικό πεδίου ελέγχου σε ένα Σύστημα της μεθόδου Remote Survey με σύνδεση Wi-Fi, διαπιστώθηκε ότι η εν λόγω μέθοδος δεν υποβαθμίζει την ονομαστική ακρίβεια που επιτυγχάνει το εν λόγω όργανο στη μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων.

Το αποτέλεσμα της συνόρθωσης του γεωδαιτικού δικτύου που μετρήθηκε με τηλεχειρισμό, ελέγχθηκε με εκτέλεση ολικού ελέγχου αξιοπιστίας και κρίθηκε ως αποδεκτό. Επίσης, στο πλαίσιο του ίδιου

πειράματος διαπιστώθηκαν οι μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου, απόλυτες και σχετικές, χρησιμοποιώντας ως αναφορά τη συνόρθωση του ίδιου δικτύου που υλοποιήθηκε στο παρελθόν.

Όσον αφορά στη χρησιμοποίηση ενός Συστήματος της μεθόδου Remote Survey με ασύρματη σύνδεση Wi-Fi, για την εκτέλεση αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων, διαπιστώθηκε ότι η διαφορά ανάμεσα στο αστρονομικό αζιμούθιο τυχαίας διεύθυνσης που μετρήθηκε με το συγκεκριμένο Σύστημα της μεθόδου Remote Survey και με την κλασική μέθοδο ήταν τάξης των 5^{cc}.

Τονίζεται ότι, ο εντοπισμός του Πολικού Αστέρα από το γραφείο ή κάποιο άλλο απομακρυσμένο σημείο σε σχέση με τον σταθμό είναι μια επίπονη διαδικασία καθόσον ο παρατηρητής δεν έχει την αίσθηση του προσανατολισμού και του περιβάλλοντος χώρου, όπως όταν βρίσκεται στο πεδίο στο σημείο παρατήρησης και δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει το σκόπευτρο χονδρικής σκόπευσης του σταθμού για να διευκολύνει τη διαδικασία. Άρα, θα πρέπει να προηγηθεί των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων με τη μέθοδο Remote Survey, αναγνώριση του σημείου μηδενισμού σε συνθήκες σκότους καθώς και εκτέλεση δοκιμαστικών παρατηρήσεων προς τον Πολικό Αστέρα μέσω τηλεσκοπίου για την εξαγωγή της αρχικής τιμής του ζητούμενου αστρονομικού αζιμούθιου η οποία και θα χρησιμοποιείται για τον χονδρικό εντοπισμό του Πολικού Αστέρα από τον απομακρυσμένο παρατηρητή.

Παρόλα αυτά, η εκτέλεση των παρατηρήσεων από την οθόνη της user device απαλλάσσει τον παρατηρητή από την παρουσία του στο πεδίο κάτω από συχνά αντίξοες συνθήκες καθώς επίσης διευκολύνει και την εκτέλεση της σκόπευσης προς τον Πολικό Αστέρα ή οποιονδήποτε άλλο αστέρα παρατήρησης καθόσον στις σκοπεύσεις μέσω τηλεσκοπίου ο παρατηρητής πρέπει να σκοπεύει με το ένα του μάτι κρατώντας το άλλο κλειστό και ταυτόχρονα να χειρίζεται τους κοχλίες κίνησης του σταθμού, διαδικασία επίσης επίπονη.

Εν κατακλείδι, ορισμένα γενικά συμπεράσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey είναι τα εξής. Σε περίπτωση διακοπής της σύνδεσης του σταθμού ή της server device ή της user device με τον πάροχο του διαδικτύου, τότε η διαδικασία σταματά και επανεκκινεί αφού αποκατασταθεί η επικοινωνία, κάτι που ενδεχομένως να απαιτεί και την εκ νέου μετάβαση στο σημείο παρατήρησης. Η μέθοδος αυτή, με τις επιμέρους μεθοδολογίες και συστήματα που αναπτύχθηκαν στην παρούσα εργασία, δεν επιφέρει επιπλέον κόστος πέραν της προμήθειας του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού, καθόσον τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι ελεύθερα και οι βοηθητικές συσκευές που απαιτούνται είναι ευρέως διαδεδομένες.

Τελικά, αποδείχθηκε ότι με την εφαρμογή της μεθόδου Remote Survey, ένας μηχανικός μπορεί να παρακολουθεί το πεδίο εργασιών και να αξιολογεί τη διαχρονική εξέλιξη ενός φαινομένου από απόσταση.

7.2 Προτάσεις

Προτείνεται στην επιστημονική και επαγγελματική κοινότητα η εφαρμογή των μεθοδολογιών και συστημάτων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής προκειμένου να διαπιστωθεί το εύρος των εργασιών όπου μπορούν να υλοποιηθούν. Από την ανωτέρω εφαρμογή θα καταστεί δυνατή η εξαγωγή των διδαγμάτων ή αλλιώς "Lessons Identified – Lessons Learned" προκειμένου να διαπιστωθούν οι αδυναμίες των μεθοδολογιών και συστημάτων και να ακολουθήσουν σε δεύτερο χρόνο οι απαραίτητες βελτιώσεις τους.

Πέραν των ανωτέρω προτείνεται η ανάπτυξη από τους κατασκευαστικούς οίκους βελτιωμένου λογισμικού που να επιτρέπει στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς την άμεση και αυτόματη σύνδεση σε παρόχους Wi-Fi, διότι όπως προαναφέρθηκε υπήρξαν περιπτώσεις αδυναμίας σύνδεσης των σταθμών σε επιλεγμένα δίκτυα και απαιτήθηκε επανεκκίνηση των σταθμών για την επανασύνδεσή τους σε αυτά. Άρα, μετάβαση του παρατηρητή από το απομακρυσμένο σημείο στο χώρο του σταθμού για την αποκατάσταση της σύνδεσης.

Τέλος, προτείνεται η περαιτέρω ανάπτυξη από τους κατασκευαστικούς οίκους του υπάρχοντος λογισμικού που χρησιμοποιείται ήδη από ορισμένους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς για τη συλλογή εικόνων και νεφών σημείων από απόσταση και η επέκτασή του στον τομέα της εκτέλεσης γεωδαιτικών μετρήσεων, ήτοι οριζόντιων διευθύνσεων, κατακόρυφων διευθύνσεων και μηκών με τηλεχειρισμό. Σε περίπτωση που υλοποιηθεί αυτή η πρόταση, εκτιμάται ότι με την χρησιμοποίηση της μεθόδου Remote Survey στις γεωδαιτικές εργασίες, θα επιτευχθεί πέραν των άλλων πλεονεκτημάτων που προαναφέρθηκαν και οικονομία κλίμακας στην αξιοποίηση των ανθρώπινων και λοιπών διαθέσιμων οικονομικών πόρων, κάτι που αποτελεί ζητούμενο στη σημερινή εποχή σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A

1. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις I*, Σημειώσεις ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2000.
2. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις II*, Σημειώσεις ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2005.
3. Al-Alawi A. I., *WiFi Technology: Future Market Challenges and Opportunities*, article, Journal of Computer Science 2 (1): 13-18, ISSN 1549-3636, 2006.
4. Αλεξούδη Ξ., Σαραφίδης Χ., Φλουδά Ε., *Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου*, 4ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Αθήνα, 2012.
5. Αρβανίτης Κ., Κολυβάς Γ., Ούτσιος Σ., *Τεχνολογία Δικτύων Επικοινωνιών*, Βιβλίο, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 2001.
6. Arias E. F., *The metrology of time*, Phil. Trans. R. Soc. A 363:2289–2305, 2005.
7. Arias E. F., Guinot B., *Coordinated Universal Time UTC: historical background and perspectives*, Proc. Fundamental Astronomy: New concepts and models for high accuracy observations, Journées 2004, Systèmes de référence spatio – temporels, 20-22 Sep 2004, Paris, France, 2005. pp. 254.
8. Audoin C., Guinot B., *The Measurement of Time*, Book, Cambridge University Press, Cambridge, 2001, pp. 5.

B

9. Balodimos D. D., Korakitis R., Lambrou E. and Pantazis G., *Fast and Accurate Determination of Astronomical Coordinates Φ , Λ and Azimuth, Using a Total Station and GPS Receiver*, Survey Review, 37(290), 269 -275, 2003.
10. Bhattacharji J. C., *A new method of determining geodetic azimuth and deviation of the vertical*, Paper, Survey of India, 1960.
11. Brooks O., *Modern Surveying. Monitoring Progress* www.GEOconnexion.com/, May-June 2011.
12. Bureau International des Poids et Mesures, *The International System of Units (SI)*, 8th edition, Paris, France, 2006, pp.133.

C

13. Compaq Computer Co., Hewlett-Packard Co., Intel Co., Lucent Tech. Inc., Microsoft Co., NEC Co., Koninklijke Philips Electronics N.V., *Universal Serial Bus Specification Revision 2.0*, 27 April 2000, pp.12.
14. Chadha S. S., Singh M., Pardeshi S. K., *Bluetooth Technology: Principle, Applications and Current Status*, article, IJCSC, Volume 4, ISSN-0973-7391, 2 September 2013, pp. 16-30.

D

15. Danisch L., Chrzanowski A., Bond J., Bazanowski M., *Fusion of geodetic and sensors for integrated monitoring and analysis of deformations*, Proc., 13th FIG, Int., Symp., on deformation measurements and analysis and 4th IAG Symp. on geodesy for geotechnical and Structural engineering, Lisboa, 2008.
16. Δερμάνης Α., Φωτίου Α., *Μέθοδοι και εφαρμογές συνόρθωση παρατηρήσεων*, Εκδόσεις: Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1992.
17. Digi International Inc., *An Introduction to Wi-Fi*, Book, Part Number 019-0170 • 090409–B, Hopkins, MN, USA, 2008.
18. Doebelin E.O., *Engineering experimentation*, Εκδόσεις: McGraw Hill, 1995.
19. Δρακάτος Κ., *Στατιστική, Δεύτερη Έκδοση*, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1984, σ. 520-521.

E

20. Ehrhart M., *Applications of image-assisted total stations: Concepts, experiments, results and calibration*, PhD thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria, October 2017, pp. 76-95.
21. Ehrhart M., *Applications of image-assisted total stations*, Vermessung & Geoinformation 1/2019, S. 21 – 26, 4 Abb., 2019.
22. Ehrhart M., Kalenjuk S., Lienhart W., *Monitoring of bridge vibrations with image-assisted total stations*, Proc. SMAR 2017-Fourth Conference on Smart Monitoring. Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, 2017.
23. Ehrhart M., Lienhart W., *Accurate Measurements with Image-Assisted Total Stations and Their Prerequisites*, Journal of Surveying Engineering-ASCE, 143, 04016024, 2017.
24. Even-Tzur G., *Datum definition and its influence on the reliability of geodetic networks*, article, ZFV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 131, 2006, pp. 87-95.

F

25. Federal Geodetic Control Committee, *Standards and Specifications for Geodetic Control Networks*, Book, Rockville, Maryland, USA, 1984, pp. 1-1.
26. Freeman L. R., *Fundamentals of Telecommunications Second Edition*, book, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2005, pp 246.

G

27. Garney J., *An Analysis of Throughput Characteristics of Universal Serial Bus, Media and Interconnect Technology*, Intel Architecture Labs, 12/06/96, pp.1.
28. Gast M., *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*, ISBN: 0-596-00183-5, O'Reilly & Associates, April 2002, Sebastopol, CA, USA.
29. Γεωργακόπουλος Κ., *Αρχαίοι Έλληνες Θετικοί Επιστήμονες*, Εκδόσεις Γεωργιάδη, Αθήνα, 1995.
30. Γεωργόπουλος Γ., Γκίκας Β., Τελειώνη Ε., Τσακίρη Μ., *Γεωδαισία, Δίκτυα - Αποτυώσεις – Χαράξεις, Σημειώσεις Μαθήματος*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2016, σελ. 1-5,7-10, 13.
31. Γιαννακόπουλος Λ., *Προσδιορισμός του Συντελεστή Γεωδαιτικής Διάθλασης Κ με Σύγχρονα Γεωδαιτικά Όργανα. Εφαρμογή Λυκαβηττός - Κύρου Πήρα*. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2007, σ. 28-42.
32. Guillaume S., Clerc J., Leyder C., Ray J., Kistler M., *Contribution of the Image-Assisted Theodolite System QDaedalus to Geodetic Static and Dynamic Deformation Monitoring*, Proc., 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), Vienna, Austria, 30 March - 1 April 2016.

H

33. Hewlett-Packard Development Co., L.P., *Bluetooth wireless technology basics*, 5982-3836ENA1, 05/2004, Dallas, TX, USA, 2004, pp. 2, 3, 5, 6, 10.
34. Hiertz G., Denteneer T., Stibor L., Zang Y., Costa-Pérez X., Walke B., *The IEEE 802.11 universe*, Communications Magazine, IEEE. 48. 62 - 70. 10.1109/MCOM.2010.5394032, 2010.
35. Hirt C., Bürki B., Somieski A. and Seeber G., *Modern determination of vertical deflections using digital zenith cameras*, J. Surv. Eng., 2010, 136(1), 1-12.

36. Hongwei L. and Jinping O., *A remote deformation monitoring system for a cable-stayed bridge using wireless Internet-based gps technology*, Proc. of 3rd IAG/12th FIG Symp., Baden, 2006.

I

37. International Standards, ISO 17123-3, *Optic and Optical Instruments. Field procedures for testing geodetic and surveying instruments*, Part 3: Theodolites. First edition. ISO copyright office, Case postale 56 CH-1211, Geneva, 2001.

J

38. Juretzko M., *Reflektorlose Video - Tachymetrie - ein integrales Verfahren zur Erfassung geometrischer und visueller Informationen Dissertationen Nr. 588*, Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, München, 2005.

K

39. Καπόνιας Α., *Σχεδίαση και Αξιολόγηση Απόδοσης Πρωτοκόλλου MAC με Έλεγχο Ισχύος σε Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα*, Διπλωματική Εργασία, ΑΠΘ, Τμήμα Πληροφορικής, Θεσσαλονίκη 2016, σ. 15.
40. Καραγεώργου Μαρία, *Αξιολόγηση της λειτουργίας αυτόματης αναγνώρισης στόχου (Automatic target recognition) των σύγχρονων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών*, Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική Μεταπτυχιακή εργασία, 2011.
41. Kavanagh B. F. and Glenn Bird S. J., *Surveying principles and applications (5 ed.)*, Prentice Hall. ISBN0-13-022733-1, pp. 256, 2000.
42. Klug C., Arth C., Schmalstieg D., Gloor T., *Semi-Automatic Registration of a Robotic Total Station and a CAD Model Without Control Points*, Proc. IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, DC, USA, Oct 2018.
43. Κόκκοτας Π., Βλάχος Ι., Γραμματικάκης Ι., Καραπαναγιώτης Β., Περιστερόπουλος Π., Τιμόθεου Γ., *Φυσική Γενικής Παιδείας Α΄ Τάξης Γενικού Λυκείου*, Εκδόσεις Διόφαντος, Πάτρα, 2014, σ. 16-21.
44. Κορακίτης Ρ., *Γεωδαιτική Αστρονομία – Εισαγωγή*, Σημειώσεις Μαθήματος, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008 σ. 6-7, 11, 27, 61-64.
45. Kurose F. J., Ross W. K., *Computer Networking, A Top-Down Approach Sixth Edition*, book, Pearson, NJ, USA, 2013, pp. 470, 473.

L

46. Lachat E., Landes T., Grussenmeyer P., *First Experiences With The Trimble Sx10 Scanning Total Station for Building Facade Survey*, Volume XLII-2W3, Nafplio, Greece, 2017.
47. Lachat E., Landes T., Grussenmeyer P., *Investigation of a Combined Surveying and Scanning Device: The Trimble SX10 Scanning Total Station*, Sensors 2017, 17, 730, 2017.
48. Lambrou E., *Accurate Geoid Height Differences Computation from GNSS Data and Modern Astrogeodetic Observations*, Accepted for publication to Gravity, Geoid and Height Systems 2012, International Association of Geodesy Symposia Vol. 141, Springer Berlin Heidelberg, New York, 2013.
49. Lambrou E., *Remote Survey An Alternative Method for Capturing Data*, Journal of Surveying Engineering, 2014, Vol.140, No.1, 60-64.
50. Λάμπρου Ε., *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Αστρογεωδαιτικών Προσδιορισμών με Ψηφιακά Γεωδαιτικά Όργανα*, Διδακτορική Διατριβή, ΣΑΤΜ. ΕΜΠ, Αθήνα, 2003, σελ. 39-41, 44.
51. Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., *Ανίχνευση της αβεβαιότητας του συστήματος ανάγνωσης διευθύνσεων*, 4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012.
52. Lambrou E., Pantazis G., *Laboratorial tests of digital theodolites*, Proc. International FIG Symposium, Modern technologies, education and professional practice in Geodesy and related fields, pp. 72 – 79, Sofia, Bulgaria, November 2004.
53. Lambrou E., Pantazis G., *Astronomical azimuth determination by the hour angle of Polaris using ordinary total stations*, Survey Review, 40(308), 2008, pp. 164-172.
54. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Βιβλίο, Εκδόσεις Ζήτη, 2010, σ. 3, 99, 124-127.
55. Leica Geosystems AG, *Leica active assist software*, Part of Hexagon, Heerbrugg Switzerland, 2011.
56. Leica Geosystems AG, *Leica Nova MS60 Be Captivated*, 836379en - 01.16, Heerbrugg, Switzerland, 2015.
57. Leica Geosystems AG, *Leica Nova MS60 Data sheet*, 836395en - 05.15 - INT., Heerbrugg, Switzerland, 2015.
58. Leica Geosystems AG, *Leica Nova MS60 White paper*, 813469en – 08.17, Heerbrugg, Switzerland, 2017.

59. Λεβέντης Σ., *Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11*, Διπλωματική Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, 2006, σ. 11.

M

60. Mills L. D., *RFC 958, Network Time Protocol*, 1985.
61. Mills L. D., *Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol*, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 39, NO 10, 1991.
62. Mills L. D., *RFC 5905, Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification*, 2010.
63. Μολύβας Χ., *Προσδιορισμός του Συντελεστή Γεωδαιτικής Διάθλασης K με Σύγχρονα Γεωδαιτικά Όργανα, Εφαρμογή Λαμπαδάριο - Κύρου Πήρα*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2007, σ. 28-42.
64. Molyvas Ch. and Lambrou E., *Monitoring applications by using the Remote Survey Method*, 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), 15-17 May 2019, Athens, Greece.
65. Μολύβας Χ., Πανταζής Γ., *Η Μέθοδος Remote Survey στην Παρακολούθηση Κατασκευών και στην Εκτέλεση Αστρογεωδαιτικών Παρατηρήσεων*, Τιμητικός – Συλλεκτικός Τόμος στη μνήμη Ευαγγελίας Λάμπρου, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Αθήνα, 2020
66. Μπαλοδήμος Δ. Δ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *Η εξέλιξη των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων τον 20ο αιώνα στην Ελλάδα*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2005.
67. Μπιλλήρης Χ., Μητσακάκη Χ., Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ., Τσακίρη Μ., Σταθάς Δ., *Εισαγωγή στη Γεωδαισία, Σημειώσεις Μαθημάτων*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2007, σ. 1.

O

68. Omidalizarandi M., Kargoll B., Paffenholz J.-A., Neumann I., *Accurate vision-based displacement and vibration analysis of bridge structures by means of an image-assisted total station*, Article, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 10(6) 1–19, 2018.
69. Omidalizarandi M., Neumann I., Kemkes E., Kargoll B., Diener D., Ruffer J., Paffenholz J.-A., *MEMS based bridge monitoring supported by Image-Assisted Total Station*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W18, 2019, GeoSpatial Conference 2019 – Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12–14 October 2019, Karaj, Iran.

70. Ost L., *NIST Launches a New U.S. Time Standard: NIST-F2 Atomic Clock*, Article, 03-04-2014, Updated January 08-01-2018, Gaithersburg, MD, USA.

P

71. Paar R., Roic M., Marendic A., Miletic, S., *Technological Development and Application of Photo and Video Theodolites*, Article, Appl. Sci., 11, 3893, 2021.
72. Πανταζής Γιώργος, *Γεωδαιτικές Μέθοδοι Ελέγχου Μετακινήσεων*, Βιβλίο, Εκδόσεις Ζήτη, Σεπτέμβριος 2020, Θεσσαλονίκη, σελ. 21-22, 101-104, 108, 111-112, 130-132, 135-136, 138-143, 147-150, 156-157.
73. Pantazis G., Lambrou E., *A standard network to control GPS receivers*, Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, Publication Number 2 (69), 2004, pp. 261-269. Presentation in Conference "EGU 1st General Assembly 2004", Nice, France, 2004.
74. Παπαπέτρου Ε., *Δίκτυα Υπολογιστών I - Βασικές Αρχές Δικτύωσης*, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, 09/10/2019, Ιωάννινα.
75. Παπαπέτρου Ε., *Δίκτυα Υπολογιστών I - Δομικά Στοιχεία Υλικού*, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, 10/10/2019, Ιωάννινα.
76. Παπαπέτρου Ε., *Δίκτυα Υπολογιστών I - Δίκτυα άμεσου συνδέσμου: Μέρος Β'*, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, 28/11/2019, Ιωάννινα.
77. PC Magazine, *Bluetooth versions*, Περιοδικό, 15/05/2020.
78. Peterson L., Davie B., *Computer Networks: A Systems Approach, Release Version 6.1*, November 2019, pp. 40-41, 50.
79. Πηνιώτης Γ., Σαραφιάν Κ., *Ίδρυση Πρότυπου Τριδιάστατου Δικτύου στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2007.

R

80. Reiterer A., Lehmann M., Fabiankowitsch J. and Kahmen H., *A Knowledge-Based Optical 3D Measurement and Analysis System for Quality Control*, Vermessung & Geoinformation, 173 – 178, 2007.
81. Reiterer A., Lehmann M., Miljanovic M., Ali H., Paar G., Egly U., Eiter T. and Kahmen H., *Deformation monitoring using a new kind of optical 3d measurement system: components and perspectives*, Proc., of 13th FIG Int. Symp. on deformation measurements and analysis

and 4th IAG Symp. on geodesy for geotechnical and Structural engineering, Lisboa, 2008.

82. Reiterer A., Wagner A., *System Considerations of an Image Assisted Total Station – Evaluation and Assessment*, avn | 119 (2012) 3.

S

83. Salciunas V. A., *Electronic Industries Association (EIA)RS-232-C Interface Standard*, McGraw-Hill, Delran NJ 08075 USA, 1991.
84. SAP Community, *Remote Controlling Windows Mobile Devices - Part1 - My Mobiler*, article, 2009.
85. Scherer, M., Lerma, J. L., *From the Conventional Total Station to the Prospective Image Assisted Photogrammetric Scanning Total Station: Comprehensive Review*, J. Surv. Eng., 135(4), 2009, pp. 173-178.
86. Smith W. S., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing Second Edition*, book, California Technical Publishing San Diego, CA, USA, 1999, pp 37.
87. Stallings W., *Data And Computer Communications Eighth Edition*, book, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, USA, 2007, pp. 143.
88. Schwieger V, Lerke O., Kerekes G., *Image-based Target Detection and Tracking Using Image-assisted Robotic Total Stations*, Proc. FIG Working Week 2019, Geospatial information for a smarter life and environmental resilience, Hanoi, Vietnam, April 22–26, 2019.

T

89. Tanenbaum A., Wetherall D., *Computer networks fifth edition*, ISBN-13: 978-0-13-212695-3, Prentice Hall, 2011. pp 94, 96-98, 106, 262.
90. Thompson A., Taylor B. N., *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*, NIST Special Publication 811, Gaithersburg, MD, USA, 2008, pp.8.
91. Topcon Corporation, *Image Master Operation Manual*, Tokyo, Japan, 2008, pp. 2, 4.
92. Topcon Corporation, *Imaging Station 3 Brochure*, Tokyo, Japan, 2011.
93. Topcon Corporation, *Instruction Manual Imaging Station 2*, Tokyo, Japan, 2009, pp. 50, 112,158-162.
94. Trimble Navigation Limited, *Trimble access Software*, PN 022543-474 (01/09), Sunnyvale, California 94085, 2009.
95. Trimble, *Trimble SX10 Datasheet*, PN 022516-241 (10 16), Sunnyvale, USA, 2016.

96. Trimble, *Trimble VX Spatial Station User Guide*, version 01.00, Part Number 57346002, Sunnyvale, USA, 2007, pp.42.
97. Τσονάκας Ν., *Αξιολόγηση Γεωδαιτικές και Φωτογραμμετρικές εφαρμογές με χρήση του πρώτου εικονογεωδαιτικού σταθμού GPT-7000i*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2007, σ. 3-4, 14-16, 99-100.
98. Tuno N., Mulahusić A., Savšek S., Kogoj D., *Pet generacij integriranih elektronskih tahimetrov - Five generations of integrated electronic tachymeters*, *Geodetski vestnik*, 63, 41-56, 10.15292/geodetski-vestnik.2019.01.41-56, 2019.

