

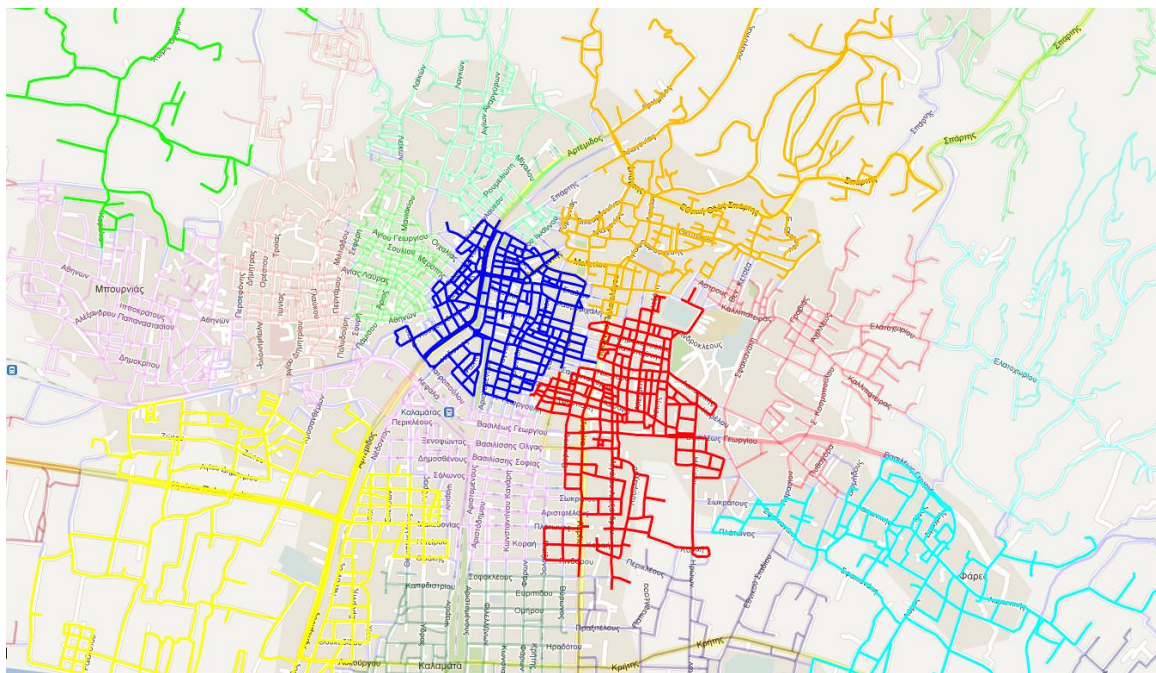


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**«Παραμετροποίηση του προβλήματος
βελτιστοποίησης του συστήματος καταμέτρησης των
εταιρειών κοινής ωφελείας»**



Διπλωματική Εργασία
Βασίλειος Γ. Χατζής
Μάρτιος 2012

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλειος Βεσκούκης

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
2 ΘΕΩΡΙΑ ΓΡΑΦΩΝ	14
2.1 Εισαγωγή.....	14
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	15
2.2.1 Το πρόβλημα των Επτά γεφυρών του Königsberg.....	15
2.2.2 Το πρόβλημα του χρωματισμού των χαρτών.....	17
2.2.3 Σημεία και τόξα.....	18
2.3 Περί γραφημάτων – εισαγωγικές έννοιες.....	19
3 ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	23
3.1 XML.....	23
3.1.1 Εισαγωγή.....	23
3.1.2 Βασική ορολογία.....	24
3.1.3 Ιστορία της XML.....	25
3.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της XML.....	26
3.2 KML.....	26
3.2.1 Εισαγωγή.....	26
3.2.2 Βασικά αρχεία KML.....	27
3.2.3 Συστατικά μέρη ενός KML αρχείου.....	29
3.2.4 Περιγραφική HTML στα Placemarks.....	37
3.2.5 Διαδρομές – Paths.....	38
3.2.6 Γεωμετρία.....	39
4 Η ΓΛΩΣΣΑ PHP ΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ SCRIPTS	40
4.1 Τι είναι η PHP.....	40
4.2 Ιστορία της PHP.....	40
4.3 Σύνδεση με HTML.....	41
4.4 Η Διεργασία και η Μεταγλώττιση.....	41
4.5 Πώς γράφεται η PHP.....	42
4.6 Πώς δουλεύει η PHP.....	42
4.7 Δυνατότητες της PHP.....	42
4.8 Παραδείγματα PHP.....	44
5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	48
5.1 Οριοθέτηση.....	48

5.2	Στρατηγική αντιμετώπισης	49
5.3	Αλγόριθμος ισοδύναμης διαμέρισης δικτύου	50
5.3.1	Προβλήματα Διακριτής Αριστοποίησης	52
5.3.2	Κατασκευαστικοί Αλγόριθμοι.....	54
5.3.3	Διαδικασίες πολλαπλής εκκίνησης	55
5.3.4	Τοπική Έρευνα	57
5.3.5	Γειτονιά και Δομές Γειτονιάς	57
5.3.6	Αποτελεσματική Δημιουργία Γειτονιάς.....	58
5.3.7	Αλγόριθμοι Τοπικής Έρευνας	63
5.3.8	Εφαρμογή στο πρόβλημα του p-Κέντρου	64
5.4	Υπολογισμός "ισοδυσμάτων αποστάσεων" λόγω κλίσεων στην περιοχή μελέτης.....	65
5.4.1	Περιοχή Υπολογισμών.....	65
5.4.2	Παράμετροι Υπολογισμών	66
5.5	Υπολογισμός αποστάσεων μεταξύ των σημείων	68
5.6	Υποθετικές παραδοχές χωρικής κατανομής μετρητών.....	68
5.7	Μοντέλα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν	69
5.7.1	XML εισόδου (οδικό δίκτυο)	69
5.7.2	Εμπλουτισμένο μοντέλο δεδομένων XML	71
5.7.3	Μοντέλο δεδομένων XML με αποτελέσματα αλγορίθμου	74
5.7.4	Αρχεία KML για εμφάνιση αποτελεσμάτων	75
6	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΟΥ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ	79
6.1	Λειτουργίες	79
6.1.1	Λειτουργία 1	79
6.1.2	Λειτουργία 2	80
6.1.3	Λειτουργία 3	81
6.1.4	Λειτουργία 4	81
6.2	Μονάδες λογισμικού – συναρτήσεις	82
6.3	Διάγραμμα συναρτήσεων.....	83
7	ΕΚΤΕΛΕΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	84
7.1	Σενάρια εκτέλεσης.....	84
7.2	Προβλήματα και Παραδοχές.....	86
7.2.1	Υπολογισμός Μήκους.....	86
7.2.2	Παραδοχή Σταθερής Κλίσης	86
7.2.3	Πλήθος – κατανομή μετρητών	87
7.2.4	Επίδραση κλίσης στη διάσχιση διαδρομής	88
7.2.5	Επίδραση πλήθους και κατανομής μετρητών στη διάσχιση διαδρομής.....	88
7.3	Αποτελέσματα	88
7.3.1	Πίνακες ανά σενάριο.....	89
7.3.2	Διαγράμματα ανά σενάριο.....	91

7.3.3	Επιλεγμένοι χάρτες ανά σενάριο	94
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	111
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαμέριση ενός αστικού οδικού δικτύου, για την καταγραφή των μετρήσεων από καταμετρητές της εταιρείας κοινής ωφέλειας, με σκοπό την βελτιστοποίηση του τρόπου καταμέτρησης των εταιρειών κοινής ωφέλειας, όταν αυτή γίνεται με το χέρι και όχι με τεχνικές τηλεμετρίας.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε ένα πραγματικό οδικό δίκτυο, αυτό της ευρύτερης περιοχής της Καλαμάτας, σε συνδυασμό με υποθετικά στοιχεία πυκνότητας μετρητών, προκειμένου να αναδείξουμε τα χαρακτηριστικά της προσέγγισής μας και όχι να λύσουμε το πρόβλημα βελτιστοποίησης της καταμέτρησης στη συγκεκριμένη περιοχή.

Μελετήσαμε τρία (3) διαφορετικά σενάρια. Το πρώτο σενάριο περιελάμβανε μόνο την ευκλείδια απόσταση των τμημάτων δρόμου. Ουσιαστικά στην περίπτωση αυτή η διάσχιση δεν επιβαρύνεται από κάποιον παράγοντα. Το δεύτερο σενάριο, εκτός της ευκλείδιας απόστασης, περιελάμβανε επίσης την επιβάρυνση του μήκους του τμήματος λόγω κλίσης. Εξαρτώμενο από την κλίση του εκάστοτε τμήματος δρόμου, δημιουργήθηκε το ισοδύναμο μήκος δρόμου σε κάθε περίπτωση. Το τρίτο σενάριο εκτός των δύο πρώτων, περιελάμβανε και την πυκνότητα – κατανομή μετρητών της εταιρείας κοινής ωφέλειας. Μη έχοντας πραγματικά δεδομένα, παράξαμε εμείς το πλήθος των μετρητών, και κάναμε τη μελέτη για δύο ξεχωριστές περιπτώσεις. Η πρώτη περιελάμβανε τυχαία κατανομή των μετρητών στην προς μελέτη περιοχή, κάτι που στατιστικά ανάγεται σε ομοιόμορφη κατανομή. Στη δεύτερη περίπτωση χωρίσαμε την περιοχή μας σε τέσσερις υπο-περιοχές διαφορετικής πυκνότητας μετρητών. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε για να αναδειχτεί το κατά πόσο επηρεάζει η κατανομή των μετρητών τη διαμέριση του οδικού δικτύου για τη διαδικασία καταμέτρησής τους, παρά τη στατιστική ομοιότητα των αποτελεσμάτων με αυτά της τυχαίας κατανομής.

Τα αποτελέσματα που εξάγαμε θα φανούν χρήσιμα για τη βελτιστοποίηση του προβλήματος της καταμέτρησης των εταιρειών κοινής ωφέλειας, διότι αναδεικνύουν την επίδραση της ύπαρξης κλίσης και των μετρητών στον υπολογισμό μιας "δίκαιης" βέλτιστης διαμέρισης για την καταμέτρηση, η οποία να περιλαμβάνει τμήματα του δικτύου που απαιτούν σχεδόν ισοδύναμη εργασία καταμέτρησης. Επίσης, ο μηχανισμός που χρησιμοποιήσαμε δίνει μία προσεγγιστική λύση στην κρίσιμη απόφαση του πλήθους των συνεργείων καταμέτρησης που χρειάζεται μία εταιρεία στο ενεργητικό της, η οποία, ωστόσο, είναι εκτός εμβέλειας της εργασίας αυτής.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο από εταιρείες κοινής ωφέλειας για την καταμέτρησή τους, αλλά και σε άλλα συναφή προβλήματα που η χωρική διαμέριση ενός οδικού δικτύου έχει νόημα να γίνεται όχι μόνο με κριτήριο το ευκλείδιο μήκος του, αλλά και άλλα στοιχεία, όπως οι πυκνότητες πληθυσμών, οπότε μπορούμε να μιλάμε για τομείς όπως η διανομή (πχ από μία εταιρεία διανομής κατ' οίκον), η μετακίνηση από «εσωτερικά» δημοτικά Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, και άλλες εφαρμογές που επιδέχονται "βέλτιστη" λύση.

ABSTRACT

The aim of this undergraduate degree project was to investigate the parameters influencing the spatial division of an urban road network for recordings by common utilities-companies, in order to optimize the company's recording methods as these are manual and not by telemetry.

Specifically, we used an existing road network, that of the Kalamata region, in combination with hypothetical recorder densities, to highlight the characteristics and use of our approach, and not to solve any problems associated with the optimization of the recordings in the particular region.

We studied three (3) different scenarios: The first scenario included only the eukleidian distance between parts of the road. Basically, in this case the crossing is parameter (factor)-independent. The second scenario, in addition to the eukleidian distance, included the slope of a part of a road. The equivalent road distance was generated based on the road slope. The third scenario, in addition to the former two factors, included the density - distribution of the recorders employed by common utilities-companies. In the absence of existing data, we generated a number of recorders and performed the analysis in two different cases. The first case included the random distribution of the recorders in the region under study, which statistically presents a uniform distribution. In the second case, we divided the region under study in four sub-regions of different recorder densities. This division was done to investigate how the distribution of the recorders influences the division of the road network for the purpose of evaluating the process of recording, despite the statistical resemblance of the results with those of the random distribution.

Our results and conclusions will be useful for reducing the problems arising from the recording methods employed by the common utilities-companies, because they take into account the slope of the road and the recorders as factors influencing the evaluation of a 'fair' optimized division for the measurements, which would include parts of the road network requiring almost an equivalent workload for recording. In addition, the mechanism we employed gives an approximate solution to the critical decision taken by the number of recording operators involved and needed by the company implicated, which, however, is indirectly involved in such an operation.

This specific application can be used not only by the common utilities-companies for their recordings, but also in other related problems of the spatial division of an urban road network that can be improved, not only on the basis of its eukleidian length, but also on other criteria such as the population density. These can be extended to other sectors such as the distribution (e.g., by a delivery/courier company), the internal public transportation and additional activities/applications which need further improvement.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν την παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθανομαι τόσο την ανάγκη όσο και την υποχρέωση να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που κατείχαν πολύ σημαντικό ρόλο κατά την υλοποίησή της.

Πρώτον από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή Βασίλειο Βεσκούκη, για την πολύτιμη συμβολή και καθοδήγησή του, την υπομονή του, την εμπιστοσύνη και την εκτίμηση που έδειξε στο πρόσωπό μου, αλλά και τη συνέπεια και την άψογη συνεργασία καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την ηθική, και όχι μόνο, συμπαράσταση που μου παρείχαν όλο αυτό τον καιρό για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, δε μπορώ να ξεχάσω τους φίλους μου, που με τον τρόπο τους και αυτοί μου στάθηκαν σε αυτή την «γεμάτη» περίοδο της ζωής μου.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες των εταιρειών κοινής ωφέλειας (εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης, παροχής φυσικού αερίου) είναι να αποστέλλουν καθημερινά εργαζόμενους (καταμετρητές) για να λαμβάνουν τις ενδείξεις από μετρητικές συσκευές (μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, νερού φυσικού αερίου), οι οποίες βρίσκονται εγκατεστημένες, σε σταθερά σημεία, στις ιδιοκτησίες των καταναλωτών (π.χ. οικίες, επιχειρήσεις, γραφεία καταστήματα κ.λπ.), σε ευρεία γεωγραφική περιοχή, προκειμένου να προσδιοριστεί η κατανάλωση του κάθε πελάτη και να εκδοθεί ο σχετικός λογαριασμός για τη συγκεκριμένη καταναλωτική περίοδο. Μολονότι η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει την αυτόματη λήψη των μετρήσεων με τεχνικές τηλεμετρίας, πάνω από αρκετές εναλλακτικές επιλογές δικτύων, το κόστος αντικατάστασης των μετρητών είναι απαγορευτικό, οπότε εκ των πραγμάτων η καταμέτρηση γίνεται με το χέρι. Επιπλέον, οι μεταβολές στο πελατολόγιο αυτών των εταιρειών (προσθήκη νέων πελατών λόγω επεκτάσεων δικτύου ή/και ανέγερση νέων κτιρίων, διαγραφή πελατών λόγω κατεδάφισης παλαιών κτιρίων κ.λπ.) καθιστούν αναγκαία την περιοδική ανασύνταξη των δρομολογίων που ακολουθούν, προκειμένου να λάβουν ενδείξεις από τις μετρητικές συσκευές.

Εταιρείες κοινής ωφέλειας που δεν αναπροσαρμόζουν περιοδικά τα δρομολόγια ανάγνωσης των μετρητικών τους συσκευών, συχνά καταλήγουν, με την πάροδο του χρόνου, να βρεθούν με αναποτελεσματικές διαδρομές, και, ακολούθως, με αναποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων (ανθρώπινο δυναμικό) και υψηλότερο κόστος καταμέτρησης. Είναι φανερό ότι η οργάνωση των διαδρομών με βέλτιστο τρόπο μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην έκδοση λογαριασμών και στα οικονομικά αποτελέσματα της εταιρείας, αφού η τιμολόγηση εξαρτάται από την κατανάλωση, η οποία είναι συνάρτηση του χρόνου.

Η επίλυση του προβλήματος αυτού δεν είναι τόσο απλή, όσο ίσως αρχικά φαίνεται. Πέραν της αρχής του ελάχιστου δρόμου (shortest path problem) η οποία θα πρέπει να τηρείται από τις διαδρομές και των φυσικών περιορισμών που έχουν να κάνουν με την εργασία του καταμετρητή (περιορισμοί σχετικά με τη διανυόμενη απόσταση και το πλήθος των μετρητικών συσκευών κάθε διαδρομής), ρυθμιστικές αρχές ή/και η πολιτική που ακολουθούν ορισμένες εταιρείες κοινής ωφέλειας αποτρέπουν την εκτός των στενών ορίων μεταβολή του τιμολογούμενου διαστήματος κατανάλωσης και συνακόλουθα την άνευ ορίων μετακίνηση των πελατών από μία διαδρομή σε άλλη, με συνέπεια το πρόβλημα της μείωσης του κόστους καταμέτρησης και της εξισορρόπησης του φόρτου εργασίας να γίνεται εξαιρετικά πολύπλοκο και ταυτόχρονα κρίσιμο για τις εταιρείες.

Η πλειοψηφία των εταιρειών κοινής ωφέλειας προσπαθεί να ανασυντάξει τις διαδρομές «με το χέρι», εργασία η οποία, πέραν του ότι έχει υποκειμενικά χαρακτηριστικά, είναι εξαιρετικά χρονοβόρα, απαιτεί σημαντική εμπειρία, υψηλό κόστος και ενέχει υψηλό ρίσκο, χωρίς να μπορεί κανείς να εκτιμήσει το βαθμό βελτιστοποίησης των διαδρομών καταμέτρησης, ιδιαίτερα σε μεγάλες αστικές περιοχές που διαθέτουν πυκνά οδικά δίκτυα και μεγάλες πυκνότητες καταναλωτών.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο ο οποίος ουσιαστικά χωρίζει την περιοχή μελέτης μας σε υπο-περιοχές με βάση την απόσταση των ορίων τους από «κεντρικό» κόμβο κάθε υπο-περιοχής, εξετάσαμε το πρόβλημα της βέλτιστης διαμέρισης ενός δικτύου με κριτήριο τη δίκαιη κατανομή και την αποτίμηση του φόρτου εργασίας για την καταμέτρηση. Αντικείμενό μας είναι η ανάδειξη των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διάσχιση ενός τμήματος δρόμου, για την καταγραφή των μετρήσεων από τους καταμετρητές της εταιρείας κοινής ωφέλειας, με απώτερο σκοπό την κατά το δυνατό προσέγγισή τους, καθώς θα φανούν χρήσιμοι στη βελτιστοποίηση του συστήματος καταμέτρησης των εταιρειών κοινής ωφέλειας. Χρησιμοποιήσαμε ένα πραγματικό οδικό δίκτυο, αυτό της ευρύτερης περιοχής της Καλαμάτας, σε συνδυασμό με υποθετικά στοιχεία πυκνότητας μετρητών, προκειμένου να αναδείξουμε τα χαρακτηριστικά της προσέγγισής μας και όχι να λύσουμε το πρόβλημα βελτιστοποίησης της καταμέτρησης στη συγκεκριμένη περιοχή.

Οργάνωση κειμένου

Η παρούσα εργασία οργανώνεται ως εξής:

Μέρος 1: Θεωρητικό υπόβαθρο και εργαλεία

Στο κεφάλαιο 2 δίνονται βασικά στοιχεία της θεωρίας γράφων καθώς και κάποιες εισαγωγικές έννοιες για την κατανόησή της

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μία πλήρης περιγραφή των γλωσσών περιγραφής δεδομένων XML και KML που αποτέλεσαν ισχυρά εργαλεία για την εκπόνηση της εργασίας αυτής

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται πλήρως η γλώσσα προγραμματισμού PHP και παρατίθενται παραδείγματα για τη βαθύτερη και ευκολότερη κατανόησή της.

Μέρος 2: Το πρόβλημα και η προσέγγισή μας

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται αναλυτικά ο αλγόριθμος διαμέρισης οδικού δικτύου που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η στρατηγική αντιμετώπισης του προβλήματος.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται πλήρης ανάλυση της εφαρμογής που υλοποιήθηκε καθώς και η διαδικασία υλοποίησής της

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται η εκτέλεση του προγράμματος, οι παραδοχές που γίνανε, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν και τελικώς παρατίθενται τα αποτελέσματα εκτέλεσης του προγράμματος.

Στο κεφάλαιο 8 αποτυπώνονται τα συμπεράσματα της όλης μελέτης

ΜΕΡΟΣ 1: Θεωρητικό υπόβαθρο και εργαλεία

2 ΘΕΩΡΙΑ ΓΡΑΦΩΝ

2.1 Εισαγωγή

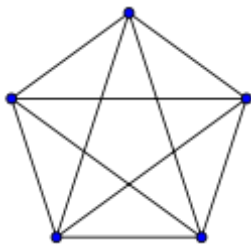
Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται μία γενική επισκόπηση της Θεωρίας των Γράφων, εισάγεται η έννοια του γραφήματος ως μοντέλου για την αναπαράσταση προβλημάτων της καθημερινότητας, γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή και παρουσιάζονται οι σχετικές με τα γραφήματα βασικές – εισαγωγικές έννοιες.

Η θεωρία γράφων είναι ένας κλάδος των Διακριτών μαθηματικών, με εφαρμογές στην Πληροφορική, τη Μηχανική, τη Χημεία και την Κοινωνιολογία. Αν και οι απαρχές της θεωρίας θεμελιώθηκαν κατά τον 18^ο αιώνα, αναπτύχθηκε μεταπολεμικά ως ιδιαίτερος κλάδος των Εφαρμοσμένων Μαθηματικών. Στα διακριτά μαθηματικά οι όροι θεωρία γραφημάτων και θεωρία γράφων χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Προτιμάται ο όρος γράφος, για ορισμένες αναγκαίες διαφοροποιήσεις όπως για παράδειγμα το γράφημα συνάρτησης. Ανάμεσα στους ποικίλους ορισμούς που απαντώνται ένας σχετικά πλήρης ορίζει πως η θεωρία γράφων είναι η μελέτη των γράφων (γραφημάτων) και των σχέσεών τους και χρησιμοποιείται ευρύτατα στην θεωρία δικτύων. Οι μαθηματικοί υπολογισμοί των γράφων στηρίζονται σε αλγόριθμους. Όσον αφορά στα δίκτυα, το διάγραμμα ενός δικτύου είναι ένας απλός κατευθυνόμενος γράφος (γράφημα), υπολογισμένος με τον κατάλληλο αλγόριθμο.

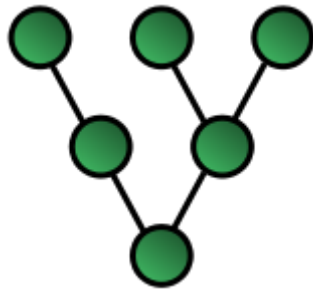
Ο γράφος στον απλούστερο ορισμό του είναι η οπτική αναπαράσταση των σχέσεων που αναπτύσσουν ορισμένες ποσότητες, σχεδιασμένες σε σχέση με ένα σύνολο αξόνων. Ένας άλλος ορισμός που κινείται στο ίδιο εννοιολογικό πλαίσιο της οπτικής αναπαράστασης αναγνωρίζει το γράφο ως απεικόνιση αποτελούμενη από ένα σύνολο σημείων (κορυφών ή κόμβων) που συνδέονται με γραμμές (ακμές). Στους κατευθυνόμενους ή προσανατολισμένους γράφους οι ακμές απεικονίζονται διανυσματικά.

Σε μία άλλη εκδοχή είναι ένα σύνολο από κόμβους (κορυφές) που ενώνονται μεταξύ τους με ακμές και ορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται οι κορυφές (κόμβοι). Αν οι ακμές προσανατολίζονται οριζόμενες από διατεταγμένα ζεύγη κόμβων, τότε ο γράφος αποκαλείται *κατευθυνόμενος*. Αν οι ακμές δεν προσανατολίζονται, οριζόμενες απλώς από διμελή σύνολα και όχι διατεταγμένα ζεύγη, τότε αποκαλείται *μη κατευθυνόμενος*. Επιπλέον στοιχεία για τον ορισμό ενός γράφου είναι η σύνδεση των ακμών του με κάποια αξία, οπότε αποκαλείται *σταθμισμένος*.

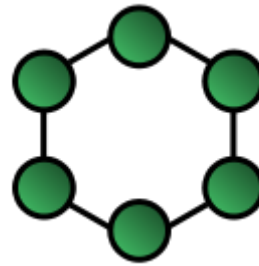
Με τη σειρά του πλήρης αποκαλείται ο γράφος που περιέχει ακμές για κάθε ζεύγος κόμβων, αραιός εκείνος που περιέχει λίγες ακμές ή αντίστροφα πυκνός.



Πλήρης γράφος με 5
Κόμβους. Κάθε κόμβος
Συνδέεται με ακμή με
Κάθε άλλο κόμβο



Άκυκλος γράφος (δέντρο)
έξι κόμβων



Κυκλικός γράφος
(δακτύλιος) έξι
κόμβων

2.2 Ιστορική αναδρομή

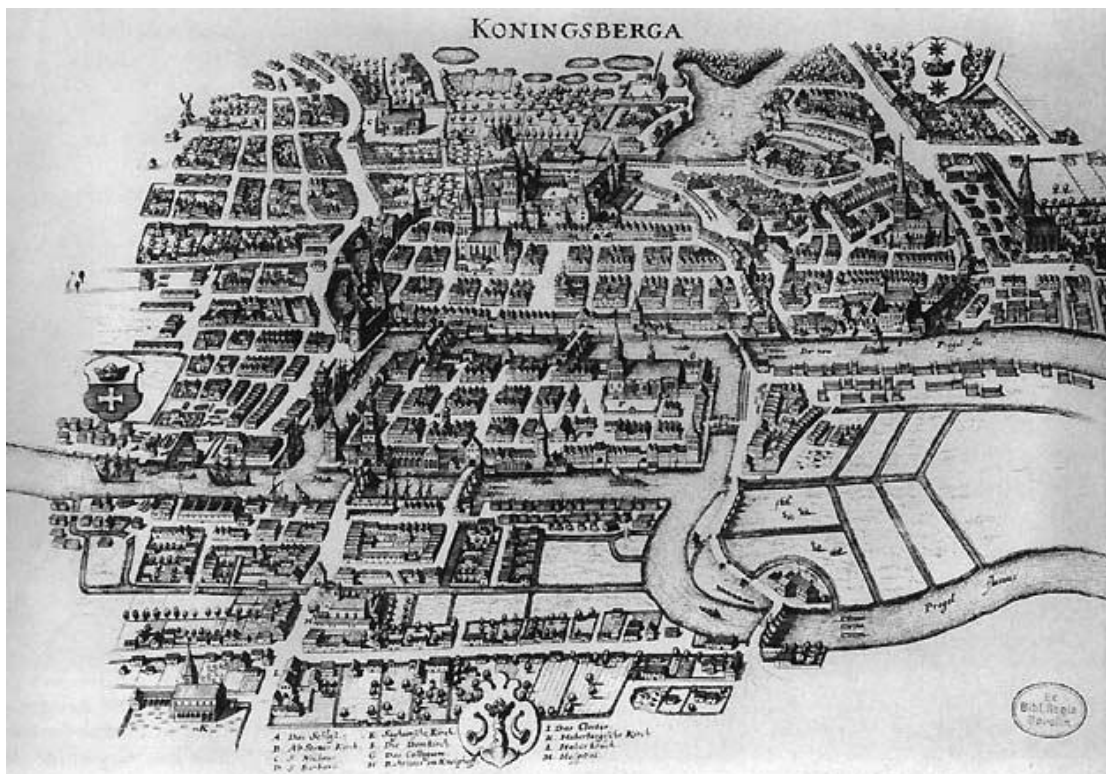
Ο W. Leibniz σε επιστολή του το 1679 προς τον C. Huygens παρατήρησε ότι *"μας χρειάζεται ένα άλλο είδος ανάλυσης γεωμετρικής ή γραμμικής, που να ασχολείται απευθείας με τη θέση, όπως η Άλγεβρα ασχολείται με το μέγεθος"*. Μάλιστα, χρησιμοποίησε τον όρο *"analysis situs"* δηλ. ανάλυση της θέσης για το είδος αυτό της ανάλυσης, το οποίο κατά καιρούς ονομάστηκε *"geometria situs"* ή *"geometry of position"* για να καταλήξει σήμερα στον όρο Θεωρία Γραφημάτων.

2.2.1 Το πρόβλημα των Επτά γεφυρών του Königsberg

Για την ιστορία της θεωρίας γράφων θεωρείται σημαντική και η μελέτη του Λέοναρντ Όιλερ για τις Επτά Γέφυρες του Κενινγκσμπεργκ το 1736. Η συγκεκριμένη δημοσίευση, όπως και εκείνη που γράφτηκε από τον Γάλλο χημικό Αλεξάντρ-Γεοφίλ Βαντερμόντ (Alexandre-Théophile Vandermonde) στο μαθηματικό πρόβλημα του Ίππου στη σκακιάρα που κατευθύνεται με την ανάλυση θέσης που εισήγαγε ο Γκότφριντ Βίλχελμ Λάιμπνιτς. Ο τύπος του Όιλερ, σχετικά με τον αριθμό των ακμών, των κορυφών και των εδρών ενός κυρτού πολυέδρου μελετήθηκε από τον Ογκιστίν Λουί Κοσί (Augustin Louis Cauchy) και τον Σιμόν Αντουάν Ζαν Λ' Ουιγιέ (Simon Antoine Jean L'Huilier) και είναι αρχή της τοπολογίας.

Σχεδόν εκατό χρόνια μετά τη μελέτη του Όιλερ και την εισαγωγή της τοπολογίας από τον Γιόχαν Μπένεντικτ Λίστινγκ (Johann Benedict Listing), Ο Άρθουρ Κέιλι μελέτησε μια ιδιαίτερη κατηγορία γράφων τα δέντρα. Η μελέτη αυτών των ιδιαίτερων γράφων είχε πολλές εφαρμογές στη θεωρητική χημεία. Οι τεχνικές που αναπτύχθηκαν είχαν να κάνουν κυρίως με την απαρίθμηση γράφων που παρουσίαζαν κάποιες ιδιαίτερες ιδιότητες. Η απαριθμητική θεωρία γράφων ήταν ένα από τα συμπεράσματα του Κέιλι και δημοσιεύτηκε από τον (Γκιόργκι) Τζορτζ Πόλια (George Pólya) μεταξύ των ετών 1935 και 1937, ενώ η γενίκευση των συμπερασμάτων εκδόθηκε από τον Νίκλας Γκόβερτ ντε Μπρούϊζν (Nicolas Govert de Bruijn) το 1959. Ο Κέιλι συνέδεσε τα συμπεράσματά του για τα δέντρα με τις σύγχρονες

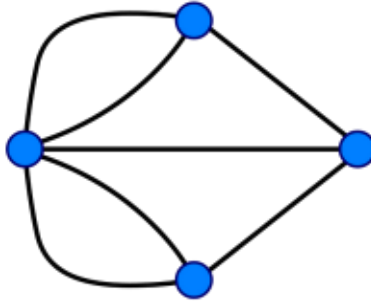
μελέτες για τη χημική σύνθεση. Η σύνθεση των μαθηματικών και των χημικών εννοιών είναι το αρχικό τμήμα της στερεότυπης (standard) ορολογίας της θεωρίας γράφων.