U

99. US Army Corps of Engineers, *Structural Deformation Surveying*, Engineer Manual (EM) 1110-2-1009, Washington D.C., USA, 2018, pp.4-4, 4-6, 4-7.

V

100. Volgyesi L., Toth G., *Calibration of CCD sensors mounted on geodetic measuring systems, article*, *Survey Review* 53(5):1-10 DOI:10.1080/00396265.2019.1703506, 2020.

W

101. Wagner A., *New Geodetic Monitoring Approaches using Image Assisted Total Stations*, PhD thesis, Technische Universität München, Munich, Germany, 2017.
102. Wagner A., Wiedemann W., Wasmeier P., Wunderlich T., *Monitoring Concepts Using Image Assisted Total Stations*, Presentation in SIG 2016 - Symposium on Engineering Geodesy, 2016, Varaždin, Croatia.
103. Walrand J., Parekh S., *Communication Networks: A Concise Introduction*, Lecture Slides of Figures and Tables, 2010.
104. Walser B. H., *Development and Calibration of an Image Assisted Total Station*, PhD Thesis, ETH, Zurich, Switzerland 2004.
105. Wiedemann W., Wagner A., and Wunderlich T., *Nivellieren mit bildunterstützten Totalstationen*, Proc., Ingenieurvermessung 2017. Graz, Austria, 2017, pp. 47–61.
106. Woschitz H., Brunner K. F., Heister H., *Scale Determination of Digital Levelling Systems using a Vertical Comparator*, FIG XXII International Congress, Washington D.C., USA, April 2002.

X

107. Ξύθαλη Ι., *IEEE 802.11*, Εργασία Εξαμήνου, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής, Πάτρα 2014, σ. 6, 16-18.

Y

108. Yang D. L., Zou J. G., *Precise levelling in crossing river over 5 km using total station and GNSS*, article, *Scientific Reports* | (2021) 11:7492, 2021.
109. Young D. H., *Statistical Treatment of Experimental Data*, McGraw – Hill Book Company, New York, USA, 1962, pp. 145-146.

Z

110. Zhang H., Li Ch., Zheng Y., *Image-Assisted Total Station Camera Mounting Error Correction Model and Analysis*, article, *American Society of Civil Engineers*, 2021.

Σύνοψη βιβλιογραφίας:

- **82** ξενόγλωσσες βιβλιογραφικές αναφορές, από τις οποίες:
 - **10** αναφέρονται σε επιστημονικά βιβλία,
 - **3** αναφέρονται σε διδακτορικές διατριβές,
 - **1** αναφέρεται σε ακαδημαϊκές σημειώσεις,
 - **23** αναφέρονται σε επιστημονικά περιοδικά,
 - **5** αναφέρονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις,
 - **15** αναφέρονται σε πρακτικά διεθνών συνεδρίων,
 - **25** αναφέρονται σε τεχνολογικά βιβλία και άρθρα.
- **28** ελληνόγλωσσες βιβλιογραφικές αναφορές, από τις οποίες:
 - **8** αναφέρονται σε επιστημονικά βιβλία,
 - **9** αναφέρονται σε ακαδημαϊκές σημειώσεις
 - **1** αναφέρεται σε διδακτορική διατριβή,
 - **6** αναφέρονται σε διπλωματικές, μεταπτυχιακές και ακαδημαϊκές εργασίες,
 - **2** αναφέρονται σε επιστημονικά περιοδικά και
 - **2** αναφέρονται σε πρακτικά διεθνών συνεδρίων.

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://time.eim.gr/πληροφορίες/εθνικός-χρόνος>, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (EIM), Η παραγωγή του εθνικού χρόνου (Τελευταία πρόσβαση 9/3/2021 12:59).
2. <http://www.fountainware.com/Products/TimeCalibrator>, (Τελευταία πρόσβαση 9/3/2021 19:29)
3. <https://getgreenshot.org/downloads>, Τελευταία πρόσβαση 9/3/2021 19:56)
4. <http://www.highrez.co.uk/downloads/XMouseButtonControl.htm>, (Τελευταία πρόσβαση 9/3/2021 19:59)
5. <https://support.microsoft.com/en-us/windows/getting-the-best-display-on-your-monitor-c7e01f63-9b51-2b23-0a0f-6b965af015a9>, Ιστότοπος Getting the best display on your monitor, Microsoft, (Τελευταία πρόσβαση 9/3/2021 23:03).
6. <https://sp-timesync.software.informer.com/2.3/>, (Τελευταία πρόσβαση 03/06/2021).
7. <https://download.cnet.com/developer/MTUX/i-115989/> (Τελευταία πρόσβαση 03/06/2021).
8. <https://www.teamviewer.com/en/download/windows/> (Τελευταία πρόσβαση 03/06/2021).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Α"

Συνοπτική παρουσίαση χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών

Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon Imaging Station 3 (IS-3)

Ο σταθμός Topcon IS-3 (εικόνα Α.1) αποτελεί την τρίτη έκδοση του σταθμού IS. Ανάμεσα στις καινοτομίες που διαθέτει, ξεχωρίζει το εξελιγμένο EDM το οποίο καθιστά δυνατή την αξιόπιστη αυτόματη σάρωση χωρίς τη χρήση πρίσματος σε μεγάλη εμβέλεια έως 2000m, με αυξημένη ταχύτητα μέτρησης αποστάσεων και με ταυτόχρονη λήψη εικόνων.



Εικόνα Α.1: Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS-3 [Topcon Co, 2011]

Επίσης, σημαντική καινοτομία του σταθμού είναι η μέθοδος «Feature Scan» (εικόνα Α.2). Αυτή η μέθοδος καθιστά δυνατή την αυτόματη εξαγωγή των ορίων των αντικειμένων που περιλαμβάνονται στην περιοχή που σαρώνεται [Topcon Co, 2011].



Εικόνα Α.2: Εφαρμογή της μεθόδου «Feature Scan» [Topcon Co, 2011]

Άλλες καινοτομίες του σταθμού είναι η εξελιγμένη τεχνολογία αυτόματου εντοπισμού X-TRAC 8 και η τεχνολογία Wide-Range Wireless LAN οι οποίες βελτιώνουν τη ρομποτική ικανότητά του. Ειδικότερα, η τεχνολογία X-TRAC 8 παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης στόχου ακόμη και κάτω από τις πιο αντίξοες συνθήκες, βελτιώνοντας έτσι κατακόρυφα την ικανότητα εκτέλεσης τοπογραφικών μετρήσεων από ένα μόνο άτομο. Τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής είναι η ικανότητα αυτόματης παρακολούθησης στόχου έως τα 1000m, όπως και η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης ακόμη και στα πιο δύσκολα μέρη ή σε συνθήκες έντονης ηλιοφάνειας. Επιπλέον, η ρομποτική λειτουργία βελτιώνεται με τη χρήση της συσκευής WT-100 (εικόνα A.3 και εικόνα A.4), η οποία λειτουργεί ως σημείο πρόσβασης και ως controller για το όργανο, βελτιώνοντας τη σταθερότητα στην αναμετάδοση των δεδομένων και των εικόνων. Με τη χρήση της συσκευής WT-100 είναι δυνατός ο χειρισμός του σταθμού IS από απόσταση έως 300m [Topcon Co, 2011].



Εικόνα A.3: Η συσκευή WT-100 [Topcon Co, 2011]



Εικόνα A.4: Λειτουργία μεταφοράς video σε πραγματικό χρόνο από τον σταθμό IS στο χειριστήριο συλλογής δεδομένων (data collector) [Topcon Co, 2011]

Όσον αφορά στην ικανότητα λήψης εικόνων, ο σταθμός Topcon IS-3 διαθέτει δύο ενσωματωμένες ψηφιακές κάμερες (εικόνα Α.5). Ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει την περιοχή που περιβάλλει τον στόχο και να εστιάσει σε αυτόν με τη χρήση της wide angle κάμερα και να χρησιμοποιήσει την tele-zoom κάμερα, η οποία διαθέτει μεγέθυνση 30x, για λεπτομερή σκόπευση. Η εικόνα της κάμερας tele-zoom καθίσταται πιο ευκρινής με τη βοήθεια της τεχνολογίας αυτόματης εστίασης. Οι εικόνες αποθηκεύονται στην εσωτερική μνήμη του σταθμού ενώ προβάλλονται και στην οθόνη του.



Εικόνα Α.5: Οι κάμερες Wide Angle και Tele-Zoom του σταθμού Topcon IS-3 [Topcon Co, 2011]

Αξιοσημείωτη είναι και η τεχνολογία «Touch Drive» (εικόνα Α.6), με την οποία επιτυγχάνεται ο χειρισμός του οργάνου από την οθόνη του. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας την ακίδα που συνοδεύει τον σταθμό αναγνωρίζεται και επιλέγεται ο στόχος στην επιφάνεια της οθόνης, ενέργεια η οποία προκαλεί και την στροφή του σταθμού έτσι ώστε να σκοπεύει τον επιλεγμένο στόχο. Επίσης, η τεχνολογία «Touch Drive» επιτρέπει την εκτέλεση μετρήσεων ακριβείας καθώς η κάμερα tele-zoom παρέχει εικόνες αντίστοιχες εκείνης του τηλεσκοπίου του σταθμού [Topcon Co., 2011].



Εικόνα Α.6: Η τεχνολογία «Touch Drive» του σταθμού Topcon IS-3 [Topcon Co., 2011]

Εκτός των άλλων, ο σταθμός έχει εγκατεστημένο το λογισμικό Image Master for IS. Μια σημαντική δυνατότητα του λογισμικού αυτού είναι ότι επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει από το γραφείο τις εικόνες και τις σαρώσεις του IS μέσω WLAN σύνδεσης, χρησιμοποιώντας το εσωτερικό WLAN module του σταθμού (εικόνα Α.7).



Εικόνα Α.7: Έλεγχος των εικόνων και των σαρώσεων του IS μέσω WLAN σύνδεσης [Topcon Co., 2011]

Ειδικότερα με το λογισμικό Image Master ο χρήστης μπορεί να συλλέξει εικόνες και να εκτελέσει σαρώσεις για αποτύπωση γεωμορφών και κατασκευών από απόσταση. Στις εικόνες που μεταδίδουν οι κάμερες του σταθμού είναι δυνατόν να καθορισθεί η επιθυμητή περιοχή σάρωσης και να συλλεχθούν 3D δεδομένα προκειμένου να δημιουργηθούν νέφη σημείων της επιλεγείσας περιοχής. Επίσης, οι εικόνες που συλλέγουν οι κάμερες μπορούν να συνδυαστούν για να δημιουργηθεί μια πανοραμική εικόνα της φωτογραφημένης περιοχής, εύρους 360° κατά την οριζόντια διεύθυνση και 120° κατά την κατακόρυφη [Topcon Co., 2008]. Τονίζεται ότι η λειτουργία του τηλεχειρισμού του λογισμικού Image Master δεν λειτουργεί ανταγωνιστικά ως προς τη μέθοδο Remote Survey καθώς εστιάζει στη λήψη εικόνων και στη σάρωση του στόχου και όχι στην εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων, όπου εστιάζει η δεύτερη.

Πέραν των ανωτέρω, ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Topcon IS-3, στην έκδοση 301, διαθέτει ονομαστική ακρίβεια στη μέτρηση οριζοντίων γωνιών 1" (3^{cc}) και μετρά μήκη χωρίς ανακλαστήρα μέχρι 2km, με ονομαστική ακρίβεια $\pm 10\text{mm} + 10\text{ppm}$. Διαθέτει δύο κάμερες πολύ υψηλής ανάλυσης (1.3Mpixel) και μπορεί να σαρώνει αυτόματα μέχρι 20 σημεία ανά δευτερόλεπτο. Η εστίαση στο επιθυμητό σημείο γίνεται αυτόματα. Διαθέτει επίσης ασύρματη σύνδεση μέσω Bluetooth (Communication distance: About 5m/Ver.1.2/Class2), Wireless LAN Function (Transmission specifications: IEEE802.11b/g) καθώς και

ενσύρματη σύνδεση USB. Η σύνδεσή του στο διαδίκτυο είναι δυνατή μέσω κατάλληλου modem.

Αναλυτικά τα επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού Topcon IS-3 παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού Topcon Imaging Station 3 (IS-3) [Topcon Co., 2009] και [Topcon Co., 2011].

Model	IS301	IS303	IS305
Telescope			
Length	165mm		
Objective Lens	45mm(EDM49mm)		
Magnification / Minimum Focus	30x / 1.4m		
Image	Erect		
Field of View	1°30'		
Resolving Power	3"		
Minimum Focus	1.4m		
Angle Measurement			
Method	Absolute Reading		
Minimum Reading	0.5"/1"	1"/5"	1"/5"
	(0.1/0.2mgon)	(0.2/1mgon)	(0.2/1mgon)
Accuracy	1"(0.3mgon)	3"(1mgon)	5"(1.5mgon)
Tilt Correction / Compensating Range	Dual Axis / Compensating Range:±6'		
Distance Measurement			
Prism mode			
1prism [Slight haze with visibility about 20km, moderate sunlight with light heat shimmer.]	3,000m(9,842ft)		
3prisms [Slight haze with visibility about 20km, moderate sunlight with light heat shimmer.]	4,000m(13,123ft)		
9prisms [Slight haze with visibility about 20km, moderate sunlight with light heat shimmer.]	5,000m(16,404ft)		
Accuracy Fine0.2mm/1mm	±(2mm+2ppmxD)m.s.e		
Non-Prism Mode [Kodak gray card white surface]	1.5m-250m		
Non-Prism Accuracy [Kodak gray card white surface]	±(3mm)m.s.e		

Fine0.2mm/1mm	
Non-Prism Long Mode [Kodak gray card white surface]	5m-2,000m
Non-Prism Long Accuracy [Kodak gray card white surface] [Up to 500m] Fine1mm	$\pm(10\text{mm}+10\text{ppmxD})\text{m.s.e}$
Image Sensor	
Wide	Angle of field :33°/ 1.3M Pixel (1280 x 1024) SXGA
Telescope	Angle of field :1°/ 1.3M Pixel (1280 x 1024) SXGA
Image Speed	10frame / sec
Auto-Collimating/Auto-Tracking/Motor Driving	
Rotating Speed	Max.85°/sec
Coarse Movement	Shuttle Driving (7steps)
Fine Movement	Jog Driving (minimum step about 1 second)
Auto-Tracking Range [Slight haze with visibility about 20km, moderate sunlight with light heat shimmer.] Prism Type 2	1.5m to 1,000m
Auto-Tracking Range [Slight haze with visibility about 20km, moderate sunlight with light heat shimmer.] Pinpole Prism	1.5m to 600m
Auto-Tracking Range [Slight haze with visibility about 20km, moderate sunlight with light heat shimmer.] A6/A7 360°Prism	5m to 600m
Auto-Tracking Speed	Max.15°/sec
Auto-Collimating area	$\pm 5^\circ$
Auto-Tracking/Auto-Collimating Laser	Class1 (invisible laser)
Auto-Collimating accuracy [The air condition is stable and prism is staying. Automatic Collimation accuracy is available only for prism use except for reflector tape.] (Repeated reproducibility 1σ)	1.2mm or below (stand still 100m or below)

Scan mode	
Scan range	250m (Non-Prism Mode)
	2,000m (Non-Prism Long Mode)
Scan speed	Max.20pts/sec
Standard Deviation	5mm
Coordinates Accuracy	12mm
Computer Unit	
Operating System / Processor	Windows® CE.NET5.0/Intel PXA255 400MHz
Memory	128MB RAM, 2MB Flash ROM, 1GB micro SD Card
Display	3.5inch TFT Color LCD, (240 x 320 dots) Touch Screen
Interface	RS-232C/ CompactFlash/ USB(TypeA, TypeminiB)
Wireless Communication	
Bluetooth	Communication distance :About 5m / Ver.1.2 / Class2
SS Wireless Function	Communication distance: About1,000m [Wireless communication range may vary depending on obstruction and other environmental conditions.] / Transmission output max 100mW
Wireless LAN Function	Transmission specifications:IEEE802.11b/g
Others	
Dust / Water Protection	IP54(IEC60529)
Ambient Temperature Range	-20°C to +50°C(-4°F to +122°F)
Size	338(H)x220(W)x185(L)mm
Instrument height	196mm
Weight	Instrument 6.2kg, Battery (BT-65Q) 0.2kg Tribrach 0.7kg
Rechargeable Battery BT-65Q	DC7.4V, 5000mAh
Maximum operating time (at+20°C, when not using assist-focus)	Normal use(when using wireless LAN): 2.7h Continuous double face observations using automatic collimation]/ Continuous Scanning :3h [When not using wireless LAN and SS wireless]

Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Leica Nova MS60 MultiStation

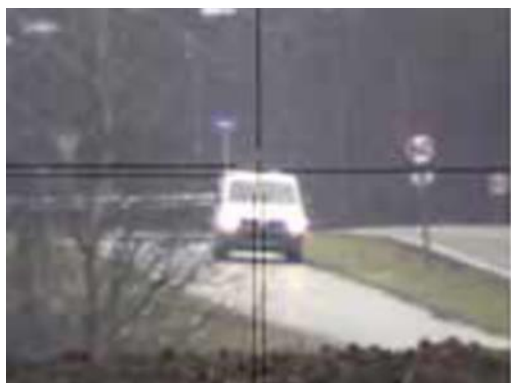
Ο σταθμός Leica Nova MS60 MultiStation (εικόνα Α.8) συνδυάζει όλες τις διαθέσιμες μετρητικές τεχνολογίες σε ένα όργανο και αναπτύχθηκε για να καλυφθούν οι απαιτήσεις ενός συνεχώς εξελισσόμενου περιβάλλοντος εργασίας. Είναι μάλιστα ο πρώτος αυτοεκπαιδευόμενος γεωδαιτικός σταθμός στον κόσμο, ο οποίος

προσαρμόζεται διαρκώς και αυτόματα στις συνθήκες του περιβάλλοντος όπου εκτελούνται οι μετρήσεις, όπως στη βροχή, στην ομίχλη, στη σκόνη, στον ήλιο, στη ζέση και στις αντανακλάσεις [Leica Geosystems AG, 2015].

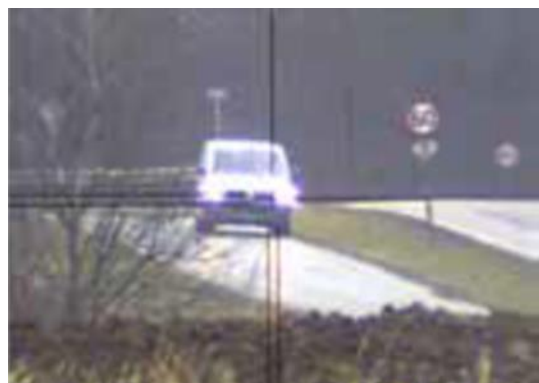


Εικόνα A.8: Ο σταθμός Nova MS60 MultiStation της εταιρείας Leica [Leica Geosystems AG, 2015]

Ο Leica Nova MS60 MultiStation διαθέτει νέα οθόνη 5 ιντσών με αποτέλεσμα να είναι πιο ευανάγνωστες οι απεικονίσεις των στόχων. Επίσης, συλλέγει 3D δεδομένα με ακριβή σάρωση μεγάλου βεληνεκούς έως 1000m, ενώ επιτυγχάνει τη σάρωση 1000 σημείων ανά δευτερόλεπτο έως την απόσταση των 300m. Μάλιστα, η ακρίβεια σάρωσης είναι της τάξης του 1mm [Leica Geosystems AG, 2015].



Εικόνα A.9: Η τεχνολογία ATRplus εστιάζει σωστά στο πρίσμα στην οροφή του αυτοκινήτου [Leica Geosystems AG, 2017]



Εικόνα A.10: Η τεχνολογία ATR εστιάζει λάθος στα φώτα του αυτοκινήτου [Leica Geosystems AG, 2017]

Σημαντική καινοτομία του σταθμού αποτελεί η τεχνολογία ATRplus η οποία αποτελεί βελτίωση της υπάρχουσας ATR και παρέχει τη δυνατότητα αυτόματης σκόπευσης στόχου έως τα 1500m, με αυτόματο εγκλωβισμό στόχου έως τα 1000m. Προκειμένου να αποφευχθούν

αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούνται από άλλες πηγές φωτός, όπως οι αντανακλάσεις από τα φώτα των αυτοκινήτων, η τεχνολογία ATRplus χρησιμοποιεί εναλλακτικά επίπεδα ενέργειας laser ανάλογα με το αν οι εικόνες είναι σκούρες ή φωτεινές.

Συνεπώς, ενώ η αντανάκλαση του πρίσματος μειώνεται όσο μειώνεται η ενέργεια laser του ATRplus, οι εξωτερικές πηγές φωτισμού παραμένουν οι ίδιες και έτσι μπορούν να ανιχνευθούν με ευκολία (εικόνα A.9 και εικόνα A.10).

Επίσης η τεχνολογία ATRplus περιορίζει πιθανές πηγές σφαλμάτων όπως λάθος ρυθμίσεις του χειριστή, επεκτείνοντας έτσι τα όρια της αυτόματης εκτέλεσης μετρήσεων [Leica Geosystems AG, 2017].

Στόχοι μακριά από το τρέχον οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου είναι δυνατό να βρεθούν με χρήση του φίλτρου PowerSearch με γρήγορο και αποδοτικό τρόπο. Πιο συγκεκριμένα το φίλτρο PowerSearch επιτρέπει την αρχική εκμάθηση από τον σταθμό όλων των ορατών σταθερών στόχων στην περιοχή εργασιών. Έπειτα, το φίλτρο βοηθά τον σταθμό να βρει το στόχο ενδιαφέροντος γρήγορα και αποδοτικά, ακόμη και αν αυτός κινείται και να αγνοήσει τους υπόλοιπους (εικόνα A.11) [Leica Geosystems AG, 2017].



Εικόνα A.11: Η εφαρμογή φίλτρου PowerSearch για να αγνοηθούν μη σχετικοί στόχοι [Leica Geosystems AG, 2017]



Εικόνα A.12: Η τεχνολογία CubeSearch σε έναν κινούμενο στόχο [Leica Geosystems AG, 2017]

Εκτός των άλλων αξίζει να αναφερθεί και η τεχνολογία CubeSearch του σταθμού, η οποία μπορεί αυτόματα να ενεργοποιηθεί μετά από μια απώλεια εστίασης, να ερευνήσει μια κυβική περιοχή γύρω από την τελευταία γνωστή θέση του στόχου και να εστιάσει ξανά σε αυτόν τον στόχο ενώ αυτός θα κινείται (εικόνα A.12).

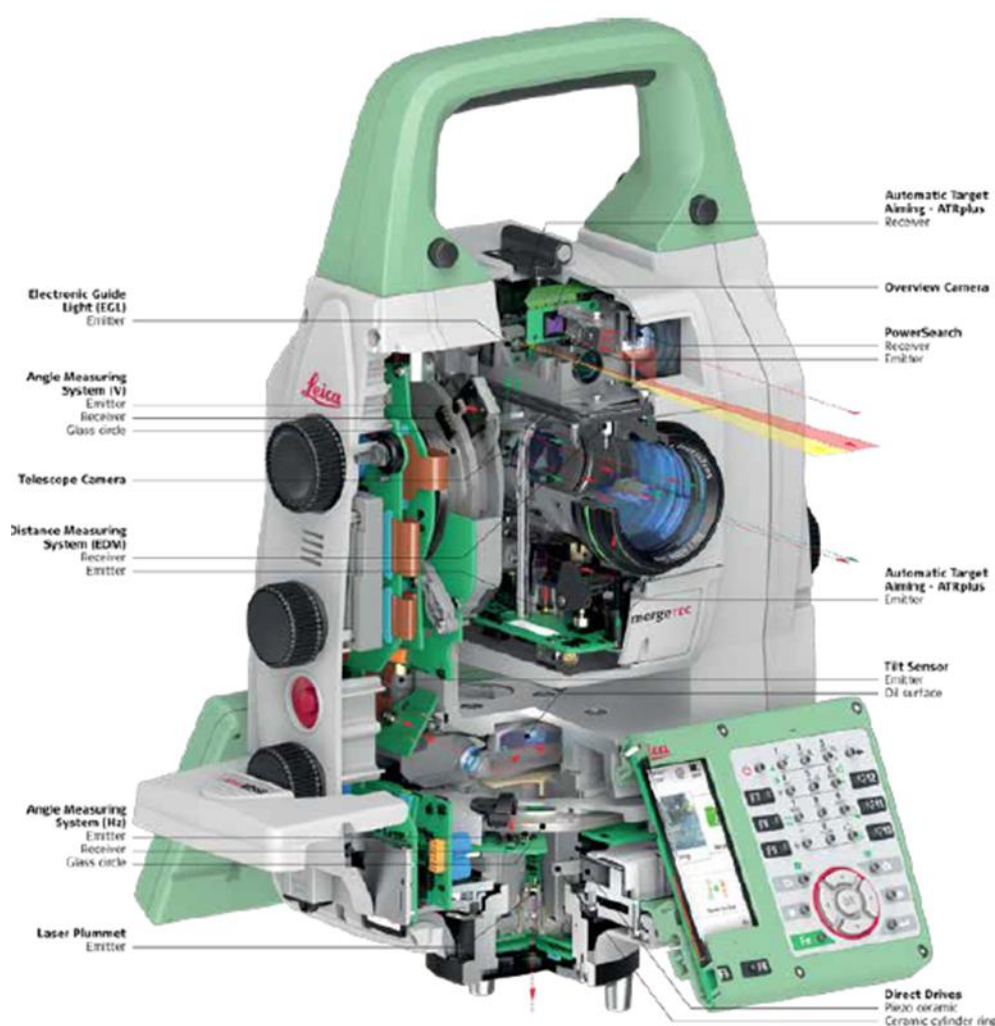
Ένας συνδυασμός θυρών USB και RS-232 που βρίσκονται στο μη κινούμενο τμήμα του MultiStation όπως και η δυνατότητα σύνδεσης μέσω Bluetooth και WLAN εξασφαλίζουν τη μεταφορά δεδομένων. Στον MultiStation μπορεί να συνδεθεί ένα χειριστήριο πεδίου (field controller tablet) όπως το CS20 ή το CS35, το οποίο εξασφαλίζει απομακρυσμένο χειρισμό του οργάνου σε ακτίνα έως 1000 μέτρων, μέσω σύνδεσης long-range radio Bluetooth [Leica Geosystems AG, 2017].

Επιπλέον, ο σταθμός ενσωματώνει δύο κάμερες (telescope και overview) υψηλής ανάλυσης της τάξης των 5 megapixels, με δυνατότητα συλλογής video συχνότητας (frame rate) έως 20 Hz και αυτόματης εστίασης. Και οι δύο κάμερες δίνουν εικόνες υψηλής ανάλυσης για υποβοήθηση και τεκμηρίωση των εκτελούμενων μετρήσεων. Η κάμερα overview βρίσκεται στο άνω μέρος του τηλεσκοπίου, ενώ η telescope βρίσκεται σε ευθυγράμμιση με τον οπτικό άξονα του οργάνου εντός του τηλεσκοπίου και διαθέτει τη δυνατότητα της πλήρους μεγέθυνσης 30x του τηλεσκοπίου. Η καταγραφή του video stream, η οποία παρέχεται έως 20 frames per second στην οθόνη του οργάνου, μπορεί εύκολα να αλλάξει από την κάμερα overview στην κάμερα telescope και αντίστροφα. Η λειτουργία Autofocus αυξάνει την αποδοτικότητα των μετρήσεων και περιορίζει την κόπωση των ματιών του παρατηρητή [Leica Geosystems AG, 2017].

Επίσης ο σταθμός ενσωματώνει την τεχνολογία *mergeTEC* με την οποία επιτυγχάνεται η ενισχυμένη λειτουργικότητά του, μέσω της συνδεσιμότητας με δέκτες GNSS, της λήψης εικόνων υψηλής ανάλυσης και της 3D laser σάρωσης. Πιο συγκεκριμένα, οι εικόνες συσχετίζονται με γεωδαιτικές μετρήσεις και οι μετρήσεις αυτές συμπληρώνονται από 3D νέφη σημείων, ενώ τα νέφη με τη σειρά τους συνδυάζονται με πληροφορίες εικόνας. Όλα τα δεδομένα προσαρμόζονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, με χρήση μετρήσεων δέκτη GNSS. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να αποφασίζουν στο πεδίο ποια τεχνολογία θα εφαρμόσουν προκειμένου να διεκπεραιωθούν με τον βέλτιστο τρόπο οι μετρήσεις. Έτσι, τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα άμεσα στο πεδίο, όπως για παράδειγμα ο υπολογισμός του όγκου ενός αντικειμένου που προέρχεται από νέφη σημείων [Leica Geosystems AG, 2017].

Παρέχει γωνιακή ακρίβεια της τάξης του 1" (σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-3) και ένα ηλεκτροπτικό σύστημα μέτρησης αποστάσεων

(electro-optical distance measurement system - EDM) το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία *wave form digitizer*. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει ακριβείς και γρήγορες μετρήσεις σε κάθε επιφάνεια από 2000 μέτρα έως τα 10000 μέτρα με χρήση ενός μονού πρίσματος. Τελικά, η εμβέλεια μέτρησης του EDM είναι από 1.5m έως 10000m με χρήση πρίσματος (σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-4) και από 1.5m έως 2000m σε κάθε επιφάνεια χωρίς πρίσμα. Η ακρίβεια μέτρησης του EDM είναι 1mm +1.5ppm με χρήση πρίσματος (σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-4) και 2mm +2ppm σε κάθε επιφάνεια χωρίς πρίσμα [Leica Geosystems AG, 2017]. Στην εικόνα A.13 παρουσιάζεται σε τομή η εσωτερική διάταξη του σταθμού Nova MS60 MultiStation.



Εικόνα A.13: Εσωτερική διάταξη του σταθμού Leica Nova MS60 [Leica Geosystems AG, 2017]

Αναλυτικά τα επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού Leica Nova MS60 MultiStation παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού
Leica Nova MS60 MultiStation [Leica Geosystems AG, 2015], [Leica
Geosystems AG, 2016]**

ANGLE MEASUREMENT		
Accuracy [Standard deviation ISO 17123-3] Hz and V	Absolute, continuous, quadruple	1" (0.3 mgon)
DISTANCE MEASUREMENT		
Range [Overcast, no haze, visibility about 40km, no heat shimmer]	Prism (GPR1, GPH1P), [1.5m to 3000m for 360° prisms (GRZ4, GRZ122)] Non-Prism / Any surface [Object in shade, sky overcast, Kodak Gray Card (90% reflective)]	1.5m to >10,000m 1.5m to 2000m
Accuracy/Measurement time	Single (prism) [Overcast, no haze, visibility about 40km, no heat shimmer], [Standard deviation ISO 17123-4] Single (any surface) [Overcast, no haze, visibility about 40km, no heat shimmer], [Object in shade, sky overcast, Kodak Gray Card (90% reflective)], [Standard deviation ISO 17123-4], [Distance > 500m: Accuracy 4mm + 2ppm, Measurement time typically 4s]	1mm + 1.5ppm / typically 1.5s 2mm + 2ppm / typically 1.5s
Laser dot size	At 50m	8mm x 20mm
Measurement technology	Wave Form Digitising	Coaxial, visible red laser
SCANNING		
Max. Range/ Range noise [Object in shade, sky overcast, uninterrupted visibility, static target object, Kodak Gray Card	1000 Hz mode 250 Hz mode 62 Hz mode 1 Hz mode	300m / 1.0mm at 50m 400m / 0.8mm at 50m 500m / 0.6mm at 50m 1000m / 0.6mm at 50m

(90% reflective)] (1 sigma) [Object in shade, sky overcast, Kodak Gray Card (90% reflective)]		
Scan data	3D point cloud including true colour, intensity and signal-to-noise data	
IMAGING		
Overview and telescope camera	Sensor Field of view (overview / telescope) Frame rate	5 megapixel CMOS sensor 19.4° / 1.5° Up to 20 frames per second
MOTORISATION		
Direct drives based on Piezo technology	Rotation speed / Time to change face	Maximum 200 gon (180°) per s / typically 2.9s
AUTOMATIC AIMING - ATRplus		
Target aiming range [Overcast, no haze, visibility about 40km, no heat shimmer]/Target locking range [Overcast, no haze, visibility about 40km, no heat shimmer]	Circular prism (GPR1, GPH1P) 360° prism (GRZ4, GRZ122)	1500m / 1000m 1000m / 1000m
Accuracy [Standard deviation ISO 17123-3], [Overcast, no haze, visibility about 40km, no heat shimmer]/ Measurement time	ATRplus angle accuracy Hz, V	1" (0.3 mgon) / typically 2.5s
POWERSEARCH		
Range / Search time	360° prism (GRZ4, GRZ122)	300m / typically 5s
GUIDE LIGHT (EGL)		
Working range / Accuracy		5 –150m / typically 5cm @ 100m
GENERAL		
Field software	Leica Captivate with apps	
Processor	TI OMAP4430 1GHz Dual-core ARM® Cortex™- A9 MPCore™	Operating system - Windows EC7
Autofocus telescope	Magnification / Focus Range	30 x / 1.7m to infinity
Display and keyboard	5" (inch), WVGA, (800 x	37 keys, illumination

	480 pixels), colour, graphics capable LCD, illumination, touch screen, both faces.	
Operation	3x endless drives, 1x Servofocus drive, 2x Autofocus	keys, User-definable SmartKey
Power management	Exchangeable Lithium-Ion battery with internal charging capability	Operating time 7–9 h
Data storage	Internal memory / Memory card	2 GB / SD card 1 GB or 8 GB
Interfaces	RS-232, USB, Bluetooth®, WLAN	
Weight	MultiStation including battery	7.7kg
Environmental specifications	Working temperature range Dust & Water (IEC 60529) / Blowing rain Humidity	–20°C to + 50°C IP65 / MIL-STD-810G, Method 506.5-I 95%, non-condensing

Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Trimble SX10

Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Trimble SX10 (εικόνα Α.14) είναι ένας εξελιγμένος ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός, ο οποίος περιλαμβάνει και ένα υψηλής ακρίβειας laser σαρωτή για να παρέχει στον χρήστη του ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε μια ολοκληρωμένη πρόταση.



Εικόνα Α.14: Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Trimble SX10 [Trimble, 2016]

Για πρώτη φορά ενσωματώνονται σε ένα όργανο τα χαρακτηριστικά ενός ταχύτατου και αξιόπιστου σαρωτή και η τεχνολογία *Trimble VISION*, η οποία και εξασφαλίζει την εκτέλεση υψηλής ακρίβειας μετρήσεων αποκλειστικά μέσω κάμερας και όχι μέσω τηλεσκοπίου.

Αυτή η νέα πολυδιάστατη πρόταση παρέχει τη δυνατότητα συλλογής 3D δεδομένων σάρωσης υψηλής πυκνότητας, όπως και βελτιωμένες εικόνες με την βοήθεια της τεχνολογίας *Trimble VISION imaging*.

Όλα αυτά επιτρέπουν στο χρήστη να συλλέξει ακριβώς αυτό που χρειάζεται εξοικονομώντας χρήματα και χρόνο σε κάθε εργασία [Trimble, 2016].

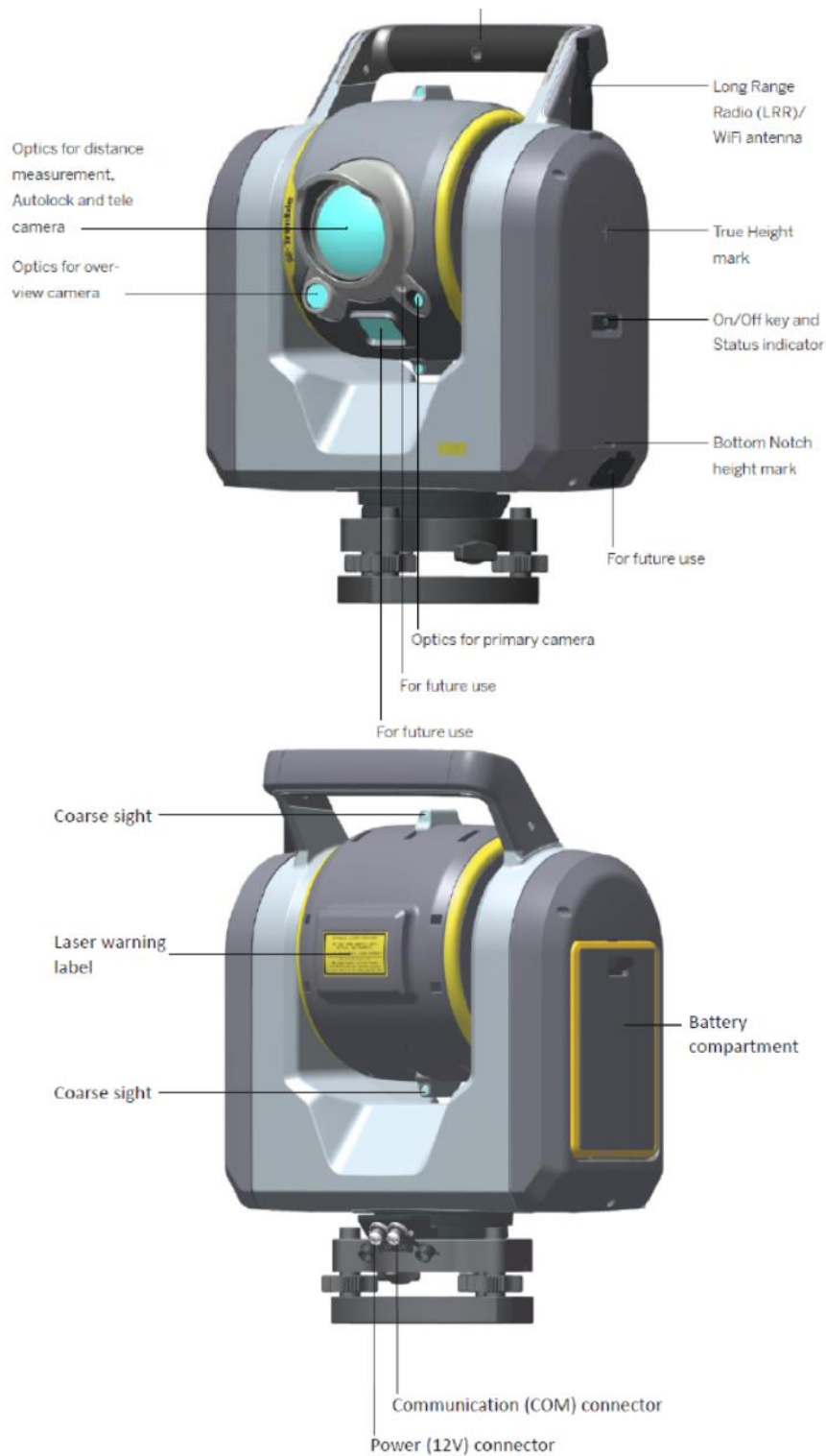
Επίσης, η νέα τεχνολογία της *Trimble Lightning 3DM* καθιστά ικανό τον σταθμό SX10 να συλλέξει ταυτόχρονα υψηλής ακρίβειας γεωδαιτικές μετρήσεις και 3D σαρώσεις, με υψηλή ταχύτητα. Συνοπτικά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σταθμού Trimble SX10 είναι τα ακόλουθα [Trimble, 2016]:

- Συνδυάζει συλλογή γεωδαιτικών δεδομένων, λήψη εικόνων και 3D σαρώσεις με υψηλή ταχύτητα.
- Η τεχνολογία *Trimble Lightning 3DM* καθιστά δυνατή την ταυτόχρονη λήψη υψηλής ακρίβειας μετρήσεων του οργάνου ως total station και σαρώσεις με υψηλή ταχύτητα.
- Η ταχύτητα σάρωσης φτάνει τα 26600 points/sec σε αποστάσεις έως 600m.
- Διαθέτει την μικρότερη κουκκίδα (spot size) σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς της αγοράς, ήτοι σχεδόν 14mm στα 100m.
- Η βελτιωμένη τεχνολογία *Trimble VISION* επιτρέπει τη γρήγορη και εύκολη συλλογή εικόνων υψηλής ανάλυσης στο πεδίο και την εκτέλεση παρατηρήσεων αποκλειστικά από ψηφιακή κάμερα.
- Παρέχει πλήρη ενσωμάτωση των ήδη ευρέως χρησιμοποιούμενων λογισμικών *Trimble Access* και *Trimble Business Center*.

Η λειτουργία του σταθμού είναι αποκλειστικά ρομποτική. Ειδικότερα, οι οπτικές διατάξεις του οργάνου έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτρέπουν τις σκοπεύσεις σημείων χωρίς να απαιτείται η χρήση του τηλεσκοπίου, παρά μόνο η χρήση ενός Trimble controller ή ενός tablet με εγκατεστημένο το λειτουργικό των Windows και το λογισμικό *Trimble Access*. Επίσης, δεν διαθέτει ενσωματωμένη οθόνη όπως τα υπόλοιπα όργανα της κατηγορίας του (εικόνα A.15).

Η ασύρματη επικοινωνία με τον controller μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη χρήση της τεχνολογίας Wi-Fi είτε με την τεχνολογία *Long Range Radio (LRR)*. Με την τεχνολογία *LRR* επιτυγχάνεται η εργασία σε μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στο όργανο και στον controller, ωστόσο

καθίσταται πιο αργή η ασύρματη μετάδοση δεδομένων, σε σύγκριση με την τεχνολογία Wi-Fi [Trimble, 2017].



Εικόνα Α.15: Οι δύο όψεις του IATS Trimble SX10 [Trimble, 2017]

Αναλυτικά τα επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού Trimble SX10 παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού
Trimble SX10 [Trimble, 2017]**

SURVEY PERFORMANCE		
<i>ANGLE MEASUREMENT</i>		
	Sensor type	Absolute encoder with diametrical reading
	Angle measurement accuracy [Standard deviation according to ISO17123-3]	1" (0.3 mgon)
	Angle display (least count)	0.1" (0.01 mgon)
<i>AUTOMATIC LEVEL COMPENSATOR</i>		
	Type	Centered dual-axis
	Accuracy	0.5" (0.15 mgon)
	Range	±5.4' (±100 mgon)
	Electronic 2-axis level, with a resolution of	0.3" (0.1 mgon)
	Circular level in tribrach	8'/2 mm
<i>DISTANCE MEASUREMENT</i>		
Accuracy		
Prism mode	Standard [Standard deviation according to ISO17123-4]	1 mm + 1.5 ppm
Prism mode	Tracking [Standard deviation according to ISO17123-4], [Single measurement, target static]	2 mm + 1.5 ppm
DR mode	Standard [Standard deviation according to ISO17123-4]	2 mm + 1.5 ppm
Measuring time		
Prism mode	Standard	1.6 s
DR mode	Standard	1.2 s
Range		
Prism mode [Standard clear conditions (No haze. Overcast or moderate sunlight with very light heat shimmer, visibility about 10 km)]	1 prism	1 m – 5,500 m
DR mode	Kodak White Card (Catalog number	1 m – 800 m

	E1527795)	
DR mode	Kodak Grey Card (Catalog number E1527795)	1 m – 450 m
Autolock and Robotic Range		
	Autolock range - traverse 50 mm [Under perfect conditions (Overcast, visibility about 40 km, no heat shimmer)]	1 m – 800 m
	Autolock range - 360 prism	1 m – 300 m [Normal conditions (Moderate sunlight, visibility about 10 km, some heat shimmer)]/ 700 m [Under perfect conditions (Overcast, visibility about 40 km, no heat shimmer)]
	Angle accuracy [Standard deviation according to ISO17123-3].	1"
SCANNING PERFORMANCE		
<i>GENERAL SCANNING SPECIFICATIONS</i>		
	Scanning principle	Band scanning using rotating prism in telescope.
	Measurement rate	26.6 kHz
	Point spacing	6.25 mm, 12.5 mm, 25 mm or 50 mm @ 50 m
	Field-of-view	360° x 300°
	Coarse scan; full dome - 360° x 300° (horizontal angle x vertical angle) Density: 1 mrad, 50 mm spacing @ 50 m	Scan time: 12 minutes
	Standard scan; area scan - 90° x 45° (horizontal angle x vertical angle) Density: 0.5 mrad, 25 mm spacing @ 50 m	Scan time: 6 minutes
<i>RANGE MEASUREMENT</i>		
	Range principle	Ultra-high speed time-of-flight powered by Trimble Lightning technology
Range		
	Kodak White Card (Catalog number	0.9 m – 600 m

	E1527795)	
	Kodak Gray Card (Catalog number E1527795)	0.9 m – 350 m
Range noise		
	@ 50 m on 18–90% reflectivity	1.5 mm
	@ 120 m on 18–90% reflectivity	1.5 mm
EDM SPECIFICATIONS		
	Light source	Pulsed laser 1550 nm; Laser class 1M
	Beam divergence DR mode	0.2 mrad
	Laser spot size at 100 m (FWHM)	14 mm
	Atmospheric correction	Available through field and office software
IMAGING PERFORMANCE		
	Imaging principle	3 calibrated cameras in telescope powered by Trimble VISION technology.
	Cameras total field of view	360° x 300°
	Live view frame rate (depending on connection)	Up to 15 fps.
	File size of one total panorama with overview camera	15 MB – 35 MB
Panorama measurement time/resolution		
Overview panorama	Full dome 360° x 300° (Horizontal angle x vertical angle) with 10% overlap.	3 minutes, 40 images, 20 mm @ 50 m per pixel.
Primary panorama	Area capture 90° x 45° (Horizontal angle x vertical angle) with 10 % overlap.	3 minutes, 48 images, 4.4 mm @ 50 m per pixel.
CAMERAS SPECIFICATIONS		
General Camera Specifications		
	Resolution of each camera chip	5 MP (2592 x 1944 pix)
	File format of images	.jpeg
	Field of view max	57.5° (horizontal) x 43.0° (vertical)
	Field of view min	0.65° (horizontal) x 0.5° (vertical).
	Total zoom (no interpolation)	84 x
	35 mm equivalent focal length	36–3000 mm
	Exposure modes	Auto, spot exposure
	Manual exposure brightness	±5 steps.
	White balance modes	Auto, daylight, incandescent,

		overcast
	Temperature compensated optics	Yes
	Calibrated cameras	Yes
Overview Camera		
	Position	Parallel to measurement axis
	One pixel corresponds to	20 mm @ 50 m
Primary Camera		
	Position	Parallel to measurement axis
	One pixel corresponds to	4.4 mm @ 50 m
Telescope Camera		
	Position	Coaxial
	Focusing	Automatic, manual
	Focusing distance	1.7 m to infinity
	One pixel corresponds to	0.88 mm @ 50 m
	Pointing precision (std dev 1 sigma)	1" (HA: 1,5 cc, VA: 2,7 cc)
Plummet Camera		
	Usable range	1.0–2.5 m
	Resolution on ground - one pixel corresponds to	0.2 mm @ 1.55 m instrument height
	Accuracy	0.5 mm @ 1.55 m instrument height
GENERAL SPECIFICATIONS		
	Communication	WiFi, 2.4 Ghz Spread Spectrum, cabled (USB 2.0).
	IP-rating	IP55.
	Operating temperature range	-20 °C to 50 °C.
	Security	Dual layer password protection
SYSTEM SPECIFICATIONS		
<i>SERVO SYSTEM</i>		
	MagDrive servo technology	Integrated servo/angle sensor electromagnetic direct drive
	Clamps and slow motions	Servo-driven
<i>CENTERING</i>		
	Centering system	Trimble 3-pin
	Plummets	Built-in video plummet
		Split optics tribrach with optical plummet
<i>POWER SUPPLY</i>		
	Internal battery	Rechargeable Li-Ion

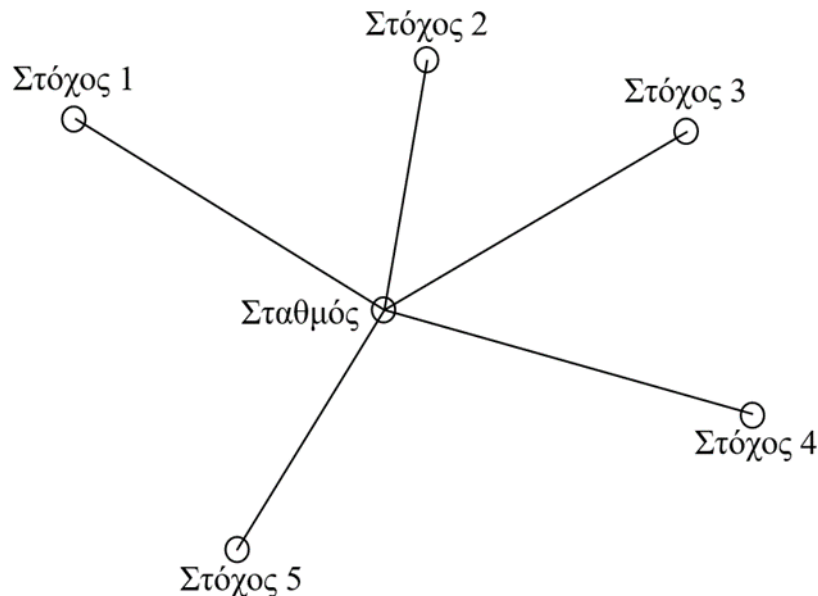
		battery 11.1 V, 6.5 Ah
Operating time [The capacity in -20 °C is 75% of the capacity at +20 °C]		
	One internal battery	Approx. 2–3 hours
	Three internal batteries in multi-battery adapter	Approx. 6–9 hours
<i>WEIGHT AND DIMENSIONS</i>		
	Instrument	7.5 kg
	Tribrach	0.7 kg
	Internal battery	0.35 kg
	Trunnion axis height	196 mm
	Front lens aperture	56 mm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Β"

Έλεγχος Μετρήσεων Οριζόντιων και Κατακόρυφων Διευθύνσεων Διευθύνσεων σύμφωνα με το ISO 17123-3

Έλεγχος Μετρήσεων Οριζόντιων Διευθύνσεων

Η διαδικασία του πλήρους ελέγχου για τις μετρήσεις οριζοντίων διευθύνσεων κατά ISO 17123-3 περιλαμβάνει την τοποθέτηση πέντε, κατά προτίμηση επίπεδων, στόχων (target plates) στο ίδιο περίπου οριζόντιο επίπεδο με το όργανο, σε αποστάσεις από 100m έως 250m, με όσο το δυνατό πιο κανονική κατανομή στο χώρο, όπως στο σχήμα Β.1.