Εικόνα 2.1: Το πρόβλημα των Επτά Γεφυρών του Königsberg.

Στην Εικόνα 2.1 απεικονίζεται το περίφημο πρόβλημα των 7 γεφυρών του **Königsberg**, σύμφωνα με το οποίο ζητείτο να βρεθεί –εάν υπήρχε - μία διαδρομή που να διασχίζει την κάθε γέφυρα μία και μόνη φορά, ο Leonhard Euler, λύνοντας το πρόβλημα το 1735, απέδειξε ότι δεν υπάρχει τέτοια διαδρομή. Η λύση του ήταν πολύ σημαντική για μαθηματικά αφού έτσι έθεσε τα θεμέλια για τη θεωρία γραφημάτων αλλά και την ιδέα της τοπολογίας.

Το σημαντικό εννοιολογικό άλμα που πραγματοποίησε ο Euler, ήταν να συνειδητοποιήσει ότι οι πραγματικές διαστάσεις της πόλης δεν είχαν καμία σχέση με το πρόβλημα. Το πιο σημαντικό στοιχείο ήταν, το πώς συνδέονταν οι γέφυρες μεταξύ τους. Η ίδια αρχή διέπει για παράδειγμα και τον χάρτη του υπογείου του Λονδίνου: δεν είναι ένας ακριβής πραγματολογικά και φυσικά χάρτης, απλά περιέχει πληροφορίες για το πώς είναι συνδεδεμένοι οι σταθμοί. Όταν ο Euler σχεδίασε και ανέλυσε τον χάρτη του Königsberg με αυτό το τρόπο, συνειδητοποίησε ότι οι 4 περιοχές γης που συνδέονταν από τις γέφυρες, μπορούσαν να αντικατασταθούν από σημεία, ενώ οι γέφυρες από γραμμές που ένωναν τα σημεία. Το πρόβλημα λοιπόν του μοναδικού περιπάτου πάνω από όλες τις γέφυρες(και της μοναδικής λύσης στο πρόβλημα), ισοδυναμούσε με ένα πρόβλημα σχεδίασης στο χαρτί, ενός σχεδιαγράμματος, χωρίς να σηκωθεί το μολύβι από το χαρτί, αλλά και χωρίς να ζωγραφιστεί η ίδια γραμμή δύο φορές



Σχήμα 2.1: Πλήρης γράφος 4 κόμβων

Γιατί ήταν λοιπόν αδύνατο; Ο Euler συνειδητοποίησε ότι σε ένα γράφημα που το μονοπάτι θα ήταν εφικτό, κάθε σημείο που θα επισκεπτόταν το μολύβι θα έπρεπε να είχε μία γραμμή να καταλήγει και μία να ξεκινάει από αυτό. Εάν επισκεπτόσουν αυτό το σημείο ξανά, θα έπρεπε να υπάρχει μία καινούργια γέφυρα προς αυτό και από αυτό. Έτσι θα έπρεπε να υπάρχουν μόνο ζυγίοι αριθμοί γεφυρών που να ακουμπούν κάθε σημείο. Οι μόνες εξαιρέσεις αυτού κανόνα είναι η αρχή και το τέλος του μονοπατιού. Το σημείο εκκίνησης έχει μόνο μία γραμμή που ξεκινάει από αυτό και το σημείο τερματισμού μία γραμμή που καταλήγει σε αυτό. Έτσι για να είναι ένα μονοπάτι εφικτό, όχι παραπάνω από δύο σημεία(η αρχή και το τέλος) πρέπει να έχουν μονό αριθμό γραμμών. Αν όμως δούμε την κάτοψη των 7 γεφυρών του Königsberg, κάθε σημείο έχει μονό αριθμό γεφυρών που ξεπηδούν από αυτό. Για αυτό και το εν λόγω ταξίδι ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί.

2.2.2 Το πρόβλημα του χρωματισμού των χαρτών

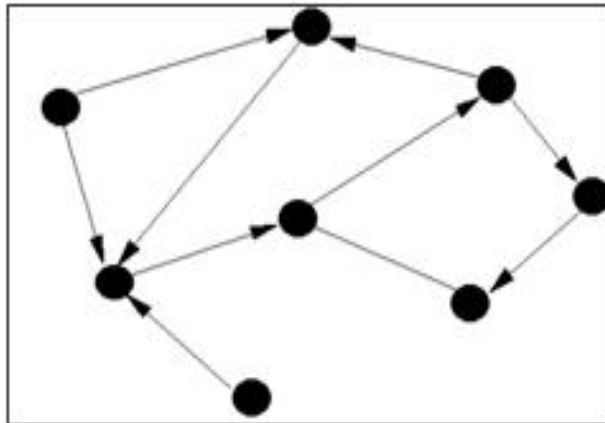
Το πρόβλημα πρωτοδιατυπώθηκε από τον Mobious το 1840 κι αφορά στη δυνατότητα χρωματισμού οποιουδήποτε χάρτη με τέσσερα μόνο χρώματα. Το σκεπτικό ήταν αντί να γίνουν διάφοροι μαθηματικοί υπολογισμοί, να γίνει μια προσπάθεια απεικόνισης του προβλήματος και μέσω της απεικόνισης αυτής να λυθεί το πρόβλημα. Είναι χαρακτηριστικό ότι μόλις το 1976 και με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και πολύπλοκων μαθηματικών υπολογισμών επιβεβαιώθηκε ότι πράγματι, τέσσερα χρώματα αρκούν για το χρωματισμό κάθε χάρτη.



Εικόνα 2.2: Το πρόβλημα του χρωματισμού των χαρτών

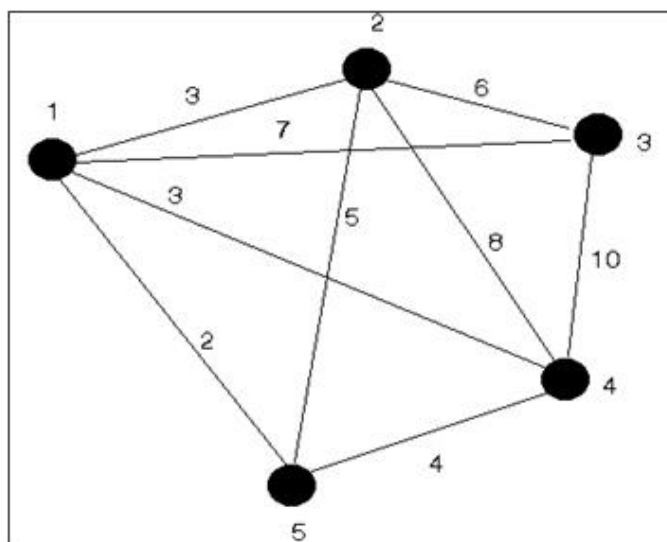
2.2.3 Σημεία και τόξα

Χρησιμοποιώντας όρους της Θεωρίας Γραφημάτων σε γενικές γραμμές κάθε γράφημα αποτελείται από μια διαδοχή από Σημεία (nodes) και Τόξα (arcs). Τα τόξα μπορούν να έχουν μια συγκεκριμένη κατεύθυνση ή όχι ανάλογα με το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται.



Σχήμα 2.2: Το πρόβλημα του χρωματισμού των χαρτών

Για να γίνει πιο κατανοητή η Θεωρία Γραφημάτων παρουσιάζεται το παρακάτω πρόβλημα: Επιδιώκεται σύνδεση τεσσάρων δεξαμενών που δεν έχουν πρόσβαση σε νερό (Δεξαμενές 1-4) με μία (Δεξαμενή 5) η οποία έχει πρόσβαση σε νερό. Οι δεξαμενές πρέπει να ενωθούν με ένα σωλήνα, οποίος θα διέρχεται από όλες. Το σχήμα (2.3) που ακολουθεί παρουσιάζει τις δεξαμενές αυτές, καθώς και το κόστος που απαιτείται για κάθε μία επιμέρους σύνδεση.



Σχήμα 2.3: Θεωρία Γραφημάτων – δείγμα

Για το λόγο ότι επιθυμείται το μικρότερο δυνατό κόστος η διαδρομή π.χ. 1-2-3-4-5-1 είναι πιο συμφέρουσα [καθώς έχει συνολικό κόστος $(3+6+10+4+2)=25$] από τη διαδρομή π.χ. 1-5-4-2-3-1 [που έχει συνολικό κόστος $(2+4+8+6+7)=27$].

Είναι φανερό ότι το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να θεωρηθεί ότι καλύπτει μια σειρά αναλόγων προβλημάτων. Η προσπάθεια λύσης αυτών με αυστηρά μαθηματικές μεθόδους είναι σαφώς πιο δαπανηρή σε σκέψη και προσφέρει λιγότερη εποπτικότητα από αυτή που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της Θεωρίας Γραφημάτων.

Ένα χαρακτηριστικό της Θεωρίας Γραφημάτων είναι το γεγονός ότι πρόκειται για μία θεωρία, η οποία μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται κάθε φορά. Πρόκειται δηλαδή για μία "εύκαμπτη" προσέγγιση του εκάστοτε προβλήματος. Αν και υπάρχουν αρκετές προσπάθειες ομαδοποίησης προβλημάτων ώστε να μπορούν να εξετασθούν πιο εύκολα, οι ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης γύρω από τη φύση του φωτός μας περιορίζουν στην συγκεκριμένη προσέγγιση που θα παρουσιασθεί στις επόμενες ενότητες.

2.3 Περί γραφημάτων – εισαγωγικές έννοιες

Ένα γράφημα $G=(V,E)$ αποτελείται από ένα σύνολο κορυφών (κόμβων) V , πλήθους $|V|$ και ένα σύνολο ακμών E που συνδέουν τις κορυφές μεταξύ τους, πλήθους $|E|$. Το γράφημα $G'=(V',E')$ λέγεται υπογράφημα του $G=(V,E)$ εάν $V' \subseteq V$ και $E' \subseteq E$. Ένα γράφημα ονομάζεται αραιό όταν το $|E|$ είναι «πολύ μικρό» συγκρινόμενο με το $|V|^2$, ενώ ονομάζεται πυκνό όταν το $|E|$ είναι συγκρίσιμο με το $|V|^2$. Μία μοναδική ετικέτα, συνήθως ένας ακέραιος, αναπαριστά κάθε κόμβο. Μια ακμή ταυτοποιείται από τις ετικέτες των κόμβων τις οποίες συνδέει. Για παράδειγμα το ζεύγος (i,j) αναπαριστά την ακμή που ενώνει τους κόμβους i,j . Μια ακμή e από έναν κόμβο i σε έναν κόμβο j συμβολίζεται σαν $e_{ij}=(i,j)$.

Οι κόμβοι εκφράζουν οντότητες οι οποίες σε διαφορετικά προβλήματα αναπαριστούν διασταυρώσεις δρόμων, πόλεις, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, θέσεις παραγωγής προϊόντων, υποκαταστήματα αλυσίδων διανομής, αποθήκες κ.λπ. Συμβολίζονται με κυκλικό ή τετράγωνο σχήμα στο εσωτερικό του οποίου υπάρχει ο κωδικός π.χ. ένας αριθμός, ένα γράμμα ή ένα όνομα το οποίο χαρακτηρίζει μοναδικά τον κόμβο. Οι κόμβοι ενώνονται με γραμμές που αποτελούν τις ακμές του γραφήματος. Οι ακμές εκφράζουν τη σχέση που υφίσταται μεταξύ των κόμβων ενός γραφήματος και αναπαριστούν, αναλόγως του προβλήματος, δρόμους, δίκτυο μεταφοράς προϊόντων, δίκτυα δεδομένων, σωλήνες ύδρευσης κ.λπ. Η σύνδεση των κόμβων με ακμές δηλώνει, αναλόγως του προβλήματος, μεταφορά εμπορευμάτων, φυσική σύνδεση με καλώδια ή αγωγούς, μετακίνηση προσωπικού κ.λπ.

Εάν μεταξύ των δύο κόμβων επιτρέπεται η κίνηση ή η ροή και στις δύο κατευθύνσεις, η συγκεκριμένη ακμή που συνδέει τους δύο κόμβους ονομάζεται μη προσανατολισμένη. Εάν μεταξύ τουλάχιστον δύο κόμβων επιτρέπεται η ροή προς μία μόνο κατεύθυνση, τότε η ακμή ονομάζεται προσανατολισμένη και έχει τη μορφή βέλους με κατεύθυνση εκείνη της επιτρεπόμενης ροής. Αναλόγως του εάν σε ένα γράφημα υπάρχουν προσανατολισμένες ή μη προσανατολισμένες ακμές, το γράφημα χαρακτηρίζεται ως κατευθυντό (directed) ή μη κατευθυντό (undirected). Έτσι, αν (u, v) είναι μία ακμή ενός κατευθυντού γραφήματος $G = (V, E)$, λέμε ότι η ακμή (u, v) ξεκινά ή εξέρχεται από τον κόμβο u και καταλήγει ή εισέρχεται στον κόμβο v .

Βαθμός ενός κόμβου σε ένα μη κατευθυντό γράφημα είναι το πλήθος των ακμών που απολήγουν στον κόμβο, ενώ σε ένα κατευθυντό γράφημα είναι το πλήθος των ακμών που εισέρχονται και εξέρχονται από τον κόμβο αυτό. Για την αναπαράσταση των οδικών δικτύων συνήθως χρησιμοποιούνται κατευθυντά – προσανατολισμένα γραφήματα. Κάθε κόμβος του γράφου αναπαριστά μία διασταύρωση ή ένα τερματικό σημείο των δρόμων ενός οδικού δικτύου. Κάθε ακμή από έναν κόμβο σε κάποιον άλλο αναπαριστά έναν κατευθυνόμενο σύνδεσμο ανάμεσα σε δύο γειτονικές διασταυρώσεις ή ανάμεσα σε μία διασταύρωση και ένα τερματικό σημείο του δρόμου. Δύο κόμβοι που συνδέονται με τουλάχιστον μία ακμή λέγονται γειτονικοί. Ένα ακατεύθυντο γράφημα, στο οποίο όλοι οι κόμβοι πρόσκεινται μεταξύ τους ανά δύο ονομάζεται πλήρες. Ένας δρόμος μονής κατεύθυνσης συμβολίζεται από μία κατευθυνόμενη ακμή προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση ενώ ένας δρόμος διπλής κατεύθυνσης συμβολίζεται από δύο ακμές και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Ένα γράφημα μπορεί να είναι εμβαρές ή αβαρές. Στην περίπτωση του εμβαρούς γραφήματος, σε κάθε ακμή του αποδίδεται ένας πραγματικός αριθμός που αντιστοιχεί στο κόστος μετάβασης από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Η τιμή αυτή λέγεται επίσης και κόστος ή βάρος. Ο αριθμός αυτός προκύπτει από μία συνάρτηση κόστους $w: E \rightarrow R$, η οποία περιγράφει το πόσο δύσκολο είναι να μεταβεί κανείς από τον κόμβο i στον κόμβο j μέσω της ακμής e_{ij} .

Το κόστος μπορεί να μεταφραστεί ως η κίνηση που υπάρχει σε κάποιο δρόμο, ο χρόνος μετάβασης από τον ένα κόμβο στον άλλο ή ως η απόσταση ανάμεσα σε δύο διασταυρώσεις. Σε κάποια πρακτικά προβλήματα μπορεί να εμφανιστεί και αρνητικό κόστος. Σε ένα εμβαρές γράφημα (με συνάρτηση κόστους $w: E \rightarrow R$) ισχύει η τριγωνική ανισότητα, εάν για οποιαδήποτε ακμή (x, v) ισχύει: $w(x, v) \leq w(x, s) + w(s, v)$.

Ένα μονοπάτι (path) από έναν κόμβο-αφετηρία s σε έναν κόμβο-προορισμό t , σε ένα γράφημα $G = (V, E)$, είναι μία ακολουθία από γειτονικές ακμές $\langle u_0, u_1, u_2, \dots, u_k \rangle$ τέτοια ώστε $s = u_0$ και $t = u_k$ και $(u_{i-1}, u_i) \in E$ για $i = 1, 2, 3, \dots, k$. Αν οι κόμβοι από τους οποίους

διέρχεται το μονοπάτι είναι όλοι διαφορετικοί μεταξύ τους, το μονοπάτι λέγεται απλό ενώ αν $u_0 = u_k$ και το μονοπάτι περιλαμβάνει τουλάχιστον μία ακμή λέγεται κύκλος (εάν οι κόμβοι u_1, u_2, \dots, u_k είναι διαφορετικοί μεταξύ τους ο κύκλος λέγεται απλός). Ένα γράφημα που δεν περιέχει κύκλους ονομάζεται άκυκλο. Εάν σε ένα γράφημα όλοι οι κόμβοι συνδέονται ανά δύο με μία τουλάχιστον ακμή, τότε το γράφημα ονομάζεται συνδεδεμένο (connected). Αθροίζοντας τα κόστη όλων των ακμών ενός μονοπατιού, προκύπτει το συνολικό κόστος του μονοπατιού. Το μονοπάτι με το ελάχιστο συνολικό κόστος από όλα τα πιθανά μονοπάτια ανάμεσα στους κόμβους u και v ονομάζεται συντομότερο μονοπάτι (shortest path). Πολυγράφημα είναι ένα κατευθυντό γράφημα που μπορεί να περιλαμβάνει τόσο πολλαπλές ακμές μεταξύ κόμβων όσο και ιδιοβρόχους. Διαδρομή Euler ενός συνεκτικού κατευθυντού γραφήματος $G = (V, E)$ είναι μία περιοδεία η οποία διατρέχει κάθε ακμή του G ακριβώς μία φορά (χωρίς να αποκλείεται η διέλευση από έναν κόμβο περισσότερες από μία φορές). Ένα γράφημα λέγεται Eulerian όταν υπάρχει για αυτό μία περιοδεία Euler. Μια κλειστή περιοδεία Euler είναι αυτή που ο κόμβος αφετηρίας και τερματισμού είναι ο ίδιος.

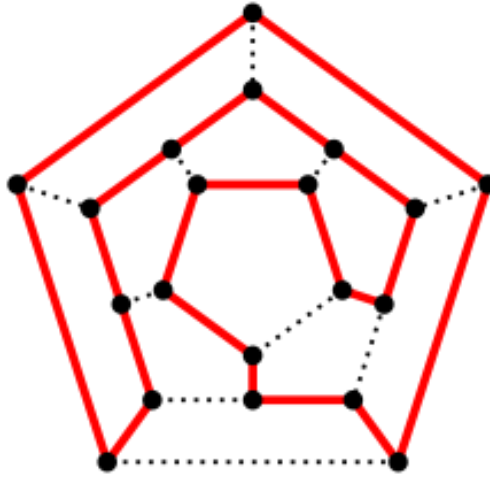
Ακολουθούν 2 θεωρήματα που έχουν να κάνουν με την επίλυση του προβλήματος των 7 γεφυρών του Königsberg και με σημαντικά στοιχεία σχετικά με τα δέντρα, αντίστοιχα.

Θεώρημα 1: Ένα πολυγράφημα χωρίς απομονωμένους κόμβους είναι Eulerian εάν και μόνο εάν είναι συνδεδεμένο και είτε όλοι οι κόμβοι του ή όλοι πλην δύο κόμβοι του έχουν άρτιο βαθμό. Εάν κάθε κόμβος έχει άρτιο βαθμό, τότε όλες οι περιοδείες Euler είναι κλειστές, ενώ εάν έχουν περιττό βαθμό, τότε αρχίζουν από τον ένα εξ αυτών των κόμβων και τελειώνουν στον άλλον (Downey, 2005).

Χαμιλτονιανός κύκλος (Hamiltonian path) ενός κατευθυντού γραφήματος $G = (V, E)$ είναι ένας απλός κύκλος ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους κόμβους του V . Υπάρχουν δύο καθιερωμένοι τρόποι αναπαράστασης ενός γραφήματος: Μέσω συλλογής από καταλόγους γειτνίασης ή υπό τη μορφή ενός πίνακα γειτνίασης. Η αναπαράσταση μέσω καταλόγων γειτνίασης ενός γραφήματος $G = (V, E)$ συνίσταται σε μία συστοιχία Adj από $|V|$ καταλόγους, έναν για κάθε κόμβο του V . Για κάθε $u \in V$, ο κατάλογος γειτνίασης $Adj[u]$ περιέχει όλους τους κόμβους v για τους οποίους υπάρχει ακμή $(u, v) \in E$, δηλ. ο $Adj[u]$ περιέχει όλους κόμβους που γειτνιάζουν με τον u στο G . Η αναπαράσταση μέσω πίνακα γειτνίασης ενός γραφήματος $G = (V, E)$ (υπό την προϋπόθεση ότι οι κόμβοι είναι αριθμημένοι αυθαίρετα από το 1 έως το $|V|$) συνίσταται σε έναν $|V| \times |V|$ πίνακα $A = (a_{ij})$

με στοιχεία $a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{εάν } (i, j) \in E \\ 0 & \text{εάν } (i, j) \notin E \end{cases}$ Ένα συνδεδεμένο, άκυκλο, ακατευθυντο γράφημα

ονομάζεται δένδρο. Το άκυκλο υποσύνολο, με το ελάχιστο βάρος, το οποίο συνδέει όλους τους κόμβους ενός ακατευθυντου και εμβαρύς συνδεδεμένου γραφήματος, ονομάζεται ελαφρύτατα συνδετικό δένδρο (minimum spanning tree).



Σχήμα 2.4: Χαμιλτονιανός κύκλος – Hamiltonian path

Θεώρημα 2: Έστω $G = (V, E)$ ένα ακατεύθυντο γράφημα. Οι ακόλουθες προτάσεις είναι ισοδύναμες μεταξύ τους:

- Το G είναι δένδρο
- Οποιοδήποτε δύο κόμβοι του G συνδέονται μεταξύ τους μέσω μίας και μόνο απλής διαδρομής.
- Το G είναι συνδεδεμένο, αλλά εάν αφαιρεθεί από το σύνολο των ακμών E οποιαδήποτε ακμή, το γράφημα που προκύπτει είναι μη συνδεδεμένο
- Το G είναι συνδεδεμένο, και $|E| = |V| - 1$
- Το G είναι άκυκλο, και $|E| = |V| - 1$
- Το G είναι άκυκλο, αλλά εάν προστεθεί στο σύνολο E οποιαδήποτε ακμή, το γράφημα που προκύπτει περιέχει έναν κύκλο.

3 ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 XML

3.1.1 Εισαγωγή

Η XML, που η ονομασία της προέρχεται από τα ακρωνύμια των λέξεων eXtensible Markup Language, αποτελεί μία περιγραφική γλώσσα δομών δεδομένων που καλούνται XML Documents και μερικώς περιγράφει τη συμπεριφορά των προγραμμάτων που επεξεργάζεται. Προέρχεται από την SGML και αποτελεί προσαρμοσμένη έκδοσή της με κύριο σκοπό την ευρύτερη χρησιμοποίησή της σε καταναεμημένες εφαρμογές.

Πρόκειται για μία γλώσσα σήμανσης, που περιέχει ένα σύνολο κανόνων για την ηλεκτρονική κωδικοποίηση κειμένων. Ορίζεται, κυρίως, στην προδιαγραφή XML 1.0 (XML 1.0 Specification) που δημιούργησε ο διεθνής οργανισμός προτύπων W3C (World Wide Web Consortium), αλλά και σε διάφορες άλλες σχετικές προδιαγραφές ανοιχτών προτύπων. Η XML σχεδιάστηκε δίνοντας έμφαση στην απλότητα, τη γενικότητα και τη χρησιμότητα στο Διαδίκτυο. Είναι μία μορφοποίηση δεδομένων κειμένου, με ισχυρή υποστήριξη Unicode για όλες τις γλώσσες του κόσμου. Αν και η σχεδίαση της XML εστιάζει στα κείμενα, χρησιμοποιείται ευρέως για την αναπαράσταση αυθαίρετων δομών δεδομένων, που προκύπτουν για παράδειγμα στις υπηρεσίες ιστού.

Ερμηνεία των ακρωνυμίων των λέξεων Extensible Markup Language

eXtensible. Η XML είναι επεκτάσιμη. Αυτό επιτρέπει να ορίσουμε ετικέτες (tags), τη σειρά που παρουσιάζονται, και πώς θα πρέπει να εμφανίζονται. Επίσης επιτρέπει να επεκτείνουμε την αντίληψη του τι είναι ένα έγγραφο: μπορεί να είναι ένα αρχείο σε κάποιο διακομιστή αρχείων ή ένα μεταβατικό τμήμα δεδομένων που ρέει μεταξύ δύο συστημάτων υπολογιστών, όπως στην περίπτωση των Web Services.

Markup. Το πιο αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό της XML είναι οι ετικέτες (tags) ή στοιχεία (elements). Στην πραγματικότητα, τα στοιχεία που δημιουργούνται σε XML είναι πολύ παρόμοια με τα στοιχεία που έχουν ήδη δημιουργηθεί σε έγγραφα HTML. Ωστόσο, η XML επιτρέπει στον ενδιαφερόμενο να ορίσει το δικό του σύνολο ετικετών.

Language. Η XML είναι μία γλώσσα παρόμοια με την HTML. Είναι πολύ πιο ευέλικτη επειδή επιτρέπει τη δημιουργία προσαρμοσμένων ετικετών από τον εκάστοτε χρήστη. Ωστόσο, είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσει ο ενδιαφερόμενος ότι η XML δεν είναι απλώς μια γλώσσα. Η XML είναι μια μεταγλώσσα, δηλαδή μία γλώσσα που μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε ή να ορίσουμε άλλες γλώσσες. Με την XML μπορούμε να δημιουργήσουμε

άλλες γλώσσες, όπως για παράδειγμα τις RSS, MathML και ακόμη και εργαλεία, όπως η XSLT.

3.1.2 Βασική ορολογία

3.2.1 Χαρακτήρας Unicode

Εκ ορισμού, ένα κείμενο XML είναι μία ακολουθία χαρακτήρων. Σχεδόν κάθε χαρακτήρας Unicode μπορεί να εμφανίζεται σε ένα κείμενο XML.

3.2.2 Επεξεργαστής και Εφαρμογή

Είναι το λογισμικό που επεξεργάζεται ένα κείμενο XML. Ένας επεξεργαστής δουλεύει για μία εφαρμογή. Υπάρχουν μερικές πολύ συγκεκριμένες απαιτήσεις, σχετικά με το τι μπορεί και τι δε μπορεί να κάνει ένας επεξεργαστής XML, αλλά καμία όσον αφορά στη συμπεριφορά της εφαρμογής. Ο επεξεργαστής (όπως ονομάζεται από την προδιαγραφή), αναφέρεται συχνά, με τον αγγλικό όρο XML parser.

3.2.3 Σήμανση και Περιεχόμενο

Οι χαρακτήρες που απαρτίζουν ένα κείμενο XML, αποτελούν είτε τη σήμανση είτε το περιεχόμενό του. Η σήμανση και το περιεχόμενο, μπορούν να επισημανθούν και να διακριθούν, ύστερα από την εφαρμογή κάποιων απλών συντακτικών κανόνων. Όλα τα αλφαριθμητικά που συνιστούν τη σήμανση, είτε ξεκινούν με το χαρακτήρα “<” και καταλήγουν στο χαρακτήρα “>”, είτε ξεκινούν με το χαρακτήρα “&” και καταλήγουν στον “;”. Ακολουθίες χαρακτήρων που δε συνιστούν τη σήμανση, αποτελούν το περιεχόμενο ενός κειμένου XML.

3.2.4 Ετικέτα (tag)

Είναι ένα στοιχείο σήμανσης που ξεκινά με το χαρακτήρα “<” και καταλήγει στο χαρακτήρα “>”. Υπάρχουν 3 είδη ετικέτας: ετικέτες-αρχής, για παράδειγμα <section>, ετικέτες-τέλους, για παράδειγμα </section>, και ετικέτες-χωρίς περιεχόμενο, για παράδειγμα <line-break/>.

3.2.5 Στοιχείο (element)

Είναι ένα λογικό απόσπασμα ενός κειμένου, που είτε ξεκινά με μία ετικέτα-αρχής και καταλήγει σε μία ετικέτα-τέλους, είτε αποτελείται μόνο από μία ετικέτα-χωρίς περιεχόμενο. Οι χαρακτήρες που υπάρχουν, αν υπάρχουν, μεταξύ μιας ετικέτας-αρχής και μιας ετικέτας-τέλους, συνιστούν το περιεχόμενο του στοιχείου, το οποίο μπορεί να περιέχει σήμανση, συμπεριλαμβανομένων και άλλων στοιχείων, που ονομάζονται στοιχεία-παιδιά. Ένα παράδειγμα ενός στοιχείου είναι το <Greeting>Hello, world.</Greeting>. Ένα άλλο είναι το <line-break/>.

3.2.6 Χαρακτηριστικό

Είναι ένα στοιχείο σήμανσης που αποτελείται από ένα ζευγάρι όνομα/τιμή, το οποίο υπάρχει μέσα σε μία ετικέτα-αρχής ή σε μία ετικέτα-χωρίς περιεχόμενο.

3.2.7 Δήλωση XML

Τα κείμενα XML μπορούν να αρχίζουν, με τη δήλωση κάποιων πληροφοριών σχετικών με αυτά, όπως στο ακόλουθο παράδειγμα:

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-7"?>

3.1.3 Ιστορία της XML

Οι ρίζες της XML μπορούν να αναζητηθούν στην εκρηκτική ανάπτυξη του Παγκόσμιου Ιστού στα μέσα της δεκαετίας του 1990 και στους πολέμους των browser που έλαβαν χώρα μεταξύ της Microsoft Corporation και της Netscape Corporation, όπου καθεμιά από αυτές πάλευε για την απόλυτη κυριαρχία.