Σχήμα Β.1: Διαμόρφωση πεδίου ελέγχου οριζόντιων διευθύνσεων

Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν 4 σειρές ($m=4$) οι οποίες πρέπει να ληφθούν, υπό πολλές διαφορετικές αλλά όχι ακραίες καιρικές συνθήκες. Κάθε σειρά μετρήσεων (i) αποτελείται από 3 περιόδους ($n=3$) παρατηρήσεων οριζόντιων διευθύνσεων (j), προς 5 στόχους (k).

Επισημαίνεται ότι, πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την ορθή κέντρωση του υπό έλεγχο σταθμού πάνω από το επιθυμητό σημείο. Για παράδειγμα, όταν οι στόχοι βρίσκονται σε απόσταση 100m, μια εσφαλμένη κέντρωση της τάξης των 2mm προκαλεί σφάλμα στην παρατηρούμενη διεύθυνση έως 4" ή 12.34^{cc}.

Όσο μικρότερη είναι η απόσταση ανάμεσα στο όργανο και τον στόχο, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση. Οι στόχοι παρατηρούνται στην Ι^η θέση του τηλεσκοπίου ακολουθώντας τη φορά των δεικτών του ρολογιού και στη ΙΙ^η θέση τηλεσκοπίου με αντίθετη φορά. Ο βαθμονομημένος

κύκλος πρέπει να αλλάζει ανά 60° (67°) μετά από κάθε περίοδο παρατηρήσεων. Εάν η φυσική περιστροφή του βαθμονομημένου δίσκου δεν είναι δυνατή, όπως για παράδειγμα στα ηλεκτρονικά θεοδόλιχα, το κάτω μέρος του θεοδόλιχου μπορεί να στραφεί περίπου κατά 120° (133°) στον τρίποδα.

Έπειτα ακολουθούν οι υπολογισμοί. Εντός μίας σειράς μετρήσεων, μία διεύθυνση σημειώνεται ως $x_{j,k,I}$ ή $x_{j,k,II}$, όπου ο δείκτης j αντιστοιχεί στον αριθμό της περιόδου και ο δείκτης k στον αριθμό του στόχου που σκοπεύεται. Οι δείκτες I και II υποδεικνύουν τη θέση του τηλεσκοπίου. Κάθε μία από τις 4 σειρές μετρήσεων θα υπολογισθεί μεμονωμένα. Καταρχήν, υπολογίζονται οι μέσες τιμές των αναγνώσεων στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου (I, II) ως εξής:

$$x_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} \pm 200^g}{2} \quad (\text{B.1})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$ και $k = 1, 2, \dots, 5$

Έπειτα, ακολουθεί η αναγωγή των διευθύνσεων στον στόχο με αριθμό 1, ως εξής:

$$x'_{j,k} = x_{j,k} - x_{j,1} \quad (\text{B.2})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$ και $k = 1, 2, \dots, 5$

Οι μέσες τιμές των διευθύνσεων που προκύπτουν από τρεις περιόδους στον στόχο με αριθμό k έχουν ως εξής:

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3} \quad (\text{B.3})$$

όπου: $k = 1, 2, \dots, 5$

Υπολογίζονται οι ακόλουθες διαφορές:

$$d_{j,k} = \bar{x}_k - x'_{j,k} \quad (\text{B.4})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$ και $k = 1, 2, \dots, 5$

Για κάθε σειρά μετρήσεων, προκύπτουν οι εξής αριθμητικές μέσες τιμές:

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3} + d_{j,4} + d_{j,5}}{5} \quad (\text{B.5})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$

Από αυτές τις τιμές προκύπτουν τα εξής υπόλοιπα:

$$r_{j,k} = d_{j,k} - \bar{d}_j \quad (\text{B.6})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$ και $k = 1, 2, \dots, 5$

Κάθε σειρά μετρήσεων θα πρέπει να πληροί τη συνθήκη:

$$\sum_{k=1}^5 r_{j,k} = 0 \quad (\text{B.7})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$.

Το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων μίας σειράς μετρήσεων είναι ίσο με:

$$\Sigma r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 r_{j,k}^2 \quad (\text{B.8})$$

Για τρεις περιόδους διευθύνσεων και αναγνώσεις σε πέντε στόχους για κάθε περίοδο, ο βαθμός ελευθερίας ισούται με:

$$v_i = (3 - 1) \cdot (5 - 1) = 8$$

και η πειραματική τυπική απόκλιση s_i μιας διεύθυνσης $x_{j,k}$, η οποία παρατηρήθηκε και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου, στη σειρά i , ισούται με:

$$s_i = \sqrt{\frac{\Sigma r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\Sigma r_i^2}{8}} \quad (\text{B.9})$$

Η πειραματική τυπική απόκλιση s της μιας οριζόντιας διεύθυνσης που προκύπτει ως ο αριθμητικός μέσος όρος των τιμών των δύο θέσεων τηλεσκοπίου, υπολογίζεται και από τις 4 σειρές μετρήσεων. Στην περίπτωση αυτή ο βαθμός ελευθερίας ισούται με:

$$v = 4 \cdot v_i = 32$$

και η πειραματική τυπική απόκλιση s υπολογίζεται ως εξής:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \Sigma r_i^2}{\nu}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \Sigma r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}} \quad (\text{B.10})$$

Συνεπώς:

$$S_{\text{ISO-THEO-HZ}} = s \quad (\text{B.11})$$

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα πρέπει να εκτελεστεί συγκεκριμένος στατιστικός έλεγχος προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα εάν η υπολογισμένη με τη σχέση (B.10) πειραματική τυπική απόκλιση s έχει τιμή μικρότερη από την ονομαστική ακρίβεια σ του υπό έλεγχο οργάνου ή ενδεχομένως τιμή μικρότερη από μια άλλη προκαθορισμένη τιμή σ που ενδιαφέρει για συγκεκριμένη εφαρμογή. Επισημαίνεται ότι ο εν λόγω στατιστικός έλεγχος συστήνεται μόνο για τον πλήρη έλεγχο κατά ISO 17123-3 (full test procedure).

Για τον έλεγχο που θα εφαρμοσθεί θεωρείται ως επίπεδο εμπιστοσύνης το 95% ($1-\alpha=0.95$) και σύμφωνα με τον σχεδιασμό των μετρήσεων ο βαθμός ελευθερίας θα ισούται με $\nu=32$.

Η μηδενική υπόθεση που δηλώνει ότι η πειραματική τυπική απόκλιση s , της μίας οριζόντιας διεύθυνσης που μετρήθηκε σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου είναι μικρότερη από ή ίση με μια θεωρητική ή μια προκαθορισμένη τιμή σ , ήτοι $s \leq \sigma$, δεν απορρίπτεται εφόσον ισχύει η ακόλουθη συνθήκη:

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(\nu)}{\nu}} \Rightarrow \quad (\text{B.12})$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(32)}{32}} \Rightarrow \quad (\text{B.13})$$

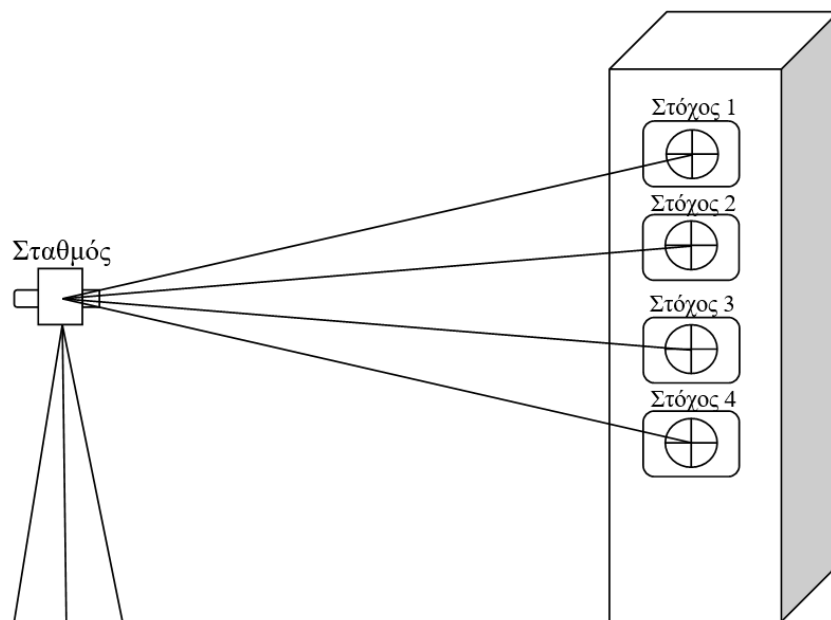
$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{46.19}{32}} \Rightarrow \quad (\text{B.14})$$

$$s \leq \sigma \cdot 1.20 \quad (\text{B.15})$$

Στην περίπτωση που δεν ισχύει η σχέση (B.15) η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Έλεγχος Μετρήσεων Κατακόρυφων Διευθύνσεων

Η διαδικασία του πλήρους ελέγχου κατά ISO 17123-3 για τις μετρήσεις κατακόρυφων διευθύνσεων περιλαμβάνει την τοποθέτηση του σταθμού σε απόσταση 50m περίπου από ένα υψηλό κτήριο. Στην όψη του κτηρίου που βρίσκεται απέναντι από τον σταθμό θα πρέπει να επιλεγούν ευδιάκριτα σημεία, όπως σημεία σε παράθυρα, σε γωνίες τούβλων, σε τμήματα μιας κεραίας, ή να τοποθετηθούν ειδικοί στόχοι για να καλύψουν ένα εύρος 30° κατά την κατακόρυφη γωνία, όπως στο σχήμα B.2.



Σχήμα B.2: Διαμόρφωση πεδίου για μετρήσεις κατακόρυφων γωνιών

Πριν την έναρξη των μετρήσεων, το όργανο πρέπει να εγκλιματιστεί στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο χρόνος που απαιτείται είναι περίπου δύο λεπτά της ώρας για κάθε βαθμό Κελσίου. Για την διαδικασία πλήρους ελέγχου, πρέπει να ληφθούν 4 σειρές μετρήσεων ($m=4$), υπό πολλές διαφορετικές αλλά όχι ακραίες καιρικές συνθήκες. Κάθε σειρά (i) μετρήσεων αποτελείται από 3 περιόδους (n) διευθύνσεων (j), προς 4 στόχους (k). Οι 4 στόχοι παρατηρούνται σε κάθε μία από τις 3 περιόδους στην I^n θέση τηλεσκοπίου με σειρά από τον Στόχο 1 έως τον Στόχο 4 και έπειτα στη II^n θέση τηλεσκοπίου διαδοχικά από τον Στόχο 4 στον Στόχο 1.

Έπειτα ακολουθούν οι υπολογισμοί. Εντός μίας σειράς μετρήσεων (i), μετριέται μια ζενίθια γωνία η οποία φέρει την ονομασία $x_{j,k,I}$ ή $x_{j,k,II}$, όπου ο δείκτης j αντιστοιχεί στον αριθμό της περιόδου και ο δείκτης k στον αριθμό του στόχου που σκοπεύεται. Οι δείκτες I και II υποδεικνύουν τη θέση του τηλεσκοπίου. Κάθε μία από τις 4 σειρές μετρήσεων θα υπολογισθεί μεμονωμένα.

Καταρχήν, υπολογίζονται οι μέσες τιμές των αναγνώσεων στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου (I, II) ως εξής:

$$x'_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 400^g}{2} \quad (\text{B. 16})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$ και $k = 1, 2, \dots, 4$

Οι μέσες τιμές των κατακόρυφων γωνιών που προκύπτουν από τρεις περιόδους στον στόχο με αριθμό k έχουν ως εξής:

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3} \quad (\text{B. 17})$$

όπου: $k = 1, 2, \dots, 4$.

Τα υπόλοιπα των μετρήσεων έχουν ως εξής:

$$r_{j,k} = x'_{j,k} - \bar{x}_k \quad (\text{B. 18})$$

όπου: $j = 1, 2, 3$ και $k = 1, 2, \dots, 4$

Τα υπόλοιπα όλων των σειρών θα πρέπει να πληρούν τη συνθήκη:

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k} = 0 \quad (\text{B. 19})$$

Το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων μίας σειράς μετρήσεων είναι ίσο με:

$$\Sigma r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k}^2 \quad (\text{B. 20})$$

Η πειραματική τυπική απόκλιση s_i μίας κατακόρυφης διεύθυνσης $x'_{j,k}$ που μετρήθηκε σε μία περίοδο και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου ισούται με:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} \quad (\text{B.21})$$

όπου για 3 περιόδους κατακόρυφων διευθύνσεων και αναγνώσεις σε 4 στόχους για κάθε περίοδο, ο βαθμός ελευθερίας ισούται με:

$$v_i = (3 - 1) \cdot 4 = 8 \quad (\text{B.22})$$

Άρα η (B.21) γίνεται:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}} \quad (\text{B.23})$$

Αντίστοιχα η πειραματική τυπική απόκλιση s μίας κατακόρυφης διεύθυνσης $x'_{j,k}$ που μετρήθηκε και στις δύο θέσεις τηλεσκοπίου σε 4 σειρές μετρήσεων, με 3 περιόδους σε κάθε σειρά μετρήσεων, ισούται με:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{v_i}} \quad (\text{B.24})$$

Στην περίπτωση αυτή ο βαθμός ελευθερίας ισούται με:

$$v = 4 \cdot v_i = 32 \quad (\text{B.25})$$

Άρα η (B.25) γίνεται:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}} \quad (\text{B.26})$$

Συνεπώς:

$$S_{\text{ISO-THEO-V}} = s \quad (\text{B.27})$$

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα πρέπει να εκτελεστεί συγκεκριμένος στατιστικός έλεγχος προκειμένου να απαντηθεί το

ερώτημα εάν η υπολογισμένη με τη σχέση (B.26) πειραματική τυπική απόκλιση s έχει τιμή μικρότερη από την ονομαστική ακρίβεια σ του υπό έλεγχο οργάνου ή ενδεχομένως τιμή μικρότερη από μια άλλη προκαθορισμένη τιμή σ που ενδιαφέρει για συγκεκριμένη εφαρμογή. Επισημαίνεται ότι ο εν λόγω στατιστικός έλεγχος συστήνεται μόνο για τον πλήρη έλεγχο κατά ISO 17123-3 (full test procedure).

Για τον έλεγχο που θα εφαρμοσθεί θεωρείται ως επίπεδο εμπιστοσύνης το 95% ($1-\alpha=0.95$) και σύμφωνα με τον σχεδιασμό των μετρήσεων ο βαθμός ελευθερίας θα ισούται με $\nu=32$.

Η μηδενική υπόθεση που δηλώνει ότι η πειραματική τυπική απόκλιση s , της μίας οριζόντιας διεύθυνσης που μετρήθηκε σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου είναι μικρότερη από ή ίση με μια θεωρητική ή μια προκαθορισμένη τιμή σ , ήτοι $s \leq \sigma$, δεν απορρίπτεται εφόσον ισχύει η ακόλουθη συνθήκη:

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(\nu)}{\nu}} \Rightarrow \quad (\text{B.28})$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(32)}{32}} \Rightarrow \quad (\text{B.29})$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{46.19}{32}} \Rightarrow \quad (\text{B.30})$$

$$s \leq \sigma \cdot 1.20 \quad (\text{B.31})$$

Στην περίπτωση που δεν ισχύει η σχέση (B.31) η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Αποτελέσματα ελέγχου μετρήσεων οριζόντιων και κατακόρυφων διευθύνσεων σε εσωτερικό πεδίο ελέγχου με χρήση τεχνολογίας Wi-Fi.

Οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί των οριζόντιων διευθύνσεων παρουσιάζονται στους πίνακες B.1 έως και B.4 που ακολουθούν.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	k	$x_{j.k.I}$	$x_{j.k.II}$	$x_{j.k}$	$x'_{j.k}$	\bar{x}_k	$d_{j.k}$	$r_{j.k}$	$r_{j.k}^2$
		g	g	g	g	g	g	cc	cc^2
1	1	399.9990	199.9958	399.9974	0.0000	0.0000	0.0000	7.0	49.0
	2	131.9672	331.9606	131.9639	131.9665	131.9660	-0.0005	2.0	4.0
	3	261.7820	61.7752	261.7786	261.7812	261.7799	-0.0013	-6.0	36.0
	4	321.5698	121.5630	321.5664	321.5690	321.5681	-0.0009	-2.0	4.0
	5	356.3922	156.3866	356.3894	356.3920	356.3912	-0.0008	-1.0	1.0
2	1	133.0020	332.9962	132.9991	0.0000		0.0000	-5.6	31.4
	2	264.9656	64.9636	264.9646	131.9655		0.0005	-0.6	0.4
	3	394.7818	194.7744	394.7781	261.7790		0.0009	3.4	11.6
	4	54.5698	254.5632	54.5665	321.5674		0.0007	1.4	2.0
	5	89.3926	289.3866	89.3896	356.3905		0.0007	1.4	2.0
3	1	266.0004	65.9958	265.9981	0.0000		0.0000	-1.4	2.0
	2	397.9664	197.9618	397.9641	131.9660		0.0000	-1.4	2.0
	3	127.7794	327.7758	127.7776	261.7795		0.0004	2.6	6.8
	4	187.5682	387.5638	187.5660	321.5679		0.0002	0.6	0.4
	5	222.3916	22.3868	222.3892	356.3911		0.0001	-0.4	0.2
		$\Sigma r_i^2 =$	$152.4cc^2$	$s_1 =$	$4.4cc$	$s_1^2 =$	$19.0cc^2$		

Πίνακας Β.1: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 1^η σειρά μετρήσεων οριζόντιων διευθύνσεων

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	k	$x_{j.k.I}$	$x_{j.k.II}$	$x_{j.k}$	$x'_{j.k}$	\bar{x}_k	$d_{j.k}$	$r_{j.k}$	$r_{j.k}^2$
		g	g	g	g	g	g	cc	cc^2
1	1	0.0012	199.9966	-0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	-6.5	41.8
	2	131.9674	331.9628	131.9651	131.9662	131.9665	0.0003	-3.1	9.8
	3	261.7810	61.7758	261.7784	261.7795	261.7806	0.0011	4.9	23.7
	4	321.5694	121.5640	321.5667	321.5678	321.5687	0.0009	2.5	6.4
	5	356.3920	156.3878	356.3899	356.3910	356.3919	0.0009	2.2	4.8
2	1	133.0004	332.9948	132.9976	0.0000		0.0000	4.3	18.8
	2	264.9682	64.9612	264.9647	131.9671		-0.0006	-1.3	1.8
	3	394.7824	194.7770	394.7797	261.7821		-0.0015	-10.3	106.8
	4	54.5686	254.5630	54.5658	321.5682		0.0005	9.3	87.1
	5	89.3924	289.3878	89.3901	356.3925		-0.0006	-2.0	4.0
3	1	266.0004	65.9950	265.9977	0.0000		0.0000	2.1	4.6
	2	397.9672	197.9608	397.9640	131.9663		0.0002	4.5	20.0
	3	127.7826	327.7734	127.7780	261.7803		0.0003	5.5	29.9
	4	187.5714	387.5642	187.5678	321.5701		-0.0014	-11.9	140.8
	5	222.3928	22.3868	222.3898	356.3921		-0.0002	-0.2	0.0
		$\Sigma r_i^2 =$	$500.3cc^2$	$s_2 =$	$7.9cc$	$s_2^2 =$	$62.5cc^2$		

Πίνακας Β.2: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 2^η σειρά μετρήσεων οριζόντιων διευθύνσεων

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	k	$x_{j,k.I}$	$x_{j,k.II}$	$x_{j,k}$	$x'_{j,k}$	\bar{x}_k	$d_{j,k}$	$r_{j,k}$	$r_{j,k}^2$
		g	g	g	g	g	g	cc	cc^2
1	1	399.9992	199.9974	399.9983	0.0000	0.0000	0.0000	1.5	2.4
	2	131.9660	331.9624	131.9642	131.9659	131.9662	0.0003	4.2	17.6
	3	261.7818	61.7756	261.7787	261.7804	261.7798	-0.0006	-4.8	23.0
	4	321.5696	121.5634	321.5665	321.5682	321.5680	-0.0002	-0.1	0.0
	5	356.3936	156.3868	356.3902	356.3919	356.3917	-0.0002	-0.8	0.6
2	1	133.0006	332.9958	132.9982	0.0000		0.0000	0.5	0.3
	2	264.9666	64.9618	264.9642	131.9660		0.0002	2.2	4.8
	3	394.7810	194.7738	394.7774	261.7792		0.0006	6.2	38.4
	4	54.5694	254.5646	54.5670	321.5688		-0.0008	-7.1	50.9
	5	89.3928	289.3874	89.3901	356.3919		-0.0002	-1.8	3.2
3	1	266.0002	65.9968	265.9985	0.0000		0.0000	-2.1	4.3
	2	397.9670	197.9632	397.9651	131.9666		-0.0004	-6.4	41.0
	3	127.7818	327.7746	127.7782	261.7797		0.0001	-1.4	2.0
	4	187.5684	387.5628	187.5656	321.5671		0.0009	7.3	52.8
	5	222.3936	22.3858	222.3897	356.3912		0.0005	2.6	6.8
		$\Sigma r_i^2 =$	$248.1cc^2$	$s_3 =$	$5.6cc$	$s_3^2 =$	$31.0cc^2$		

Πίνακας Β.3: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 3^η σειρά μετρήσεων οριζόντιων διευθύνσεων

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	k	$x_{j,k.I}$	$x_{j,k.II}$	$x_{j,k}$	$x'_{j,k}$	\bar{x}_k	$d_{j,k}$	$r_{j,k}$	$r_{j,k}^2$
		g	g	g	g	g	g	cc	cc^2
1	1	399.9998	199.9940	399.9969	0.0000	0.0000	0.0000	6.9	47.2
	2	131.9652	331.9626	131.9639	131.9670	131.9666	-0.0004	3.2	10.2
	3	261.7822	61.7742	261.7782	261.7813	261.7805	-0.0008	-1.1	1.3
	4	321.5708	121.5642	321.5675	321.5706	321.5688	-0.0018	-11.1	124.0
	5	356.3920	156.3884	356.3902	356.3933	356.3928	-0.0005	2.2	4.8
2	1	133.0008	332.9956	132.9982	0.0000		0.0000	-5.9	35.2
	2	264.9660	64.9612	264.9636	131.9654		0.0012	6.4	41.0
	3	394.7808	194.7752	394.7780	261.7798		0.0007	1.1	1.1
	4	54.5688	254.5642	54.5665	321.5683		0.0005	-0.9	0.9
	5	89.3930	289.3880	89.3905	356.3923		0.0005	-0.6	0.4
3	1	266.0012	65.9950	265.9981	0.0000		0.0000	-0.9	0.9
	2	397.9678	197.9634	397.9656	131.9675		-0.0009	-9.6	92.2
	3	127.7832	327.7738	127.7785	261.7804		0.0001	0.1	0.0
	4	187.5678	387.5634	187.5656	321.5675		0.0013	12.1	145.6
	5	222.3944	22.3876	222.3910	356.3929		-0.0001	-1.6	2.6
		$\Sigma r_i^2 =$	$507.2cc^2$	$s_4 =$	$8.0cc$	$s_4^2 =$	$63.4cc^2$		

Πίνακας Β.4: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 4^η σειρά μετρήσεων οριζόντιων διευθύνσεων

Αντίστοιχα. οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί των κατακόρυφων διευθύνσεων παρουσιάζονται στους πίνακες Β.5 έως και Β.8 που ακολουθούν.

1	2	3	4	5	6	7	8
j	k	$x_{j.k.I}$	$x_{j.k.II}$	$x'_{j.k}$	\bar{x}_k	$r_{j.k}$	$r_{j.k}^2$
		g	g	g	g	cc	cc2
1	1	95.1682	304.8214	95.1734	95.1743	-0.0009	81.0
	2	98.3872	301.6024	98.3924	98.3924	0.0000	0.1
	3	101.6056	298.3846	101.6105	101.6105	0.0000	0.0
	4	104.8246	295.1650	104.8298	104.8298	0.0000	0.0
2	1	95.1694	304.8198	95.1748		0.0005	25.0
	2	98.3870	301.6024	98.3923		-0.0001	1.8
	3	101.6050	298.3842	101.6104		-0.0001	1.0
	4	104.8258	295.1648	104.8305		0.0007	49.0
3	1	95.1688	304.8194	95.1747		0.0004	16.0
	2	98.3876	301.6024	98.3926		0.0002	2.8
	3	101.6050	298.3838	101.6106		0.0001	1.0
	4	104.8236	295.1654	104.8291		-0.0007	49.0
		$\Sigma r_i^2 =$	226.67cc2	$s_1 =$	5.3cc	$s_1^2 =$	28.3cc2

Πίνακας Β.5: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 1η σειρά μετρήσεων κατακόρυφων διευθύνσεων

1	2	3	4	5	6	7	8
j	k	$x_{j.k.I}$	$x_{j.k.II}$	$x'_{j.k}$	\bar{x}_k	$r_{j.k}$	$r_{j.k}^2$
		g	g	g	g	cc	cc2
1	1	95.1694	304.8198	95.1748	95.1750	-0.0002	2.8
	2	98.3872	301.6026	98.3923	98.3922	0.0001	1.8
	3	101.6062	298.3834	101.6114	101.6109	0.0005	25.0
	4	104.8254	295.1640	104.8307	104.8302	0.0005	28.4
2	1	95.1694	304.8190	95.1752		0.0002	5.4
	2	98.3866	301.6020	98.3923		0.0001	1.8
	3	101.6054	298.3838	101.6108		-0.0001	1.0
	4	104.8250	295.1646	104.8302		0.0000	0.1
3	1	95.1698	304.8200	95.1749		-0.0001	0.4
	2	98.3860	301.6022	98.3919		-0.0003	7.1
	3	101.6044	298.3834	101.6105		-0.0004	16.0
	4	104.8242	295.1650	104.8296		-0.0006	32.1
		$\Sigma r_i^2 =$	122.00cc2	$s_2 =$	3.9cc	$s_2^2 =$	15.3cc2

Πίνακας Β.6: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 2η σειρά μετρήσεων κατακόρυφων διευθύνσεων

1	2	3	4	5	6	7	8
j	k	$x_{j,k.I}$	$x_{j,k.II}$	$x'_{j,k}$	\bar{x}_k	$r_{j,k}$	$r^2_{j,k}$
		g	g	g	g	cc	cc2
1	1	95.1690	304.8197	95.1747	95.1748	-0.0001	1.8
	2	98.3862	301.6018	98.3922	98.3924	-0.0002	4.0
	3	101.6054	298.3836	101.6109	101.6110	-0.0001	0.4
	4	104.8250	295.1634	104.8308	104.8302	0.0006	32.1
2	1	95.1682	304.8190	95.1746		-0.0002	3.4
	2	98.3866	301.6020	98.3923		-0.0001	1.0
	3	101.6048	298.3834	101.6107		-0.0003	7.1
	4	104.8236	295.1642	104.8297		-0.0005	28.4
3	1	95.1696	304.8194	95.1751		0.0003	10.0
	2	98.3868	301.6014	98.3927		0.0003	9.0
	3	101.6050	298.3824	101.6113		0.0003	11.1
	4	104.8246	295.1642	104.8302		0.0000	0.1
		$\Sigma r^2_i =$	108.50cc2	$s_3 =$	3.7cc	$s^2_3 =$	13.6cc2

Πίνακας Β.7: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 3η σειρά μετρήσεων κατακόρυφων διευθύνσεων

1	2	3	4	5	6	7	8
j	k	$x_{j,k.I}$	$x_{j,k.II}$	$x'_{j,k}$	\bar{x}_k	$r_{j,k}$	$r^2_{j,k}$
		g	g	g	g	cc	cc2
1	1	95.1710	304.8170	95.1770	95.1771	-0.0001	0.4
	2	98.3896	301.5992	98.3952	98.3945	0.0007	44.4
	3	101.6082	298.3820	101.6131	101.6132	-0.0001	0.4
	4	104.8272	295.1656	104.8308	104.8317	-0.0009	87.1
2	1	95.1710	304.8168	95.1771		0.0000	0.1
	2	98.3868	301.5988	98.3940		-0.0005	28.4
	3	101.6076	298.3804	101.6136		0.0004	18.8
	4	104.8280	295.1626	104.8327		0.0010	93.4
3	1	95.1714	304.8172	95.1771		0.0000	0.1
	2	98.3886	301.5998	98.3944		-0.0001	1.8
	3	101.6066	298.3810	101.6128		-0.0004	13.4
	4	104.8258	295.1624	104.8317		0.0000	0.1
		$\Sigma r^2_i =$	288.67cc2	$s_4 =$	6.0cc	$s^2_4 =$	36.1cc2

Πίνακας Β.8: Μετρήσεις και υπόλοιπα μετρήσεων για την 4η σειρά μετρήσεων κατακόρυφων διευθύνσεων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Γ"

Θεμελιώδη στοιχεία για τις συνορθώσεις δικτύων

Γενικά

Ως συνόρθωση ενός δικτύου: "ορίζεται η μαθηματική διαδικασία με την οποία, αξιοποιώντας τα μετρούμενα μεγέθη, προσδιορίζεται η θέση των σημείων ελέγχου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή με την αντίστοιχη αβεβαιότητά της" [Πανταζής Γ., 2020]. Τα ανωτέρω σημεία ελέγχου ταυτίζονται με τις προαναφερθείσες κορυφές του δικτύου, ενώ η θέση των σημείων ελέγχου προσδιορίζεται μετά τη συνόρθωση με τον προσδιορισμό των συντεταγμένων τους, οι οποίες και ονομάζονται *άγνωστες παράμετροι*.

Η συνόρθωση ως μέθοδος βασίζεται στη MET, σύμφωνα με την οποία όταν υφίστανται περισσότερες εξισώσεις παρατήρησης από τις άγνωστες παραμέτρους του δικτύου, τότε η αποδεκτή λύση του προβλήματος δίνεται όταν τα σφάλματα των αγνώστων παραμέτρων έχουν τις μικρότερες τιμές. Αυτό συμβαίνει όταν το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων ελαχιστοποιείται. Η MET υλοποιείται με ένα μαθηματικό μοντέλο όπου τα ικανά και αναγκαία στοιχεία που το ορίζουν καλούνται *ανεξάρτητες καθοριστικές παράμετροι* (m). Η συνόρθωση είναι εφικτή εφόσον ο αριθμός των παρατηρήσεων (n) είναι μεγαλύτερος του m , δηλαδή εάν $n > m$.

Στην περίπτωση αυτή ορίζεται ένα νέο μέγεθος που καλείται *βαθμοί ελευθερίας* (r) της συνόρθωσης και ισούται με: $r = n - m$. Δύο μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τη συνόρθωση των δικτύων, βασισμένες στη MET, η μέθοδος των *εμμέσων παρατηρήσεων* με την οποία προσδιορίζονται οι καλύτερες τιμές των συντεταγμένων του δικτύου με τις αβεβαιότητές τους και η μέθοδος των *συμβατικών παρατηρήσεων* με την οποία προσδιορίζονται οι καλύτερες τιμές των μετρούμενων μεγεθών, επίσης με τις αβεβαιότητές τους. Για την επίλυση τριδιάστατων δικτύων συνήθως επιλέγεται η μέθοδος των εμμέσων παρατηρήσεων, μεταξύ άλλων διότι προσδιορίζονται αμέσως οι συντεταγμένες των κορυφών των δικτύων και οι αβεβαιότητές τους. Ειδικότερα για τη συνόρθωση με τη μέθοδο των εμμέσων παρατηρήσεων, η οποία θα χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, σχηματίζεται το ακόλουθο σύστημα [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\sqrt{P} \cdot A \cdot \hat{x} = \sqrt{P} \cdot l + \sqrt{P} \cdot v \quad (\Gamma.1)$$

όπου, \sqrt{P} , η τετραγωνική ρίζα του πίνακα βαρών P των παρατηρήσεων, διαστάσεων $n \times n$.

A , ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων, οι οποίοι βασίζονται στις προσωρινές τιμές των αγνώστων παραμέτρων, διαστάσεων $n \times m$.

\hat{x} , ο a posteriori πίνακας των αγνώστων παραμέτρων, διαστάσεων $m \times 1$.

l , ο πίνακας των μετρούμενων μεγεθών, τα οποία βασίζονται επίσης στις προσωρινές τιμές των αγνώστων, διαστάσεων $n \times 1$.

v , ο πίνακας των υπολοίπων των παρατηρήσεων, διαστάσεων $n \times 1$.

Έπειτα, από τη εξίσωση (Γ.1) προκύπτει το ακόλουθο σύστημα των κανονικών εξισώσεων:

$$(A^T \cdot P \cdot A) \cdot \hat{x} = A^T \cdot P \cdot l \quad (\Gamma.2)$$

Το οποίο επιλύεται για τον υπολογισμό του πίνακα των αγνώστων παραμέτρων \hat{x} ως εξής:

$$\hat{x} = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot P \cdot l) \quad (\Gamma.3)$$

ή

$$\hat{x} = N^{-1} \cdot (A^T \cdot P \cdot l) \quad (\Gamma.4)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο πίνακας των υπολοίπων των παρατηρήσεων v , ως εξής:

$$v = A \cdot \hat{x} - l \quad (\Gamma.5)$$

Κατόπιν το a posteriori σφάλμα της μονάδας βάρους $\hat{\sigma}_o$ ως εξής:

$$\hat{\sigma}_o = \pm \sqrt{\frac{[Pvv]}{n - m}} \quad (\Gamma.6)$$

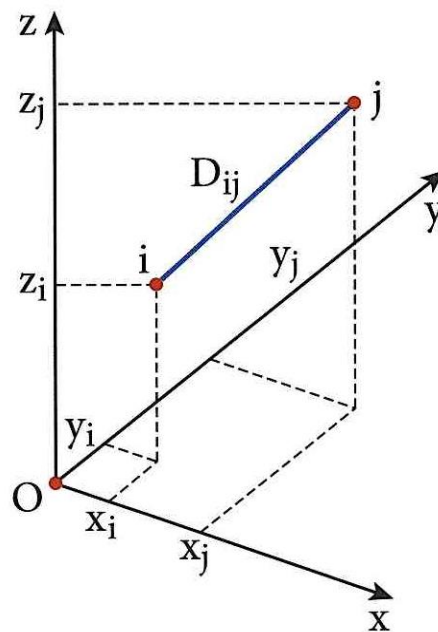
Τονίζεται ότι το a priori σφάλμα είναι εκείνο το θεωρητικό σφάλμα που αποδίδεται πριν τη συνόρθωση σε μία μέτρηση και συνήθως συνδέεται με την ονομαστική ακρίβεια του χρησιμοποιούμενου στις μετρήσεις σταθμού, ενώ το a posteriori σφάλμα μιας μέτρησης είναι το τελικό σφάλμα που προκύπτει μετά τη συνόρθωση του δικτύου.

Τελικά υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας $V_{\hat{x}}$ που περιέχει τις μεταβλητότητες του δικτύου:

$$V_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_o \cdot N^{-1} \quad (\Gamma.7)$$

Οι εξισώσεις παρατήρησης της μεθόδου των εμμέσων παρατηρήσεων

Σε ένα τριδιάστατο δίκτυο μετρώνται όλες οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και όλα τα μήκη μεταξύ των κορυφών τους, με αποτέλεσμα ο αριθμός των παρατηρήσεων n που προκύπτει να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των αγνώστων καθοριστικών παραμέτρων m , ο οποίος ουσιαστικά ισούται με τον αριθμό των κορυφών επί τρία, οπότε μπορεί να εφαρμοστεί η MET. Οι εξισώσεις παρατήρησης για τα ανωτέρω μετρημένα μεγέθη προκύπτουν ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:



Σχήμα Γ.1: Το μήκος D_{ij} [Πανταζής Γ., 2020]

Για τα μήκη D_{ij} μεταξύ των κορυφών i και j , ως σχήμα Γ.1, ισχύει:

$$\sqrt{(\hat{x}_j - \hat{x}_i)^2 + (\hat{y}_j - \hat{y}_i)^2 + (\hat{z}_j - \hat{z}_i)^2} = D_{ij}^{\mu} + v \quad (\Gamma.8)$$

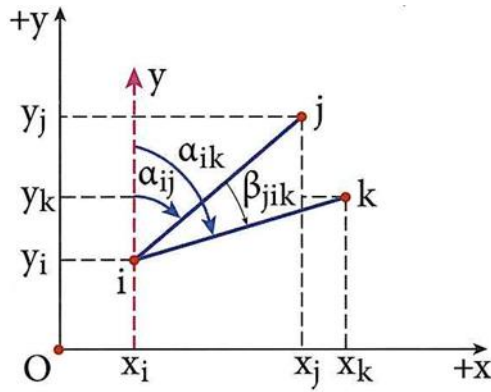
όπου D_{ij}^{μ} το μετρημένο μήκος.

Επειδή η σχέση δεν είναι γραμμική αναπτύσσεται κατά Taylor και γίνεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& -\frac{x_j^0 - x_i^0}{D_{ij}^0} \cdot \delta x_i - \frac{y_j^0 - y_i^0}{D_{ij}^0} \cdot \delta y_i - \frac{z_j^0 - z_i^0}{D_{ij}^0} \cdot \delta z_i + \frac{x_j^0 - x_i^0}{D_{ij}^0} \cdot \delta x_j \\
& + \frac{y_j^0 - y_i^0}{D_{ij}^0} \cdot \delta y_j + \frac{z_j^0 - z_i^0}{D_{ij}^0} \cdot \delta z_j = D_{ij}^\mu - D_{ij}^0 + v \quad (\Gamma.9)
\end{aligned}$$

όπου, $x_i^0, x_j^0, y_i^0, y_j^0, z_i^0, z_j^0$ οι προσωρινές τιμές των συντεταγμένων των κορυφών i και j .

D_{ij}^0 η υπολογισμένη τιμή του μήκους μεταξύ των κορυφών i και j .



Σχήμα Γ.2: Η οριζόντια γωνία β_{jik} [Πανταζής Γ., 2020]

Για τις οριζόντιες γωνίες β_{jik} μεταξύ των κορυφών j, i και k , ως σχήμα Γ.2 ισχύει:

$$\beta_{jik}^\mu = \alpha_{ik} - \alpha_{ij} \quad (\Gamma.10)$$

ή

$$\arctan \frac{\hat{x}_k - \hat{x}_i}{\hat{y}_k - \hat{y}_i} - \arctan \frac{\hat{x}_j - \hat{x}_i}{\hat{y}_j - \hat{y}_i} = \beta_{jik}^\mu + v \quad (\Gamma.11)$$

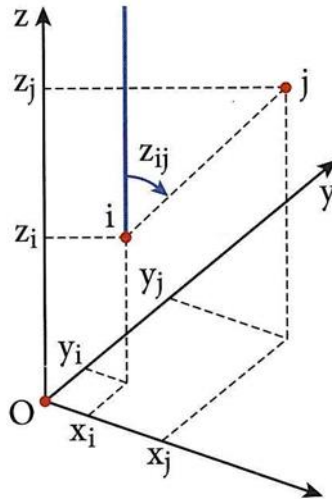
όπου β_{jik}^μ η μετρημένη οριζόντια γωνία.

Επειδή η σχέση δεν είναι γραμμική αναπτύσσεται κατά Taylor και γίνεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{y_j^0 - y_i^0}{(S_{ij}^0)^2} - \frac{y_k^0 - y_i^0}{(S_{ik}^0)^2} \right] \cdot \delta x_i + \left[\frac{x_k^0 - x_i^0}{(S_{ik}^0)^2} - \frac{x_j^0 - x_i^0}{(S_{ij}^0)^2} \right] \cdot \delta y_i - \frac{y_j^0 - y_i^0}{(S_{ij}^0)^2} \cdot \delta x_j \\
& + \frac{x_j^0 - x_i^0}{(S_{ij}^0)^2} \cdot \delta y_j + \frac{y_k^0 - y_i^0}{(S_{ik}^0)^2} \cdot \delta x_k + \frac{x_k^0 - x_i^0}{(S_{ik}^0)^2} \cdot \delta y_k \\
& = \beta_{jik}^\mu - \beta_{jki}^0 + v
\end{aligned} \tag{Γ.12}$$

όπου $\beta_{jik}^0 = \alpha_{ik}^0 - \alpha_{ij}^0$ η διαφορά ανάμεσα στις υπολογισμένες τιμές των γωνιών διεύθυνσης α .

Στη σχέση (Γ.12) η διαφορά $\beta_{jik}^\mu - \beta_{jki}^0$ συνήθως είναι εκφρασμένη σε cc. Συνεπώς για να εκφραστούν οι διορθώσεις των συντεταγμένων των αγνώστων σε m θα πρέπει η ανωτέρω διαφορά να διαιρεθεί με την σταθερά ρ^{cc} (όπου $\rho^{cc}=636620$).



Σχήμα Γ.3: Η κατακόρυφη γωνία z_{ij} [Πανταζής Γ., 2020]

Για τις κατακόρυφες γωνίες z_{ij} μεταξύ των κορυφών i και j , ως σχήμα Γ.3, ισχύει:

$$\arctan \left[\frac{\sqrt{(\hat{x}_j - \hat{x}_i)^2 + (\hat{y}_j - \hat{y}_i)^2}}{\hat{z}_j - \hat{z}_i} \right] = z_{ij}^\mu + v \tag{Γ.13}$$

όπου z_{ij}^μ η μετρημένη κατακόρυφη γωνία.

Επειδή η σχέση δεν είναι γραμμική αναπτύσσεται κατά Taylor και γίνεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& - \frac{(x_j^0 - x_i^0) \cdot (z_j^0 - z_i^0)}{(D_{ij}^0)^2 \cdot S_{ij}^0} \cdot \delta x_i - \frac{(y_j^0 - y_i^0) \cdot (z_j^0 - z_i^0)}{(D_{ij}^0)^2 \cdot S_{ij}^0} \cdot \delta y_i + \frac{S_{ij}^0}{(D_{ij}^0)^2} \\
& \cdot \delta z_i + \frac{(x_j^0 - x_i^0) \cdot (z_j^0 - z_i^0)}{(D_{ij}^0)^2 \cdot S_{ij}^0} \cdot \delta x_j + \frac{(y_j^0 - y_i^0) \cdot (z_j^0 - z_i^0)}{(D_{ij}^0)^2 \cdot S_{ij}^0} \\
& \cdot \delta y_j - \frac{S_{ij}^0}{(D_{ij}^0)^2} \cdot \delta z_j = z_{ij}^\mu - z_{ij}^0 + v \quad (\Gamma.14)
\end{aligned}$$

Στη σχέση (Γ.14) η διαφορά $z_{ij}^\mu - z_{ij}^0$ συνήθως είναι εκφρασμένη σε cc. Συνεπώς για να εκφραστούν οι διορθώσεις των συντεταγμένων των αγνώστων σε m θα πρέπει η ανωτέρω διαφορά να διαιρεθεί με την σταθερά ρ^{cc} (όπου $\rho^{cc}=636620$).

Ο ολικός έλεγχος αξιοπιστίας του δικτύου

Αφού ολοκληρωθεί η συνόρθωση του δικτύου ακολουθεί ο ολικός έλεγχος αξιοπιστίας προκειμένου να ελεγχθεί το συναρτησιακό και το στατιστικό μοντέλο, ήτοι ο ολικός έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης H_0 και οι στατιστικοί έλεγχοι των παρατηρήσεων για να διαπιστωθεί τυχόν ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων. Ο ολικός έλεγχος αξιοπιστίας υλοποιείται με τον έλεγχο του λόγου $\frac{\hat{\sigma}_o}{\sigma_o}$ με κατανομή Fischer ή κατανομή χ^2 για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης α . Τονίζεται ότι η μηδενική υπόθεση H_0 αποτελείται από τις ακόλουθες βασικές υποθέσεις [Πανταζής Γ., 2020]:

- Αν τα σφάλματα των παρατηρήσεων έχουν τυχαίο χαρακτήρα, άρα ότι δεν υπάρχουν συστηματικά και χονδροειδή σφάλματα.
- Αν ο πίνακας βαρών ή των παρατηρήσεων έχει επιλεγεί σωστά.
- Αν το μαθηματικό μοντέλο – εξισώσεις παρατήρησης έχουν επιλεγεί σωστά.

Η μηδενική υπόθεση H_0 θεωρείται ότι ισχύει όταν:

$$\frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2} \leq \frac{\chi_{r,(1-\alpha)}^2}{r} \quad (\Gamma.15)$$

ή

$$\frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2} \leq F_{1,\infty,(1-\alpha)} \quad (\Gamma.16)$$

όπου: σ_o το a priori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους.

$\hat{\sigma}_o$ το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους.

Για να είναι αποδεκτό το αποτέλεσμα της συνόρθωσης θα πρέπει να ισχύει είτε η σχέση (Γ.15), είτε η σχέση (Γ.16). Διαφορετικά θα πρέπει να επαναληφθεί η συνόρθωση με διαφοροποίηση των βαρών των μετρημένων μεγεθών [Πανταζής Γ., 2020].

Ο έλεγχος ισχύος του δικτύου

Αφού ελεγχθεί η μηδενική υπόθεση H_o ακολουθεί ο έλεγχος της ισχύος του δικτύου ή αλλιώς ο έλεγχος της ακρίβειας του δικτύου. Ο έλεγχος αυτός αφορά στα γεωδαιτικά δίκτυα οριζοντίου ελέγχου και εκφράζεται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

- Με το μέσο σφάλμα θέσης $\bar{\sigma}_{x_i}$, το οποίο εκφράζει τη μέση αβεβαιότητα θέσης των κορυφών του δικτύου σε m, εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο σύστημα αναφοράς, ελαχιστοποιείται όταν η συνόρθωση γίνεται με τις ελάχιστες εσωτερικές δεσμεύσεις και υπολογίζεται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\bar{\sigma}_{x_i} = \pm \sqrt{\frac{tr(Vx)}{\nu}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^{\nu}(\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2)}{\nu}} \pm \sqrt{\frac{\sum_1^{\nu}(\sigma_{u_i}^2 + \sigma_{v_i}^2)}{\nu}} \quad (\Gamma.17)$$

όπου ν , ο αριθμός των ελεύθερων κορυφών του δικτύου.

$\sigma_{x_i}^2$ και $\sigma_{y_i}^2$, οι μεταβλητότητες των συντεταγμένων της κορυφής i .

$\sigma_{u_i}^2$ και $\sigma_{v_i}^2$, οι τιμές των αξόνων της απόλυτης έλλειψης σφάλματος της κορυφής, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

- Με το μέσο σφάλμα αποστάσεων ή αλλιώς με την ισχύ σε κλίμακα $\bar{\sigma}_{s_{ij}}$, το οποίο εκφράζει την ευαισθησία του υπό έλεγχο δικτύου σε κλίμακα, δηλαδή στην αδυναμία ή μη στη μέτρηση αποστάσεων. Το σφάλμα αυτό εκφράζεται συνήθως σε ppm και εφόσον δεν υπάρχει ατέλεια κλίμακας, δεν εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο σύστημα αναφοράς. Υπολογίζεται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\bar{\sigma}_{S_{ij}} = \pm \frac{10^6}{n_S} \cdot \sum_1^{n_S} \frac{\sigma_{S_{ij}}}{S_{ij}} \quad (\Gamma.18)$$

όπου n_S ο αριθμός των πλευρών του δικτύου.

$\sigma_{S_{ij}}$ το σφάλμα της κάθε πλευράς του δικτύου που λαμβάνεται μετά από τον προσδιορισμό των σχετικών ελλείψεων σφάλματος, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

- Με το μέσο σφάλμα γωνιών διεύθυνσης ή αλλιώς με την ισχύ σε προσανατολισμό $\bar{\sigma}_{a_{ij}}$, το οποίο εκφράζει την ευαισθησία του υπό έλεγχο δικτύου σε γωνιακά μεγέθη, δηλαδή στην αδυναμία ή μη στη μέτρηση οριζόντιων γωνιών. Το σφάλμα αυτό εκφράζεται συνήθως σε ppm και εφόσον δεν υπάρχει ατέλεια προσανατολισμού, δεν εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο σύστημα αναφοράς. Υπολογίζεται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\bar{\sigma}_{a_{ij}} = \pm \frac{10^6}{n_a} \cdot \sum_1^{n_a} \frac{\sigma_{a_{ij}}}{a_{ij}} \quad (\Gamma.19)$$

όπου n_a ο αριθμός των γωνιών διεύθυνσης του δικτύου.

$\sigma_{a_{ij}}$ το σφάλμα της κάθε γωνίας διεύθυνσης του δικτύου που λαμβάνεται μετά από τον προσδιορισμό των σχετικών ελλείψεων σφάλματος, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

- Με το μέσο σφάλμα σχετικών θέσεων $\bar{\sigma}_{r_{ij}}$, το οποίο εκφράζει τη μέση σχετική αβεβαιότητα μεταξύ των ελεύθερων κορυφών. Το σφάλμα αυτό εκφράζεται συνήθως σε ppm και υπολογίζεται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\bar{\sigma}_{r_{ij}} = \pm \frac{10^6}{n_S} \cdot \sum_1^{n_S} \frac{\sqrt{\sigma_{\Delta x_{ij}}^2 + \sigma_{\Delta y_{ij}}^2}}{S_{ij}} = \pm \frac{10^6}{n_S} \cdot \sum_1^{n_S} \frac{\sqrt{\sigma_{u_{ij}}^2 + \sigma_{v_{ij}}^2}}{S_{ij}} \quad (\Gamma.20)$$

όπου n_S ο αριθμός των πλευρών του δικτύου.