Καθώς το Διαδίκτυο γινόταν όλο και πιο μεγάλο, και όλο και περισσότεροι χρήστες το χρησιμοποιούσαν, άρχισαν να ανακαλύπτονται από τους προγραμματιστές που χρησιμοποιούσαν HTML, διάφορα προβλήματα

- Ο ίδιος πόρος HTML εμφανιζόταν με διάφορες μορφές, ανάλογα με τον browser που χρησιμοποιούνταν. Αυτό σήμαινε ότι οι σχεδιαστές των ιστοσελίδων έπρεπε το λιγότερο να διπλασιάσουν τις προσπάθειές τους
- Ορισμένοι κατασκευαστές browser ανέπτυξαν εργαλεία HTML που δεν ήταν αναγνωρίσιμα από άλλους browser
- Ήταν σχεδόν αδύνατον να διακριθεί οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή μέσα σε μια ιστοσελίδα: πουθενά αλλού αυτό δεν ήταν πιο προφανές από ότι στην χρήση των μηχανών αναζήτησης. Ακόμη και στα μέσα της δεκαετίας του 1990 πολλοί χρήστες εξέφραζαν την απογοήτευσή τους όσον αφορούσε αυτά τα προγράμματα εξαιτίας του όγκου των ανακτημένων αρχείων που επέστρεφαν οι μηχανές, τα οποία, στην καλύτερη περίπτωση, σχετίζονταν οριακά με την αναζήτηση. Η αιτία αυτής της «φτωχής» απόδοσης δεν ήταν η τεχνολογία των μηχανών αναζήτησης – στην πραγματικότητα επρόκειτο για εξεζητημένα προγράμματα που αποτελούν αποδεικτικό της εξυπνάδας των προγραμματιστών – αλλά το ότι τα δεδομένα που επεξεργάζονταν οι σελίδες HTML δεν έδιναν πολλά στοιχεία για το περιεχόμενό τους.

Εξαιτίας αυτών των προβλημάτων η Κοινοπραξία Παγκόσμιου Ιστού, η ομάδα που ελέγχει τη διαδικασία τυποποίησης του Ιστού, αποφάσισε το 1996 να αναπτύξει μία σημειακή γλώσσα που μελλοντικά θα υποσκελίζε την HTML. Οι στόχοι αυτής της γλώσσας ήταν:

- Να χρησιμοποιείται εύκολα το Internet.
- Να μπορεί να υποστηρίξει πολλές εφαρμογές οι οποίες θα κυμαίνονται από browser μέχρι βάσεις δεδομένων μηχανών αναζήτησης.
- Να είναι συμβατή με την SGML, τη γλώσσα επεξεργασίας κειμένου που αποτέλεσε την έμπνευση για την HTML.
- Να μην αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία η ανάπτυξη επεξεργαστών κειμένων γραμμένων σε γλώσσες που θα βασίζονταν σε XML, για παράδειγμα θα έπρεπε να είναι εύκολη η εγγραφή ενός προγράμματος για τον έλεγχο της σαφήνειας ενός κειμένου πόρου.
- Ο αριθμός των προαιρετικών εργαλείων της γλώσσας να είναι χαμηλός.
- Να είναι εύκολη η ανάγνωση και κατανόηση των αρχείων XML.
- Να είναι εύκολο να αναπτυχθούν με τη χρήση απλών συντακτών, αρχεία γραμμένα σε γλώσσα βασιζόμενη σε XML.

Το 1998 η γλώσσα XML παρουσιάστηκε παγκόσμια ως μία τελευταία υπόδειξη της Κοινοπραξίας Παγκόσμιου Ιστού. Σαν αποτέλεσμα, έγινε μία σταθερά για το Internet. Βασιζόταν στη γλώσσα επεξεργασίας κειμένων SGML, η οποία αποτέλεσε την έμπνευση για την HTML. Ο ρόλος της XML συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα, το οποίο παρουσιάζει τη σχέση της με άλλες μορφές αποθήκευσης και παρουσίασης.

3.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της XML

Πλεονεκτήματα της XML

1. Για τις επικοινωνίες μέσω ¹EDI η XML προσφέρει πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα. Τα XML δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν αμέσως είτε σε ένα web browser είτε σε μία εσωτερική εφαρμογή χωρίς πρόσθετο χειρισμό ή ειδικά προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή.
2. Τα έγγραφα έχουν δομημένες πληροφορίες.
3. Είναι γλώσσα με αυστηρά καθορισμένη σύνταξη
4. Εύκολα επεξεργάσιμη γλώσσα από ηλεκτρονικό υπολογιστή
5. Πλήρως συμβατή με Unicode
6. Παρέχει έναν απλό, ευέλικτο και παραμετροποιήσιμο τρόπο δόμησης δεδομένων

Μειονεκτήματα της XML

1. Η XML δεν προάγει την ανταλλαγή δεδομένων από μία εφαρμογή σε μία άλλη, αν και καλύπτει απόλυτα την ανταλλαγή δεδομένων από μία εφαρμογή σε έναν browser.

3.2 KML

3.2.1 Εισαγωγή

Το KML (Keyhole Markup Language) είναι μία μορφή αρχείου για την απεικόνιση γεωγραφικών πληροφοριών σε έναν Earth browser, όπως τα Google Earth, Google Maps και Google Maps για κινητά. Η KML χρησιμοποιεί μία δομή βασισμένη σε ετικέτες (tags) με ένθετα στοιχεία (elements) και χαρακτηριστικά (attributes) και είναι βασισμένη στο πρότυπο XML. Όλες οι ετικέτες είναι ευαίσθητες στη διάκριση πεζών-κεφαλαίων και πρέπει να εμφανίζονται ακριβώς όπως αναφέρονται στον ορισμό KML. Ο ορισμός δηλώνει ποιες ετικέτες είναι προαιρετικές. Μέσα σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο, οι ετικέτες πρέπει να εμφανίζονται με τη σειρά που εμφανίζονται στον ορισμό.

3.2.2 Βασικά αρχεία KML

Το απλούστερο είδος KML αρχείων είναι αυτά που μπορούν να συνταχθούν άμεσα στο Google Earth, δηλαδή ο ενδιαφερόμενος δε χρειάζεται να επεξεργαστεί ή να δημιουργήσει κάθε KML σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου. Σύνταξη σημάνσεων μερών (Placemarks), επικαλύψεις εδάφους (ground overlays), διαδρομές (paths) και πολύγωνα (polygons) μπορούν όλα να συνταχθούν άμεσα στο Google Earth. Ένα παράδειγμα ενός KML αρχείου είναι το ακόλουθο:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:gx="http://www.google.com/kml/ext/2.2"
xmlns:kml="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:atom="http://www.w3.org/2005/Atom">
<Document>
  <name>linestyles.kml</name>
  <Style id="sh_ylw-pushpin">
    <IconStyle>
      <scale>1.1</scale>
      <Icon>
        <href>http://maps.google.com/mapfiles
          /kml/pushpin/ylw-pushpin.png
        </href>
      </Icon>
      <hotSpot x="20" y="2" xunits="pixels"
yunits="pixels"/>
    </IconStyle>
    <LineStyle>
      <color>ff0000ff</color>
      <width>2</width>
    </LineStyle>
    <PolyStyle>
      <color>7f00ffff</color>
    </PolyStyle>
  </Style>
  <StyleMap id="msn_ylw-pushpin0">
    <Pair>
      <key>normal</key>
      <styleUrl>#sn_ylw-pushpin0</styleUrl>
    </Pair>
    <Pair>
      <key>highlight</key>
      <styleUrl>#sh_ylw-pushpin0</styleUrl>
    </Pair>
  </StyleMap>
  <StyleMap id="msn_ylw-pushpin0">
    <Pair>
```

```

<Placemark>
  <name>NLX:000001 </name>
  <LookAt>
    <longitude></longitude>
    <latitude></latitude>
    <altitude>0</altitude>
    <heading>0.2554718671115674</heading>
    <tilt>0</tilt>
    <range>193836.0400797448</range>
    <altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
    <gx:altitudeMode>relativeToSeaFloor</gx:altitudeMode>
  </LookAt>
  <styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>
  <Point>
    <altitudeMode>clampToGround</altitudeMode>
    <gx:altitudeMode>clampToSeaFloor</gx:altitudeMode>
  <coordinates>22.13168,37.02607,0</coordinates>
</Point>
</Placemark>

<Placemark>
  <name>NLX:000002 </name>
  <LookAt>
    <longitude></longitude>
    <latitude></latitude>
    <altitude>0</altitude>
    <heading>0.2554718671115674</heading>
    <tilt>0</tilt>
    <range>193836.0400797448</range>
    <altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
    <gx:altitudeMode>relativeToSeaFloor</gx:altitudeMode>
  </LookAt>
  <styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>
  <Point>
    <altitudeMode>clampToGround</altitudeMode>
    <gx:altitudeMode>clampToSeaFloor</gx:altitudeMode>
  <coordinates>22.13420,37.02962,0</coordinates>
</Point>
</Placemark>

<Placemark>
  <name>NLX:000003 </name>
  <LookAt>
    <longitude></longitude>
    <latitude></latitude>
    <altitude>0</altitude>
    <heading>0.2554718671115674</heading>

```

3.2.3 Συστατικά μέρη ενός KML αρχείου

Κάθε KML αρχείο ξεκινάει με την εξής δομή:

- Μία κεφαλίδα XML. Αυτή βρίσκεται στη γραμμή 1 σε κάθε KML αρχείο. Κανένα κενό ούτε άλλοι χαρακτήρες μπορούν να εμφανιστούν πριν από αυτή τη γραμμή.
- Μία δήλωση χώρου ονομάτων KML. Αυτό πραγματοποιείται στη γραμμή 2 σε κάθε αρχείο KML.

Σε ένα KML αρχείο μπορεί να εμφανίζονται τα εξής στοιχεία:

Έγγραφο - <Document>

Ένα στοιχείο <Document> περιέχει ένα σύνολο από χαρακτηριστικά και στυλ. Το στοιχείο αυτό απαιτείται εάν το KML αρχείο χρησιμοποιεί κοινόχρηστα στυλ (shared styles). Ενδείκνυται η χρήση κοινόχρηστων στυλ, τα οποία απαιτούν τα παρακάτω βήματα

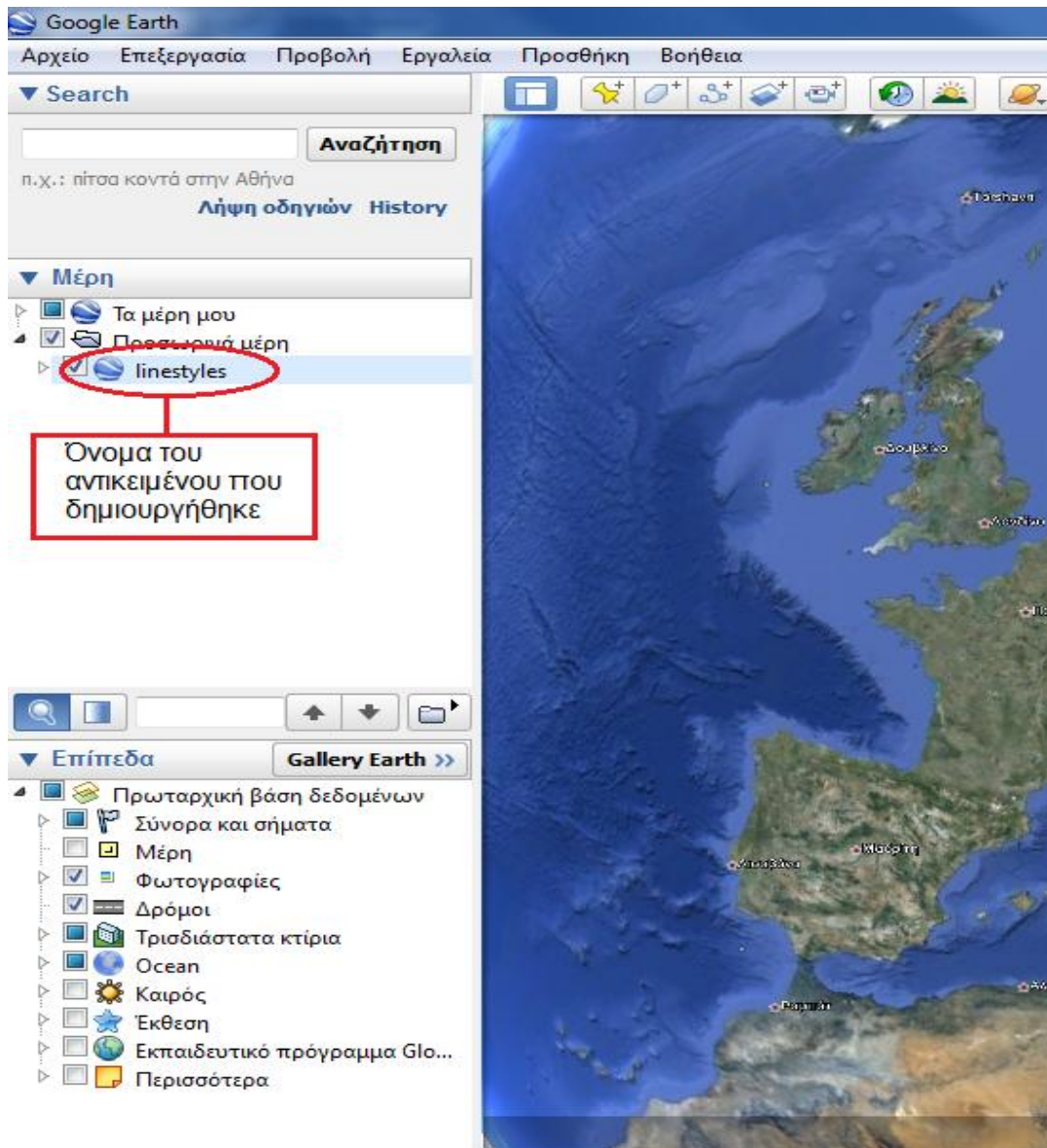
- Προσδιορισμό όλων των στυλ μέσα σε ένα <Document>
- Απόδοση μοναδικής ταυτότητας ID για κάθε στυλ
- Εντός ενός δοσμένου στοιχείου Feature ή StyleMap, αναφορά στην ταυτότητα ID του στυλ χρησιμοποιώντας ένα <styleUrl> στοιχείο.

Όνομα – <name>

Το πεδίο αυτό καθορίζεται από τον χρήστη και απεικονίζεται στην τρισδιάστατη απεικόνιση ως ετικέτα για το αντικείμενο (για παράδειγμα για ένα σημείο σήμανσης μέρους, ένα φάκελο ή ένα διαδικτυακό σύνδεσμο).

Στυλ εικονιδίων – <IconStyle>

Καθορίζει πως απεικονίζονται τα εικονίδια για τα Placemarks. Το στοιχείο <Icon> καθορίζει την εμφάνιση του εικονιδίου. Το στοιχείο <scale> καθορίζει την κατά x και y κλίμακα του εικονιδίου. Το χρώμα που έχει ορίζεται στο πεδίο <color> του <IconStyle> αναμιγνύεται με το χρώμα του πεδίου <Icon>.

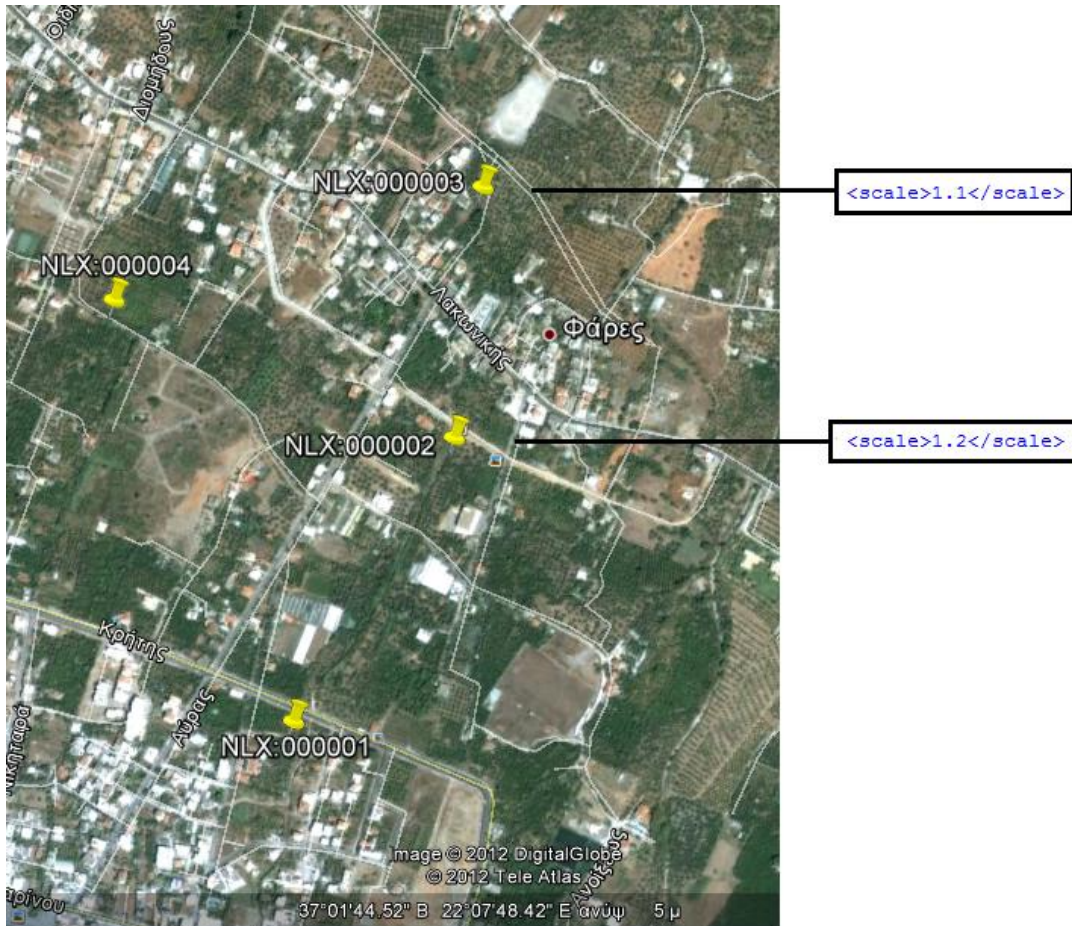


Εικόνα 3.1: Απεικόνιση αντικειμένου στο Google Earth και εμφάνιση ονόματος αντικειμένου

Στοιχεία σχετικά με το στυλ των εικονιδίων – <IconStyle>

<scale>

Επαναπροσδιορίζει το μέγεθος του εικονιδίου.



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση εικονιδίων στο Google Earth με διαφορετικά μεγέθη

<heading>

Κατεύθυνση (Βορράς, Νότος, Ανατολή, Δύση) σε μοίρες. Από προεπιλογή είναι μηδέν (Βορράς). Η διακύμανση των τιμών είναι από 0 έως 360 μοίρες.

<Icon>

Στο <IconStyle>, το μόνο θυγατρικό στοιχείο του <Icon> είναι το <href>.

<href>

Εδώ βρίσκεται μία HTTP διεύθυνση ή ο εντοπισμός ενός τοπικού αρχείου που χρησιμοποιείται για να φορτωθεί ένα εικονίδιο <Icon>.

<hotSpot x="20" y="2" xunits="pixels" yunits="pixels"/>

Η γραμμή αυτή του κώδικα προσδιορίζει τη θέση στο εικονίδιο που είναι «συνδεδεμένη» με το στοιχείο <Point> που προσδιορίζεται στο <Placemark>. Οι τιμές x και y μπορούν να προσδιοριστούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους: ως pixels, ως fractions (κλάσματα) του εικονιδίου, ή ως inset pixels, το οποίο είναι μία μετατόπιση σε pixels από την ανώτερη δεξιά γωνία του εικονιδίου. Οι x και y θέσεις μπορούν να προσδιοριστούν με διάφορους τρόπους – για παράδειγμα, το x μπορεί να είναι σε pixels και το y να είναι κλάσμα. Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων βρίσκεται στην χαμηλότερη αριστερή γωνία του εικονιδίου.

- \underline{x} – είτε ο αριθμός των pixels, ένα κλασματικό συστατικό της εικόνας, ή ένα ένθετο pixel (pixel inset) που δείχνει το x στοιχείο ενός σημείου στο εικονίδιο.

- y – είτε ο αριθμός των pixels, ένα κλασματικό συστατικό της εικόνας, ή ένα ένθετο pixel (pixel inset) που δείχνει το x στοιχείο ενός σημείου στο εικονίδιο.
- xunits – μονάδες στις οποίες προσδιορίζεται η τιμή x . Μία τιμή ενός κλάσματος δείχνει ότι η τιμή x είναι κλάσμα του εικονιδίου. Μία τιμή των pixels δείχνει την τιμή x σε pixels. Μια τιμή insetPixels δείχνει τη γραμμή από το δεξί άκρο του εικονιδίου.
- yunits – μονάδες στις οποίες προσδιορίζεται η τιμή y . Μία τιμή ενός κλάσματος δείχνει ότι η τιμή y είναι κλάσμα του εικονιδίου. Μία τιμή των pixels δείχνει την τιμή y σε pixels. Μια τιμή insetPixels δείχνει τη γραμμή από το πάνω άκρο του εικονιδίου.

<StyleMap>

Το στοιχείο <StyleMap> σχεδιάζει μεταξύ δύο διαφορετικών στυλ. Τυπικά ένα στοιχείο <StyleMap> χρησιμοποιείται για να δώσει ξεχωριστά φυσιολογικά και τονισμένα στυλ για μία σήμανση Placemark, έτσι ώστε η τονισμένη εκδοχή να εμφανίζεται όταν ο χρήστης τοποθετήσει τον κέρσορα του ποντικιού επάνω στο εικονίδιο στο Google Earth.

<Pair>

Καθορίζει ένα ζευγάρι κλειδιού/τιμής το οποίο χαρτογραφεί μία λειτουργία (κανονική ή τονισμένη) στο προκαθορισμένο <styleUrl>. Το στοιχείο <Pair> περιέχει δύο στοιχεία, που είναι απαραίτητα και τα δύο:

- <key>. Αναγνωρίζει το κλειδί
- <styleUrl> ή <style>. Σχετίζεται με το στυλ. Στο <styleUrl>, για σχετικά στοιχεία στυλ που βρίσκονται τοπικά στο έγγραφο KML χρησιμοποιείται ένα απλό σύμβολο αναφοράς #. Για στυλ που περιέχονται σε εξωτερικά αρχεία, χρησιμοποιείται ένα πλήρες URL μαζί με το σύμβολο #.

Σήμανση μέρους – <Placemark>

Τα Placemarks είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες δυνατότητες του Google Earth. Σηματοδοτούν μία θέση στην επιφάνεια της γης, χρησιμοποιώντας μία κίτρινη πινέζα ως εικονίδιο. Η απλούστερη σήμανση μέρους περιλαμβάνει μόνο ένα στοιχείο <Point>, το οποίο καθορίζει τη θέση της σημάνσεως. Το Google Earth δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να καθορίσει ένα όνομα και ένα προσαρμοσμένο εικονίδιο για τη σήμανση μέρους, και επίσης να προσθέσει και άλλα στοιχεία γεωμετρίας σε αυτό. Ανοίγοντας ένα αρχείο KML στο Google Earth, διακρίνουμε διαφορετικούς τύπους σημάνσεως μέρους, οι οποίοι φαίνονται στο παρακάτω τμήμα κώδικα:


```

<Placemark>
  <name>NLX:000004 </name>
  <LookAt>
    <longitude></longitude>
    <latitude></latitude>
    <altitude>0</altitude>
    <heading>0.2554718671115674</heading>
    <tilt>0</tilt>
    <range>193836.0400797448</range>
    <altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
    <gx:altitudeMode>relativeToSeaFloor</gx:altitudeMode>
  </LookAt>
  <styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>
  <Point>
    <altitudeMode>clampToGround</altitudeMode>
    <gx:altitudeMode>clampToSeaFloor</gx:altitudeMode>
  <coordinates>22.12839,37.03160,0</coordinates>
</Point>
</Placemark>

```

Η δομή του αρχείου αυτού αναλύεται ως εξής:

- Ένα όνομα (<name>) που χρησιμοποιείται ως ετικέτα για τη σήμανση μέρους
- Μία περιγραφή (<description>) που εμφανίζεται στο παράθυρο «Βοήθειας» που επισυνάπτεται στο σημείο σήμανσης.
- Ένα σημείο (<Point>) που καθορίζει τη θέση του σημείου σήμανσης στην επιφάνεια της γης. (γεωγραφικό μήκος <longitude>, γεωγραφικό πλάτος <latitude> και προαιρετικά υψόμετρο <altitude>).

Ένα σημείο σήμανσης μέρους είναι ο μόνος τρόπος για να σχεδιαστεί ένα εικονίδιο και ετικέτα σε 3D Viewer του Google Earth. Από προεπιλογή, το εικονίδιο είναι η κίτρινη πινέζα. Στην KML, ένα <Placemark> μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα στοιχεία γεωμετρίας, όπως ένα LineString, ένα πολύγωνο (Polygon), ή ένα μοντέλο (Model). Αλλά μόνο ένα <Placemark> με ένα σημείο <Point> μπορεί να έχει εικονίδιο και ετικέτα. Το <Point> χρησιμοποιείται για να τοποθετηθεί το εικονίδιο, αλλά δεν υπάρχει καμία γραφική αναπαράσταση του σημείου του ίδιου.

<LookAt>

Καθορίζει μία εικονική κάμερα που σχετίζεται με οποιοδήποτε στοιχείο που προέρχεται από το πεδίο <Feature>. Το στοιχείο <LookAt> τοποθετεί την κάμερα σε σχέση με το αντικείμενο που παρατηρείται. Στο Google Earth η εικόνα «πετάει» σε αυτό το σημείο όταν ο χρήστης πατήσει διπλό κλικ σε ένα αντικείμενο στο Places panel (παράθυρο μερών) ή ένα εικονίδιο στο 3D Viewer (3D προβολή).

Στοιχεία σχετικά με το <LookAt>

<longitude>

Γεωγραφικό μήκος του σημείου από το οποίο κοιτάζει η κάμερα. Γωνιακή απόσταση σε μοίρες, ως προς τον Πρώτο Μεσημβρινό. Οι τιμές δυτικά του κεντρικού Μεσημβρινού

κυμαίνονται από -180 έως 0 μοίρες. Οι τιμές ανατολικά του κεντρικού Μεσημβρινού κυμαίνονται από 0 έως 180 μοίρες.

<latitude>

Γεωγραφικό πλάτος του σημείου από το οποίο κοιτάζει η κάμερα. Σε μοίρες βόρεια και νότια του Ισημερινού (0 μοίρες). Οι τιμές κυμαίνονται από -90 έως 90 μοίρες.

<altitude>

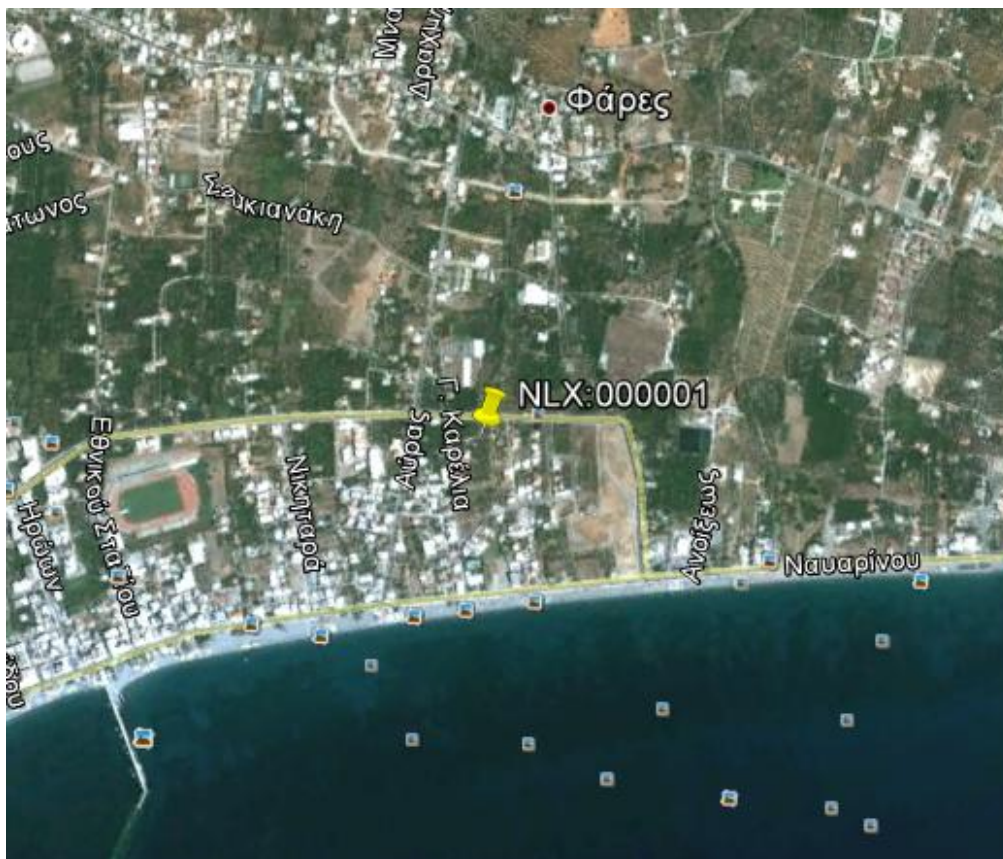
Απόσταση από την επιφάνεια της γης σε μέτρα. Ερμηνεύεται σύμφωνα με το <altitudeMode> που περιγράφεται παρακάτω.

<heading>

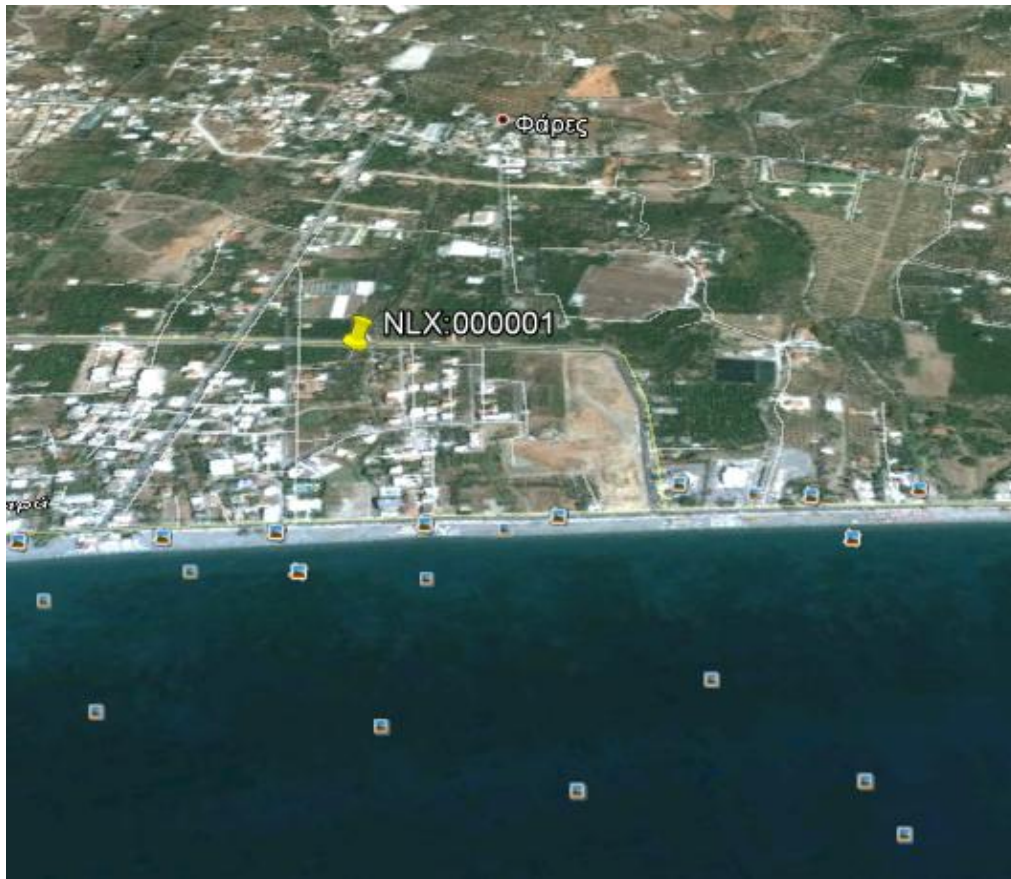
Κατεύθυνση (Βόρεια, Νότια, Ανατολικά, Δυτικά) σε μοίρες. Από προεπιλογή είναι 0 (βόρεια). Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 360 μοίρες.

<tilt>

Η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της LookAt θέσης και της κάθετης στην επιφάνεια της γης. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 90 μοίρες. Οι τιμές για το στοιχείο <tilt> δε μπορούν να είναι αρνητικές. Μία τιμή των 90 μοιρών δείχνει την προβολή κατά μήκος του οριζόντιου άξονα.



Εικόνα 3.3: Απεικόνιση placemark στα περίχωρα της Καλαμάτας στο Google Earth με tilt=0



Εικόνα 3.4: Απεικόνιση placemark στα περίχωρα της Καλαμάτας στο Google Earth με tilt=70

<range>

Απόσταση σε μέτρα από το σημείο που προσδιορίζεται από το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο στη LookAt θέση.

<altitudeMode>

Καθορίζει πως ερμηνεύεται το στοιχείο <altitude> που προσδιορίζεται για το σημείο LookAt. Πιθανές τιμές είναι οι ακόλουθες:

- clampToGround – (προεπιλογή) αγνοεί τον προσδιορισμό υψομέτρου και τοποθετεί τη θέση LookAt στο έδαφος.
- relativeToGround – ερμηνεύει το υψόμετρο ως μία τιμή σε μέτρα πάνω από το έδαφος.
- absolute – ερμηνεύει το υψόμετρο ως μία τιμή σε μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

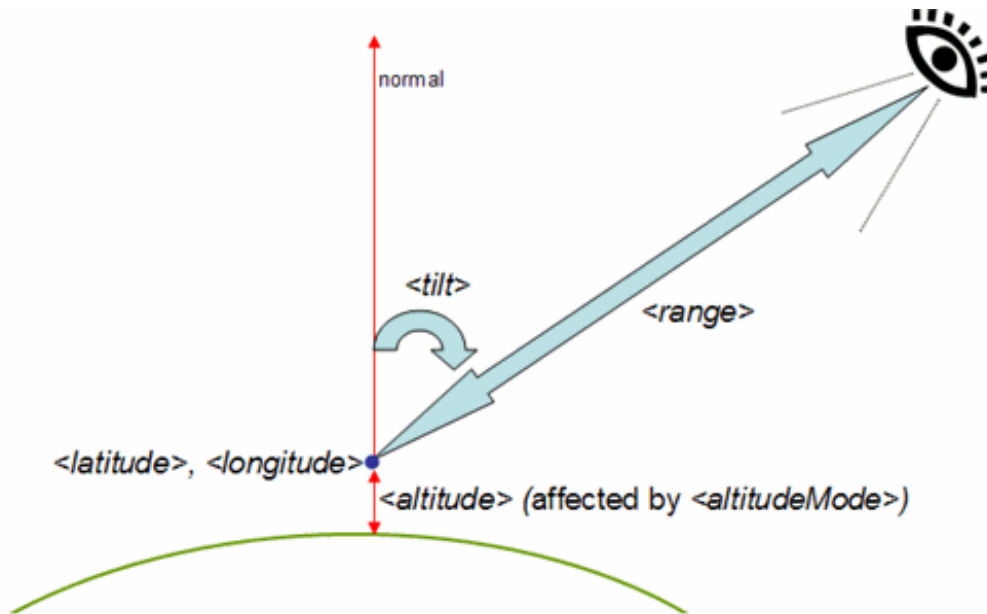
<gx:altitudeMode>

Αποτελεί μία επέκταση του KML, που επιτρέπει υψόμετρα ως προς τον πυθμένα της θάλασσας. Οι πιθανές τιμές είναι:

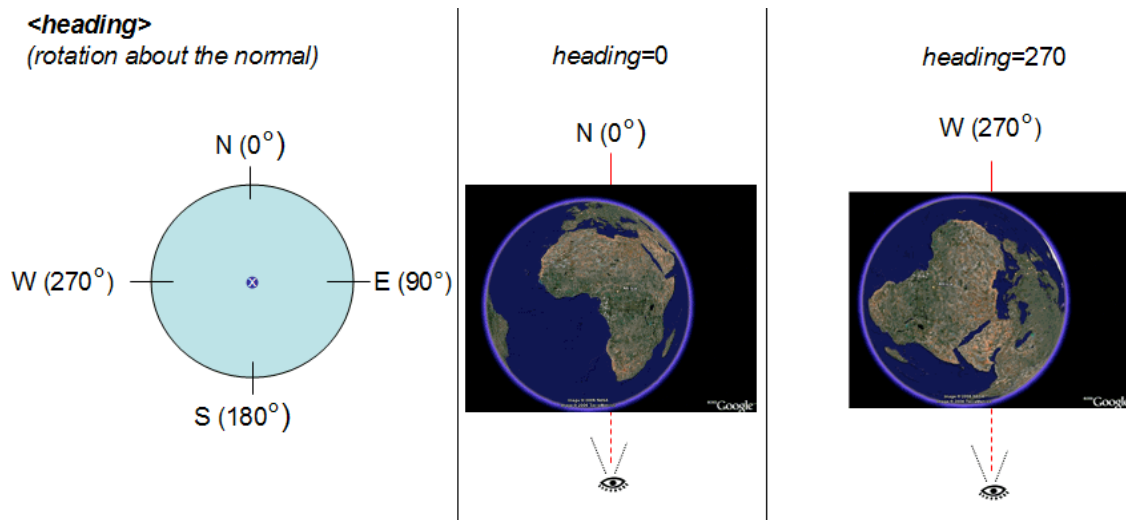
- relativeToSeaFloor (ως προς τον πυθμένα της θάλασσας) – ερμηνεύει το υψόμετρο ως μία τιμή σε μέτρα από τον πυθμένα της θάλασσας. Αν το σημείο είναι πάνω από ξηρά αντί για θάλασσα, το υψόμετρο θα ερμηνευθεί να είναι πάνω από το έδαφος.

- `clampToSeaFloor` (κολλημένο στο βυθό της θάλασσας) – ο προσδιορισμός υψομέτρου αγνοείται, και το σημείο θα τοποθετηθεί στον πυθμένα της θάλασσας. Αν το σημείο βρίσκεται σε ξηρά και όχι σε θάλασσα, το σημείο θα τοποθετηθεί στο έδαφος.

Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν τα στοιχεία `<range>`, `<tilt>`, `<altitude>` και το στοιχείο `<heading>` αντίστοιχα.



Εικόνα 3.5: Απεικόνιση των στοιχείων `<range>`, `<tilt>` και `<altitude>`



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση του στοιχείου `<heading>`

`<Point>`

Αποτελεί τη γεωγραφική θέση, η οποία καθορίζεται από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος και προαιρετικά το ύψος. Όταν ένα σημείο περιέχεται στο στοιχείο `Placemark`, το σημείο το ίδιο καθορίζει τη θέση του ονόματος και του εικονιδίου της σημάνσεως `Placemark`. Όταν εξάγεται ένα σημείο, συνδέεται με το έδαφος με μία γραμμή. Αυτή η «πρόσδεση» χρησιμοποιεί το τρέχον στυλ γραμμής `LineStyle`.

Στοιχεία σχετικά με το στοιχείο <Point>

<extrude>

Τελεστές boolean. Προσδιορίζει αν το σημείο θα συνδεθεί με το έδαφος με γραμμή. Για να εξαχθεί ένα σημείο, η τιμή του στοιχείου <altitudeMode> πρέπει να είναι είτε σε σχέση με το έδαφος (relativeToGround), είτε σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας (relativeToSeaFloor), ή απόλυτη (absolute). Το σημείο τοποθετείται με φορά προς το κέντρο της γήινης σφαίρας.

<altitudeMode>

Καθορίζει πως ερμηνεύονται τα συστατικά του υψομέτρου στο στοιχείο <coordinates>. Πιθανές τιμές είναι:

- **clampToGround** (κολλημένο με το έδαφος) – (προεπιλεγμένο) υποδεικνύει την αγνόηση του προσδιορισμού υψομέτρου
- **relativeToGround** (ως προς το έδαφος) – ορίζει το υψόμετρο του στοιχείου σε σχέση με το πραγματικό υψόμετρο του εδάφους σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Για παράδειγμα, αν το υψόμετρο του εδάφους μιας περιοχής είναι ακριβώς στην επιφάνεια της θάλασσας και το υψόμετρο ενός σημείου έχει οριστεί στα 9 μέτρα, τότε το υψόμετρο για το εικονίδιο μιας σημάνσεως μέρους σημείου (point placemark) είναι 9 μέτρα με αυτή τη λειτουργία. Παρόλα αυτά, εάν η ίδια συντεταγμένη οριστεί σε μία περιοχή όπου η ανύψωση του εδάφους είναι 10 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, τότε η ανύψωση της συντεταγμένης είναι 19 μέτρα. Μία συνηθισμένη χρήση αυτού του τρόπου είναι για την τοποθέτηση στύλων τηλεφώνου ή τηλεφερίκ.
- **absolute** (απόλυτο) – ορίζει το υψόμετρο του σημείου σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας, ανεξάρτητα από την πραγματική ανύψωση της γης κάτω από το στοιχείο. Για παράδειγμα, αν το υψόμετρο μίας συντεταγμένης οριστεί στα 10 μέτρα με την επιλογή του απόλυτου υψομέτρου, το εικονίδιο του σημείου σημάνσεως μέρους θα εμφανιστεί στο επίπεδο του εδάφους αν το έδαφος κάτω από αυτό είναι επίσης 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αν το έδαφος είναι 3 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, η σήμανση μέρους θα εμφανιστεί ανυψωμένη κατά 7 μέτρα πάνω από το έδαφος. Μία συνηθισμένη χρήση αυτής της επιλογής είναι για την τοποθέτηση αεροσκαφών.

<gx:altitudeMode> (όμοια με παραπάνω)

<coordinates>

Πρόκειται για ένα σύνολο που αποτελείται από τιμές κινητής υποδιαστολής του γεωγραφικού μήκους (longitude), του γεωγραφικού πλάτους (latitude) και του υψομέτρου (altitude) κατά σειρά. Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος είναι σε μοίρες, όπου:

- $-180 \leq longitude \leq 180$
- $-90 \leq latitude \leq 90$
- *altitude* (προαιρετικά) σε μέτρα ως προς την επιφάνεια της θάλασσας.

3.2.4 Περιγραφική HTML στα Placemarks

Στη σήμανση μέρους κειμένου μπορεί ο χρήστης να προσθέσει συνδέσεις, μεγέθη γραμματοσειράς, στυλ και χρώματα, καθώς και να ορίσει στοίχιση κειμένου και πίνακες.

Εάν ο χρήστης θέλει να γράψει ένα πρότυπο HTML μέσα σε ένα tag <description> , μπορεί να το βάλει μέσα σε ένα tag CDATA.

3.2.5 Διαδρομές – Paths

Πολλοί διαφορετικοί τύποι διαδρομών μπορούν να δημιουργηθούν στο Google Earth. Στο KML, δημιουργείται μία διαδρομή με ένα στοιχείο <LineString>.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα κώδικα ενός KML αρχείου που δημιουργεί ένα path στην περιοχή της Καλαμάτας.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Document>
    <name>linestyles</name>
    <Style id="MyScale5">
      <LineStyle>
        <color>ff0a00ff</color>
        <width>3.0</width>
        <gx:labelVisibility>0</gx:labelVisibility>
      </LineStyle>
    </Style>
    <Placemark>
      <name>NLX: 000048</name>
      <description>NX: 000048</description>
      <styleUrl>#MyScale5</styleUrl>
      <LineString>
        <tessellate>1</tessellate>
        <altitudeMode>absolute</altitudeMode>
        <coordinates>
          22.11526,37.03657,18
          22.11501,37.02736,15
          22.10932,37.02746,10
          22.10936,37.02616,6
          22.11123,37.02620,4
          22.12404,37.02470,3.3
          22.14614,37.01964,3
        </coordinates>
      </LineString>
    </Placemark>
  </Document>
</kml>
```

Η ετικέτα <tessellate> διασπά τη γραμμή σε μικρότερα κομμάτια.

4 Η ΓΛΩΣΣΑ PHP ΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ SCRIPTS

4.1 Τι είναι η PHP

Ο όρος PHP αποτελεί ακρωνύμιο των λέξεων Hypertext Preprocessor και είναι μία ευρέως διαδεδομένη, ανοικτού κώδικα, γενικής χρήσης χειρόγραφη γλώσσα προγραμματισμού η οποία είναι ειδικά κατάλληλη για τη δημιουργία σελίδων web με δυναμικό περιεχόμενο. Η μεγάλη της διαφορά από άλλες γλώσσες είναι ότι μία σελίδα PHP περνά από επεξεργασία από ένα συμβατό διακομιστή του Παγκόσμιου Ιστού (πχ Apache), ώστε να παραχθεί σε πραγματικό χρόνο το τελικό περιεχόμενο, που θα σταλεί στο πρόγραμμα περιήγησης των επισκεπτών σε μορφή κώδικα HTML.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα στη χρήση της PHP είναι το γεγονός ότι είναι πάρα πολύ απλή για έναν αρχάριο, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει πολλά προηγμένα χαρακτηριστικά και πολλές δυνατότητες σε έναν επαγγελματία προγραμματιστή.

4.2 Ιστορία της PHP

Η ιστορία της PHP ξεκινά από το 1994, όταν ένας φοιτητής, ο Rasmus Lerdorf δημιούργησε χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Perl ένα απλό script με όνομα php.cgi, για προσωπική χρήση. Το script αυτό είχε σα σκοπό να διατηρεί μία λίστα στατιστικών για άτομα που έβλεπαν το online βιογραφικό του σημείωμα. Αργότερα αυτό το script το διέθεσε και σε φίλους του, οι οποίοι άρχισαν να του ζητούν να προσθέσει περισσότερες δυνατότητες. Η γλώσσα τότε ονομαζόταν PHP/FI από τα αρχικά Personal Home Page/Form Interpreter.

Το 1997 η PHP/FI έφθασε στην έκδοση 2.0, βασιζόμενη αυτή τη φορά στη γλώσσα C και αριθμώντας περισσότερους από 50.000 ιστοτόπους που τη χρησιμοποιούσαν, ενώ αργότερα την ίδια χρονιά οι Andi Gutmans και Zeev Suraski ξαναέγραψαν τη γλώσσα από την αρχή βασιζόμενοι όμως αρκετά στην PHP/FI 2.0. Έτσι η PHP έφθασε στην έκδοση 3.0 η οποία θύμιζε περισσότερο τη σημερινή μορφή της.

Στη συνέχεια, οι Zeev και Andi δημιούργησαν την εταιρεία Zend (από τα αρχικά των ονομάτων τους), η οποία συνεχίζει μέχρι σήμερα την ανάπτυξη και την εξέλιξη της γλώσσας PHP. Ακολούθησε το 1998 η έκδοση 4 της PHP. Αυτή η έκδοση σηματοδοτείται ως ίσως η σημαντικότερη αλλαγή που έγινε στην PHP, καθώς με την καθιέρωση της Μηχανής Zend (Zend Engine) δημιουργήθηκαν οι βάσεις για την περαιτέρω αναβάθμιση της PHP. Μία άλλη σημαντική καινοτομία ήταν ότι η PHP μπορούσε τώρα να εκτελεστεί σε πολλούς Web servers, όπως Apache 1.3.x, Apache 2, Microsoft's IIS, Zeus, AOLServer κ.ά. Επίσης, η απόδοση της γλώσσας έκανε ένα πολύ μεγάλο άλμα μπροστά εξαιτίας δύο παραγόντων.

Πρώτα, ενώ η PHP 3 χρησιμοποιούσε τη λογική «εκτέλεση ενώ γίνεται διερμηνευση», που σήμαινε ότι η PHP διάβαζε μία γραμμή πηγαίου κώδικα, τον διερμηνευε, τον εκτελούσε, διάβαζε μια άλλη γραμμή κώδικα, τον διερμηνευε, τον εκτελούσε.. κ.ο.κ. Αυτό σήμαινε ότι ο κώδικας διαβαζόταν και διερμηνευόταν πολλές φορές, κάτι το οποίο επιβάρυνε τη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Έτσι η PHP 4 υιοθέτησε τη λογική «μεταγλώττιση πρώτα, εκτέλεση μετά» όπου πρώτα διάβαζε ολόκληρο το script, το μεταγλώττιζε σε ενδιάμεσο κώδικα (byte code) και έπειτα το εκτελούσε. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση στην ταχύτητα εκτέλεσης. Ο κώδικας «byte code» αποτελεί μία εσωτερική αναπαράσταση ενός script που η PHP μπορεί να κατανοήσει εύκολα και είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερος σε μήκος από το ίδιο το script καθώς η κάθε εντολή της PHP διασπάται σε πολλές άλλες πιο απλές εντολές. Τέλος, η PHP 4 εισήγαγε την πολυεπεξεργασία (multi-threading), όπου μπορούν κάποιες συναρτήσεις να εκτελούνται ανεξάρτητα από το κυρίως script.

Τον Ιούλιο του 2004 διατέθηκε η έκδοση 5, ενώ αυτή τη στιγμή έχει ήδη κυκλοφορήσει και η 6^η έκδοση της PHP, για οποιονδήποτε προγραμματιστή θέλει να τη χρησιμοποιήσει. Οι περισσότεροι ιστότοποι επί του παρόντος χρησιμοποιούν κυρίως την PHP 5.

4.3 Συνδεση με HTML

Οι σελίδες PHP περιέχουν HTML με ενσωματωμένο κώδικα. Ο κώδικας PHP περικλείεται σε ειδικές οδηγίες επεξεργασίας αρχής και τέλους `<?php` και `?>` αντίστοιχα που επιτρέπουν στον ενδιαφερόμενο να μεταπηδήσει προς και από την PHP λειτουργία όπως φαίνεται παρακάτω:

```
<html>
<body>
<p> Welcome,<?php print $Name; ?></p>
</body>
</html>
```

Δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι ο κώδικας της PHP εκτελείται εξ ολοκλήρου στον διακομιστή (server) και έτσι ο πελάτης (client) λαμβάνει μόνο το τελικό αποτέλεσμα από την εκτέλεση του script. Αυτό σημαίνει με απλά λόγια ότι οι τελικοί χρήστες δεν μπορούν ποτέ να δουν τον πηγαίο κώδικα (source code) της PHP.

4.4 Η Διερμηνευση και η Μεταγλώττιση

Η PHP χρησιμοποιεί μια μίξη από διερμηνευση (interpretation) και μεταγλώττιση (compilation) έτσι ώστε να μπορέσει να δώσει στους προγραμματιστές τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό απόδοσης και ευελιξίας. Στο παρασκήνιο, η PHP μεταγλωττίζει το script σε μία σειρά από εντολές (instructions), που είναι γνωστές με τον όρο opcodes, οι οποίες εντολές εκτελούνται μία-μία μέχρι να τελειώσει το script.

Αυτό είναι κάτι διαφορετικό από τις παραδοσιακές γλώσσες που μεταγλωττίζονται, όπως είναι η C++, όπου ο κώδικας μεταγλωττίζεται σε εκτελέσιμο κώδικα μηχανής, ενώ η PHP μεταγλωττίζει εκ νέου το script κάθε φορά που αυτό απαιτείται. Αυτή η συνεχής

μεταγλώττιση μπορεί να φαίνεται ως απώλεια χρόνου, αλλά δεν είναι καθόλου κακή καθώς δε χρειάζεται να κάνουμε συνέχεια εμείς τη μεταγλώττιση των scripts όταν γίνονται κάποιες αλλαγές σ' αυτά.

4.5 Πώς γράφεται η PHP

Όπως είδαμε και νωρίτερα, ο κώδικας της PHP ενσωματώνεται μέσα στην HTML και τα στοιχεία της PHP που υπάρχουν σ' ένα script είναι σαν νησίδες κώδικα (code islands), δηλαδή αυτόνομα κομμάτια κώδικα που μπορούν να εκτελεστούν ανεξάρτητα από την περιβάλλουσα HTML. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι ο κώδικας της PHP δε μπορεί να επηρεάσει την HTML, κάθε άλλο μάλιστα.

Τα scripts της PHP αποθηκεύονται συνήθως με την επέκταση .php και κάθε φορά που ο Web server πρέπει να στείλει ένα αρχείο που τελειώνει σε .php, πρώτα το στέλνει στον διερμηνευτή (interpreter) της PHP, ο οποίος εκτελεί τον κώδικα της PHP που υπάρχει στο script πριν επιστρέψει το παραγόμενο αρχείο στον τελικό χρήστη. Η κάθε γραμμή του PHP κώδικα είναι γνωστή ως εντολή (statement) και τελειώνει με το σύμβολο ;.

Οι μεταβλητές (variables) της PHP ξεκινούν με το σύμβολο \$ ακολουθούμενο από ένα γράμμα ή τον χαρακτήρα _ (underscore) και μετά από έναν συνδυασμό από γράμματα, ψηφία και τον χαρακτήρα _. Αυτό σημαίνει ότι δε μπορούμε να ξεκινήσουμε το όνομα μίας μεταβλητής με ψηφίο.

4.6 Πώς δουλεύει η PHP

Η PHP είναι μία γλώσσα «server-side». Αυτό σημαίνει ότι ο κώδικας PHP που περιέχει μία σελίδα εκτελείται στον server (όπου είναι αποθηκευμένη η σελίδα), ενώ τα αποτελέσματα εμφανίζονται με μορφή HTML στον τελικό χρήστη.

Ο τρόπος με τον οποίο δουλεύει ένας web server (απαραίτητο λογισμικό για την επεξεργασία και τη λειτουργία μίας ιστοσελίδας) στον οποίο υπάρχει εγκατεστημένη η PHP είναι ο εξής: ο χρήστης «καλεί» μια σελίδα και ο server κάνει τις αντίστοιχες διεργασίες, για να παρουσιάσει το επιθυμητό αποτέλεσμα πίσω στο χρήστη. Μία απλή σελίδα HTML παρακάμπτει το εγκατεστημένο λογισμικό της PHP στον web server και εμφανίζεται όπως ακριβώς είναι στο χρήστη.

4.7 Δυνατότητες της PHP

Η PHP κυρίως επικεντρώνεται στον προγραμματισμό και τις ενέργειες του διακομιστή (server-side scripting), επομένως μπορεί ο χρήστης να κάνει οτιδήποτε, μπορεί να κάνει οποιοδήποτε άλλο CGI πρόγραμμα. Αλλά η PHP μπορεί να κάνει πολλά περισσότερα.

Υπάρχουν τρεις βασικές περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται PHP σενάρια:

Server-side scripting. Είναι το πιο συνηθισμένο. Χρειάζονται τρία πράγματα για να δουλέψει αυτό, ο PHP parser, ένας web server κι ένας web browser. Ο χρήστης πρέπει να «τρέξει» το διακομιστή ιστοσελίδων. Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο αποτέλεσμα του προγράμματος PHP μέσω ενός προγράμματος περιήγησης. Όλα αυτά μπορούν να εκτελούνται στο σταθερό υπολογιστή καθώς ο ενδιαφερόμενος θα πειραματίζεται με τον προγραμματισμό σε PHP.

Command line scripting. Μπορεί να τρέξει ένα PHP πρόγραμμα χωρίς κάποιον διακομιστή ή πρόγραμμα περιήγησης. Χρειάζεται μόνο ένα πρόγραμμα ανάλυσης PHP (PHP parser)

Writing desktop applications. Η PHP δεν είναι η καλύτερη γλώσσα για τη δημιουργία εφαρμογών επιφάνειας εργασίας με ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη αλλά ο χρήστης που γνωρίζει καλά την PHP μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποια προηγμένα PHP χαρακτηριστικά στις εφαρμογές του καθώς επίσης και PHP-GTK για να γράψει κάποια προγράμματα. Η PHP-GTK είναι μία επέκταση της PHP, μη διαθέσιμη όμως στην κεντρική διανομή.

Η PHP μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα βασικά λειτουργικά συστήματα, όπως Linux, Microsoft Windows, Mac OS X, RISC OS. Η PHP υποστηρίζει επίσης τους περισσότερους διακομιστές δικτύου (web servers), μεταξύ των οποίων Apache, IIS, και πολλοί άλλοι. Η PHP λειτουργεί είτε ως μία λειτουργική μονάδα είτε ως CGI επεξεργαστής.

Επομένως με την PHP, ο προγραμματιστής έχει την ελευθερία να διαλέξει ένα λειτουργικό σύστημα κι έναν διακομιστή δικτύου. Επιπλέον, έχει την ευκαιρία να χρησιμοποιήσει δομημένο προγραμματισμό ή αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, ή ένα μίγμα και των δύο.

Με την PHP ο χρήστης δεν περιορίζεται στην εξαγωγή HTML. Οι δυνατότητες της PHP περιλαμβάνουν την εξαγωγή εικόνων, PDF αρχείων, ακόμη και ταινίες Flash. Μπορεί επίσης να εξάγει εύκολα ένα κείμενο, όπως για παράδειγμα XHTML και οποιοδήποτε άλλο XML αρχείο. Η PHP μπορεί να παράγει μόνη της αυτά τα αρχεία, και να τα αποθηκεύσει στο σύστημα αρχείων (file system), αντί να τα εκτυπώσει, δημιουργώντας μία κρυφή μνήμη για το δυναμικό περιεχόμενο.

Ένα από τα πιο δυνατά και σημαντικά χαρακτηριστικά της PHP είναι ότι υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα βάσεων δεδομένων. Η δημιουργία μίας ιστοσελίδας στηριζόμενη σε βάσεις δεδομένων είναι πολύ απλή με τη χρήση συγκεκριμένων επεκτάσεων των βάσεων δεδομένων (πχ mysql), ή με τη σύνδεση σε οποιαδήποτε βάση δεδομένων υποστηρίζοντας την Open Database Connection μέσω της ODBC επέκτασης.

Η PHP υποστηρίζει επίσης την επικοινωνία με άλλες υπηρεσίες χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα όπως LDAP, IMAP, SNMP, NNTP, POP3, HTTP, COM (στα Windows) και πολλά άλλα. Όσον αφορά τη διασύνδεση, η PHP υποστηρίζει επίσης τη δημιουργία αντικειμένων και τη χρήση αυτών ως PHP αντικείμενα.

Τα χαρακτηριστικά και τα προτερήματα της PHP είναι πολλά περισσότερα από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αυτός είναι και ο λόγος που είναι τόσο διαδεδομένη και τόσο συνηθισμένη γλώσσα προγραμματισμού.

4.8 Παραδείγματα PHP

Στη συνέχεια ακολουθούν ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα που αφορούν βασικές λειτουργίες της PHP και μπορούν να αποτελέσουν αρωγό για έναν αρχάριο της PHP για την ευκολότερη εξοικείωσή του με τη γλώσσα.

Writing text to a file

```
<?php

$handle = fopen ("myfile.txt", 'w+');
if ($handle)
{
    if (!fwrite($handle, "Student Name: Deron Williams"))
        die ("couldn't write to file.");

    echo "success writing to file";
}

?>
```

Open file for reading

```
<?php

$fh = fopen("myfile.txt", "r");
if ($fh==false)
    die("unable to create file");

?>
```

Create new file for writing

```
<?php

$fh = fopen("myfile.txt", "w");
if ($fh==false)
    die("unable to create file");

?>
```

Creating and Calling a PHP Function

```
<?php

//we create a function name my_function
function my_function()
{
    echo "Hello World";
}
//end of function

//call our function like this when we want to use it
my_function();
?>
```

PHP functions and Parameters

```
<?php

//we create a function name my_function
function my_function($first_name, $last_name, $message)
{
    echo $first_name." ".$last_name." once said ".$message;
}
//end of function

//call our function like this when we want to use it
my_function("Deron","Williams","That was my best game ever");
?>
```

Creating an Array in PHP

```
<?php

$employee_names[0]="Deron";
$employee_names[1]="Jason";
$employee_names[2]="Jeremy";

echo "The first's employee's name is ".$employee_names[0];
echo "<br>";
echo "The second's employee's name is ".$employee_names[1];
echo "<br>";
echo "The third's employee's name is ".$employee_names[2];
```

```
echo "<br>";
```

```
?>
```

Concatenating PHP Strings

```
<?php
```

```
$str1 = "His name is Deron.";
```

```
$str2 = "His nickname is Williams.";
```

```
echo $str1." ".$str2;
```

```
?>
```

Μέρος 2: Το πρόβλημα και η προσέγγισή μας

5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

5.1 Οριοθέτηση

Όπως αναφέρουμε αναλυτικά και στο Κεφάλαιο 1, στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι η προσέγγιση του προβλήματος βέλτιστης καταμέτρησης των εταιρειών κοινής ωφέλειας.

Ας θέσουμε τους στόχους της εταιρείας κοινής ωφέλειας:

1. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους καταμέτρησης, με τη δημιουργία περισσότερο αποτελεσματικών διαδρομών. Με τον όρο "αποτελεσματικές" εννοούμε τον ελάχιστο αριθμό διαδρομών πλήρους διάρκειας (ωραρίου) για την κάλυψη της υπό εξέταση περιοχής μία φορά σε κάθε περίοδο καταμέτρησης καταναλώσεων. Βελτιώνοντας τις διαδρομές, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια ημέρα τιμολόγησης, η εταιρεία μειώνει το λειτουργικό της κόστος, μειώνοντας τη συνολική απόσταση που διανύεται από τους καταμετρητές της. Επιπροσθέτως, λόγω της βελτίωσης των διαδρομών, ενδέχεται να απαιτηθεί μικρότερος αριθμός καταμετρητών, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους της εταιρείας.

Σημειώνεται ότι με δεδομένη τη μη πρόσβαση σε δεδομένα καταναλωτών και συνεργείων, δεν είναι δυνατό να εξετάσουμε ένα πραγματικό παράδειγμα. Ωστόσο αυτό δεν μας εμποδίζει να αναδείξουμε τα χαρακτηριστικά του προβλήματός μας και να προτείνουμε μια προσέγγιση η οποία λαμβάνει υπόψη της τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου που θα αναφερθούν στη συνέχεια, καθώς και την πυκνότητα των καταναλωτών. Όταν εφαρμοστεί αυτή η προσέγγιση εκτιμούμε ότι τα αποτελέσματά της σε σύγκριση με τη σημερινή εικόνα διαμερισμού της καταμέτρησης, θα είναι αρκετά ενδιαφέροντα.