$\sigma_{\Delta x_{ij}}$ και $\sigma_{\Delta y_{ij}}$ τα σφάλματα των διαφορών των συντεταγμένων ανάμεσα στις κορυφές του δικτύου i και j , που λαμβάνονται μετά από τον προσδιορισμό των σχετικών ελλείψεων σφάλματος, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Οι ελλείψεις σφάλματος των κορυφών του δικτύου

Σύμφωνα με τη σχέση (Γ.7) ένα από τα τελικά προϊόντα της συνόρθωσης του δικτύου είναι και ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας $V_{\hat{x}}$ που περιέχει τις αβεβαιότητες των κορυφών του δικτύου. Στην περίπτωση που οι τιμές των συντεταγμένων των αγνώστων κορυφών ακολουθούν τη διδιάστατη κανονική κατανομή η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για κάθε κορυφή (i) θα είναι ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

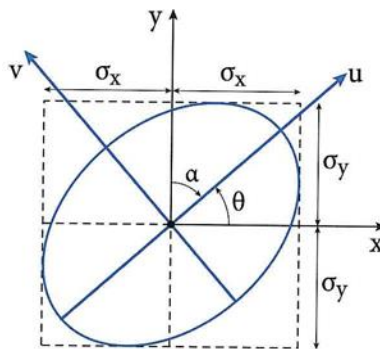
$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_{x_i}^2 \cdot \sigma_{y_i}^2 \sqrt{(1 - \rho^2)}} \cdot e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_{x_i}} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_{x_i}} \right) \left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_{y_i}} \right) + \left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_{y_i}} \right)^2 \right]} \quad (\Gamma.21)$$

$$\text{όπου } \rho = \frac{\sigma_{x_i y_i}}{\sigma_{x_i} \cdot \sigma_{y_i}}$$

Οι τομές της συνάρτησης $f(x, y)$ με επίπεδα παράλληλα στο επίπεδο xy είναι ελλείψεις με εξίσωση:

$$\left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_{x_i}} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_{x_i}} \right) \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_{y_i}} \right) + \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_{y_i}} \right)^2 = (1 - \rho^2) \cdot c^2 \quad (\Gamma.22)$$

Όταν ο συντελεστής c ισούται με 1 τότε η έλλειψη που προκύπτει από τη σχέση (Γ.22) ονομάζεται *τυπική έλλειψη σφάλματος* και παριστάνει την περιοχή μέσα στην οποία βρίσκεται η κορυφή i με πιθανότητα 39%. Προκειμένου να υπολογισθούν τα μεγέθη των κυρίων αξόνων της έλλειψης και ο προσανατολισμός της θεωρείται μετάθεση της αρχής των αξόνων στη θέση (μ_x, μ_y) και στροφή κατά γωνία θ αριστερόστροφα από τον άξονα x ή κατά γωνία α δεξιόστροφα από τον άξονα y , έτσι ώστε στο νέο σύστημα αναφοράς u, v να ισχύει $\sigma_{uv} = 0$, ως σχήμα Γ.4 [Πανταζής Γ., 2020].



Σχήμα Γ.4: Η τυπική έλλειψη σφάλματος [Πανταζής Γ., 2020]

Ο προσδιορισμός των κυρίων αξόνων της απόλυτης έλλειψης σφάλματος της κορυφής (*i*) καθώς και οι ανωτέρω γωνίες προς τους κύριους άξονες υπολογίζονται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

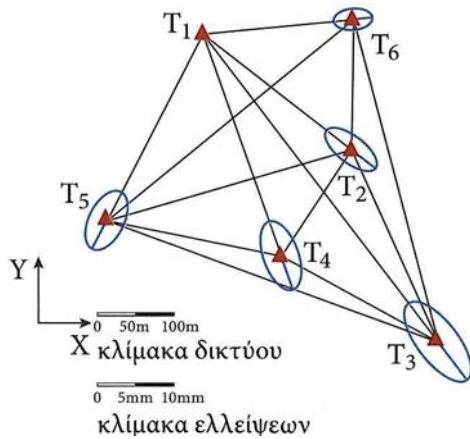
$$\sigma_u = \sigma_{max} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2 + \sqrt{(\sigma_{x_i}^2 - \sigma_{y_i}^2)^2 + 4 \cdot \sigma_{x_i y_i}^2}}{2}} \quad (\Gamma.23)$$

$$\sigma_v = \sigma_{min} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2 - \sqrt{(\sigma_{x_i}^2 - \sigma_{y_i}^2)^2 + 4 \cdot \sigma_{x_i y_i}^2}}{2}} \quad (\Gamma.24)$$

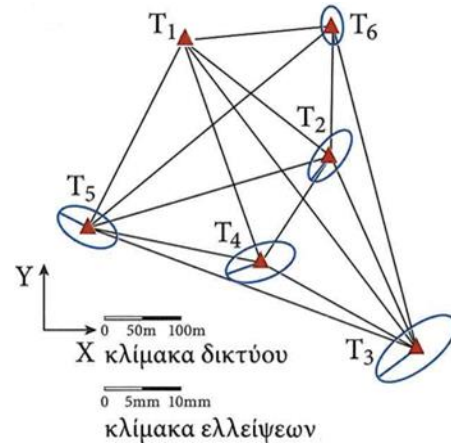
$$\tan(2\theta) = \frac{2 \cdot \sigma_{x_i y_i}}{\sigma_{x_i}^2 - \sigma_{y_i}^2} \quad (\Gamma.25)$$

$$\tan(2\alpha) = \frac{2 \cdot \sigma_{x_i y_i}}{\sigma_{y_i}^2 - \sigma_{x_i}^2} \quad (\Gamma.26)$$

Οι απόλυτες ελλείψεις σφάλματος αποδεικνύουν εάν το γεωδαιτικό δίκτυο παρουσιάζει *αδυναμία σε κλίμακα* ή *αδυναμία σε προσανατολισμό*. Ειδικότερα, το γεωδαιτικό δίκτυο παρουσιάζει αδυναμία σε κλίμακα όταν διαπιστώνεται γενικός προσανατολισμός των μεγάλων αξόνων των ελλείψεων προς τις διευθύνσεις που ορίζονται από τις γραμμές που συνδέουν τις κορυφές του δικτύου με τη σταθερή κορυφή, ως σχήμα Γ.5. Αντίστοιχα το γεωδαιτικό δίκτυο παρουσιάζει αδυναμία σε προσανατολισμό όταν διαπιστώνεται γενικός προσανατολισμός των μεγάλων αξόνων των ελλείψεων κάθετα προς τις διευθύνσεις που ορίζονται από τις γραμμές που συνδέουν τις κορυφές του δικτύου με τη σταθερή κορυφή, ως σχήμα Γ.6.



Σχήμα Γ.5: Απεικόνιση απόλυτων ελλείψεων σφάλματος σε γεωδαιτικό δίκτυο με αδυναμία σε κλίμακα [Πανταζής Γ., 2020]



Σχήμα Γ.6: Απεικόνιση απόλυτων ελλείψεων σφάλματος σε γεωδαιτικό δίκτυο με αδυναμία σε προσανατολισμό [Πανταζής Γ., 2020]

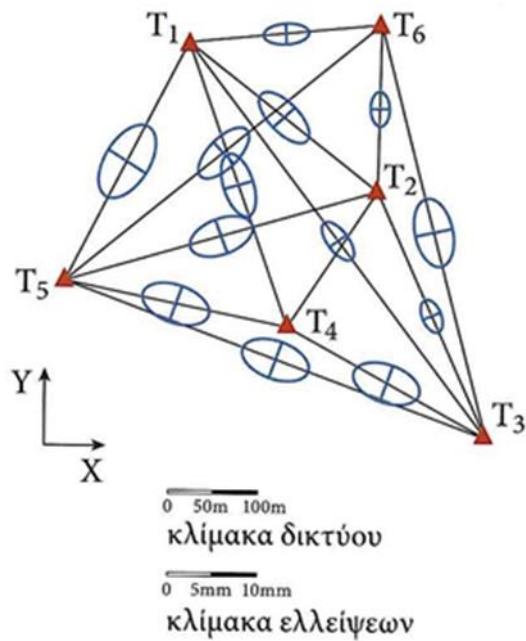
Εκτός από τις απόλυτες ελλείψεις σφάλματος μετά από τη συνόρθωση του δικτύου προσδιορίζονται και οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος οι οποίες παρουσιάζουν την αβεβαιότητα της σχετικής θέσεις δύο ελεύθερων κορυφών του δικτύου. Τα στοιχεία τους μεγάλος άξονας, μικρός άξονας και προσανατολισμός υπολογίζονται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\sigma_u = \sigma_{max} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{\Delta x_{ij}}^2 + \sigma_{\Delta y_{ij}}^2 + \sqrt{(\sigma_{\Delta x_{ij}}^2 - \sigma_{\Delta y_{ij}}^2)^2 + 4 \cdot \sigma_{\Delta x_{ij} \Delta y_{ij}}^2}}{2}} \quad (\Gamma.27)$$

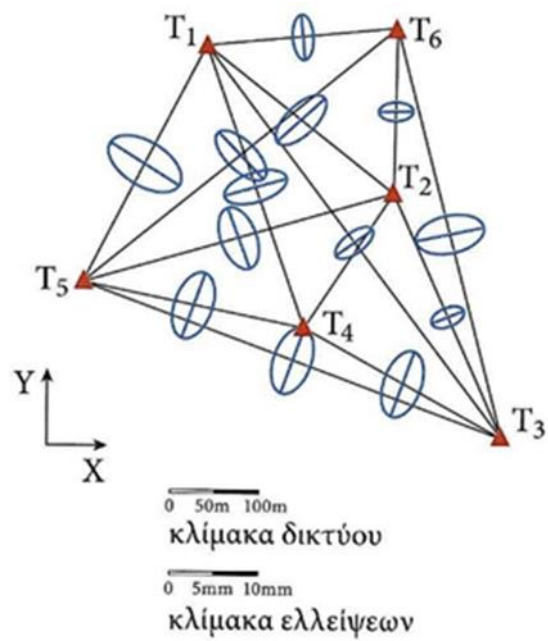
$$\sigma_v = \sigma_{min} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{\Delta x_{ij}}^2 + \sigma_{\Delta y_{ij}}^2 - \sqrt{(\sigma_{\Delta x_{ij}}^2 - \sigma_{\Delta y_{ij}}^2)^2 + 4 \cdot \sigma_{\Delta x_{ij} \Delta y_{ij}}^2}}{2}} \quad (\Gamma.28)$$

$$\tan(2\theta) = \frac{2 \cdot \sigma_{\Delta x_{ij} \Delta y_{ij}}}{\sigma_{\Delta x_{ij}}^2 - \sigma_{\Delta y_{ij}}^2} \quad (\Gamma.29)$$

$$\tan(2\alpha) = \frac{2 \cdot \sigma_{\Delta x_{ij} \Delta y_{ij}}}{\sigma_{\Delta y_{ij}}^2 - \sigma_{\Delta x_{ij}}^2} \quad (\Gamma.30)$$



Σχήμα Γ.7: Απεικόνιση σχετικών ελλείψεων σφάλματος σε γεωδαιτικό δίκτυο με αδυναμία σε κλίμακα [Πανταζής Γ., 2020]



Σχήμα Γ.8: Απεικόνιση σχετικών ελλείψεων σφάλματος σε γεωδαιτικό δίκτυο με αδυναμία σε προσανατολισμό [Πανταζής Γ., 2020]

Όσον αφορά στη σχεδίαση των σχετικών ελλείψεων σφάλματος, η κάθε μία από αυτές τοποθετείται στο μέσο της πλευράς του δικτύου που τις ορίζει. Ειδικότερα, η γωνία που σχηματίζει ο μεγάλος ημιάξονας της σχετικής έλλειψης με την πλευρά του δικτύου ανάμεσα στις κορυφές i και j υπολογίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στη γωνία διεύθυνσης της πλευράς a_{ij} και στη γωνία που σχηματίζει ο άξονας των τεταγμένων με τον μεγάλο ημιάξονα u_{ij} .

Στην περίπτωση που η διεύθυνση του μεγάλου ημιάξονα της σχετικής έλλειψης των κορυφών i και j πλησιάζει τη διεύθυνση του διανύσματος \vec{ij} τότε διαπιστώνεται αδυναμία κλίμακας, ως σχήμα Γ.7. από την άλλη μεριά στην περίπτωση που πλησιάζει την κάθετη διεύθυνση τότε υπάρχει αδυναμία προσανατολισμού, ως σχήμα Γ.8 [Πανταζής Γ., 2020].

Το ελλειψοειδές σφάλμα

Όταν συνορθώνεται ένα τριδιάστατο δίκτυο τότε αντί για τις ελλείψεις σφάλματος στις δύο διαστάσεις δημιουργούνται τριαξονικά ελλειψοειδή σφάλματος. Τα ελλειψοειδή ορίζονται με τους κύριους ημιάξονες u, v, w , θεωρώντας τη μετάθεση της αφετηρίας του τρισσορθωγώνιου συστήματος που σχηματίζουν κατά μ_x, μ_y, μ_z και τη στροφή του συστήματος (x, y, z)

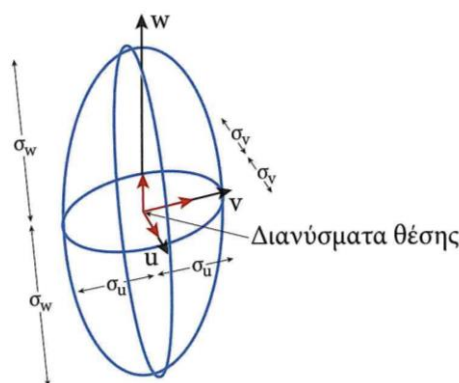
κατά R. Επίσης, στη συνόρθωση τριδιάστατων δικτύων, η συνάρτηση πιθανότητας έχει ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$f(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{|(V_{\hat{x}}^i)^{-1}|} \cdot e^{-\frac{1}{2}[(x-\mu_x) \cdot (y-\mu_y) \cdot (z-\mu_z)] \cdot (V_{\hat{x}}^i)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x-\mu_x \\ y-\mu_y \\ z-\mu_z \end{bmatrix}} \quad (\Gamma.31)$$

Στο σχήμα Γ.9 που ακολουθεί παρουσιάζεται η τυπική μορφή ενός ελλειψοειδούς σφάλματος,

όπου $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$ τα μεγέθη των κυρίων ημιαξόνων.

$\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$ τα μοναδιαία διανύσματα θέσης.



Σχήμα Γ.9: Απεικόνιση ελλειψοειδούς σφάλματος [Πανταζής Γ., 2020]

Τα ανωτέρω στοιχεία υπολογίζονται με εφαρμογή της θεωρίας της γραμμικής άλγεβρας. Ειδικότερα, έστω ένας τελεστής A και δρα πάνω σε ένα διάνυσμα \vec{x} , τότε το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι ένα νέο διάνυσμα \vec{y} , οπότε θα ισχύει $A \cdot \vec{x} = \vec{y}$. Για τον τελεστή A , υπάρχουν χαρακτηριστικά διανύσματα \vec{x} , τέτοια ώστε η δράση του A πάνω σε αυτά τα πολλαπλασιάζει με έναν αριθμό λ , ως εξής: $A \cdot \vec{x} = \lambda \cdot \vec{y}$. Τα εν λόγω διανύσματα καλούνται *ιδιοδιανύσματα* του τελεστή A και οι αριθμοί λ λέγονται *ιδιοτιμές* του A και είναι *χαρακτηριστικά μεγέθη* του τελεστή A . Σε αντιστοιχία με τον τελεστή A , έστω ότι υφίσταται ένας τετραγωνικός πίνακας A ο οποίος δρα πάνω σε έναν πίνακα στήλη $[x]$. Το αποτέλεσμα θα είναι ένας νέος πίνακας στήλη $[y]$. Συνεπώς θα ισχύει: $A \cdot [x] = [y]$. Για κάθε πίνακα A υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά διανύσματα (πίνακες στήλες), τέτοια ώστε η δράση του A πάνω σε αυτά αφήνει αναλλοίωτη τη διεύθυνσή τους και τα πολλαπλασιάζει με έναν αριθμό, ήτοι αλλάζει μόνο το μέτρο τους και τα διαστέλλει ή τα συστέλλει, χωρίς να τους αλλάζει τη διεύθυνση. Τότε ισχύει: $A \cdot \vec{x} = \lambda \cdot \vec{x}$. Τα διανύσματα

αυτά, \vec{x} , λέγονται ιδιοδιανύσματα του πίνακα A και οι αριθμοί λ , λέγονται ιδιοτιμές του A και είναι χαρακτηριστικοί αριθμοί του A . Στην πράξη ο A πάνω στα ιδιοδιανύσματα εκφυλίζεται στον αριθμό λ ή ο λ πάνω στο ιδιοδιάνυσμα αντικαθιστά τη δράση του A . Για κάθε ιδιοδιάνυσμα υπάρχει μία ιδιοτιμή, που ικανοποιεί τη σχέση:

$$A \cdot \vec{x} = \lambda \cdot \vec{x} \quad (\Gamma.32)$$

Η σχέση αυτή μπορεί να μετασχηματιστεί σε ένα ομογενές σύστημα ως εξής:

$$[A - \lambda \cdot I] \cdot [x] = 0 \quad (\Gamma.33)$$

όπου A ο τετραγωνικός πίνακας $n \times n$.

I ο μοναδιαίος πίνακας $n \times n$.

Το σύστημα (Γ.33) έχει μη μηδενικές λύσεις μόνο αν:

$$\det[A - \lambda \cdot I] \cdot [x] = 0 \quad (\Gamma.34)$$

Η εξίσωση (Γ.34) είναι ένα πολυώνυμο ως προς λ , και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ιδιοτιμών λ του πίνακα A . Μάλιστα το πολυώνυμο $\det[A - \lambda \cdot I]$ λέγεται *χαρακτηριστικό πολυώνυμο* του πίνακα A . Για τον υπολογισμό του ιδιοδιανύσματος $[x]$ που αντιστοιχεί στην κάθε ιδιοτιμή λ , στην εξίσωση (Γ.33) τίθεται η συγκεκριμένη ιδιοτιμή και λύνεται το ομογενές σύστημα που προκύπτει.

Η εφαρμογή της ανωτέρω θεωρίας της γραμμικής άλγεβρας στον υπολογισμό του ελλειψοειδούς σφάλματος έχει ως εξής. Για κάθε κορυφή του δικτύου, πλην της σταθερής, η απόλυτη έλλειψη σφάλματος ή αντίστοιχα η σχετική έλλειψη σφάλματος για ζεύγη κορυφών, υπολογίζεται με βάση τον αντίστοιχο a posteriori υποπίνακα μεταβλητότητας μεταβλητότητας \hat{V}_{xyz} για τον οποίο η *χαρακτηριστική εξίσωση τρίτου βαθμού* θα ισούται με [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\det[\hat{V}_{xyz} - \lambda \cdot I] = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 - \lambda & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 - \lambda & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z^2 - \lambda \end{bmatrix} = 0 \quad (\Gamma.35)$$

ή

$$\lambda^3 - 3 \cdot q \cdot \lambda^2 + 3 \cdot n \cdot \lambda - D = 0 \quad (\Gamma.36)$$

όπου:

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{1}{3} \cdot (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2) \\
 &= \frac{1}{3} \cdot \text{tr}(\hat{V}_{xyz}) \quad (\Gamma.37)
 \end{aligned}$$

και

$$n = \frac{1}{3} \cdot (D_{xx} + D_{yy} + D_{zz}) \quad (\Gamma.38)$$

Στις ανωτέρω σχέσεις συμβολίζονται ως:

- λ οι ιδιοτιμές του πίνακα \hat{V}_{xyz}
- q και n οι βοηθητικές ποσότητες για τον υπολογισμό των λ .
- D_{xx}, D_{yy}, D_{zz} οι ελάχιστες ορίζουσες των $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$.
- D η ορίζουσα τρίτης τάξης του πίνακα \hat{V}_{xyz} .

Έπειτα, υπολογίζονται οι ποσότητες k και φ ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$k = \sqrt{q^2 - n} \quad (\Gamma.39)$$

$$\cos\varphi = \frac{1}{2 \cdot k^3} \cdot (D + 2 \cdot q^3 - 3 \cdot q \cdot n) \quad (\Gamma.40)$$

Για την ιδιοτιμή ή αλλιώς ρίζα λ_1 και με τη θεώρηση ότι $0^\circ < \varphi < 200^\circ$, ισχύει [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\lambda_1 = \sigma_u^2 = q + 2 \cdot k \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right) \quad (\Gamma.41)$$

Για την ιδιοτιμή λ_2 και με τη θεώρηση ότι ισχύει $\varphi + 400^\circ$:

$$\lambda_2 = \sigma_v^2 = q + 2 \cdot k \cdot \cos\left(\frac{\varphi + 400^\circ}{3}\right) \quad (\Gamma.42)$$

Για την ιδιοτιμή λ_3 και με τη θεώρηση ότι ισχύει $\varphi - 400^\circ$:

$$\lambda_3 = \sigma_w^2 = q + 2 \cdot k \cdot \cos\left(\frac{\varphi - 400^\circ}{3}\right) \quad (\Gamma.43)$$

Κατόπιν των ανωτέρω, τα μεγέθη των κυρίων ημιαξόνων του ελλειψοειδούς ($\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$) υπολογίζονται ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\sigma_u = \sqrt{\lambda_1}, \sigma_v = \sqrt{\lambda_2}, \sigma_w = \sqrt{\lambda_3} \quad (\Gamma.44)$$

Αντίστοιχα τα μοναδιαία διανύσματα θέσης $\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$, τα οποία ουσιαστικά προσδιορίζουν τον προσανατολισμό του ελλειψοειδούς προς τους άξονες του τρισσορθογώνιου συστήματος αναφοράς υπολογίζονται ως εξής.

Αρχικά επισημαίνεται ότι οι διευθύνσεις των κυρίων ημιάξονων του ελλειψοειδούς πρέπει να πληρούν την ακόλουθη συνθήκη:

$$\sigma_{uv} = \sigma_{uw} = \sigma_{vw} = 0 \quad (\Gamma.45)$$

Για κάθε ιδιοτιμή λ_i υπολογίζεται το χαρακτηριστικό κανονικοποιημένο διάνυσμα x_i από τη λύση του ακόλουθου ομογενούς συστήματος:

$$(\hat{V}_{xyz} - \lambda \cdot I) \cdot x_i = 0 \quad (\Gamma.46)$$

Έπειτα, για την ιδιοτιμή λ_1 οι συνιστώσες του μοναδιαίου διανύσματος \vec{u} ως προς τους άξονες x, y, z είναι οι $x_{1(x)}, x_{1(y)}, x_{1(z)}$, όπου:

$$x_{1(x)} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(A_{yz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{yz})^2} + \frac{1}{(A_{xz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xz})^2} + \frac{1}{(A_{xy} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xy})^2} \cdot (A_{yz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{yz})}} \quad (\Gamma.47)$$

$$x_{1(y)} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(A_{yz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{yz})^2} + \frac{1}{(A_{xz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xz})^2} + \frac{1}{(A_{xy} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xy})^2} \cdot (A_{xz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xz})}} \quad (\Gamma.48)$$

$$x_{1(z)} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(A_{yz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{yz})^2} + \frac{1}{(A_{xz} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xz})^2} + \frac{1}{(A_{xy} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xy})^2} \cdot (A_{xy} + \lambda_1 \cdot \sigma_{xy})}} \quad \Gamma.49)$$

όπου A_{xy}, A_{xz}, A_{yz} τα αλγεβρικά συμπληρώματα του πίνακα \hat{V}_{xyz} . Αντίστοιχα υπολογίζονται οι συνιστώσες των μοναδιαίων διανυσμάτων \vec{v}, \vec{w} χρησιμοποιώντας τις ιδιοτιμές λ_2 και λ_3 .

Αξίζει να επισημανθεί ότι στη συνόρθωση των τριδιάστατων δικτύων οι ημιάξονες των ελλειψοειδών πολλαπλασιάζονται με έναν συντελεστή c που υπολογίζεται με βάση το επίπεδο εμπιστοσύνης που επιλέγεται. Η

τιμή του ανωτέρω συντελεστή προκύπτει από την κατανομή Fischer $F_{p,3,r}$ και ισούται με [Πανταζής Γ., 2020]:

$$c = \sqrt{3 \cdot F_{p,3,r}} \quad (\Gamma.50)$$

όπου p είναι το επίπεδο εμπιστοσύνης, συνήθως 95% ή 99% και
 r ο βαθμός ελευθερίας του δικτύου.

Υπολογισμοί μετακινήσεων

Για να διερευνηθεί το ερώτημα εάν υφίσταται ή όχι μετακίνηση των κορυφών ενός δικτύου, για ένα προκαθορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης, ανάμεσα σε δύο χρονικές στιγμές t_1 και t_2 , θα πρέπει και στις δύο αυτές χρονικές στιγμές να γίνουν γεωδαιτικές μετρήσεις και έπειτα συνόρθωση του δικτύου. Εφόσον λοιπόν έχουν υπολογισθεί οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητές τους είναι δυνατό να υπολογισθούν οι διαχρονικές μεταβολές των κορυφών και να διαπιστωθεί εάν πρόκειται για μετακινήσεις ή όχι. Σε αυτή τη διαδικασία πρωταρχικό βήμα αποτελεί η επιλογή του επιπέδου εμπιστοσύνης προσδιορισμού της μεταβολής, ήτοι του συντελεστή που καθορίζει το μέγεθος του σφάλματος προσδιορισμού της μεταβολής, επιλογή η οποία εξαρτάται από [Πανταζής Γ., 2020]:

- Την επικινδυνότητα του φαινομένου που προκαλεί τη μετακίνηση.
- Την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και της κατάλληλης μεθοδολογίας για την εκτέλεση μετρήσεων προκειμένου να ελεγχθεί το γεωδαιτικό δίκτυο.

Γενικά, ως επίπεδο εμπιστοσύνης ονομάζεται η πιθανότητα P για την οποία η διαφορά ανάμεσα στην εκτίμηση μιας μεταβλητής x και την ακριβή τιμή της μεταβλητής μ_x βρίσκεται εντός του διαστήματος που περιγράφεται για επίπεδα εμπιστοσύνης 95% ή 99% ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$P(-1,96 \cdot \sigma_x \leq x - \mu_x \leq +1,96 \cdot \sigma_x) = 95\% \quad (\Gamma.51)$$

και

$$P(-2,576 \cdot \sigma_x \leq x - \mu_x \leq +2,576 \cdot \sigma_x) = 99\% \quad (\Gamma.52)$$

Μια γενική αρχή είναι ότι όσο αυξάνονται οι επικίνδυνες συνέπειες από μια ενδεχόμενη μετακίνηση, όπως για παράδειγμα οι μετακινήσεις σε ένα φράγμα ή σε μία γέφυρα, τότε τόσο μικρότερο θα είναι το επίπεδο εμπιστοσύνης που θα επιλεγεί. Συνήθως χρησιμοποιείται το 95% ή το

99%, ως επίπεδο εμπιστοσύνης, στα οποία ωστόσο συμμετέχουν στο τελικό αποτέλεσμα και τα τυχαία ή πιθανά σφάλματα. Στην περίπτωση που θα πρέπει να αποκλεισθούν τυχαία ή πιθανά σφάλματα στον εντοπισμό της μετακίνησης μιας κορυφής ενός δικτύου υψηλής ακρίβειας τότε επιλέγεται επίπεδο εμπιστοσύνης 68.3% [Πανταζής Γ., 2020].

Εφόσον αποφασισθεί το επίπεδο εμπιστοσύνης και έχει ολοκληρωθεί η συνόρθωση του δικτύου σε δύο χρονικές στιγμές t_1 και t_2 , άρα είναι γνωστοί οι πίνακες $V_{\hat{x}}^{t_1}$ και $V_{\hat{x}}^{t_2}$, τότε είναι δυνατό να υπολογισθεί το διάνυμα μεταβολής $\Delta R_{t_2-t_1}$ μιας κορυφής του δικτύου από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta R_{(t_2-t_1)} = \theta \acute{\epsilon}\sigma\eta_{t_2} - \theta \acute{\epsilon}\sigma\eta_{t_1} \quad (\Gamma.53)$$

και ο πίνακας $V_{\Delta R_{(t_2-t_1)}}$ που προκύπτει από την άθροιση των αντίστοιχων πινάκων που υπολογίσθηκαν για τις χρονικές στιγμές t_1 και t_2 , ήτοι [Πανταζής Γ., 2020]:

$$V_{\Delta R_{(t_2-t_1)}} = V_{\hat{x}}^{t_1} + V_{\hat{x}}^{t_2} \quad (\Gamma.54)$$

Όσον αφορά στον υπολογισμό της απόλυτης μετακίνησης μιας κορυφής i που ανήκει σε τριδιάστατο δίκτυο, όπως αυτό που ελέγχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, υπολογίζεται αρχικά το διάνυμα της μεταβολής δr ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\delta r = \sqrt{\left(x_{i_{t_2}} - x_{i_{t_1}}\right)^2 + \left(y_{i_{t_2}} - y_{i_{t_1}}\right)^2 + \left(z_{i_{t_2}} - z_{i_{t_1}}\right)^2} \quad (\Gamma.55)$$

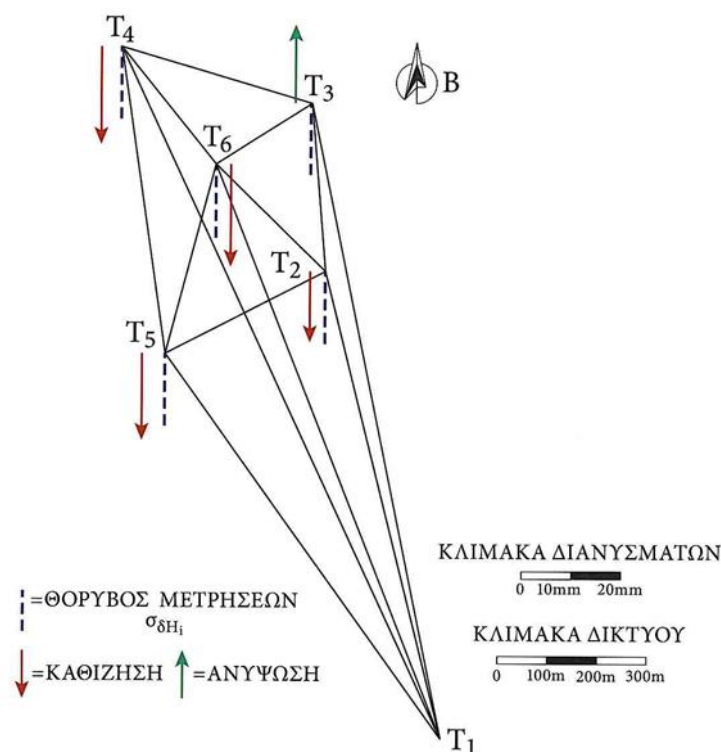
Έπειτα, υπολογίζεται ο υποπίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας της μεταβολής της κορυφής $\hat{V}_{\delta r}^i$ από τον αντίστοιχο πίνακα που υπολογίσθηκε με εφαρμογή της σχέσης (Γ.54). Ο $\hat{V}_{\delta r}^i$ έχει ως εξής [Πανταζής Γ., 2020]:

$$\hat{V}_{\delta r}^i = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x_i}^2 & \sigma_{\Delta x_i \Delta y_i} & \sigma_{\Delta x_i \Delta z_i} \\ \sigma_{\Delta x_i \Delta y_i} & \sigma_{\Delta y_i}^2 & \sigma_{\Delta y_i \Delta z_i} \\ \sigma_{\Delta x_i \Delta z_i} & \sigma_{\Delta y_i \Delta z_i} & \sigma_{\Delta z_i}^2 \end{bmatrix} \quad (\Gamma.56)$$

Κατόπιν υπάρχουν δύο επιλογές. Είτε να γίνει έλεγχος κατά την κατακόρυφη και οριζόντια έννοια ξεχωριστά είτε ο έλεγχος να γίνει υπολογίζοντας τα στοιχεία του ελλειψοειδούς σφάλματος.

Στην πρώτη περίπτωση ο έλεγχος κατά την κατακόρυφη έννοια αφορά στη σύγκριση της απόλυτης τιμής της διαφοράς της κατακόρυφης μεταβολής σε σχέση με το αντίστοιχο σφάλμα της μεταβολής το οποίο πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή z του επιλεγμένου επιπέδου εμπιστοσύνης. Αν η τιμή της κατακόρυφης μετακίνησης είναι μεγαλύτερη από το ανωτέρω γινόμενο τότε η κορυφή παρουσιάζει κατακόρυφη μετακίνηση, όπως στο σχήμα Γ.10.

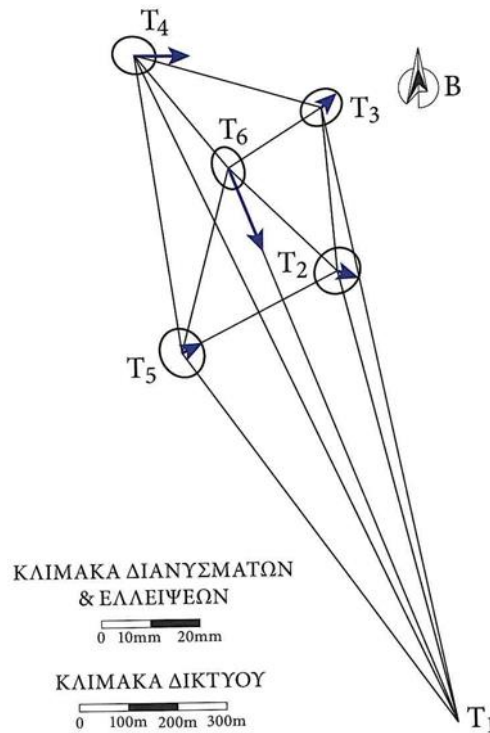
Αντίστοιχα, ο έλεγχος κατά την οριζόντια έννοια γίνεται αφού σχεδιαστεί η απόλυτη έλλειψη σφάλματος, πολλαπλασιάζοντας τους άξονές της με τον συντελεστή l του επιλεγμένου επιπέδου εμπιστοσύνης. Επίσης, σχεδιάζεται και το διάνυσμα της μεταβολής dr .



Σχήμα Γ.10: Απεικόνιση των διανυσμάτων απόλυτης κατακόρυφης μετακίνησης [Πανταζής Γ., 2020].

Η υπό εξέταση κορυφή παρουσιάζει μετακίνηση εφόσον το πέρας του διανύσματος dr βρίσκεται εκτός της έλλειψης σφάλματος, ως σχήμα Γ.11.

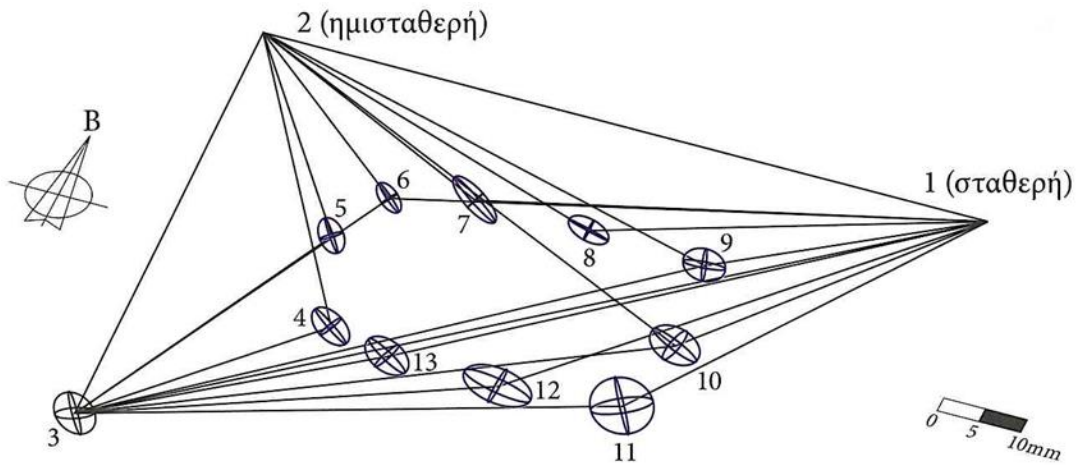
Στη δεύτερη περίπτωση υπολογίζονται τα στοιχεία του απόλυτου ελλειψοειδούς σφάλματος, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα και υλοποιούνται δύο έλεγχοι, ο μονοδιάστατος και ο τριδιάστατος [Πανταζής Γ., 2020].



Σχήμα Γ.11: Απεικόνιση των διανυσμάτων και των ελλείψεων σφάλματος της απόλυτης οριζοντιογραφικής μετακίνησης [Πανταζής Γ., 2020].

Στον μονοδιάστατο έλεγχο συγκρίνεται η τιμή του τριδιάστατου διανύσματος μεταβολής δr με τον μεγάλο ημιάξονα του ελλειψοειδούς σφάλματος πολλαπλασιασμένο με τον συντελεστή c , που προκύπτει από κατανομή Fischer $F_{p,3,r}$ σύμφωνα με τη σχέση (Γ.50). Αν η τιμή του δr είναι μεγαλύτερη από το ανωτέρω γινόμενο τότε η κορυφή εμφανίζει απόλυτη μετακίνηση και πρέπει να ακολουθήσει ο τριδιάστατος έλεγχος για να εξακριβωθεί και η διεύθυνση του διανύσματος δr . Διαφορετικά δεν χρειάζεται να ακολουθήσει ο τριδιάστατος έλεγχος [Πανταζής Γ., 2020].

Στην περίπτωση που απαιτείται ο τριδιάστατος έλεγχος σχεδιάζεται το απόλυτο ελλειψοειδές σφάλματος, πολλαπλασιάζοντας τους άξονές του με τον συντελεστή λ του επιλεγμένου επιπέδου εμπιστοσύνης ($\sigma_u \cdot c$, $\sigma_v \cdot c$, $\sigma_w \cdot c$) και το διάνυσμα δr της απόλυτης μεταβολής. Η υπό εξέταση κορυφή παρουσιάζει απόλυτη τριδιάστατη μετακίνηση εφόσον το πέρας του διανύσματος δr βρίσκεται εκτός του απόλυτου ελλειψοειδούς σφάλματος [Πανταζής Γ., 2020]. Στο σχήμα Γ.12 φαίνεται η απεικόνιση των διανυσμάτων και ελλειψοειδών σφάλματος της απόλυτης τριδιάστατης μετακίνησης ενός δικτύου.



Σχήμα Γ.12: Απεικόνιση τυπικής μορφής των διανυσμάτων και ελλειψοειδών σφάλματος της απόλυτης τριδιάστατης μετακίνησης ενός δικτύου [Πανταζής Γ., 2020]

Όσον αφορά στον υπολογισμό της σχετικής μετακίνησης ανάμεσα σε δύο κορυφές i και j ενός τριδιάστατου δικτύου, υπολογίζεται σύμφωνα με τα προαναφερθέντα το διάνυσμα μεταβολής της σχετικής των κορυφών $\delta\Delta r_{ij}$ και ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας $\hat{V}_{\delta\Delta r_{ij}}$. Από τον πίνακα $\hat{V}_{\delta\Delta r_{ij}}$ υπολογίζονται τα στοιχεία του ελλειψοειδούς σφάλματος της μεταβολής της σχετικής θέσης ανάμεσα στα εν λόγω σημεία. Για τη διαπίστωση εάν υπάρχει σχετική μετακίνηση ή μη ανάμεσα στις δύο κορυφές εκτελούνται με όμοιο με τον προαναφερθέντα τρόπο ο μονοδιάστατος και ο τριδιάστατος έλεγχος.

Αποτελέσματα ελέγχου επίγειου γεωδαιτικού δικτύου

Αριθμός κορυφών	5
Αριθμός παρατηρήσεων μηκών	7
Αριθμός παρατηρήσεων οριζοντίων γωνιών	16
Αριθμός παρατηρήσεων κατακορύφων γωνιών	7
Συνολικός αριθμός παρατηρήσεων	30
Αριθμός αγνώστων	11
Βαθμοί ελευθερίας	19
A-posteriori μεταβλητότητα	1.387
A-posteriori τυπική απόκλιση	1.178

Πίνακας Γ.1: Γενικά χαρακτηριστικά τριδιάστατου δικτύου

Μήκος (S) (Από-προς)	Αρχική τιμή (σε m)	σ_s (σε mm)	Διόρθωση (σε mm)	Τελική τιμή (σε m)
1 5	156.8140	±2	-3.11	156.8109
2 1	298.6460	±2	0.40	298.6464
1 3	314.2600	±2	-0.90	314.2591
1 4	508.8000	±2	1.71	508.8017
2 5	382.5680	±2	0.80	382.5688
2 3	111.3660	±2	-2.47	111.3635
4 3	218.2500	±2	-1.16	218.2488

Πίνακας Γ.2: Συνορθωμένες παρατηρήσεις μηκών τριδιάστατου δικτύου

Οριζόντια γωνία (β)	Αρχική τιμή (σε grad)	σ_β (σε cc)	Διόρθωση (σε cc)	Τελική τιμή (σε grad)
2 1 3	22.88370	±10	-1.92	22.88351
3 1 4	15.79000	±10	-17.07	15.78829
4 1 5	84.00100	±10	-3.96	84.00060
1 5 2	52.50220	±10	-11.82	52.50102
2 5 3	18.56590	±10	7.55	18.56666
3 5 4	25.31000	±10	1.82	25.31018
1 3 2	79.66090	±10	-20.88	79.65881
2 3 4	159.13540	±10	-9.99	159.13440
4 3 5	132.06520	±10	-18.43	132.06336
5 3 1	29.14210	±10	13.30	29.14343
5 2 1	24.82700	±10	-4.23	24.82658
3 2 5	72.63200	±10	-8.97	72.63110
4 2 3	27.32910	±10	-5.12	27.32859
5 4 1	19.62180	±10	-2.59	19.62154
1 4 3	23.00470	±10	2.20	23.00492
3 4 2	13.53600	±10	10.11	13.53701

Πίνακας Γ.3: Συνορθωμένες παρατηρήσεις οριζόντιων γωνιών τριδιάστατου δικτύου

Κατακόρυφη Γωνία (β) (από-προς)	Αρχική τιμή (σε grad)	σ_β (σε cc)	Διόρθωση (σε cc)	Τελική Τιμή (σε grad)
1 5	89.20520	±10	-6.18	89.20458
2 1	98.39950	±10	2.99	98.39980
1 3	98.93160	±10	-0.80	98.93152
1 4	98.55920	±10	11.89	98.56039
2 5	94.32960	±10	8.09	94.33041
2 3	92.62510	±10	-3.48	92.62475
3 4	98.18330	±10	-5.06	98.18279

Πίνακας Γ.4: Συνορθωμένες παρατηρήσεις κατακόρυφων γωνιών τριδιάστατου δικτύου

Σημείο	X_o (σε m)	Y_o (σε m)	H_o (σε m)
1	480547.715	4202792.111	210.860
2	480757.358	4203004.499	203.256
3	480832.887	4202923.733	216.102
4	481047.547	4202885.334	222.321
5	480612.952	4202652.057	237.316

Πίνακας Γ.5: Αρχικές συντεταγμένες κορυφών τριδιάστατου δικτύου

Σημείο	D_x (σε cm)	D_y (σε cm)	D_H (σε cm)	X (σε m)	Y (σε m)	H (σε m)
1						
2	8.59	8.70	2.92	480757.444	4203004.586	203.285
3	11.70	6.41	2.47	480833.004	4202923.797	216.127
4	21.11	6.88	5.97	481047.758	4202885.403	222.381
5	0.32	-6.15	2.10	480612.955	4202651.996	237.337

Πίνακας Γ.6: Τελικές συντεταγμένες κορυφών τριδιάστατου δικτύου και διορθώσεις τους μετά τη συνόρθωση

Κλίμακας	7.496
Προσανατολισμού	8.857
Υψομέτρου	13.078

Πίνακας Γ.7: Ισχύς του δικτύου (σε ppm)

Σημείο	σ_x (σε cm)	σ_y (σε cm)	σ_H (σε cm)	σ_u (σε cm)	σ_v (σε cm)	θ (σε grad)	σ_z (σε cm)
2	±0.11	±0.11	±0.35	±0.37	0.00	49.5859	±0.68
3	±0.14	±0.21	±0.35	±0.52	±0.34	187.7415	±0.69
4	±0.19	±0.41	±0.47	±1.01	±0.44	192.9413	±0.93
5	±0.23	±0.17	±0.27	±0.56	±0.41	110.2157	±0.53

Πίνακας Γ.8: Στοιχεία απολύτων ελλείψεων σφάλματος

από	προς	AZ (σε grad)	S (σε m)	D (σε m)	σ_s (σε cm)	σ_A (σε cm)	σ_h (σε cm)	σ_u (σε cm)	σ_v (σε cm)	θ (σε grad)
1	2	49.5859	298.427	298.524	±0.37	0.00	±0.68	±0.37	0.00	0.0000
1	3	72.4694	314.215	314.259	±0.35	±0.51	±0.69	±0.52	±0.34	115.2721
1	4	88.2577	508.671	508.802	±0.45	±1.01	±0.93	±1.01	±0.44	104.6836
1	5	172.2583	154.559	156.811	±0.46	±0.51	±0.53	±0.56	±0.41	137.9574
2	3	152.0579	110.612	111.359	±0.47	±0.31	±0.39	±0.50	±0.27	24.0381
2	4	124.7767	313.873	314.455	±0.63	±0.92	±0.82	±1.01	±0.48	69.5215
2	5	224.7516	380.934	382.456	±0.44	±0.56	±0.78	±0.58	±0.42	77.3843
3	4	111.2627	218.159	218.249	±0.46	±0.66	±0.73	±0.68	±0.44	83.0036
3	5	243.3260	349.711	350.353	±0.48	±0.74	±0.80	±0.75	±0.48	105.5288
4	5	268.6362	493.490	493.717	±0.61	±1.16	±1.03	±1.17	±0.60	104.5872

Πίνακας Γ.9: Στοιχεία σχετικών ελλείψεων σφάλματος

Σημείο	δr (mm)	φ (grad)	σ_U (mm)	σ_V (mm)	θ (grad)	Οριζόντια Μετακίνηση	δr_H (mm)	$\sigma_{\delta r_H}$ (mm)	Κατακόρυφη Μετακίνηση
2	122.25	49.5859	± 5.18	0.00	49.5859	NAI	-29.20	± 0.96	NAI
3	133.41	380.3434	± 7.31	± 4.80	187.7415	NAI	-24.66	± 9.71	NAI
4	222.03	386.9887	± 14.25	± 6.28	192.9413	NAI	-59.75	± 13.15	NAI
5	61.55	193.0776	± 7.85	± 5.83	110.2157	NAI	-20.99	± 7.52	NAI

Πίνακας Γ.10: Στοιχεία ελλείψεων σφάλματος απόλυτης μετακίνησης

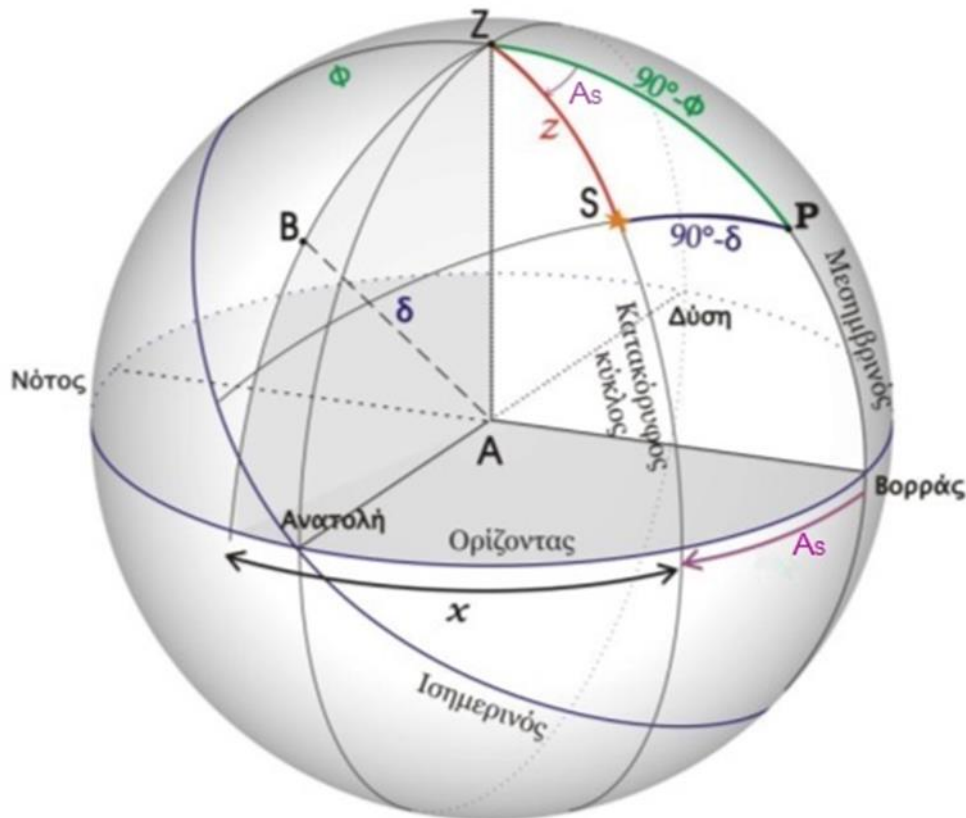
από	προς	δr (mm)	φ (grad)	σ_U (mm)	σ_V (mm)	θ (grad)	Οριζόντια Μετακίνηση	δr_H (mm)	$\sigma_{\delta r_H}$ (mm)	Κατακόρυφη Μετακίνηση
1	2	122.25	300.0000	± 5.18	0.00	0.0000	NAI	-29.20	± 9.61	OXI
1	3	133.41	0.0000	± 7.31	± 4.80	115.2702	NAI	-24.66	± 9.71	NAI
1	4	222.03	308.3295	± 14.25	± 6.28	104.6799	NAI	-59.75	± 13.15	NAI
1	5	61.55	124.4531	± 7.85	± 5.83	137.9669	NAI	-20.99	± 7.52	NAI
2	3	38.63	311.7503	± 7.04	± 3.80	23.9637	NAI	4.54	± 18.52	OXI
2	4	126.52	315.6335	± 14.29	± 6.77	69.4924	NAI	-30.55	± 19.93	NAI
2	5	169.95	107.5943	± 8.22	± 5.88	77.3799	NAI	8.21	± 13.24	OXI
3	4	94.22	314.4630	± 9.58	± 6.15	82.9974	NAI	-35.09	± 20.64	NAI
3	5	169.48	103.5460	± 10.54	± 6.72	105.5305	NAI	3.67	± 13.15	OXI
4	5	245.37	304.2807	± 16.50	± 8.51	104.5851	NAI	38.76	15.75	NAI

Πίνακας Γ.11: Στοιχεία ελλείψεων σφάλματος σχετικής μετακίνησης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Δ"

Θεμελιώδεις Έννοιες της Γεωδαιτικής Αστρονομίας

Ως αστρονομικό αζιμούθιο A_{AB} μιας διεύθυνσης AB ορίζεται το μέτρο της διέδρης γωνίας μεταξύ των δύο επιπέδων που περιέχουν την κατακόρυφο στο σημείο A, που το ένα είναι παράλληλο προς τον άξονα περιστροφής της Γης, ενώ το άλλο περιέχει το σημείο B. Ουσιαστικά, αποτελεί τη γωνία που ορίζεται μεταξύ του αστρονομικού μεσημβρινού που περιέχει το A και του κατακόρυφου επιπέδου στο A που περιέχει το B. Η μέτρηση του αστρονομικού αζιμούθιου γίνεται στο οριζόντιο επίπεδο με αφετηρία τη διεύθυνση του αστρονομικού Βορρά και φορά δεξιόστροφη προς την Ανατολή (σχήμα Δ.1).