2. Στόχος είναι η εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας και των πελατών μεταξύ των ημερών του κύκλου τιμολόγησης, τηρουμένων τυχόν ρυθμιστικών περιορισμών ή της πολιτικής της εταιρείας. Τα οφέλη της εταιρείας από την εξισορρόπηση αυτή είναι:

- Η εταιρεία επιθυμεί ο αριθμός των αναγκαίων καταμετρητών να είναι σταθερός στον κύκλο καταμέτρησης, δηλ. η εταιρεία θα επιθυμούσε τη δημιουργία διαδρομών που δεν απαιτούν επιπλέον καταμετρητές ή αυξημένα κόστη (λόγω υπερωριών), σε ορισμένες ημέρες του κύκλου καταμέτρησης.
- Η εταιρεία επιθυμεί το διαχωρισμό της ευρύτερης περιοχής σε όμοιες υπο-περιοχές ιδανικές για καταμέτρηση σε ημερήσια ή άλλη χρονική βάση. Στην προσέγγιση του ζητήματος, που ακολουθεί, με δεδομένο το υφιστάμενο σύνολο διαδρομών που καλύπτουν τον κύκλο τιμολόγησης της εταιρείας, ζητείται η ανασύνταξη των διαδρομών με στόχους:

- i. Τη μείωση της συνολικά διανυόμενης απόστασης που απαιτείται για τη μοναδική επίσκεψη, από τον καταμετρητή, κάθε μετρητή πελάτη που εντάσσεται στη διαδρομή, τηρουμένων των τυχόν ρυθμιστικών περιορισμών ή της πολιτικής της εταιρείας.
- ii. Την εξισορρόπηση των διαδρομών καταμέτρησης, τόσο ως προς το συνολικό μήκος τους, όσο και προς τον αριθμό των μετρητών που διαβάζονται ανά ημέρα.

Είναι λοιπόν σαφές ότι το πρόβλημα εστιάζεται στο γεγονός ότι οι εταιρείες κοινής ωφέλειας θέλουν να κάνουν τις μετρήσεις σε βέλτιστο χρόνο και στο ελάχιστο δυνατό κόστος.

5.2 Στρατηγική αντιμετώπισης

Η στρατηγική αντιμετώπισης που ακολουθήθηκε είναι απλή και συγκεκριμένη. Το πρόβλημα δεν είναι μόνο η διανυόμενη απόσταση από τους καταμετρητές, αλλά εντοπίζεται στο χρόνο διάσχισης της απόστασης αυτής. Ο χρόνος διάσχισης μίας συγκεκριμένης διαδρομής, έχει κάποιους παράγοντες που τον επηρεάζουν σημαντικά. Κάποιους από αυτούς θα αναδείξουμε εδώ, και είναι αυτοί που μελετήθηκαν κατά πόσο και με ποιο τρόπο επηρεάζουν τη διανυόμενη απόσταση.

- Πρώτος παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο διάσχισης μίας απόστασης με γνωστό ευκλείδιο μήκος, είναι η κλίση του δρόμου. Έχοντας τα υψόμετρα των διαφόρων σημείων των δρόμων, είναι εύκολο κανείς να υπολογίσει την κλίση μεταξύ των εκάστοτε σημείων. Είναι προφανές ότι σε διαφορετικό χρόνο θα διασχίσουμε μία απόσταση 100 μέτρων με κλίση 1%, και σε διαφορετικό μία αντίστοιχη με κλίση 20%. Η επιβάρυνση λόγω κλίσης είναι ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο που επηρεάζει όπως θα δούμε πολύ το χρόνο διάσχισης της απόστασης. Οπότε επιλέξαμε να δημιουργήσουμε ένα πλασματικό μήκος, το οποίο ουσιαστικά είναι η επιβάρυνση λόγω κλίσης και προκύπτει μαθηματικά από τον τύπο $cL = |L * A * \tan(kl)|$, (υποκεφάλαιο 7.2.2) . Οπότε στο παράδειγμά μας στην πρώτη περίπτωση η απόσταση γίνεται $cL_1 = |100 * 0.555 * \tan(3,6)| = 3.50m$ άρα η απόσταση γίνεται τελικά $L_{kl} = 100 + 3.50 = 103.50m$ ενώ στη δεύτερή περίπτωση μας το πλασματικό μήκος $cL_2 = |100 * 0.555 * \tan(72)| = 170.81m$ το οποίο τελικά γίνεται $L_{kl} = 100 + 170.81 = 270.81m$. Είναι προφανές ότι η κλίση μπορεί να επηρεάσει δραστικά τη διάσχιση μίας απόστασης.
- Ένας δεύτερος παράγοντας που είναι ιδιαίτερα καθοριστικός στη δική μας περίπτωση καθώς επηρεάζει το χρόνο διάσχισης μίας απόστασης είναι το πλήθος των μετρητών, καθώς και η κατανομή τους. Ας θεωρήσουμε μία απόσταση 100 μέτρων που έχει 10 μετρητές, και μία αντίστοιχη απόσταση που έχει 100 μετρητές. Η καταμέτρηση επιβάλλει στάση σε κάθε μετρητή και καταγραφή του αριθμού του, κάτι το οποίο χρονικά καθυστερεί την διάσχιση της απόστασης.

Για τον υπολογισμό της επιβάρυνσης από την κατανομή και την πυκνότητα των μετρητών χρησιμοποιήσαμε δύο διαφορετικά σενάρια λόγω έλλειψης πραγματικών δεδομένων. Το ένα σενάριο λέει ότι οι μετρητές είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι σε όλη την περιοχή μελέτης. Αυτό το σενάριο δεν είναι πολύ ρεαλιστικό για κάθε περίπτωση, καθώς σε κάποιες περιοχές μπορεί να παρατηρηθεί μεγάλη ανομοιομορφία στην πυκνότητα κατοίκησης από μέρος σε μέρος. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που μας ώθησε στη δημιουργία του δεύτερου σεναρίου. Στη δεύτερη λοιπόν περίπτωση, χωρίζουμε την περιοχή σε 4 τυχαίες (μη ισεμβαδικές) υποπεριοχές. Μεταξύ τους διαφέρουν στο πλήθος μετρητών ανά μονάδα μήκους οδικού δικτύου και αυτό είναι που μας δημιουργεί την ποικιλομορφία που επιδιώκουμε. Σκοπός είναι να αναδείξουμε ότι για διαφορετικές χωρικές πυκνότητες και κατανομές μετρητών, προκύπτουν εντελώς διαφορετικές διαμερίσεις καταμέτρησης, παρά το γεγονός ότι η μέση πυκνότητα των μετρητών παραμένει ίδια.

Ως μέτρο για την ομοιογένεια της κατανομής εισάγουμε μια "ισοδύναμη απόσταση" η οποία είναι μεγαλύτερη από την ευκλείδια απόσταση με τρόπο που συναρτάται από την κλίση του οδικού δικτύου και από τη χωρική πυκνότητα των μετρητών, όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Μελετάμε την διαφοροποίηση των εικονικών αυτών αποστάσεων σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια. Αφού χωρίσουμε την προς μελέτη περιοχή μας (Καλαμάτα) σε υποπεριοχές από τον αλγόριθμο (υποκεφάλαιο 7.1), και με τη λογική ότι κάθε υποπεριοχή χρειάζεται ένα συνεργείο καταμετρητών από την εταιρεία κοινής ωφέλειας για την κάλυψή της και τη συλλογή όλων των μετρήσεων, θα προσεγγίσουμε το βέλτιστο αριθμό καταμετρητών που απαιτούνται ανάλογα με την έκταση που μπορεί να καλύψει ένα συνεργείο. Για παράδειγμα, αν χωρίσουμε την περιοχή μας σε 50 υποπεριοχές, θα δούμε παρακάτω πως η διανυόμενη απόσταση είναι περίπου 40 ισοδύναμα χιλιόμετρα ανά περιοχή, ενώ η ευκλείδια απόσταση δεν ξεπερνά τα 15 χιλιόμετρα.

5.3 Αλγόριθμος ισοδύναμης διαμέρισης δικτύου

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήσαμε προέρχεται από το πρόβλημα της ισοδύναμης διαμέρισης δικτύου για την κατανομή μονάδων επέμβασης κατά τη διαχείριση κρίσεων και περιγράφεται στη συνέχεια.

Οι Διαχειριστές Κρίσεων που διαχειρίζονται συμβάντα κρίσεων που αφορούν την επέμβαση των Αστυνομικών Δυνάμεων, του Πυροσβεστικού Σώματος και των Μέσων Άμεσης Ιατρικής Βοήθειας μεριμνούν για τη χωροθέτηση και επίβλεψη της ανάπτυξης των συνεργείων Άμεσης Επέμβασης στο χώρο που ενδέχεται να ξεσπάσει μια δασική πυρκαγιά έτσι ώστε η επέμβαση αυτών να είναι η καλύτερη δυνατή από πλευράς αντιμετώπισης των επεισοδίων αυτών. Στην περίπτωση αυτή, οι Διαχειριστές Κρίσεων μεριμνούν για την αποστολή του κατάλληλου τύπου και αριθμού μονάδων άμεσης επέμβασης στις κλίσεις για βοήθεια. Η διαχείριση των μονάδων επέμβασης και προσφοράς άμεσης βοήθειας μπορεί να πραγματοποιηθεί και να καθοδηγηθεί μέσω αρκετών διατάξεων στο χώρο και στο χρόνο. Μπορεί να γίνει μέσα από κάποιο Αστυνομικό Τμήμα, από κάποιο Πυροσβεστικό Τμήμα, από κάποιο Νοσοκομείο και ακόμη περισσότερο από ένα κινητό ή σταθερό Κέντρο Διαχείρισης Κρίσεων. Σε πολλές περιοχές τέτοια Επιχειρησιακά Κέντρα στεγάζονται σε Αστυνομικά Τμήματα όπου οι κλήσεις για βοήθεια και επέμβαση διαχειρίζονται ταυτόχρονα με τις άλλες κλήσεις για συμβάντα που δεν αφορούν την κρίση με αντίστοιχη ιεράρχηση αυτών.

Το πρόβλημα της χωροθέτησης μονάδων επέμβασης και προσφοράς άμεσης βοήθειας (ΜΕΠΑΒ) σε κάποιο δίκτυο γίνεται εξαιρετικά σύνθετο όταν οι συνθήκες που επηρεάζουν τις αποφάσεις χωροθέτησης αλλάζουν δυναμικά με το χρόνο. Στόχος του προβλήματος είναι να καθοριστεί η χωροθέτηση των ΜΕΠΑΒ, οι οποίες επιτρέπεται να εξυπηρετούν διαφορετικά περιστατικά αντιμετώπισης επεισοδίων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Κινητές ΜΕΠΑΒ: Επιτρέπουν την επανατοποθέτηση των ΜΕΠΑΒ σε κάθε περίοδο στοχεύοντας στην ουσιαστική βελτίωση της εξυπηρέτησης και της μείωσης του κόστους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπ' όψη επιπροσθέτως με το κόστος εξυπηρέτησης και το κόστος μετακίνησης των ΜΕΠΑΒ. Σε πραγματικά προβλήματα είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η σημασία και τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα της χρησιμοποίησης κινητών ΜΕΠΑΒ και ανάλογα με τα συμπεράσματα που θα προκύψουν να επιλεγεί η κατάλληλη μορφή επιχειρησιακής δράσης.

Διατήρηση καθορισμένων αναθέσεων: Ενδέχεται να θεωρηθεί απαραίτητο να διατηρηθεί η ίδια ανάθεση των περιστατικών στις ΜΕΠΑΒ κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρά να επανατεθεί ένα περιστατικό στη κοντινότερη του ΜΕΠΑΒ σε κάθε περίοδο. Εάν η ανάθεση είναι καθορισμένη η συνέπεια είναι η δυνατότητα ευελιξίας να είναι ιδιαίτερος περιορισμένη και το συνολικό κόστος της επιχείρησης να αυξηθεί.

Απευθείας σύνδεσης αλγόριθμοι: Σε ρεαλιστικά προβλήματα, το κόστος του δικτύου και οι αποστάσεις μεταβάλλονται δυναμικά, αλλά δεν υπάρχει καμία εκ των προτέρων γνώση ή πρόβλεψη όσον αφορά τις μεταβολές του κόστους. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται οι απ' ευθείας σύνδεσης αλγόριθμοι με τη βοήθεια των οποίων παράγεται μια λύση για μια περίοδο κάθε φορά, αφού τα προαναφερθέντα κόστη έχουν γίνει γνωστά. Ωστόσο, τέτοιου είδους αλγόριθμοι είναι δυνατό να αξιοποιηθούν μόνο αν υπάρχει ευελιξία στην αλλαγή είτε της χωροθέτησης των ΜΕΠΑΒ είτε της ανάθεσης των περιστατικών.

Κατευθυνόμενο δίκτυο: Στην περίπτωση αυτή το γράφημα πάνω στο οποίο εξετάζεται το πρόβλημα χαρακτηρίζεται από κατευθύνσεις. Η συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί αφενός δεν έχει εξεταστεί ιδιαίτερος από τη ξένη βιβλιογραφία και αφετέρου αντιμετωπίζει περιπτώσεις ρεαλιστικών προβλημάτων. Για παράδειγμα, η κίνηση κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής είναι συνήθως αρκετά μεγαλύτερη στη μια κατεύθυνση ενός διπλού δρόμου σε σχέση με την αντίθετη κατεύθυνση, με συνέπεια το κόστος να μην είναι συμμετρικό.

Συνεχής δυναμική μεταβολή: Στην συγκεκριμένη περίπτωση, υποτίθεται ότι το κόστος μεταβάλλεται σε κάθε περίοδο. Γι' αυτό το λόγο η συνάρτηση του κόστους αποτελεί μία συνάρτηση βήματος (step function). Ωστόσο, στην πραγματικότητα παρατηρείται μια συνεχής μεταβολή του κόστους μέσα στο χρόνο. Συνεπώς, αν η προσέγγιση της συνάρτησης κόστους δεν είναι αρκετά καλή, πιθανότατα να είναι αποτελεσματικότερο να ληφθεί απ' ευθείας υπ' όψη το συνεχές μεταβαλλόμενο κόστος.

Μέσω της παρούσας ενότητας εργασίας, η χωροθέτηση ΜΕΠΑΒ για την αντιμετώπιση καταστάσεων κρίσης κατά τη διάρκεια μιας δασικής πυρκαγιάς γίνεται καλύτερα κατανοητή συνδυαζόμενη με την κατασκευή ενός προηγμένου εργαλείου προγραμματισμού. Αυτό το εργαλείο είναι σε θέση να προσδιορίσει σημεία του οδικού δικτύου που απέχουν χρονικά και

χωρικά από όλα τα υπόλοιπα σημεία ευθύνης τους το πολύ έως και μια συγκεκριμένη διδόμενη τιμή. Η προτεινόμενη προσέγγιση στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός δικτυακού μοντέλου, το οποίο χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τα συνολικά σημεία και περιοχές ευθύνης. Πιο συγκεκριμένα, έχει διαμορφωθεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, το οποίο είναι σε θέση να υπολογίσει τα σημεία και τις περιοχές αυτές. Κατόπιν, κάθε σημείο του οδικού δικτύου μπορεί να αποδοθεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή ευθύνης. Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε λεπτομερέστερα τα δύο σημαντικότερα σημεία στην παρούσα ενότητα εργασίας: την ανάπτυξη του μαθηματικού προτύπου και την περιγραφή του αλγορίθμου επίλυσης.

5.3.1 Προβλήματα Διακριτής Αριστοποίησης

Τα προβλήματα που ανήκουν στον χώρο της διακριτής βελτιστοποίησης ορίζονται σε σχέση με το αντίστοιχο υπόδειγμα από ένα σύνολο στοιχείων $E = \{e_i, i=1, 2, \dots, m\}$. Για κάθε διακριτό υπόδειγμα, υπάρχει ένα σύνολο λύσεων $S = \{s_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ (χώρος λύσεων) και μία αντικειμενική συνάρτηση f που προσδιορίζει την αξία της κάθε λύσης, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις υπόκειται σε ένα σύνολο περιορισμών P . Η αντικειμενική συνάρτηση εκφράζει συνήθως κόστος ή όφελος και οι περιορισμοί καθορίζουν τα στοιχεία του S . Ενδέχεται επίσης ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, η λύση να μπορεί να διαμεριστεί σε διακριτά υποσύνολα που να την συνθέτουν. Ανάλογα με τη δομή και τη φύση κάθε λύσης, υπάρχουν δύο είδη προβλημάτων. Στα πρώτα η διασύνδεση των στοιχείων στο σύνολο της κάθε λύσης έχει σημασία, ενώ στα δεύτερα η διασύνδεση των στοιχείων στο σύνολο της κάθε λύσης δεν έχει σημασία. Για την πρώτη κατηγορία προβλημάτων η διασύνδεση των στοιχείων μέσα στο σύνολο της λύσης παίζει ρόλο στην εξαγωγή της αξίας της λύσης από την αντικειμενική συνάρτηση, ενώ κάτι τέτοιο δεν ισχύει για την δεύτερη κατηγορία. Η επίλυση των προβλημάτων αυτών συνίσταται στην εύρεση της καλύτερης λύσης ή διαφορετικά του παγκόσμιου βέλτιστου. Αν πρόκειται για πρόβλημα ελαχιστοποίησης μας ενδιαφέρει το παγκόσμιο ελάχιστο, ενώ αν πρόκειται για πρόβλημα μεγιστοποίησης το παγκόσμιο μέγιστο.

Η επίλυση των προβλημάτων διακριτής βελτιστοποίησης από ακριβείς αλγόριθμους είναι πρακτικά αδύνατη. Οι ακριβείς αλγόριθμοι εξετάζουν όλο τον χώρο λύσεων του προβλήματος και επιλέγουν το παγκόσμιο βέλτιστο. Ένας ακριβής αλγόριθμος είναι βέβαιο ότι θα καταλήξει σε παγκόσμιο βέλτιστο, αλλά παρουσιάζει δύο πολύ σημαντικά μειονεκτήματα κατά την εφαρμογή του στην πράξη: Η εξέταση του συνόλου των λύσεων δημιουργεί σημαντικές απαιτήσεις σε υπολογιστικό χρόνο και σε μνήμη υπολογιστή.

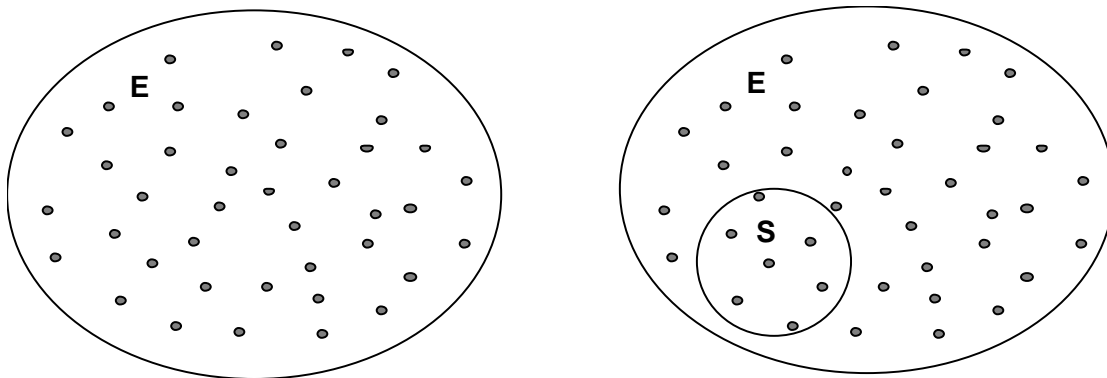
Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιούνται κυρίως προσεγγιστικοί αλγόριθμοι, που επιτυγχάνουν την εύρεση του παγκόσμιου βέλτιστου, ή τουλάχιστον εύρεση μιας λύσης που παρουσιάζει μικρή απόκλιση από το παγκόσμιο βέλτιστο, με ταυτόχρονη μείωση των απαιτήσεων σε υπολογιστικό χρόνο και μνήμη.

Οι σημαντικότεροι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι είναι οι ευρεστικοί αλγόριθμοι. Οι ευρεστικοί αλγόριθμοι είναι στρατηγικές που έχουν ως βασικό στόχο τη μείωση του πλήθους των εξεταζόμενων λύσεων για την εύρεση του παγκόσμιου βέλτιστου με προφανή εξοικονόμηση χρόνου και μνήμης. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι καταλήγουν στην καλύτερη λύση από αυτές που εξετάζονται, δηλαδή σε ένα τοπικό βέλτιστο, το οποίο βεβαίως είναι πιθανό να

είναι και παγκόσμιο βέλτιστο, αν και αυτό δεν είναι δυνατόν να αποδειχθεί. Το σύνολο των λύσεων που δεν εξετάζονται είναι πολύ πιθανό να περιέχει το παγκόσμιο βέλτιστο, με συνέπεια τελικά αυτό να μην επιλέγεται. Για αυτό το λόγο ο σχεδιασμός τους πρέπει να είναι τέτοιος ώστε οι λύσεις που εξετάζονται να είναι το δυνατόν καλύτερες από άποψη ποιότητας, δηλαδή να προσεγγίζουν το δυνατόν περισσότερο την τιμή του παγκόσμιου βέλτιστου.

Οι ευρεστικοί αλγόριθμοι διαμορφώνονται μέσω δυο βασικών φάσεων. Η πρώτη φάση είναι η φάση της κατασκευής των λύσεων και η δεύτερη είναι η φάση της βελτίωσης αυτών.

Κατά την διεξαγωγή της πρώτης φάσης κατασκευάζεται μια λύση S από τα στοιχεία του συνόλου E , όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.1. Κατόπιν γίνεται διαχωρισμός των στοιχείων του συνόλου E . Συγκεκριμένα, γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των στοιχείων που ανήκουν στη λύση και αυτών που δεν ανήκουν σε αυτή, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.2. Επομένως από το σύνολο E αφαιρείται το σύνολο S και δημιουργείται το $E \setminus S$. Το $E \setminus S$ μπορεί να είναι και το κενό σύνολο ($E \setminus S = \emptyset$) ανάλογα με το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται. Αξίζει να σημειωθεί ότι μπορεί να γίνει και περαιτέρω διαχωρισμός στα στοιχεία της λύσης, δηλαδή μια λύση να χωριστεί σε επιμέρους υποσύνολα. Αυτός ο επιμέρους διαχωρισμός όμως αφορά συγκεκριμένα προβλήματα διακριτής βελτιστοποίησης και όχι το σύνολό τους.



Σχήμα 5.1 Φάση της κατασκευής της λύσης

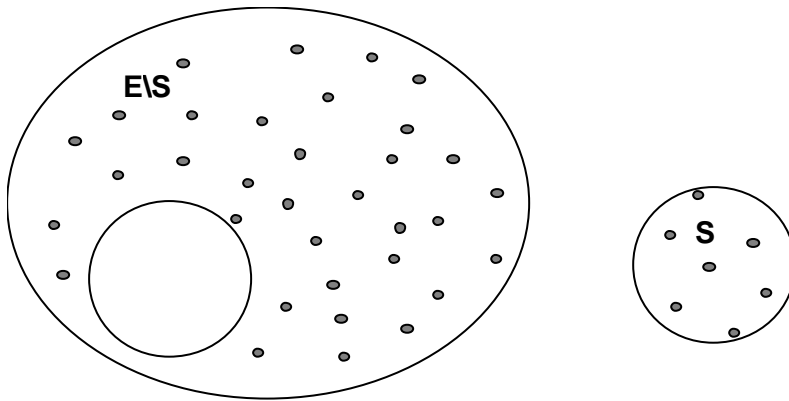
Οι αλγόριθμοι που εμπλέκονται στη φάση κατασκευής λύσεων δημιουργούν μια λύση από τα στοιχεία του E , προσθέτοντας σταδιακά καινούργια στοιχεία στο σύνολο S , που αρχικά είναι κενό.

Κατά τη διεξαγωγή της δεύτερης φάσης επιχειρείται η βελτίωση της ποιότητας της λύσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τις διαδικασίες βελτίωσης της λύσης. Οι διαδικασίες βελτίωσης σχετίζονται με τα στοιχεία του συνόλου E και μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

Διαδικασίες που περιλαμβάνουν μόνο τα στοιχεία του $E \setminus S$.

Διαδικασίες που περιλαμβάνουν μόνο τα στοιχεία του S .

Διαδικασίες που περιλαμβάνουν και στοιχεία του E και στοιχεία του S .



Σχήμα 5.2 Φάση διαχωρισμού της λύσης

Η πρώτη κατηγορία δεν παρουσιάζει κανένα ενδιαφέρον, διότι τα στοιχεία του συνόλου $E \setminus S$ δεν επηρεάζουν την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά μόνο τα προβλήματα, στα οποία η διασύνδεση των στοιχείων της λύσης παίζει ρόλο στη εξαγωγή της τιμής της από την αντικειμενική συνάρτηση. Σε αυτή τη περίπτωση, με την εφαρμογή της διαδικασίας βελτίωσης γίνονται κάποιες αλλαγές στη δομή του συνόλου S με συνέπεια να μεταβάλλονται οι διασυνδέσεις των στοιχείων του και τελικά να μεταβάλλεται και η τιμή της αντικειμενική συνάρτησης.

Η τρίτη κατηγορία αφορά και τα προβλήματα που η διασύνδεση των στοιχείων των λύσεων τους παίζει ρόλο και προβλήματα που η διασύνδεση δεν παίζει ρόλο. Σε αυτή τη κατηγορία γίνονται στην ουσία αντικαταστάσεις των στοιχείων της S από άλλα που ανήκουν στο $E \setminus S$ με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ποιότητας της λύσης.

5.3.2 Κατασκευαστικοί Αλγόριθμοι

Οι κατασκευαστικοί αλγόριθμοι ξεκινούν από μια κενή λύση και κατασκευάζουν βήμα-βήμα μια άλλη που είναι ολοκληρωμένη, δηλαδή περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που ανήκουν στο E , έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί του προβλήματος. Σε κάθε βήμα προστίθεται ένα μόνο στοιχείο μέχρι το σημείο διαμόρφωσης μιας ολοκληρωμένης λύσης. Η επιλογή του κάθε στοιχείου βασίζεται σε πληροφορίες που σχετίζονται με την αξία της υπό διαμόρφωση λύσης από την αντικειμενική συνάρτηση και στους περιορισμούς του προβλήματος. Από το σύνολο των λύσεων που κατασκευάζονται επιλέγεται η καλύτερη. Ένας ψευδοκώδικας για τους κατασκευαστικούς αλγόριθμους παρουσιάζεται παρακάτω.

Διέταξε τα στοιχεία του E κατά σειρά βασισμένη σε κάποιο κριτήριο.

Θέσε $\bar{s} = \emptyset$.

Επανάλαβε

Εάν $\bar{s} \cup \{e_i\}$ είναι μια μερική λύση τότε $\bar{s} = \bar{s} \cup \{e_i\}$

Μέχρις ότου $\bar{s} \in S$

Ένας προφανής κατασκευαστικός αλγόριθμος είναι ο *αλγόριθμος τυχαίας επιλογής*. Σύμφωνα με αυτόν, κατά την φάση της κατασκευής μιας λύσης η επιλογή του επόμενου στοιχείου που μπορεί να προστεθεί στην ήδη υπάρχουσα μερική λύση γίνεται με τυχαίο τρόπο μεταξύ των στοιχείων του E που δεν έχουν ακόμη επιλεγεί. Οι λύσεις που παράγονται με τον τρόπο αυτό είναι ιδιαίτερα κακές από πλευράς τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης. Ο λόγος είναι ότι η επιλογή δεν βασίζεται σε κάποιο κριτήριο που να μπορεί να εκμεταλλευτεί τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος. Η καλύτερευση του αλγορίθμου αυτού έρχεται με την υιοθέτηση ενός τέτοιου κριτηρίου.

Ο πλέον δημοφιλής κατασκευαστικός αλγόριθμος είναι ο *πλεονεκτικός αλγόριθμος*. Σύμφωνα με αυτόν κάθε φορά επιλέγεται το στοιχείο που προκαλεί την σημαντικότερη μεταβολή σε μια κατάλληλα διαμορφωμένη συνάρτηση που καλείται *πλεονεκτική συνάρτηση*. Έτσι, κατά την φάση της κατασκευής μιας λύσης η επιλογή του επόμενου στοιχείου που μπορεί να προστεθεί στην ήδη υπάρχουσα μερική λύση γίνεται με κατάταξη των ανέντακτων στοιχείων του συνόλου E σύμφωνα με την τιμή της προεπιλεγέσας πλεονεκτικής συνάρτησης. Από το σύνολο αυτό επιλέγεται αυτό για το οποίο η πλεονεκτική συνάρτηση δίνει την καλύτερή της τιμή. Στην περίπτωση αυτή η πλεονεκτική συνάρτηση εκφράζει το (μυωπικό) όφελος της συγκεκριμένης επιλογής ενός στοιχείου.

Το βασικό μειονέκτημα αυτών των αλγορίθμων είναι ότι οι αποφάσεις που λαμβάνονται στην αρχή της διαδικασίας κατασκευής της λύσης, ενώ είναι καλές, περιορίζουν πολύ τις πιθανότητες επιλογής καλών αποφάσεων στα επόμενα βήματα, με αποτέλεσμα οι λύσεις που τελικά παράγονται να μην είναι υψηλής ποιότητας. Οι κατασκευαστικοί αλγόριθμοι είναι γρήγορες μέθοδοι, δηλαδή απαιτούν λίγο χρόνο, αλλά δεν παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

5.3.3 Διαδικασίες πολλαπλής εκκίνησης

Η επίλυση των προβλημάτων διακριτής αριστοποίησης εμπλέκουν τεχνικές και διαδικασίες κατασκευής και καλύτερευσης λύσεων. Συνήθως οι δύο αυτές τεχνικές εφαρμόζονται σειριακά, η μία μετά την άλλη, μέσα από επαναληπτικές διαδικασίες που απαιτούν τον εντοπισμό διαφορετικών λύσεων εκκίνησης, που γενικότερα εκφράζουν ορισμένα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων περιοχών του χώρου λύσεων ή την εμπειρία από την κατανόηση της τοπολογίας του χώρου λύσεων που αποκτάται μέσα από μια τέτοια επαναληπτική διαδικασία. Έτσι, σε μια *διαδικασία πολλαπλής εκκίνησης* και για κάθε μία από τις επαναλήψεις που εμπλέκονται στη διαδικασία αυτή, κατασκευάζεται μια λύση βήμα-βήμα, η οποία στη συνέχεια βελτιώνεται με τεχνικές τοπικής έρευνας από τη γειτονιά της υπάρχουσας λύσης και κρατείται η καλύτερη λύση που έχει βρεθεί. Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιγραφεί με τη βοήθεια του παρακάτω ψευδοκώδικα.

Επανάλαβε

Επέλεξε μια λύση s χρησιμοποιώντας έναν κατασκευαστικό αλγόριθμο.

Καλύτερευσε τη λύση χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο καλύτερευσης λύσης.

Μέχρις ότου κάποιο κριτήριο τερματισμού ικανοποιηθεί.

Κατά τη διαδικασία κατασκευής μιας λύσης, η λύση κατασκευάζεται βήμα-βήμα προσθέτοντας κάθε φορά στην ήδη μερικά κατασκευασμένη λύση κάποιο στοιχείο που επιλέγεται με κάποιο κριτήριο από αυτά που δεν έχουν ακόμη επιλεγεί. Στην περίπτωση των διαδικασιών πολλαπλής εκκίνησης, ο κατασκευαστικός αλγόριθμος που επιλέγεται δεν είναι σημαντικό να προσδιορίζει την καλύτερη δυνατή λύση που μπορεί να κατασκευαστεί αλλά μια λύση που να είναι δυνατόν να είναι πιο αποδοτική στο να καλύτερευσει με τον αλγόριθμο καλύτερευσης λύσης που ακολουθεί. Επιζητείται δηλαδή η καλύτερη και αποδοτικότερη συνεργασία των δύο βασικών αλγορίθμων που συνδυάζονται. Επιπλέον, είναι σημαντικό σε διαδικασίες πολλαπλής εκκίνησης ο κατασκευαστικός αλγόριθμος να δίδει σε κάθε επανάληψη συνεχώς διαφορετικές λύσεις εκκίνησης από αυτές που έδινε στις προηγούμενες επαναλήψεις. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η εκκίνηση της έρευνας του χώρου των λύσεων από τελείως διαφορετικές περιοχές με άμεση συνέπεια την πλέον αποτελεσματική έρευνα αυτού και τον εντοπισμό των πιο σημαντικών τοπικών βελτίστων του χώρου λύσεων.

Με βάση τα παραπάνω, η χρήση ενός κατάλληλου κατασκευαστικού αλγορίθμου για την εκκίνηση της κάθε επανάληψης είναι ένα σημαντικό στάδιο απόφασης της διαδικασίας διαμόρφωσης μιας τεχνικής πολλαπλών εκκινήσεων. Ας δούμε πως η επιλογή ενός τέτοιου αλγορίθμου επιδρά στην συνολική συμπεριφορά μιας τέτοιας διαδικασίας. Δύο ακραίες περιπτώσεις κατασκευαστικών αλγορίθμων που θα εξεταστούν είναι αυτές των αλγορίθμων τυχαίας επιλογής και των πλεονεκτικών αλγορίθμων. Στην πρώτη περίπτωση η επιλογή του στοιχείου που θα συμπληρώσει τη μερικά κατασκευασμένη λύση επιλέγεται με τυχαίο τρόπο από τα στοιχεία που δεν έχουν ακόμη επιλεγεί, ενώ στη δεύτερη η επιλογή αυτή γίνεται για το καλύτερο στοιχείο από τα ήδη μη-επιλεγέντα σύμφωνα με την τιμή μιας προεπιλεγείσας πλεονεκτικής συνάρτησης που εκφράζει το (μυωπικό) όφελος της συγκεκριμένης επιλογής ενός στοιχείου. Στην πρώτη περίπτωση οι λύσεις που παράγονται σε κάθε επανάληψη διαφέρουν σημαντικά, ενώ στη δεύτερη είναι ακριβώς οι ίδιες, δηλαδή οι διαφοροποιήσεις των περιοχών που θα ερευνηθούν στη φάση της καλύτερευσης της λύσης αφήνονται στην ευχέρεια της φάσης καλύτερευσης της λύσης που ακολουθεί. Οι διαφορές των δύο προσεγγίσεων είναι προφανείς. Στην πρώτη περίπτωση οι λύσεις που παράγονται έχουν μεγάλη διαφοροποίηση, αλλά χαμηλή ποιότητα και οδηγούν γρήγορα σε τοπικά ελάχιστα. Στη δεύτερη περίπτωση οι λύσεις που παράγονται έχουν μηδενική διαφοροποίηση, αλλά υψηλή ποιότητα και δεν οδηγούν γρήγορα σε τοπικά ελάχιστα. Από την πλευρά της διαδικασίας καλύτερευσης της λύσης, στην πρώτη περίπτωση αυτή ξεκινά από διαφορετικό σημείο εκκίνησης κάθε φορά, αλλά έχει αργή σύγκλιση, παράγει λύσεις κατά μέσο όρο αρκετά χειρότερες από την δεύτερη περίπτωση και οι καλύτερες παραγόμενες λύσεις είναι συνήθως καλύτερες από τη δεύτερη περίπτωση γιατί ο χώρος των λύσεων ερευνάται πιο αποτελεσματικά. Στην δεύτερη περίπτωση, η διαδικασία ξεκινά από το ίδιο σημείο εκκίνησης, αλλά έχει γρήγορη σύγκλιση, παράγει λύσεις κατά μέσο όρο αρκετά καλύτερες από την πρώτη περίπτωση και οι καλύτερες παραγόμενες λύσεις είναι συνήθως χειρότερες από τη πρώτη περίπτωση γιατί ο χώρος των λύσεων δεν ερευνάται πιο αποτελεσματικά. Κατά

συνέπειαν, οι διαδικασίες πολλαπλής εκκίνησης έχουν ανάγκη να συνοδεύονται από κάποια κατασκευαστική φάση που να εμπλέκεται πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων.

Για την περίπτωση των αλγορίθμων καλύτερευσης λύσης, είναι σημαντικό να εμπεριέχουν ιδιότητες που να συνδέονται με την αποτελεσματική έρευνα του χώρου των λύσεων, ενώ είναι επιθυμητές κάποιες ιδιότητες που να συνδέονται με διαδικασίες διαφοροποίησης και εντατικοποίησης. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν αυτούσιες τεχνικές ή υβρίδια τεχνικών τοπικής έρευνας του χώρου των λύσεων.

5.3.4 Τοπική Έρευνα

Οι τεχνικές τοπικής έρευνας αποτελούν μια ευρύτατη κλάση υπολογιστικών αλγορίθμων *ευρεστικής φύσης* που επιλύουν προβλήματα *διακριτής αριστοποίησης*, προβλήματα δηλαδή σημαντικής υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Τα προβλήματα αυτά χαρακτηρίζονται από πεπερασμένα και αριθμήσιμα αλλά ταυτόχρονα μεγάλα σε μέγεθος σύνολα εφικτών λύσεων S και μια αντικειμενική συνάρτηση $c : S \rightarrow \mathcal{R}$. Ο στόχος στα προβλήματα αυτά είναι η εύρεση μιας λύσης από το σύνολο των εφικτών λύσεων που να αριστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση (μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση). Έτσι, βασική επιδίωξη είναι η εύρεση μιας εφικτής λύσης $p \in S$ που να ικανοποιεί τη σχέση:

$$c(p) = \underset{s \in S}{\text{optimize}} c(s) \quad (8)$$

Γενικότερα, οι τεχνικές τοπικής έρευνας είναι επαναληπτικές διαδικασίες κατά τις οποίες ερευνάται σε βάθος το σύνολο των εφικτών λύσεων S έτσι ώστε να αποκαλύπτονται πλήθος από *τοπικά ακρότατα* για την αντικειμενική συνάρτηση. Βασιζόμενες σε μια τρέχουσα ή και σε κάποιες περιπτώσεις προηγούμενες αποκαλυπτόμενες λύσεις, δημιουργούν μια καινούργια λύση που να ανήκει στο γενικό σύνολο λύσεων S . Η επιλογή της καινούργιας λύσης περιορίζεται σε λύσεις που είναι γενικά «κοντά» στις ήδη αποκαλυπτόμενες από την πορεία της έρευνας λύσεις. Οι νέες αυτές λύσεις ανήκουν στη *γειτονιά* των προηγούμενων λύσεων. Αυτή η «μυωπική» συμπεριφορά των αλγορίθμων είναι χαρακτηριστικό στοιχείο της φύσης της τοπικής έρευνας.

Ο βασικός αλγόριθμος που στηρίζεται σε στοιχεία τοπικής έρευνας μπορεί να διαμορφωθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ανάλογα με τη *μέθοδο επιλογής* των λύσεων από τη *γειτονιά* της τρέχουσας λύσης και του *τρόπου επιλογής* και διαμόρφωσης κάποιων *κριτηρίων τερματισμού έρευνας*, μπορούν να προκύψουν αλγόριθμοι διαφορετικής φύσης και αποτελεσματικότητας επίλυσης του προβλήματος αριστοποίησης.

5.3.5 Γειτονιά και Δομές Γειτονιάς

Πριν από την εφαρμογή τεχνικών τοπικής έρευνας σε προβλήματα διακριτής αριστοποίησης, είναι πολύ σημαντικό να ορίσουμε την έννοια της *γειτονιάς* στο σύνολο S των εφικτών λύσεων του προβλήματος αριστοποίησης. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να οριστεί το σύνολο των γειτόνων $N(s) \subset S$ για κάθε λύση $s \in S$. Κατ' αρχήν, θα πρέπει να τονιστεί ότι τα σύνολα αυτά, $N(s)$, μπορεί να είναι κάποια αυθαίρετα υποσύνολα του S . Παρά ταύτα,

ακολουθώντας τις βασικές αρχές της τοπικής έρευνας, οι λύσεις των συνόλων αυτών πρέπει να σχετίζονται ή ακόμη και να ομοιάζουν με την λύση $s \in S$. Επιπρόσθετα, χρειαζόμαστε κάποιον συστηματικό τρόπο ορισμού και επιλογής των γειτονιών, έτσι ώστε αυτές να μπορούν να αναλυθούν (στη γενική περίπτωση το σύνολο S είναι πολύ μεγάλο).

Βασισμένοι στα παραπάνω, το σύνολο $N(s)$ των γειτόνων μιας λύσης s ορίζεται σαν το σύνολο των λύσεων που ανήκουν στο S και οι οποίες διαφέρουν με μικρές αλλαγές (διαταραχές) από τη λύση s . Οι διαταραχές αυτές ονομάζονται *κινήσεις*. Πιο συγκεκριμένα, η δομή της γειτονιάς καθορίζεται από την εισαγωγή ενός συνόλου OP από τελεστές $op: S \rightarrow S$, οι οποίοι διαταράσσουν μια λύση με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο των γειτόνων μιας λύσης s (η γειτονιά της λύσης s) ορίζεται σαν το σύνολο $N(s) = \{op(s) \mid op \in OP\}$. Υπάρχουν περιπτώσεις που κάποιος τελεστής $op \in OP$ μπορεί να οριστεί μόνον για κάποιο υποσύνολο $S^{op} \subset S$ του συνόλου S των εφικτών λύσεων ($op: S^{op} \rightarrow S$). Στην περίπτωση αυτή η γειτονιά μιας λύσης s μπορεί να οριστεί σαν το σύνολο $N(s) = \{op(s) \mid op \in OP, s \in S^{op}\}$.

Εκτός από τον υπολογισμό της αρχικής εφικτής λύσης, η εκλογή της γειτονιάς είναι το σημαντικότερο πρόβλημα ενός ευρεστικού αλγόριθμου τοπικής ανίχνευσης. Αυτό το μέρος έχει ιδιαίτερη σημασία στην αποτελεσματικότητα επίλυσης του αλγορίθμου.

Καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο ο αλγόριθμος πλοηγείται στο χώρο των εφικτών λύσεων και επιδρά σημαντικά στον υπολογιστικό χρόνο κάθε επανάληψης του αλγορίθμου.

5.3.6 Αποτελεσματική Δημιουργία Γειτονιάς

Κατά τη διαδικασία εκλογής της γειτονιάς σε κάποιο πρόβλημα αριστοποίησης υπάρχουν τέσσερις σημαντικοί κανόνες που πρέπει με τον ένα ή με τον άλλο τρόπο να υιοθετούνται για να διευκολύνεται η σύγκλιση των αλγορίθμων τοπικής έρευνας.

Οι κανόνες αυτοί δίδονται παρακάτω:

η γειτονιά πρέπει να είναι εσωτερικά συνδεδεμένη το μέγεθος της γειτονιάς μιας λύσης πρέπει να διατηρείται σχετικά μικρός ο μηχανισμός δημιουργίας της γειτονιάς (ο ορισμός των τελεστών που εμπλέκονται στη διαδικασία σχηματισμού της γειτονιάς) πρέπει να είναι απλός, να είναι δυνατός ο ευχερής υπολογισμός των τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων των γειτονικών λύσεων.

Ο πρώτος κανόνας εμπλέκει τη βασική έννοια της *προσεγγιστικότητας* των λύσεων. Η εκλογή της γειτονιάς θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην εξαιρούνται σημαντικά μέρη του χώρου των εφικτών λύσεων από τη διαδικασία της έρευνας ή τουλάχιστον να μην μπορεί να γίνει αδύνατη η προσέγγιση ενός ολικού βέλτιστου από διάφορα μέρη του χώρου των εφικτών λύσεων.

Μια δομή γειτονιάς N για κάποιο πρόβλημα διακριτής αριστοποίησης καλείται *ισχυρά συνδεδεμένη* (ή απλά *συνδεδεμένη*) όταν για κάθε ζεύγος $s_1, s_2 \in S$ υπάρχει πάντα μια αλληλουχία λύσεων $s_1 = i_1, \dots, i_k = s_2$ όπου $i_j \in N(i_{j-1}), j = 2, \dots, k$. Αντίστοιχα, μια δομή γειτονιάς N για κάποιο πρόβλημα διακριτής αριστοποίησης καλείται *ασθενώς συνδεδεμένη*

όταν για κάθε λύση $s \in S$ υπάρχει μια αλληλουχία λύσεων $s_1 = i_1, \dots, i_k$ όπου $i_j \in N(i_{j-1}), j = 2, \dots, k$ και i_k είναι το ολικό βέλτιστο.

Για δομές γειτονιών ισχυρά συνδεδεμένων, κάθε λύση είναι προσεγγίσιμη από οποιαδήποτε άλλη μέσω μιας αλληλουχίας κινήσεων. Με τον τρόπο αυτό, ανεξάρτητα από την αρχική λύση, κάθε άλλη λύση μπορεί, τουλάχιστον θεωρητικά, να προσεγγιστεί από μια διαδικασία τοπικής έρευνας. Για ασθενώς συνδεδεμένες γειτονιές είναι δυνατόν μέρη του χώρου εφικτών λύσεων να μην μπορούν να προσεγγιστούν μετά την εκλογή κάποιας αρχικής λύσης. Παρά ταύτα, τουλάχιστον θεωρητικά, είναι δυνατή η προσέγγιση στο επίπεδο αυτό του ολικού βέλτιστου.

Ο δεύτερος κανόνας εμπλέκει τη βασική έννοια του *μεγέθους* της γειτονιάς. Επειδή ο απαραίτητος υπολογιστικός χρόνος για την αποκάλυψη του καλύτερου γείτονα ή ενός καλύτερου της τρέχουσας λύσης γείτονα (στρατηγικές που εμπλέκονται στους αλγορίθμους τοπικής έρευνας) είναι ανάλογος του μεγέθους της γειτονιάς, γειτονιές μεγάλου μεγέθους αυξάνουν τον υπολογιστικό χρόνο των επαναληπτικών διαδικασιών των εμπλεκόμενων αλγορίθμων. Παρά ταύτα, για καλύτερη πλοήγηση του αλγορίθμου στο χώρο των εφικτών λύσεων, γειτονιές με μεγάλο μέγεθος δίνουν τη δυνατότητα στον αλγόριθμο σημαντικών αλλαγών από πλευράς αντικειμενικής συνάρτησης και κατά συνέπεια έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες αποκάλυψης λύσεων *υψηλής ποιότητας*. Προφανώς, δεν είναι ξεκάθαρο εκ των προτέρων αν μια γειτονιά μεγάλου μεγέθους που εμπλέκει μεγάλες πιθανότητες δραστηκής αλλαγής της τρέχουσας λύσης ή μια γειτονιά μικρού μεγέθους που εμπλέκει μικρές πιθανότητες δραστηκής αλλαγής της τρέχουσας λύσης οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα από πλευράς ποιότητας λύσεων και υπολογιστικού χρόνου. Πιθανά, η μέση καλυτέρευση της λύσης σε μια επανάληψη όπως επίσης και ο υπολογιστικός χρόνος που απαιτείται για την επανάληψη αυτή, είναι υψηλότερος για γειτονιές μεγάλου μεγέθους από αυτές με μικρό μέγεθος. Στην πράξη, μόνον υπολογιστικές δοκιμές μπορούν να αποδείξουν ποια στρατηγική είναι αυτή που επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα. Συμπερασματικά, το μέγεθος της γειτονιάς δεν είναι απαραίτητο να είναι μικρό, αλλά μια τέτοια απόφαση θα πρέπει να είναι ένας συγκερασμός απαιτούμενου υπολογιστικού χρόνου και πιθανότητας εντοπισμού λύσεων υψηλής ποιότητας για το πρόβλημα αριστοποίησης.

Ο τρίτος παράγοντας εμπλέκει τη βασική έννοια της δομής και του *μηχανισμού δημιουργίας* της γειτονιάς μέσω των αντίστοιχων τελεστών. Ο μηχανισμός αυτός ασκεί σημαντική επιρροή στη διαδικασία πλοήγησης του αλγορίθμου μέσα από το σύνολο των εφικτών λύσεων και στο συνολικό υπολογιστικό χρόνο που απαιτείται. Από τη μια μεριά, χρησιμοποιώντας σύνολα τελεστών ίδιου μεγέθους, μπορούν να δημιουργηθούν τελείως διαφορετικές δομές γειτονιών και κατά συνέπεια να ακολουθηθούν τελείως διαφορετικές στρατηγικές πλοήγησης του αλγορίθμου στο σύνολο των εφικτών λύσεων. Από την άλλη, η υπολογιστική πολυπλοκότητα του μηχανισμού γέννησης των γειτονικών λύσεων μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Έτσι, για διαφορετικές δομές γειτονιών, ο υπολογιστικός φόρτος εύρεσης της επόμενης λύσης με τη βοήθεια μιας τεχνικής τοπικής έρευνας μπορεί να διαφέρει σημαντικά, έστω και αν το σύνολο των τελεστών που δημιουργούν τις δομές γειτονιών έχουν το ίδιο μέγεθος.

Επιπρόσθετα, η υπολογιστική πολυπλοκότητα που εμπλέκεται στον υπολογισμό του συνόλου των τελεστών σε συνδυασμό με τον τρόπο που οι τελεστές αλλάζουν τη μορφή μιας λύσης, εμπλέκεται καθοριστικά στον τρόπο οδήγησης της έρευνας για μια κατάλληλη δομή

γειτονιάς. Αν, διαισθητικά ή οδηγούμενοι από κάποια αναλυτική παρατήρηση πιστεύουμε ότι οι χρησιμοποιούμενοι τελεστές έχουν σημαντικές πιθανότητες για να οδηγήσουν σε λύσεις που υπόσχονται σημαντικά αποτελέσματα, μπορεί να αξίζει τον κόπο να αποδεχτούμε τον υπερβολικό υπολογιστικό χρόνο που τους συνοδεύει. Από την άλλη, αν κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν να διατυπωθεί, τουλάχιστον από την εμπειρία και την αντίληψη του προβλήματος, η χρήση ενός συνόλου τελεστών που αντιστοιχούν στο μικρότερο δυνατό υπολογιστικό χρόνο είναι η καλύτερη εκλογή για τη λύση του προβλήματος. Σε όλες τις περιπτώσεις, μόνον υπολογιστικές δοκιμασίες των ίδιων των αλγορίθμων θα προτείνουν το καλύτερο ενδεχόμενο για κάποιο πρόβλημα.

Ο τέταρτος κανόνας εμπλέκει τη βασική έννοια του *ευχερούς* υπολογισμού της αντικειμενικής συνάρτησης των γειτονικών λύσεων. Ο παράγοντας αυτός έχει επίσης πολύ σημαντική επίδραση στον υπολογιστικό χρόνο που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της επόμενης λύσης. Τελεστές για τους οποίους οι αντικειμενικές συναρτήσεις των γειτονικών λύσεων μπορούν να υπολογιστούν με μεγαλύτερη ευχέρεια με βάση την υπολογισμένη αντικειμενική συνάρτηση της τρέχουσας λύσης απαιτούν χαμηλότερο υπολογιστικό χρόνο από τελεστές για τους οποίους η αντικειμενική συνάρτηση των γειτονικών λύσεων (ή τουλάχιστον μεγάλο μέρος αυτής) θα πρέπει να υπολογιστεί από την αρχή συνολικά. Τελεστές αυτού του είδους είναι πολύ πιο σημαντικοί για την δημιουργία μιας γειτονιάς από τους άλλους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ιδιότητα των ευχερώς υπολογιζόμενων αντικειμενικών συναρτήσεων για τους γείτονες μιας τρέχουσας λύσης δεν είναι ιδιότητα των τελεστών, αλλά ιδιότητα των τελεστών σε συνδυασμό με την αντικειμενική συνάρτηση. Επιπρόσθετα, είναι διαισθητικά φανερό ότι αν οι αντικειμενικές συναρτήσεις των γειτονικών λύσεων είναι ευχερώς υπολογίσιμες, στην πραγματικότητα οι υπολογισμοί βασίζονται στις ήδη υπολογιζόμενες αντικειμενικές συναρτήσεις που αλλάζουν λίγο.

Έτσι, η έννοια των υπολογιζόμενων τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων των γειτονικών λύσεων πρέπει να αναλύεται σε συνδυασμό με το μέγεθος της γειτονιάς, την υπολογιστική πολυπλοκότητα του μηχανισμού γένεσης των γειτονικών λύσεων μέσω των τελεστών και την δυνατότητα μέσω του μηχανισμού αυτού για προσέγγιση καλών λύσεων.

Η επαναληπτική καλυτέρευση μιας αρχικής λύσης ενός προβλήματος αριστοποίησης που συνδέεται με τους αλγόριθμους τοπικής ανίχνευσης απαιτεί αρκετές φορές (ανάλογα με τον αλγόριθμο) την εύρεση του καλύτερου γείτονα από τα στοιχεία της γειτονιάς. Γενικά, οι υπολογιστικοί χρόνοι που εμπλέκονται στην αποκάλυψη ενός γείτονα και του καλύτερου γείτονα συνδέονται στενά, αφού ο καλύτερος γείτονας προκύπτει από την αποκάλυψη όλων των στοιχείων της γειτονιάς. Παρά ταύτα, η μεθοδολογία αυτή δεν είναι η υποχρεωτικά τηρούμενη σε όλες τις περιπτώσεις. Μπορεί κάποιος να αναλογιστεί την περίπτωση της εύρεσης μόνον του καλύτερου γείτονα σε κάποιο πρόβλημα αριστοποίησης χωρίς να εισέλθει σε διαδικασίες πλήρους απαρίθμησης των γειτόνων μιας λύσης. Τέτοιες τεχνικές είναι σημαντικές όταν ο υπολογισμός της αντικειμενικής συνάρτησης από μια τρέχουσα λύση δεν είναι ευχερής ή αντιστοιχεί σε αλγόριθμο υψηλής υπολογιστικής πολυπλοκότητας.

Μια σημαντική προσέγγιση για την ελάττωση του υπολογιστικού χρόνου στη διαδικασία προσδιορισμού του βέλτιστου γείτονα είναι η εύρεση σε κάθε επανάληψη όχι του καλύτερου δυνατού γείτονα, αλλά του πρώτου που θα βρεθεί με μια διαδικασία απαρίθμησης των γειτόνων του οποίου η αντικειμενική συνάρτηση είναι καλύτερη από κάποιο φράγμα. Στην περίπτωση αυτή, δεν θα βρεθεί η καλύτερη αντικειμενική συνάρτηση αλλά κάποια (αν αυτό είναι δυνατόν) που είναι καλύτερη από το φράγμα αυτό (που μπορεί να είναι και η τιμή της

αντικειμενικής συνάρτησης της τρέχουσας λύσης). Σε μια άλλη περίπτωση, επιλέγεται για σύγκριση ένα μέρος της γειτονιάς με κάποια κριτήρια και από το σύνολο αυτό βρίσκεται ο καλύτερος γείτονας. Στην περίπτωση αυτή, υπολογίζεται η καλύτερη δυνατή τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για το μέρος αυτό της γειτονιάς και όχι για το σύνολο της γειτονιάς. Έτσι, και στις δύο περιπτώσεις δίδεται μια ευρεστική λύση για το πρόβλημα του εντοπισμού του καλύτερου γείτονα που εμπλέκει χαμηλότερη υπολογιστική προσπάθεια, αλλά αυτό έχει συνέπεια στην ποιότητα της λύσης που επιζητείται. Επιπρόσθετα, μπορεί να υπάρχουν τεχνικές υπολογισμού του καλύτερου γείτονα μιας τρέχουσας λύσης βασισμένες στην ομοιότητα των λύσεων διαφορετικών γειτονιών. Χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες ιδιότητες του προβλήματος, είναι δυνατόν να γίνει υπολογισμός της καλύτερης αντικειμενικής συνάρτησης μέρους ή του συνόλου της γειτονιάς λαμβάνοντας υπόψη όλους τους γείτονες μαζί.

Τέτοιες τεχνικές μπορεί να μειώσουν σημαντικά τον υπολογιστικό χρόνο που είναι απαραίτητος για την εύρεση του καλύτερου γείτονα. Οι μέθοδοι αυτές λαμβάνουν υπόψη κυρίως τις γειτονιές, ή καλύτερα τους χρησιμοποιούμενους τελεστές για τη δημιουργία των αντίστοιχων γειτονιών. Σε όλες τις περιπτώσεις πάντως, οι τελεστές θα πρέπει να αναλύονται σε συνδυασμό με την *υπολογιστική αναπαράσταση* των γειτονιών. Συγκεκριμένα, οι τελεστές (όπως και οι λύσεις του προβλήματος) βασίζονται πάντα σε κάποιες συγκεκριμένες αναπαραστάσεις των δομών και των δεδομένων του προβλήματος και η επίδραση τους στην τελική λύση και την αντιστοιχούσα υπολογιστική πολυπλοκότητα εξαρτάται ακριβώς από αυτές τις αναπαραστάσεις. Έτσι, πριν ή κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των τελεστών αυτών για τη δημιουργία της γειτονιάς, πρέπει να επιλεγεί μια κατάλληλη αναπαράσταση των λύσεων. Λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις αυτές, οι αναπαραστάσεις των λύσεων πρέπει να οδηγούν σε δομές μικρού μεγέθους και να περιλαμβάνουν (αν αυτό είναι δυνατό) ειδική γνώση του προβλήματος αριστοποίησης. Η προσπάθεια αυτή πρέπει να είναι μια σημαντική επιδίωξη της προσπάθειας των τεχνικών τοπικής έρευνας. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις, η δημιουργία μιας αναπαράστασης θα πρέπει να αφήνει και κατάλληλο χώρο για τον ορισμό περισσότερο κατάλληλων γειτονιών. Έτσι, ίσως είναι μια σημαντική επιλογή να δημιουργηθούν αναπαραστάσεις που δεν οδηγούν σε μικρό υπολογιστικό χώρο, αν οι αναπαραστάσεις αυτές επιτρέπουν καλύτερο ορισμό των γειτονιών του προβλήματος. Υπάρχουν περιπτώσεις που στη δημιουργία μιας γειτονιάς (ανάλογα με τη φύση του προβλήματος) συμμετέχουν και λύσεις που δεν είναι εφικτές. Στην περίπτωση αυτή, η αντικειμενική συνάρτηση επιβαρύνεται με κάποιους πρόσθετους όρους που εκφράζουν αυτές τις ανεφικτότητες των λύσεων που ακολουθούνται. Ο λόγος που τέτοιες ανέφικτες λύσεις λαμβάνονται υπόψη, είναι για να χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι τελεστές γειτονιών που υπολογίζονται περισσότερο εύκολα.

Μια άλλη σημαντική πλευρά είναι η χρήση της ειδικής γνώσης από την εμπειρία και την ανάλυση του προβλήματος για την ελάττωση του μεγέθους μιας γειτονιάς. Ειδικά στην περίπτωση προβλημάτων που το σύνολο των εφικτών λύσεων είναι υπερβολικά μεγάλο, η διαφορά μεταξύ υπολογιστικού χρόνου και δυνατοτήτων πλοήγησης μέσα στο χώρο των λύσεων αυξάνει. Αν ακολουθηθεί μια στρατηγική κατά την οποία επιτρέπονται μόνον μικρές αλλαγές μεταξύ των λύσεων, η πιθανότητα *διαφοροποίησης* των λύσεων μικραίνει και ταυτόχρονα είναι δυνατόν να μην καλυφθεί πολύ μεγάλο μέρος του χώρου λύσεων που θα μπορούσα να περιλαμβάνει λύσεις είναι αρκετά σημαντικές. Από την άλλη, αν ακολουθηθεί μια στρατηγική κατά την οποία επιτρέπονται μόνον σημαντικές αλλαγές μεταξύ των λύσεων, η πιθανότητα *εντατικοποίησης* των λύσεων μικραίνει και ταυτόχρονα είναι δυνατόν να μην

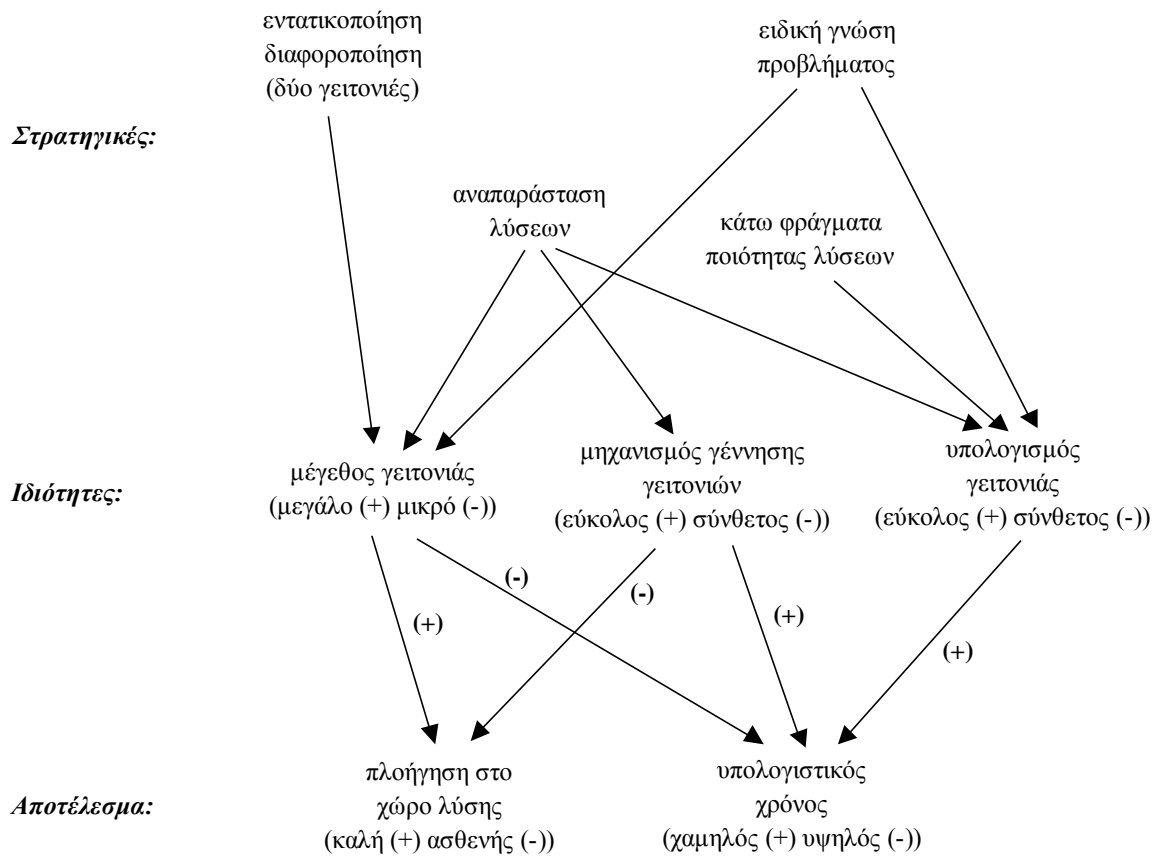
επεξεργαστούν κατάλληλα σημαντικές περιοχές του χώρου λύσεων που δείχνουν ελπιδοφόρες για την αποκάλυψη του ολικού ακρότατου. Τέλος, πιθανός συνδυασμός των τελεστών και των αντίστοιχων γειτονιών και των δύο τύπων θα είχε σαν αποτέλεσμα το μέγεθος της γειτονιάς να γίνεται αρκετά μεγάλο και κατά συνέπεια ο αντίστοιχος υπολογιστικός χρόνος να αυξάνεται σημαντικά.