Σχήμα Δ.1: Το αστρονομικό αζιμούθιο [Λάμπρου Ε., 2003]

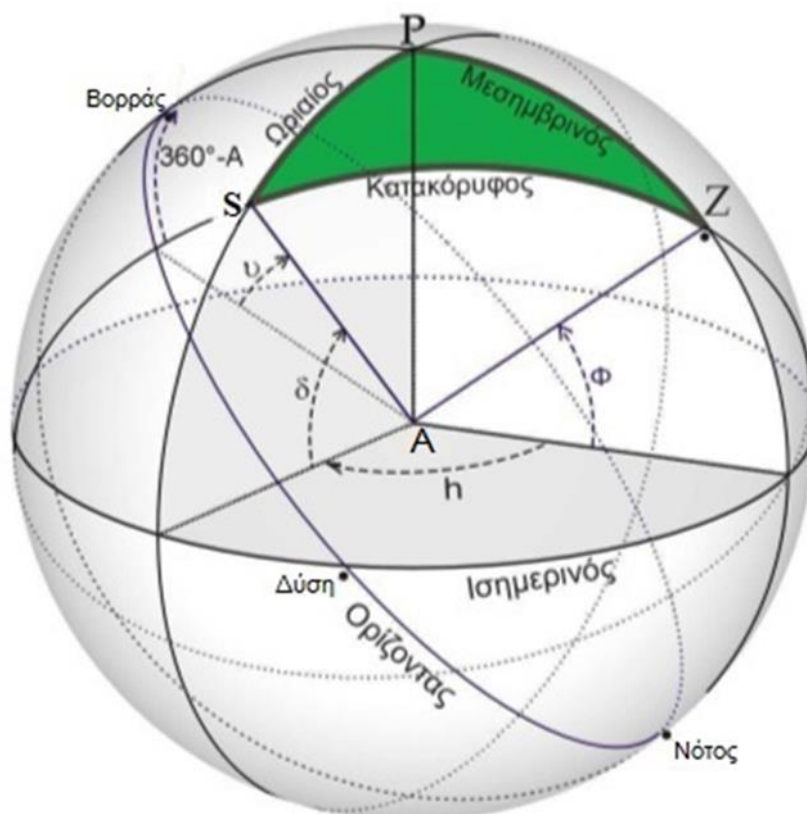
Η σχέση που ορίζει, σύμφωνα με το ίδιο σχήμα, το αστρονομικό αζιμούθιο μίας διεύθυνσης AB είναι η ακόλουθη:

$$A_{AB} = A_S + x \quad (\Delta.1)$$

όπου: A_S , το αζιμούθιο ενός ουρανίου σώματος S, για δεδομένη χρονική στιγμή.

x , η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του κατακόρυφου κύκλου του B και του κατακόρυφου κύκλου ενός ουρανίου σώματος S , για την ίδια χρονική στιγμή.

Θεωρητικά, το αζιμούθιο A_{AB} θα μπορούσε να μετρηθεί απευθείας, εάν υλοποιούνταν στο πεδίο άμεσα η διεύθυνση του μεσημβρινού, κάτι που δεν ισχύει. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό του αζιμούθιου υφίστανται δύο εναλλακτικές επιλογές, είτε να γίνει ο προσδιορισμός της διεύθυνσης του μεσημβρινού, είτε να υπολογιστεί το αζιμούθιο A_S ενός ουρανίου σώματος S σε δεδομένη χρονική στιγμή και να μετρηθεί ταυτόχρονα η γωνία x που σχηματίζεται μεταξύ του κατακόρυφου κύκλου του B και του κατακόρυφου κύκλου του ουρανίου σώματος. Συνήθως, υλοποιείται η δεύτερη εναλλακτική επιλογή, με εξαίρεση την περίπτωση προσεγγιστικού προσανατολισμού, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η πρώτη εναλλακτική με ικανοποιητικά αποτελέσματα [Κορακίτης P., 2008].

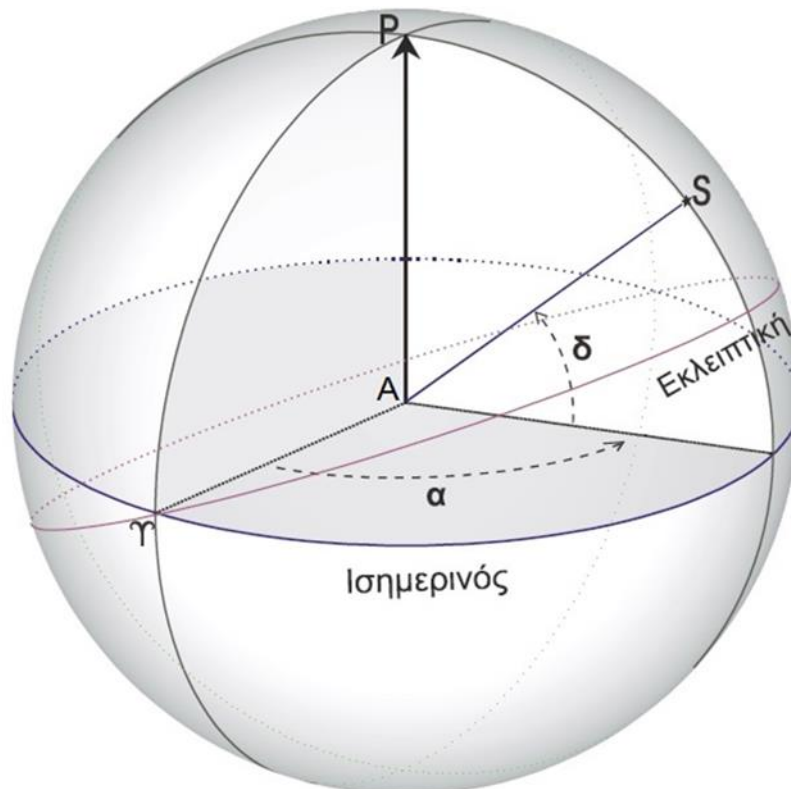


Σχήμα Δ.2: Τρίγωνο θέσης ενός αστέρα S [Τσονάκας N., 2007]

Ο προσδιορισμός του αζιμούθιου A_S ενός αστέρα S υλοποιείται με χρήση του τριγώνου θέσης που σχηματίζει, ως σχήμα Δ.2. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να είναι ήδη γνωστό το αστρονομικό πλάτος Φ του σημείου A (σημείο στάσης), η απόκλιση δ του αστέρα S , ενώ θα πρέπει να μετρηθεί είτε η ωριαία γωνία h , είτε η ζενίθια απόσταση z ή

αλλιώς κατακόρυφη γωνία z , για δεδομένη χρονική στιγμή. Στη μέτρηση της ωριαίας γωνίας θα πρέπει να είναι γνωστό το αστρονομικό μήκος Λ του τόπου, η ορθή αναφορά α του αστέρα S και η χρονική στιγμή της παρατήρησης. Στη μέτρηση της ζενίθιας απόστασης z , θα πρέπει να μετρηθούν επίσης οι μετεωρολογικές συνθήκες προκειμένου να εξαλειφθεί η επίδραση της αστρονομικής διάθλασης [Κορακίτης P., 2008]. Για την μέτρηση της ζενίθιας απόστασης z δεν θα ακολουθήσει περαιτέρω ανάλυση διότι δεν χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Όσον αφορά στον προσδιορισμό του αζιμούθιου από την ωριαία γωνία ενός αστέρα, είναι απαραίτητο να διευκρινισθεί ότι η γωνία αυτή δεν μετριέται κατευθείαν και το μέγεθος που μετριέται είναι ο χρόνος κατά τη στιγμή της διάβασης του αστέρα από το κατακόρυφο νήμα, ήτοι όταν ο αστέρας διέρχεται από γνωστή οριζόντια ανάγνωση [Κορακίτης P., 2008].



Σχήμα Δ.3: Η ορθή αναφορά και η απόκλιση ενός αστέρα S [Κορακίτης P., 2008]

Στην περίπτωση αυτή η ωριαία γωνία θα δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$h = \theta + \Lambda - \alpha \quad (\Delta.2)$$

όπου: h , η ωριαία γωνία (hour angle) του αστέρα S , που ορίζεται ως η διέδρη γωνία μεταξύ του αστρονομικού μεσημβρινού που περνά από το σημείο παρατήρησης και του ωριαίου κύκλου της διεύθυνσης παρατήρησης, ήτοι του ωριαίου κύκλου του αστέρα S , ως σχήμα Δ.2. Η ωριαία γωνία μετριέται κατά την ανάδρομη φορά και παίρνει τιμές από 0h ως 24h [Κορακίτης P., 2008].

θ , ο αστρικός χρόνος Greenwich κατά τη στιγμή της παρατήρησης ($\theta = \theta_0 \text{hUT} + \text{UTC} \cdot t$) [Κορακίτης P., 2008].

A , το αστρονομικό μήκος (astronomical longitude) του τόπου, που ορίζεται ως η διέδρη γωνία μεταξύ του πρωτεύοντος μεσημβρινού και του μεσημβρινού του τόπου, ενώ μετριέται κατά την ορθή φορά από 0° ως 360° [Κορακίτης P., 2008].

α , η ορθή αναφορά του αστέρα S , που ορίζεται ως η διέδρη γωνία μεταξύ του ωριαίου κύκλου που περνά από το Εαρινό Ισημερινό σημείο του Κριού (Υ) και του ωριαίου κύκλου του αστέρα S , ως σχήμα Δ.3. Η ορθή αναφορά μετριέται σε συμβατικές μονάδες γωνίας που ονομάζονται ώρες, με εύρος από 0h έως 24h και κατά την ορθή φορά, δηλαδή αντίθετα από τους δείκτες του ρολογιού, όπως παρατηρεί κανείς την ουράνια σφαίρα πάνω από τον Βόρειο Πόλο του ουρανού [Κορακίτης P., 2008].

Τελικά, το αστρονομικό αζιμούθιο A_S του αστέρα S , ως σχήμα Δ.1, προκύπτει έπειτα από επίλυση του τριγώνου θέσης PSZ , ως σχήμα Δ.2 και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση [Bhattacharji J. C., 1960]:

$$\cot A_S = \frac{\cos \Phi \cdot \tan \delta - \cosh \cdot \sin \Phi}{-\sinh} \quad (6.14)$$

όπου: P , ο Βόρειος Πόλος,

όπου: P , ο Βόρειος Πόλος,

Z , το ζενίθ του τόπου,

S , ο αστέρας που παρατηρείται,

δ , η απόκλιση (declination) του αστέρα, η οποία μετριέται πάνω στον ωριαίο του αστέρα S , από τον Ισημερινό μέχρι τον αστέρα και είναι το μέτρο ενός τόξου του ωριαίου. Η απόκλιση μετριέται στο Βόρειο ημισφαίριο του ουρανού από 0° έως $+90^\circ$ προς τον Βόρειο Πόλο και στο Νότιο ημισφαίριο του ουρανού από 0° έως -90° προς τον Νότιο Πόλο [Κορακίτης P., 2008],

Φ , το αστρονομικό πλάτος (astronomical latitude) του τόπου, το οποίο μετριέται πάνω στον μεσημβρινό του τόπου, από τον Ισημερινό μέχρι το ζενίθ, ήτοι είναι το μέτρο ενός τόξου του μεσημβρινού. Το

πλάτος μετριέται από 0° έως $+90^\circ$ προς τον Βόρειο Πόλο και από 0° έως -90° προς τον Νότιο Πόλο [Κορακίτης P., 2008],

h , η ωριαία γωνία του αστέρα.

Όσον αφορά στην ακρίβεια της μεθόδου της ωριαίας γωνίας, αυτή εξαρτάται από την ακρίβεια των αστρονομικών συντεταγμένων (Φ , A) του σημείου A, των ουρανογραφικών συντεταγμένων (α , δ) του αστέρα S και του χρόνου παρατήρησης [Τσονάκας N., 2007].

Θεωρώντας ότι οι ουρανογραφικές συντεταγμένες (α , δ) του αστέρα S είναι γνωστές με μεγάλη ακρίβεια, προκύπτει ότι η αβεβαιότητα προσδιορισμού του αζιμούθιου A_S προκύπτει με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση (Δ.3), οπότε ισχύει [Λάμπρου E., 2003]:

$$\sigma_{A_S} = \pm \sqrt{\sigma_{A_\Phi}^2 + \sigma_{A_h}^2} \quad (\Delta.4)$$

ή

$$\sigma_{A_S} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial \Phi}\right)^2 \cdot \sigma_\Phi^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial h}\right)^2 \cdot \sigma_h^2} \quad (\Delta.5)$$

ή

$$\sigma_{A_S} = \pm \sqrt{(\sin A_S \cdot \cot z)^2 \cdot \sigma_\Phi^2 + [\cos \Phi \cdot (\tan \Phi - \cos A_S \cdot \cot z)]^2 \cdot \sigma_h^2} \quad (\Delta.6)$$

όπου: σ_{A_Φ} , το σφάλμα εξαιτίας του αστρονομικού πλάτους Φ ,

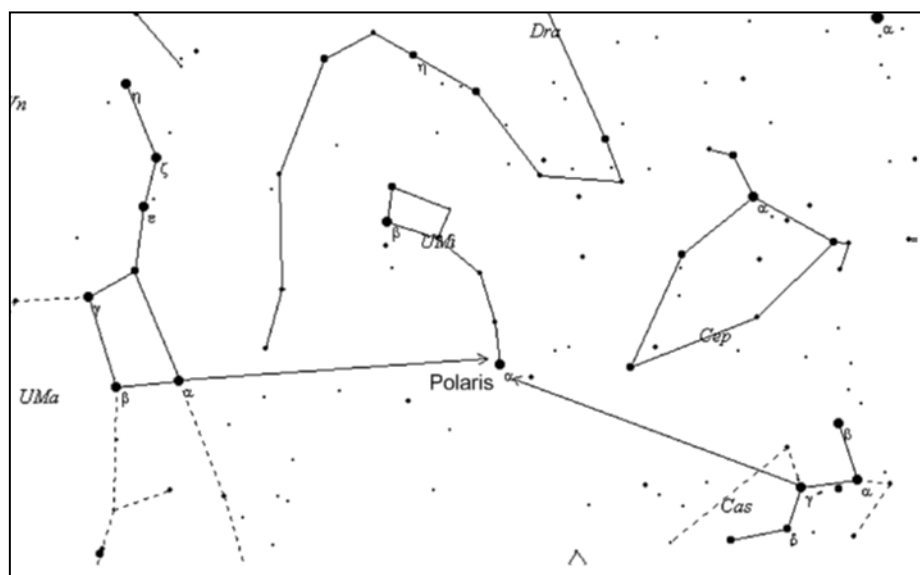
σ_{A_h} , το σφάλμα εξαιτίας της ωριαίας γωνίας h .

Συνήθως για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου εάν δεν είναι γνωστές οι αστρονομικές συντεταγμένες (A , Φ) χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχες γεωδαιτικές συντεταγμένες (λ , φ). Η επίδραση των διαφορών δ_Φ ($\varphi - \Phi$) και δ_λ ($\lambda - A$) στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου προσδιορίζεται από τη διερεύνηση της σχέσης (Δ.6). Ειδικότερα, η επίδραση της δ_Φ εξαρτάται από το ύψος στο οποίο παρατηρείται ο αστέρας παρατήρησης. Όταν για παράδειγμα, στην ελληνική επικράτεια παρατηρείται ο Πολικός Αστέρας, που βρίσκεται σε μεσαίο πλάτος ($\varphi \cong 38^\circ$), με ζηνίθια απόσταση $z \cong 52^\circ$ και μέγιστο κατά απόλυτη τιμή αζιμούθιο $\cong 1^\circ$, τότε η επίδραση της δ_Φ στο σφάλμα του αζιμούθιου είναι αμελητέα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι εάν η δ_Φ κυμαίνεται από $\pm 5''$ έως $\pm 20''$, τότε η επίδραση της δ_Φ στον προσδιορισμό του αστρονομικού

αζιμούθιου κυμαίνεται από $\pm 0''.07$ ($\pm 0.2^c$) έως $\pm 0''.27$ ($\pm 0.8^c$). Αντίστοιχα η επίδραση της δ_λ στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμούθιου όταν παρατηρείται ο Πολικός Αστéρας από την ελληνική επικράτεια είναι μικρή, καθόσον η επίδραση του όρου ($\tan\Phi - \cos A \cdot S \cdot \cot z$) είναι $\cong 1 \cdot 10^{-4}$. Συνεπώς, η επίδραση του σφάλματος σ_h , που στην ουσία εκφράζει την δ_λ , στο σφάλμα του αζιμούθιου είναι μικρή. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι εάν η δ_λ είναι $\pm 20''$ και ισχύουν οι ανωτέρω τιμές για τα μεγέθη Φ και z , τότε η επίδραση του σφάλματος στο αστρονομικό αζιμούθιο είναι ίσο με $\pm 6^c \cdot 10^{-3}$ [Λάμπρου Ε., 2003].

Όπως προαναφέρθηκε, στην Ελλάδα όπως και σε περιοχές που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και έχουν γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχο με του ελληνικού χώρου, ως αστέρας παρατήρησης S , επιλέγεται τις περισσότερες φορές ο Πολικός Αστéρας (α *Ursa Minoris* ή *Polaris* - α *UMi*), διότι [Λάμπρου Ε., 2003]:

- Αναγνωρίζεται πολύ εύκολα.
- Το αζιμούθιό του έχει απόλυτη τιμή κοντά στο 0, περίπου 1° . Όταν μάλιστα, η ζενίθια απόστασή του είναι μεγάλη, όπως παρατηρείται σε μικρά και μεσαία πλάτη, τότε η επίδραση στο σφάλμα του αζιμούθιου, σφαλμάτων που τυχόν υπάρχουν στο πλάτος (δ_ϕ) είναι πολύ μικρή [Κορακίτης Ρ., 2008].
- Κινείται πολύ αργά σε σχέση με άλλα αστέρια με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η σκόπευσή του.
- Έχει αρκετή λαμπρότητα (μέγεθος περίπου 2).



Σχήμα Δ.4: Σκαρίφημα Πολικού Αστéρα [Κορακίτης Ρ., 2008]

Για τον εντοπισμό του πολικού αστέρα στον έναστρο ουρανό, ως σχήμα Δ.4, χρησιμοποιούνται οι γειτνιαζόντες αιφανείς αστερισμοί της

Μεγάλης Άρκτου (*UMa*) και της Κασσιόπης (*Cas*). Ειδικότερα, η Μεγάλη Άρκτος αναγνωρίζεται εύκολα διότι το σχήμα της προσομοιάζει με εκείνο μίας κατσαρόλας. Εάν κάποιος προεκτείνει το ευθύγραμμο τμήμα που ορίζεται από τον αστέρα β προς τον αστέρα α της Μεγάλης Άρκτου κατά πέντε περίπου φορές, τότε θα διακρίνει στη θέση αυτή τον Πολικό Αστέρα καθόσον είναι ο τελευταίος και πιο ευδιάκριτος αστέρας του αστερισμού της Μικρής Άρκτου. Αντίστοιχα, η Κασσιόπη αναγνωρίζεται εύκολα διότι το σχήμα της προσομοιάζει με το γράμμα **W** του λατινικού αλφαβήτου. Εάν κάποιος προεκτείνει την ευθεία που ξεκινά από τον κεντρικό αστέρα γ του **W** και είναι περίπου κάθετη στην ευθεία που ορίζουν οι αστέρες δ και α , τότε θα οδηγηθεί στη θέση του Πολικού Αστέρα, αναγνωρίζοντάς τον από τις ιδιότητες που προαναφέρθηκαν [Κορακίτης P., 2008].

Επιλύσεις παρατηρήσεων Πολικού Αστήρα με τη μέθοδο Remote Survey

Ημερομηνία Παρατήρησης	10 Σεπτεμβρίου 2020 (9/10/2020)	
Σημείο Παρατήρησης	S1	
Σημείο Μηδενισμού		
Γωνία Μηδενισμού (g)	0.00152	
Σφάλμα Μηδενισμού (cc)	3.38	
Γεωγραφικό Πλάτος Φ	37° 58' 30"	
Γεωγραφικό Μήκος Λ	23° 46' 39"	
(00hUT) 10/9/2020	23h 17min 56.706sec	
Ορθή Αναφορά (α) 9/9/2020	2h 57min 27.208sec	
Ορθή Αναφορά (α) 9/10/2020	2h 57min 29.201sec	
Ορθή Αναφορά (α) 9/11/2020	2h 57min 31.18sec	
Απόκλιση (δ) 9/10/2020	89° 20' 43.35"	
Απόκλιση (δ) 9/11/2020	89° 20' 43.592"	
Μέσος όρος αστρονομικού αζιμούθιου S1-(g)	123.47165	
Τελικό σφάλμα (cc)	3.531	
Αριθμός σκοπεύσεων	21	
Αύξων αριθμός σκόπευσης	Αζιμ. διεύθ. (g)	Υπόλοιπο (cc)
1	123.4718	2
2	123.4722	6
3	123.471	-6
4	123.4725	9
5	123.4715	-1
6	123.4712	-4
7	123.4716	
8	123.4721	5
9	123.4716	
10	123.4716	
11	123.4716	
12	123.4713	-3
13	123.4713	-3
14	123.4717	1
15	123.471	-6
16	123.4712	-4
17	123.4717	1
18	123.4726	10
19	123.4713	-3
20	123.4718	2
21	123.4709	-7

Πίνακας Δ.1: Επίλυση παρατηρήσεων Πολικού Αστήρα μέσω τηλεσκοπίου

Ημερομηνία Παρατήρησης	10 Σεπτεμβρίου 2020 (9/10/2020)
Σημείο Παρατήρησης	S1

Σημείο Μηδενισμού		
Γωνία Μηδενισμού (g)	0.00096	
Σφάλμα Μηδενισμού (cc)	3.77	
Γεωγραφικό Πλάτος Φ	37° 58' 30"	
Γεωγραφικό Μήκος Λ	23° 46' 39"	
(θ0hUT) 10/9/2020	23h 17min 56.706sec	
Ορθή Αναφορά 9/9/2020	2h 57min 27.208sec	
Ορθή Αναφορά 9/10/2020	2h 57min 29.201sec	
Ορθή Αναφορά 9/11/2020	2h 57min 31.18sec	
Απόκλιση 9/10/2020	89° 20' 43.35"	
Απόκλιση 9/11/2020	89° 20' 43.592"	
Μέσος όρος αστρονομικού αζιμούθιου S1-(g)	123.47213	
Τελικό σφάλμα (cc)	3.908	
Αριθμός σκοπεύσεων	22	
Αύξων αριθμός σκόπευσης	Αζιμ. διεύθ. (g)	Υπόλοιπο (cc)
1	123.4723	2
2	123.4732	11
3	123.4728	7
4	123.4726	5
5	123.4717	-4
6	123.4719	-2
7	123.4722	1
8	123.4717	-4
9	123.4717	-4
10	123.4722	1
11	123.4723	2
12	123.4723	2
13	123.4714	-7
14	123.4724	3
15	123.4719	-2
16	123.4714	-7
17	123.4717	-4
18	123.4716	-5
19	123.4729	8
20	123.4722	1
21	123.4719	-2
22	123.4718	-3

Πίνακας Δ.2: Επίλυση παρατηρήσεων Πολικού Αστέρη με τη μέθοδο Remote Survey