Με βάση τα παραπάνω, η χρήση και των δύο στρατηγικών μαζί (διαφοροποίηση και εντατικοποίηση) σε προβλήματα με σημαντικό χώρο εφικτών λύσεων είναι δυνατή μόνον στις περιπτώσεις όπου η ειδική γνώση του προβλήματος (αν υπάρχει) θα ελαττώσει δραστικά το χώρο έρευνας ή όταν χρησιμοποιηθούν διαφορετικές γειτονιές για τις δύο στρατηγικές. Στην περίπτωση αυτή, ο πρώτος τελεστής θα είναι υπεύθυνος για την εντατικοποίηση της έρευνας και θα επιτρέπει μόνον μικρές αλλαγές στις τρέχουσες λύσεις οι οποίες θα πρέπει να είναι εύκολα υπολογίσιμες. Επιπρόσθετα, το μέγεθος της γειτονιάς μιας λύσης πρέπει να είναι μικρό. Έτσι, με ένα σχετικά μικρό υπολογιστικό χρόνο μπορούν να εκτελεστούν αρκετές επαναλήψεις ενός αλγορίθμου τοπικής έρευνας και να εξεταστεί σε βάθος ένας σχετικά μικρός χώρος λύσεων γύρω από κάποια που εμφανίζει σχετικό ενδιαφέρον. Ο δεύτερος τελεστής θα είναι υπεύθυνος για την διαφοροποίηση της έρευνας και θα επιτρέπει σημαντικές αλλαγές στις τρέχουσες λύσεις. Μετά από μια φάση εντατικοποίησης, μερικές αλλαγές προς την κατεύθυνση της διαφοροποίησης θεωρούνται πάντα μια σωστή στρατηγική. Στην περίπτωση αυτή, αφού η διαφοροποίηση θα πραγματοποιείται για μερικές μόνον επαναλήψεις, η γειτονιά της διαφοροποίησης μπορεί να είναι μεγάλη και ο υπολογιστικός χρόνος που εμπλέκεται μπορεί να είναι μεγάλος. Μετά από τη διαφοροποίηση της έρευνας, μπορεί να ακολουθηθεί μια στρατηγική εντατικοποίησης για την έρευνα σε βάθος των λύσεων που έχουν προκύψει.

Με βάση τα παραπάνω, η φάση εντατικοποίησης της τοπικής έρευνας περιλαμβάνει ντετερμινιστικούς τελεστές που καλυτερεύουν μια αρχική λύση σε μικρούς υπολογιστικούς χρόνους και για σχετικά μεγάλο αριθμό επαναλήψεων. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια φάση διαφοροποίησης έτσι ώστε η τοπική έρευνα να απομακρυνθεί αρκετά από την προηγούμενη περιοχή με λίγες επαναλήψεις και σημαντικότερο υπολογιστικό χρόνο και στη συνέχεια μια καινούργια φάση εντατικοποίησης θα βοηθήσει στην καλύτερευση της λύσης που βρέθηκε. Έτσι, ο συνδυασμός των δύο τελεστών μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας καινούργιος σύνθετος τελεστής που ορίζει μια καινούργια γειτονιά πάνω σε ένα σύνολο τοπικών ακροτάτων. Το πώς υλοποιούνται οι τεχνικές αυτές σε κάθε περίπτωση, εξαρτάται από το συγκεκριμένο πρόβλημα και μόνον από αυτό. Για κάποια, δε, προβλήματα αριστοποίησης ίσως είναι αδύνατη η υλοποίηση τέτοιων τεχνικών.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι ο ορισμός «καλών» γειτονιών εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες και τη σχέση μεταξύ τους. Μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχουν «γενικοί» κανόνες για τον ορισμό γειτονιών που εκφράζουν όλες τις περιπτώσεις αλλά απλά κάποιες σημαντικές υποδείξεις. Το ποια στρατηγική θα πρέπει κάθε φορά να ακολουθηθεί εξαρτάται από το πρόβλημα και έτσι κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξετάζεται χωριστά. Όσα αναφέρθηκαν, είναι ένας σημαντικός οδηγός για την εξέταση αυτής της διαδικασίας με τον σωστό τρόπο. Οι διαστάσεις του προβλήματος διαμόρφωσης γειτονιών παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Οι προσανατολισμένοι σύνδεσμοι του Σχήματος που εμπλέκονται διαμορφώνουν τις σχέσεις μεταξύ αυτών των διαστάσεων και εκφράζουν τις θετικές (με το σύμβολο +) ή τις αρνητικές (με το σύμβολο -) συνέπειες στην ποιότητα της λύσης και στον εμπλεκόμενο υπολογιστικό χρόνο. Συγκεκριμένα, αν κάποιος προσανατολισμένος σύνδεσμος χαρακτηρίζεται με το θετικό σύμβολο, ένας θετικός χαρακτηρισμός της διάστασης από την

οποία ξεκινάει συνδέεται με ένα θετικό χαρακτηρισμό της διάστασης στην οποία καταλήγει. Αντίθετα, αν κάποιος προσανατολισμένος σύνδεσμος χαρακτηρίζεται με το αρνητικό σύμβολο, ένας θετικός χαρακτηρισμός της διάστασης από την οποία ξεκινάει συνδέεται με έναν αρνητικό χαρακτηρισμό της διάστασης στην οποία καταλήγει. Τα παραπάνω ισχύουν και με την αντίθετη ακριβώς έννοια.



Σχήμα 5.3. Διαστάσεις του προβλήματος διαμόρφωσης γειτονιών

Οι γειτονίες λύσεων παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη σύνδεση και επίδραση των αλγορίθμων τοπικής έρευνας. Για την εφαρμογή ενός τέτοιου αλγορίθμου σε ένα πρόβλημα διακριτής αριστοποίησης, ο ορισμός της γειτονιάς και η αναπαράσταση των λύσεων που εμπλέκονται, είναι πρωταρχικής σημασίας για την επίλυση του.

5.3.7 Αλγόριθμοι Τοπικής Έρευνας

Ένας αλγόριθμος τοπικής έρευνας ξεκινά από μια τυχαία ολοκληρωμένη λύση s και εξετάζει τη γειτονιά της $N(s)$, με στόχο να βρει μια καλύτερη λύση s' , λειτουργώντας βάσει μιας επαναληπτικής διαδικασίας. Η γειτονιά $N(s)$ μιας λύσης s είναι το σύνολο λύσεων που προκύπτουν από την s με μια επέμβαση στη δομή ή τη σύσταση του συνόλου της λύσης. Η επέμβαση αυτή καλείται κίνηση. Η γειτονιά κάθε λύσης εξαρτάται από την κίνηση από την

οποία προκύπτει. Κάθε λύση δεν έχει μια γειτονιά, αλλά έχει μια συγκεκριμένη γειτονιά για κάθε πιθανή κίνηση. Η επιλογή της κίνησης διαφέρει από αλγόριθμο σε αλγόριθμο.

Οι πιο χαρακτηριστικοί ευρεστικοί αλγόριθμοι τοπικής έρευνας είναι ο αλγόριθμος κατάβασης και ο αλγόριθμος μέγιστης κατάβασης και παρουσιάζονται παρακάτω για την περίπτωση ελαχιστοποίησης.

Ο πρώτος λειτουργεί ως εξής: επιλέγει τυχαία μια αρχική λύση $s \in S$. Κατόπιν εκτελεί μια κίνηση που δημιουργεί την γειτονιά $N(s)$. Ο αλγόριθμος αναζητά μια λύση s' που ανήκει στην $N(s)$, η οποία να βελτιώνει την s , δηλαδή $s' < s$. Η s' αποτελεί την καινούργια λύση και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Ο αλγόριθμος τερματίζεται όταν βρει μια λύση s_0 που η γειτονιά της $N(s_0)$ δεν περιέχει καλύτερες λύσεις από την s_0 , δηλαδή $s_0 < s_i$ για κάθε $s_i \in N(s_0)$. Η λύση αυτή αποτελεί τοπικό ελάχιστο. Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου κατάβασης δίδεται παρακάτω.

Δημιούργησε μια αρχική λύση s .

Βρες μια λύση s' , έτσι ώστε $s' \in N(s)$ και ταυτόχρονα $f(s') < f(s)$.

Αν βρέθηκε μια τέτοια λύση, θέσε $s = s'$, πήγαινε στο Βήμα 2.

Επέστρεψε $\bar{s} = s$

Ο δεύτερος λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με τον πρώτο με τη διαφορά ότι η ζητούμενη κάθε φορά λύση s' είναι η καλύτερη της γειτονιάς $N(s)$ και όχι μια που ανήκει στην $N(s)$ και είναι απλώς πιο καλή από την s . Άρα θα πρέπει $s' < s$ και $s' < s_i$ για κάθε $s_i \in N(s)$. Και αυτός ο αλγόριθμος καταλήγει σε μια λύση s_0 που αποτελεί τοπικό ελάχιστο. Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου μέγιστης κατάβασης δίδεται παρακάτω.

Δημιούργησε μια αρχική λύση s .

Βρες μια λύση $s' \in N(s)$ και ταυτόχρονα $f(s') = \min\{f(s_i), s_i \in N(s)\}$.

Εάν $f(s') < f(s)$ τότε θέσε $s = s'$, πήγαινε στο Βήμα 2.

Επέστρεψε $\bar{s} = s$

Το βασικό μειονέκτημα των αλγορίθμων τοπικής έρευνας είναι ότι εγκλωβίζονται εύκολα σε τοπικά ελάχιστα και ότι το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την επιλογή της αρχικής λύσης. Επομένως η επιλογή μιας καλής αρχικής λύσης, για παράδειγμα μιας που έχει προκύψει από ένα πλεονεκτικό αλγόριθμο, μπορεί να οδηγήσει σε καλά τελικά αποτελέσματα.

5.3.8 Εφαρμογή στο πρόβλημα του p-Κέντρου

Με βάση τα παραπάνω, το πρόβλημα του p-Κέντρου για ένα μαθηματικό δίκτυο δρόμων που αποτελείται από κόμβους και προσανατολισμένα τόξα επλύθηκε με τη βοήθεια ενός αλγορίθμου πλεονεκτικής έρευνας που βελτιώθηκε από έναν αλγόριθμο τοπικής έρευνας. Για την εύρεση του p-Κέντρου προτείνεται η προφανής πλεονεκτική συνάρτηση της εύρεσης του

κόμβου του οδικού δικτύου που καλύπτει χωρικά (και κατά συνεπείαν και χρονικά δεχόμενοι μια μέση ταχύτητα κίνησης) το μεγαλύτερο σε κάθε επανάληψη αριθμό κόμβων του οδικού δικτύου. Η τοπική έρευνα εμπλέκει την προφανή κίνηση αντικατάστασης κάποιου από τους επιλεγμένους κόμβους από κάποιον που δεν έχει επιλεγεί μέχρι στιγμής (χώρος υποδείγματος πλην της λύσης).

5.4 Υπολογισμός "ισοδυσμάτων αποστάσεων" λόγω κλίσεων στην περιοχή μελέτης

5.4.1 Περιοχή Υπολογισμών

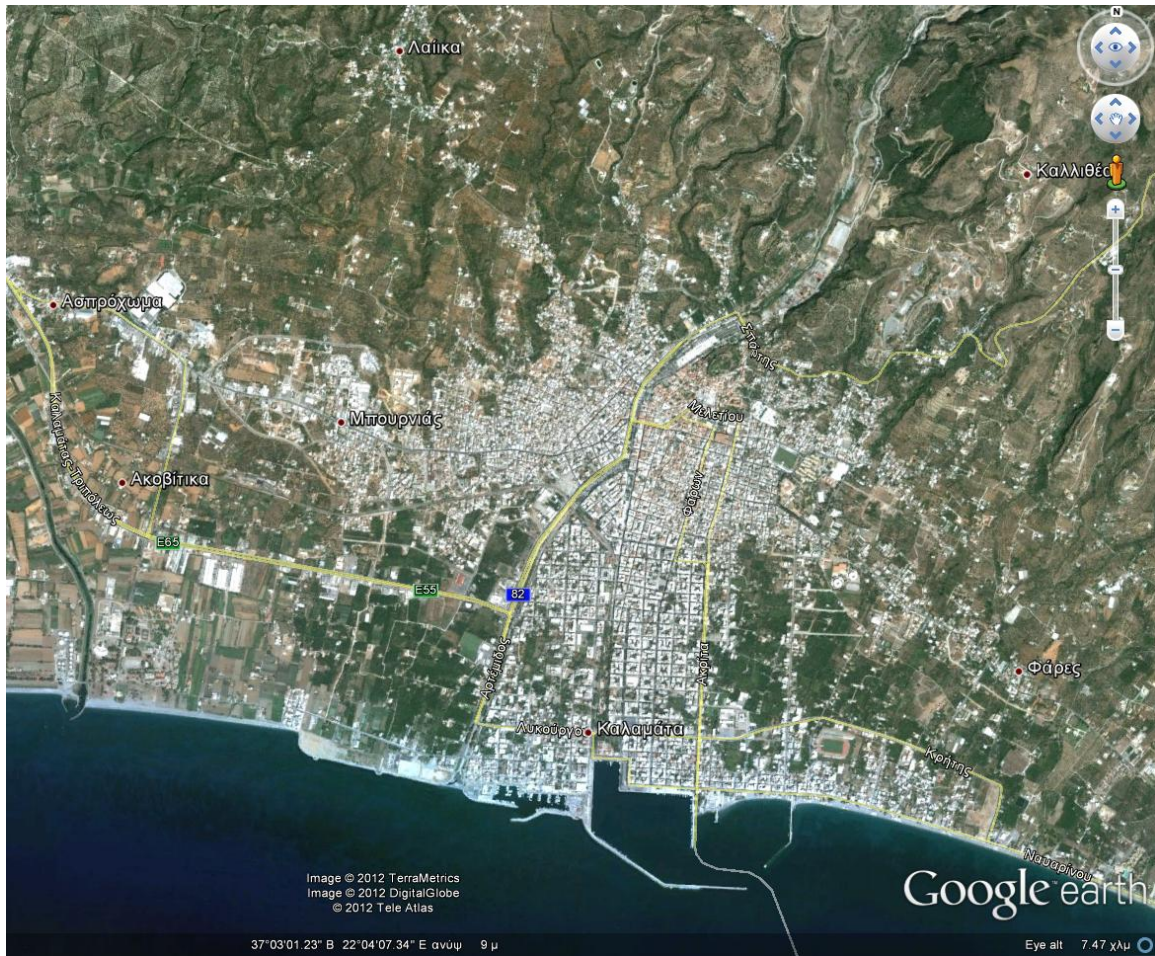
Η περιοχή που επιλέχθηκε για να υλοποιηθεί η εφαρμογή είναι εκείνη της πόλης της Καλαμάτας. Η περιοχή αυτή διαθέτει αρκετά ήπιο ανάγλυφο χωρίς μεγάλες κλίσεις και υψομετρικές διαφορές. Παρ' όλα αυτά οι κλίσεις αυτές, έστω και μικρές, επηρεάζουν χρονικά τη διάσχιση μίας διαδρομής και γι αυτό το λόγο δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση σε αυτόν τον παράγοντα.

Οι συντεταγμένες των κορυφών της περικλειόμενης περιοχής εφαρμογής του αλγορίθμου είναι:

(φ,λ)	
A(37.0259, 22.0911)	Γ(37.0507, 22.1374)
B(37.0259, 22.1374)	Δ(37.0507, 22.0911)

Πίνακας 5.1. Συντεταγμένες κορυφών περιοχής μελέτης

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η περιοχή μελέτης μέσα από το Google Earth.



Εικόνα 5.1. Περιοχή μελέτης στο Google Earth - Καλαμάτα

5.4.2 Παράμετροι Υπολογισμών

Για τον υπολογισμό της επιβάρυνσης λόγω κλίσης χρησιμοποιήσαμε μία αυθαίρετη παράμετρο $A = 0.555$ η οποία μας δείχνει πόσο επιβραδύνεται η μέση ταχύτητα του ατόμου στην ανωφέρεια και την κατωφέρεια. Το πλασματικό μήκος υπολογίζεται από τον τύπο $cL = |L \cdot A \cdot \tan(kl)|$ όπου L : η ευκλείδια απόσταση και kl : η κλίση του εδάφους.

Οι βασικές παράμετροι υπολογισμών της εφαρμογής είναι οι εξής:

- Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των ακραίων σημείων που οριοθετούν την περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτές μεταβάλλονται σύμφωνα με την περιοχή αλλά και την έκταση αυτής στην οποία θα επιλέξει να υλοποιήσει την εφαρμογή ο χρήστης
- Οι γεωγραφικές συντεταγμένες φ και λ αρχής και τέλους κάθε διαδρομής αποτελούν στη συνέχεια παραμέτρους για τον υπολογισμό των διαδρομών και των ενδιάμεσων σημείων αυτών.
- Οι γεωγραφικές συντεταγμένες φ και λ των ενδιάμεσων σημείων των διαδρομών (σημείων αρχής και τέλους των τμημάτων των διαδρομών) αποτελούν με τη σειρά τους παραμέτρους για τον υπολογισμό των υψομέτρων των σημείων αυτών.

- Η κλίση των τμημάτων κάθε διαδρομής, η οποία επηρεάζει το χρόνο διέλευσης της διαδρομής.

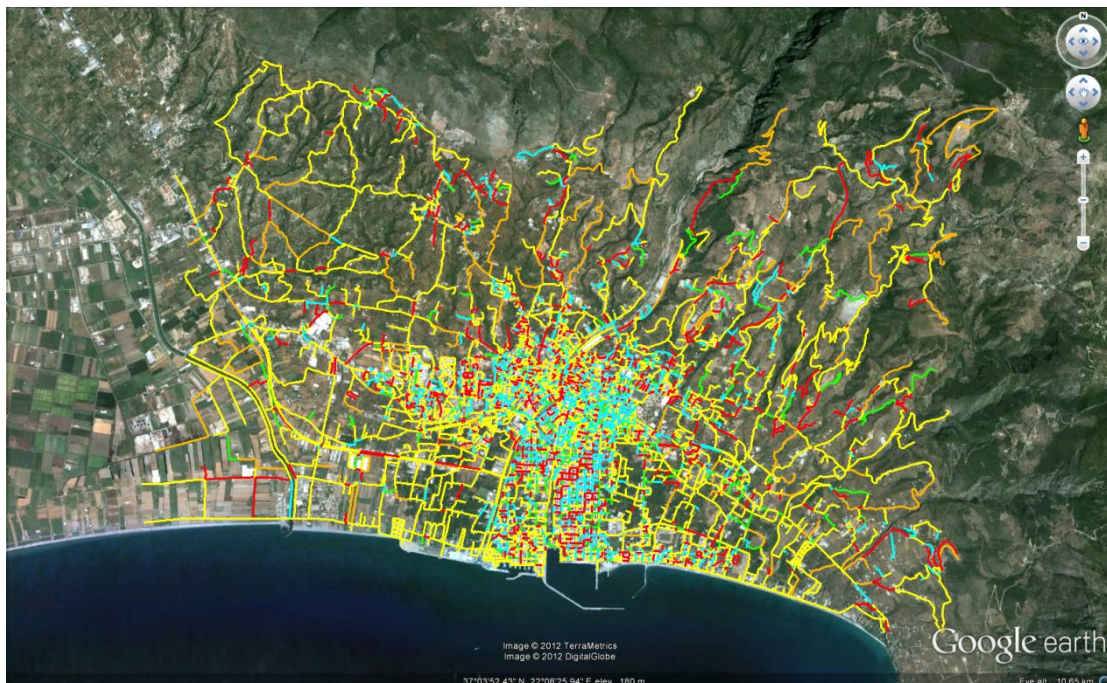
Για να γίνει πιο κατανοητή η ύπαρξη των κλίσεων στην προς μελέτη περιοχή, δημιουργήσαμε ένα kml αρχείο (roads_kliseis.kml) το οποίο μας δείχνει ξεκάθαρα την διαφοροποίηση των κλίσεων. Ακολουθεί ο Πίνακας 7.2 που μας δίνει τις αντιστοιχίες των χρωμάτων με τις αντίστοιχες κλίσεις

Roads_kliseis.kml, για την απεικόνιση των διαδρομών που περιγράφουν τα σημεία που μας δόθηκαν ως δεδομένα. Η απεικόνιση τους αλλάζει απόχρωση ανάλογα με την κλίση του δρόμου αντίστοιχα. Οι κλίμακες κλίσεων είναι οι εξής.

Κλίμακα κλίσης	Απόχρωση (#scale)
$w \leq -2$	#ffff0a00
$-2 < w \leq -1$	#ffffff00
$-1 < w \leq 0$	#ff00ff1f
$0 < w \leq 1$	#ff00ffff
$1 < w \leq 2$	#ff00b7ff
$w \geq 2$	#ff0a00ff

Πίνακας 5.2. Κατανομή χρωμάτων ανάλογα με την κλίση

Στην Εικόνα 7.2 φαίνεται η απεικόνιση του αρχείου road_kliseis.kml όπως αυτή έγινε στο Google Earth.



Εικόνα 5.2. Roads_kliseis.kml

5.5 Υπολογισμός αποστάσεων μεταξύ των σημείων

Ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ διαδοχικών σημείων γίνεται με τη χρήση της συνάρτησης *decimal_distance()*. Η συνάρτηση αυτή για να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών σημείων χρειάζεται τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες καθώς επίσης και τα υψόμετά τους. Χρησιμοποιεί τον τύπο $LC = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$ όπου x_i, y_i, z_i οι συντεταγμένες των σημείων σε rads. Όμως εμείς τις συντεταγμένες τις έχουμε σε degrees, οπότε χρησιμοποιείται και η συνάρτηση που μετατρέπει τις συντεταγμένες από degrees σε rads. Οι μαθηματικοί τύποι υπολογισμού της απόστασης μεταξύ 2 σημείων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

$$N_1 = \frac{a}{1 - e^2 \cdot \sin(\text{deg } 2\text{rad}(l_1)) \cdot \sin(\text{deg } 2\text{rad}(f_1))}$$

$$N_2 = \frac{a}{1 - e^2 \cdot \sin(\text{deg } 2\text{rad}(l_2)) \cdot \sin(\text{deg } 2\text{rad}(f_2))}$$

$$X_1 = (N_1 + H_1) \cdot (\cos(\text{deg } 2\text{rad}(l_1)) \cdot \cos(\text{deg } 2\text{rad}(f_1)))$$

$$Y_1 = (N_1 + H_1) \cdot (\cos(\text{deg } 2\text{rad}(l_1)) \cdot \sin(\text{deg } 2\text{rad}(f_1)))$$

$$Z_1 = (N_1 \cdot (1 - e^2) + H_1) \cdot (\sin(\text{deg } 2\text{rad}(l_1)))$$

$$X_2 = (N_2 + H_2) \cdot (\cos(\text{deg } 2\text{rad}(l_2)) \cdot \cos(\text{deg } 2\text{rad}(f_2)))$$

$$Y_2 = (N_2 + H_2) \cdot (\cos(\text{deg } 2\text{rad}(l_2)) \cdot \sin(\text{deg } 2\text{rad}(f_2)))$$

$$Z_2 = (N_2 \cdot (1 - e^2) + H_2) \cdot (\sin(\text{deg } 2\text{rad}(l_2)))$$

$$\text{Όπου } \frac{1}{f} = 298.257223563$$

$$e = \sqrt{0.0066943799901}$$

και

deg2rad() η συνάρτηση που μετατρέπει τις συντεταγμένες από degrees σε rad.

5.6 Υποθετικές παραδοχές χωρικής κατανομής μετρητών

Η κατανομή και το πλήθος των μετρητών είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν δραστικά τη διάσχιση μίας απόστασης. Μη έχοντας λοιπόν πραγματικά δεδομένα μετρητών για την περιοχή μελέτης μας, έπρεπε με κάποιο τρόπο ο οποίος να προσεγγίζει την πραγματικότητα και να παρουσιάζει όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερα αποτελέσματα, να παράξουμε μετρητές, ίσους περίπου σε πλήθος με την πραγματικότητα. Αφού καταφέραμε να δημιουργήσουμε αυτό το πλήθος μετρητών (περίπου 138.000), έπρεπε να ελέγξουμε αν η κατανομή τους επηρεάζει συνολικά (αλλά και τοπικά) την εκτέλεση του αλγορίθμου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να πάρουμε δύο διαφορετικά σενάρια υπολογισμού των μετρητών που θα χουν μεν ίδιο πλήθος, αλλά διαφορετική κατανομή.

Το πρώτο μας σενάριο περιλαμβάνει τυχαία κατανομή των μετρητών, κάτι που μαθηματικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομοιόμορφη κατανομή των μετρητών στην περιοχή μας. Σ αυτή λοιπόν την περίπτωση χρησιμοποιήσαμε μία συνάρτηση που παράγει κάθε φορά έναν τυχαίο αριθμό τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων από το 0.2 έως το 0.4, ο οποίος αντιπροσωπεύει το πλήθος των μετρητών ανά μέτρο και ο οποίος πολλαπλασιαζόμενος με το μήκος μας δίνει το σύνολο των μετρητών. Είναι μία προσέγγιση που ως αποτέλεσμα έχει το επιθυμητό πλήθος μετρητών ομοιόμορφα όμως κατανεμημένους.

Στη δεύτερη περίπτωση χωρίσαμε την περιοχή μελέτης σε τέσσερις υπο-περιοχές ανάλογα με το πόσο πυκνοκατοικημένες είναι.

- Πολύ πυκνοκατοικημένη. Σ αυτή την περίπτωση ο τυχαίος αριθμός που παράγουμε (πλήθος μετρητών ανά μέτρο οδικού δικτύου) κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2.
- Πυκνοκατοικημένη. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση ο τυχαίος αριθμός που παράγουμε κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1.
- Μέτρια κατοικημένη. Στην τρίτη περίπτωσή μας ο αριθμός κυμαίνεται μεταξύ 0,333 και 0,667.
- Αραιοκατοικημένη. Στην τελευταία μας περίπτωση το πλήθος των μετρητών ανά μέτρο κυμαίνεται μεταξύ 0 και 0.296.

Και στα δύο αυτά σενάρια, αφού παράξουμε το πλήθος των μετρητών, υπολογίζουμε την τελική απόσταση ως εξής $L_{met} = uL + L$ όπου uL : η επιβάρυνση λόγω ύπαρξης των μετρητών και L η ευκλείδια απόσταση. Εάν σ αυτή την απόσταση προσθέσουμε την επιβάρυνση λόγω κλίσης του δρόμου, $L_{final} = L_{kl} + L_{met}$ τότε έχουμε το πλασματικό μήκος L_{final} που δεν είναι άλλο απ το ευκλείδιο μήκος της απόστασης αλλαγμένο λόγω της επίδρασης της κλίσης του εδάφους καθώς και του πλήθους των μετρητών.

5.7 Μοντέλα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν

Για την υλοποίηση των σεναρίων μας στον αλγόριθμο πήραμε ως δεδομένο ένα αρχείο xml και παράξαμε ένα νέο xml το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως κεντρικό αρχείο για τη δημιουργία των kml αρχείων μας, καθώς και για την υλοποίηση όλων των υπολογισμών μας.

5.7.1 XML εισόδου (οδικό δίκτυο)

Ως xml εισόδου χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο kalamata.xml το οποίο ουσιαστικά ήταν το οδικό μας δίκτυο. Είχε 3 διαφορετικές κατηγορίες στοιχείων.

Στοιχεία nx. Κάθε σημείο nx έχει την εξής δομή:

```
<nx id="000001" l="21.66094" f="36.96608" p="4" h="15" />
```

Όπου

id: δείκτης αρίθμησης (μοναδικός για το κάθε nx)

l.f: γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

p: πληθυσμός

h: υψόμετρο

Στοιχεία lx. Κάθε διαδρομή lx έχει την εξής δομή:

```
<lx id="014873" b="001451" e="001408" nm="ΑΝΩΝΥΜΟΣ" w="3" cp="1">
```

Όπου

id: δείκτης αρίθμησης (μοναδικός για κάθε lx)

b: αντιστοιχεί σε ένα id των nx και είναι το σημείο έναρξης της διαδρομής lx

e: αντιστοιχεί σε ένα id των nx και είναι το σημείο τέλους της διαδρομής lx

nm: το όνομα του δρόμου στο οποίο ανήκει η διαδρομή lx

w: είδος δρόμου

cp: κατεύθυνση του δρόμου

Στοιχεία nlx. Κάθε σημείο nlx το οποίο πάντα είναι μεταξύ του b και του e ενός lx έχει την εξής δομή:

```
<nlx id="000001" l="21.90362" f="36.82136" h="47" />
```

Όπου

id: δείκτης αρίθμησης (μοναδικός για το κάθε nlx)

l.f: γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

h: υψόμετρο

Ένα παράδειγμα το οποίο συνδέει και τα 3 παραπάνω ήδη είναι το εξής

```
<nx id="001451" l="21.89678" f="36.82401" p="0" h="80" />
```

```
<nx id="001408" l="21.89729" f="36.82401" p="0" h="82" />
```

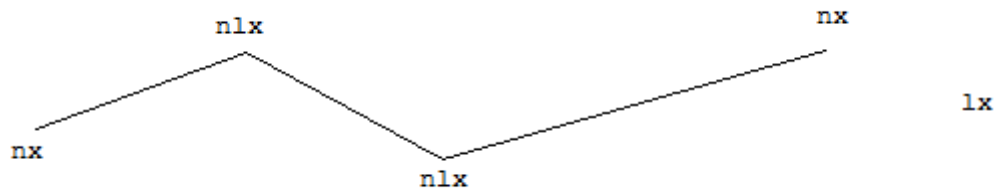
```
<lx id="014873" b="001451" e="001408" nm="ΑΝΩΝΥΜΟΣ" w="3" cp="1">
```

```
  <nlx id="000001" l="21.89708" f="36.82402" h="81" />
```

```
  <nlx id="000002" l="21.89721" f="36.82401" h="81" />
```

```
</lx>
```

Το οποίο ουσιαστικά μας δείχνει τη σχέση μεταξύ των lx, nlx και nx.



Σχήμα 5.4: Απεικόνιση της σχέσης μεταξύ των lx,nx και nlx

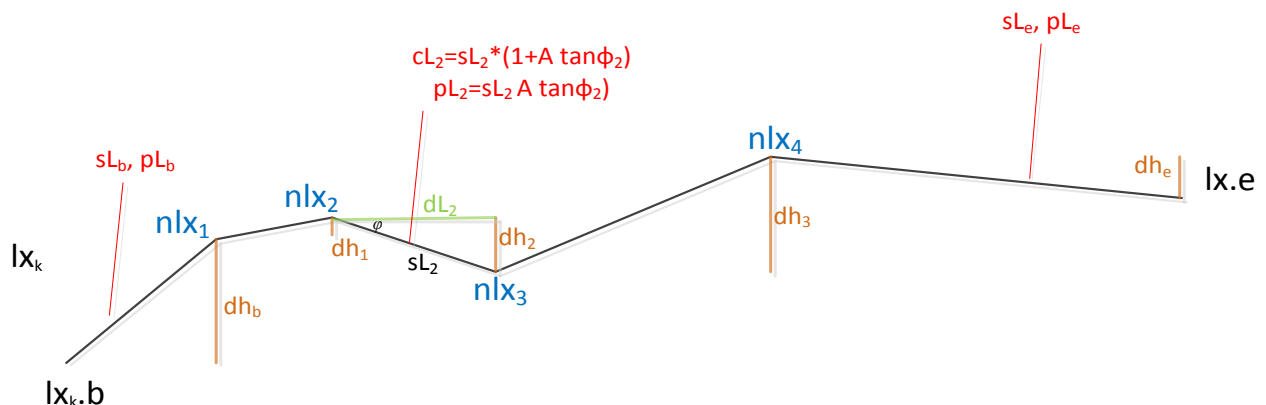
5.7.2 Εμπλουτισμένο μοντέλο δεδομένων XML

Όπως προαναφέραμε, πήραμε το αρχικό αρχείο kalamata.xml και το τροποποιήσαμε δημιουργώντας έτσι το kalamatan4.xml. Η τροποποίηση που του κάναμε έχει να κάνει με προσθήκη κάποιων επιπλέον πληροφοριών (όπως ευκλείδιο μήκος, ισοδύναμο μήκος λόγω κλίσης, πλασματικό μήκος λόγω κλίσης και μετρητών). Είναι προφανές ότι οι τροποποιήσεις που κάναμε έγιναν μόνο στα lx στοιχεία, καθώς τα nx, nlx είναι σημειακά στοιχεία και δεν αντιπροσωπεύουν κάποιο μήκος.

Εστω τμήμα lx όπως παρακάτω

```
<lx id="005249" b="003608" e="002262" nm="ΑΝΩΝΥΜΟΣ" w="3" cp="1"
sdl="92.929460261364" ssl="92.934891650875" spl="250.59470430046"
ud="0.037563333333333333" ul="3.490944313379" >
  <nlx id="000001" l="22.07088" f="37.04569" h="3" />
  <nlx id="000002" l="22.07071" f="37.04603" h="3" />
  <nlx id="000003" l="22.07046" f="37.04620" h="3" />
  <nlx id="000004" l="22.07033" f="37.04631" h="3" />
</lx>
```

Στο σχήμα βλέπουμε τη μηκοτομή (στην κάθετη διεύθυνση το ύψος)



Σχήμα 5.5: Απεικόνιση των προστιθέμενων στοιχείων sdl, ssl, spl

Ορίζουμε τις τιμές που φαίνονται στο σχήμα, όπως ακολούθως.

- $dh_n = |h_{n+1} - h_n|$. Παίρνουμε απόλυτη τιμή διότι στηρίζομαστε στην έρευνα *Gender differences in walking and running on level and inclined surfaces* των Elizabeth S. Chumanov, Cara Wall-Scheffler, Bryan C. Heiderscheit που τεκμηριώνουν ότι η ανωφέρεια και η κατωφέρεια επιβραδύνουν με παρόμοιο τρόπο τη διάσχιση ενός δρόμου.
- $dL_n = \text{distance}(nlx_{n+1}.lamda, nlx_{n+1}.fi, nlx_n.lamda, nlx_n.fi)$. Η απόσταση στο επίπεδο
- $\varphi = \text{atan}\left(\frac{dh_n}{dL_n}\right)$. Η κλίση (προσοχή στις μονάδες της γωνίας)

Για κάθε ζεύγος διαδοχικών σημείων ($nlx_n -> nlx_{n+1}$) έχουμε τρία μήκη:

- Το μήκος στο επίπεδο dL_n που αποτελεί γεωμετρικό μέγεθος
- Το κεκλιμένο μήκος $sL_n = \frac{dL_n}{\cos\varphi}$ που είναι κι αυτό γεωμετρικό μέγεθος
- Το ανηγμένο μήκος $cL_n = sL_n \cdot A \cdot \tan(\varphi)$ που αποτελεί πλασματικό μέγεθος με φ από 0 μέχρι 45 μοίρες

Η επιβάρυνση σε μήκος $pL_n = sL_n \cdot A \cdot \tan(\varphi)$ που αποτελεί κι αυτό πλασματικό μέγεθος με φ από 0 μέχρι 45 μοίρες

Η παράμετρος A έχει μια αυθαίρετη τιμή. Για το επίπεδο ($\tan\varphi=0$) δεν αλλάζει τίποτε. Για το άκρο της κλίσης 45 μοιρών, το A δείχνει πόσο επιβραδύνεται η μέση ταχύτητα του ατόμου στην ανηφόρα και την κατηφόρα. Για $A=0.555$, στις 15 μοίρες έχουμε $cL_n = sL_n \cdot 0.555 \cdot \tan(15^\circ) = 0.15 \cdot sL_n$, δηλαδή θεωρούμε ότι η ταχύτητα περπατήματος μειώνεται κατά 15% από ότι στο επίπεδο. Εμπειρικά φαίνεται ανεκτό, μπορούμε να βάλουμε το A ως παράμετρο και να κάνουμε σενάρια με τα αποτελέσματά του. Οπότε η συνολική επιβάρυνση του lx_n λόγω κλίσης είναι $spl = \sum pL_n + pL_b + pL_e$

Οπότε στο νέο XML αρχείο, στο lx record προσθέτουμε τα παρακάτω

```
<lx id="005249" b="003608" e="002262" nm="ΑΝΩΝΥΜΟΣ" w="3" cp="1"
sdl="92.929460261364" ssl="92.934891650875" spl="250.59470430046">
<nlx id="000001" l="22.07088" f="37.04569" h="3" />
<nlx id="000002" l="22.07071" f="37.04603" h="3" />
<nlx id="000003" l="22.07046" f="37.04620" h="3" />
<nlx id="000004" l="22.07033" f="37.04631" h="3" />
</lx>
```

- sdl είναι το άθροισμα του μήκους στο επίπεδο (άθροισμα των dl)
- ssl είναι το άθροισμα των κεκλιμένων μηκών (άθροισμα των sl)
- spl είναι το άθροισμα των πλασματικών μηκών επιβαρυσμένων λόγω κλίσης

Για την επιβάρυνση λόγω του πλήθους των μετρητών, θεωρούμε ότι σε κάθε τμήμα του οδικού δικτύου (lx) υπάρχει μια μέση πυκνότητα ud μετρητών ανά μονάδα μήκους. Οπότε το πλήθος των μετρητών στο δρόμο lx_n είναι $um_n = ud_n * ssl_n$. Αυτό είναι ένα τέχνασμα για να προκαλέσουμε μεταβλητά φορτία εμείς διότι δεν είχαμε πραγματικά δεδομένα κατανομής των μετρητών στην προς μελέτη περιοχή μας και έπρεπε να βρούμε έναν τρόπο να παράξουμε.

Εστω ότι

v (km/h) η μέση ταχύτητα περπατήματος του ανθρώπου στο επίπεδο

tc (min) ο χρόνος καταγραφής της μέτρησης ενός μετρητή

Τότε

Οι um_n μετρητές αντιστοιχούν σε $ul_n = um_n v \left(\frac{tc}{60} \right) 1000$ m. Αυτό είναι η πλασματική επιβάρυνση του μήκους λόγω της ύπαρξης των μετρητών. Αυτό είναι που αντικαθίσταται με $B=1,11$ αφού για ταχύτητα βαδίσματος $v=1,11$ m/sec (που ισούται με 4km/h) και χρόνο καταγραφής για κάθε μετρητή $tc=20$ sec προκύπτει $B=1,11*30=22$.

Οπότε συμπληρώνουμε το XML μας ως εξής:

```
<lx id="005249" b="003608" e="002262" nm="ΑΝΩΝΥΜΟΣ" w="3" cp="1"
sdl="92.929460261364" ssl="92.934891650875" spl="250.59470430046"
ud="0.0375633333333333" ul="3.490944313379" >
<nlx id="000001" l="22.07088" f="37.04569" h="3" />
<nlx id="000002" l="22.07071" f="37.04603" h="3" />
<nlx id="000003" l="22.07046" f="37.04620" h="3" />
<nlx id="000004" l="22.07033" f="37.04631" h="3" />
</lx>
```

Οι παράμετροί μας είναι οι εξής

- A: επιβάρυνση λόγω κλίσης (προσεγγιστική τιμή $A=0.555$). Καθολική τιμή, σταθερά του προγράμματος
- B: επιβάρυνση λόγω μετρητών (προσεγγιστική τιμή $B=22$). Καθολική τιμή, σταθερά του προγράμματος
- ud: πυκνότητα μετρητών ανά μέτρο. Αυτό θα παίρνει πραγματικές τιμές από 0 έως 2 με τυχαίους αριθμούς, ανάλογα με την περίπτωση
- ul: πλήθος μετρητών ανά διαδρομή. Υπολογίζεται ως το γινόμενο της πυκνότητας μετρητών ud επί την μεταξύ τους απόσταση L .
- v (km/h): η μέση ταχύτητα περπατήματος του ανθρώπου στο επίπεδο. Καθολική τιμή, σταθερά του προγράμματος
- tc (min): ο χρόνος καταγραφής της μέτρησης ενός μετρητή. Καθολική τιμή, σταθερά του προγράμματος

τα υπόλοιπα μεγέθη που προστίθενται στο lx υπολογίζονται από τη γεωμετρία (συντεταγμένες, ύψος).

5.7.3 Μοντέλο δεδομένων XML με αποτελέσματα αλγορίθμου

Στη συνέχεια, φορτώνοντας στον αλγόριθμο το τελικό τροποποιημένο XML που εξηγήσαμε αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 7.5.2, δημιουργούνται τα νέα xml που χρειαζόμαστε για να τα μελετήσουμε αλλά και για τη δημιουργία των kml αρχείων μας. Ο αλγόριθμος, όπως προείπαμε χωρίζει την περιοχή μας σε ένα πλήθος υπο-περιοχών (το οποίο πλήθος ορίζει ο χρήστης) και δημιουργεί ένα xml αρχείο. Το αρχείο αυτό έχει την εξής μορφή:

```
<cluster id="01" nxid="001323" radius="4.233" dist="103.971"
lamda="22.111950" fi="37.041510" />
<cluster id="02" nxid="000530" radius="5.345" dist="89.103"
lamda="22.134050" fi="37.031580" />

<nx id="000001" cluster="03" lamda="22.079120" fi="37.037040" />
<nx id="000002" cluster="03" lamda="22.077900" fi="37.037780" />
```

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, δημιουργεί μία νέα κατηγορία στοιχείων που λέγονται clusters. Κάθε cluster αποτελεί και μία υποπεριοχή, με «κεντρικό» κόμβο το σημείο nx με id το nxid. Το αρχείο περιέχει τα clusters και όλα τα nx.

Η κατηγορία clusters έχει την εξής δομή:

```
<cluster id="01" nxid="001323" radius="4.233" dist="103.971"
lamda="22.111950" fi="37.041510" />
```

Όπου,

id: δείκτης αρίθμησης (μοναδικός για το κάθε cluster)

nxid: δείκτης αρίθμησης (μοναδικός για το κάθε nx) που αντιστοιχεί σε ένα nx

radius:

dist: εκφράζει τη μέση διανυόμενη απόσταση απ τον «κεντρικό» κόμβο προς τα όρια της περιοχής

lamda,fi: γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

Η κατηγορία nx έχει την εξής δομή:

```
<nx id="000001" cluster="03" lamda="22.079120" fi="37.037040" />
```

Όπου,

id: δείκτης αρίθμησης (μοναδικός για το κάθε nx)

cluster: αντιστοιχεί σε κάποιο id των clusters και υποδηλώνει σε ποιο cluster ανήκει

lamda,fi: γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

5.7.4 Αρχεία KML για εμφάνιση αποτελεσμάτων

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, δημιουργήσαμε 2 κατηγοριών kml αρχεία. Η πρώτη κατηγορία αρχείων προέρχεται απ το τροποποιημένο xml αρχείο εισόδου. Δημιουργούμε 3 αρχεία, τα placemarks.kml, road_pop.kml και road_kliseis.kml.

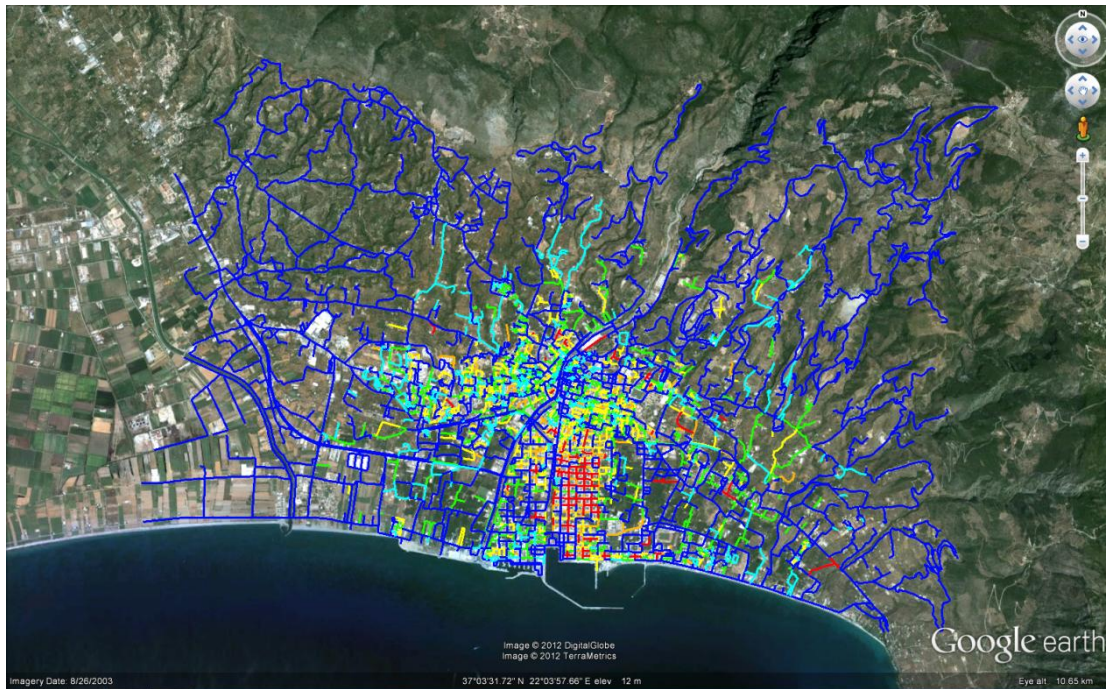
Από την εφαρμογή του αλγορίθμου για την περιοχή δημιουργήθηκαν τα εξής αρχεία:

placemarks.kml, για την απεικόνιση όλων των σημείων που μας ενδιαφέρουν στην περιοχή μελέτης μας. Τα σημεία αυτά είναι κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία, είναι τα σημεία που αποτελούν κόμβους στο οδικό δίκτυο. Αυτά χρησιμοποιούνται και ως σημεία αρχής και τέλους ευθύγραμμων τμημάτων. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει σημεία που βρίσκονται εντός του δικτύου και ανάμεσα στα σημεία αρχής και τέλους της πρώτης κατηγορίας. Βρίσκονται σε σημεία που αλλάζει η κατεύθυνση ή ο προσανατολισμός του δρόμου.

roads_pop.kml, για την απεικόνιση των διαδρομών που περιγράφουν τα σημεία που έχουμε ως δεδομένα. Η απεικόνιση τους αλλάζει απόχρωση ανάλογα με τον πληθυσμό (population) του σημείου του δρόμου αντίστοιχα. Οι κλίμακες του πληθυσμού ακολουθούν:

Κλίμακα πληθυσμού	Απόχρωση (#scale)
$pop \leq 5$	#ffff0a00
$5 < pop \leq 20$	#ffffff00
$20 < pop \leq 50$	#ff00ff1f
$50 < pop \leq 100$	#ff00ffff
$100 < pop \leq 150$	#ff00b7ff
$pop > 150$	#ff0a00ff

Πίνακας 5.4: Κατανομή χρωμάτων ανάλογα με τον πληθυσμό

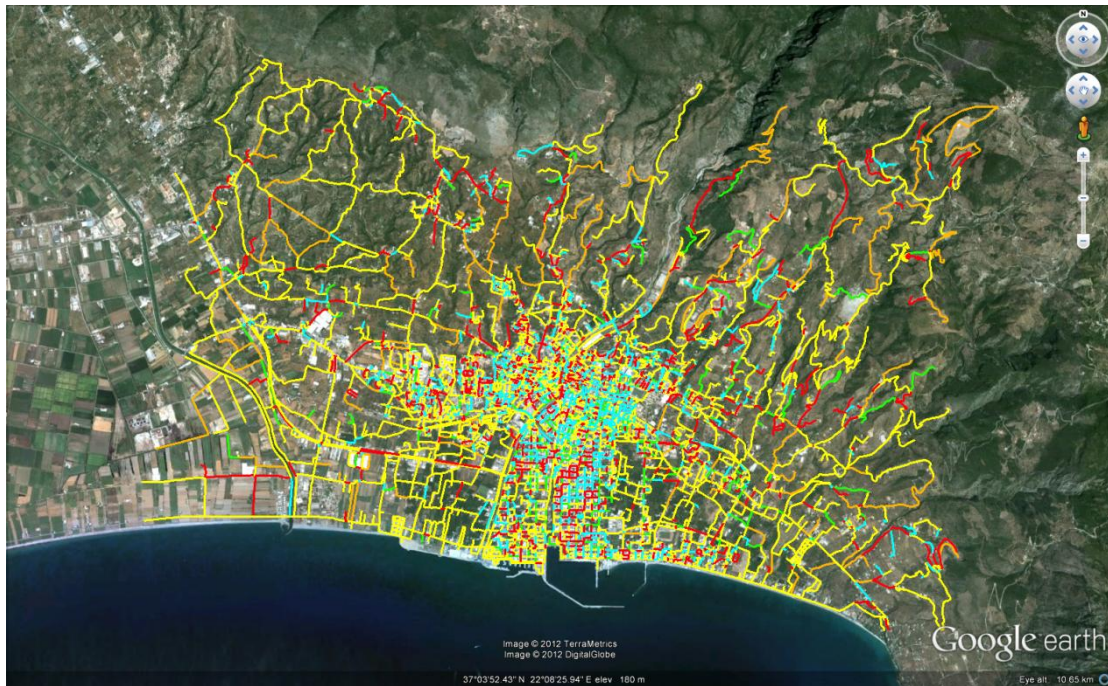


Εικόνα 5.4. Roads_pop.kml

roads_kliseis.kml, για την απεικόνιση των διαδρομών που περιγράφουν τα σημεία που έχουμε ως δεδομένα. Η απεικόνιση τους αλλάζει απόχρωση ανάλογα με την κλίση του δρόμου αντίστοιχα. Οι κλίμακες κλίσεων είναι οι εξής.

Κλίμακα κλίσης	Απόχρωση (#scale)
$w \leq -2$	#ffff0a00
$-2 < w \leq -1$	#ffffff00
$-1 < w \leq 0$	#ff00ff1f
$0 < w \leq 1$	#ff00ffff
$1 < w \leq 2$	#ff00b7ff
$w \geq 2$	#ff0a00ff

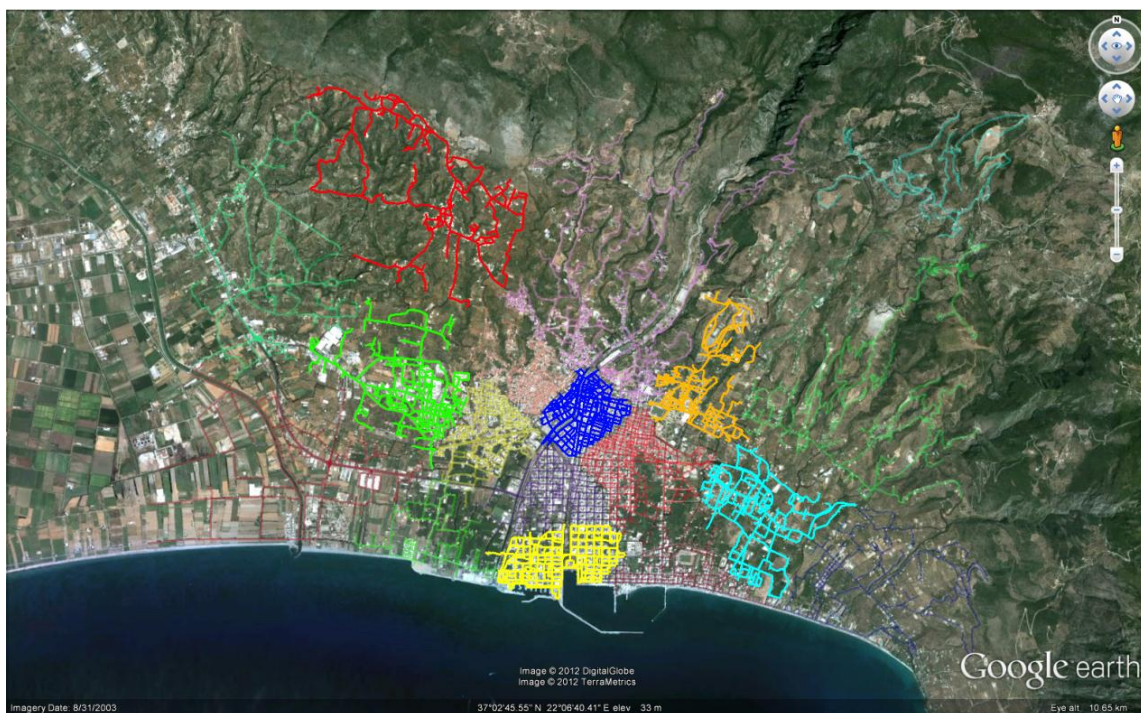
Πίνακας 5.5: Κατανομή χρωμάτων ανάλογα με την κλίση

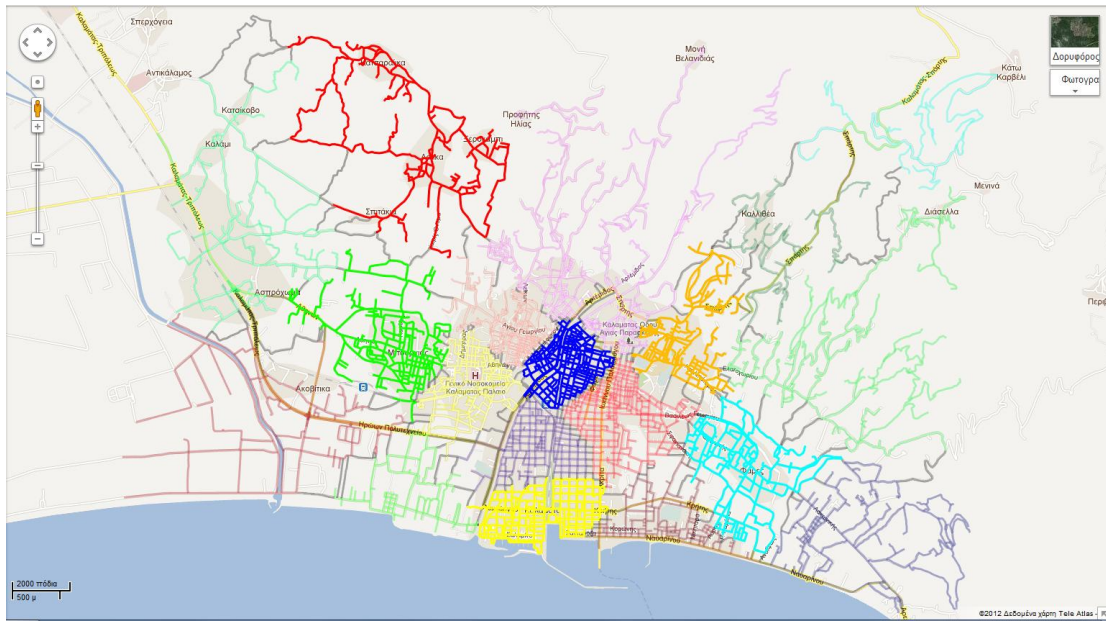


Εικόνα 5.5. Roads_kliseis.kml

Η δεύτερη κατηγορία αρχείων kml που δημιουργείται, προέρχεται από τα xml αρχεία που παράγει ο αλγόριθμος (υποκεφάλαιο 5.7.3). Αυτά απεικονίζουν με χρωματική διαφοροποίηση τα διάφορα clusters. Για παράδειγμα ας κάνουμε μία επιλογή kml αρχείου από κάθε σενάριο και ας τα απεικονίσουμε τόσο στο Google Earth όσο και στο Google Maps.

Ακολούθως δίνεται η απεικόνιση των συγκεκριμένων αρχείων, ενώ το περιεχόμενό τους θα μας απασχολήσει σε επόμενη ενότητα.





6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΟΥ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

6.1 Λειτουργίες

Για την υλοποίηση της εφαρμογής αρχικά κατασκευάστηκαν ορισμένα τμήματα αλγορίθμου στη γλώσσα προγραμματισμού PHP και στη συνέχεια συνενώθηκαν σε ένα php αρχείο. Ο κώδικας βρίσκεται αυτούσιος στο παράρτημα της εργασίας.

Οι λειτουργίες του κώδικα αποτελούν τη βάση για την πραγματοποίηση όλων των περαιτέρω υπολογισμών. Στο τμήμα αυτό έχουν δημιουργηθεί οι ακόλουθες λειτουργίες:

- *startElementHandler()*
- *endElementHandler()*
- *characterDataHandler()*
- *decimal_distance()*
- *calc_slopes()*
- *getDecimalRand()*
- *cluster_kml()*
- *lx_distance()*
- *create_kmls()*

εντός των οποίων εκτελούνται οι εξής διεργασίες:

6.1.1 Λειτουργία 1

- Τίτλος: *calc_slopes()*
- Περιγραφή: Καλείται με σκοπό να υπολογίσει ανάμεσα σε 2 διαδοχικά σημεία το κεκλιμένο μήκος, το μήκος τους στο επίπεδο, την μεταξύ τους κλίση, το πλασματικό μήκος λόγω της ύπαρξης κλίσης και μετρητών, καθώς επίσης την πυκνότητα, το πλήθος και την κατανομή των μετρητών.
- Είσοδος: Δέχεται ως στοιχείο εισόδου τη μεταβλητή \$lx (μετρητή των σημείων μας). Χρησιμοποιεί τα στοιχεία που περιέχει το αρχείο *kalamatav4.kml* το οποίο είναι και το τροποποιημένο αρχείο με τα αρχικά μας δεδομένα

- Υπολογισμοί: Καλεί την συνάρτηση `decimal_distance` για να υπολογίσει την κεκλιμένη απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών σημείων `$L=decimal_distance($lat1, $lon1, $lat2, $lon2, $h1, $h2)`

Έπειτα υπολογίζει το μεταξύ τους μήκος στο επίπεδο

```
$dL=decimal_distance($lat1, $lon1, $lat2, $lon2,0,0)
```

Στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της κλίσης μεταξύ των 2 σημείων

```
$w=(asin($dh/$L))*100 σε rad,
```

```
$kl=3.6*abs($w) αλλά και σε μοίρες.
```

Έπειτα, λαμβάνοντας υπόψιν την κλίση, υπολογίζει το πλασματικό μήκος μεταξύ των 2 σημείων

```
$cL=abs($cL*$A*tan($kl))
```

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των μετρητών ανά περιοχή. Οι υποπεριοχές μας είναι οι εξής 4:

- Έντονα πυκνοκατοικημένη:
`$ud[$lxc] = getDecimalRand(1, 2, 4)`
- Πυκνοκατοικημένη:
`$ud[$lxc] = (getDecimalRand(1, 2, 4))/2`
- Κανονικά κατοικημένη:
`$ud[$lxc] = (getDecimalRand(1, 2, 4))/3`
- Αραιοκατοικημένη
`$ud[$lxc] = (getDecimalRand(0, 2, 4))/6.75`

Υπολογίζει την πλασματική απόσταση με την επιβάρυνση των μετρητών

```
$ul[$lxc]=$ud[$lxc]*$LL[$lxc]*$B;
```

Υπολογίζει την πλασματική απόσταση με την συνολική επιβάρυνση κλίσης

```
$lxdata[$lxc]["spl"]=$lxdata[$lxc]["ssl"]+$LL[$lxc];
```

Τέλος, η τελική απόσταση επιβαρυνμένη λόγω κλίσης και μετρητών είναι σαφές ότι είναι το άθροισμα των `$ul[$lxc]+ $lxdata[$lxc]["spl"];`

6.1.2 Λειτουργία 2

- Τίτλος: `cluster_kml()`
- Περιγραφή: Καλείται για να δημιουργήσει το αντίστοιχο kml αρχείο ανάλογα με το πλήθος των υποπεριοχών που θέλουμε να χωρίσει την προς μελέτη περιοχή.
- Είσοδος: Δέχεται ως στοιχείο εισόδου τη μεταβλητή `$clust` που είναι το πλήθος των περιοχών που προαναφέραμε, καθώς και τη μεταβλητή `$pen` που αντιπροσωπεύει την περίπτωση την οποία θέλουμε να μελετήσουμε (`$penalty_0, $penalty_1, $penalty_2`).

penalty_0 είναι η περίπτωση που λαμβάνουμε υπόψιν μόνο την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των σημείων, penalty_1 είναι η περίπτωση που λαμβάνουμε υπόψιν και τις κλίσεις των δρόμων, και τέλος penalty_2 λαμβάνουμε υπόψιν και τις κλίσεις των δρόμων και το πλήθος-κατανομή των μετρητών. Επίσης απαιτείται να δοθεί το κατάλληλο αρχείο xml που να περιέχει το πλήθος των clusters που θέλουμε. Καλεί τις *startElementHandler()*, *endElementHandler()* και *characterDataHandler()* για να γίνει «ανάλυση» του xml αρχείου.

- Υπολογισμοί: Αρχικά, η λειτουργία μας κάνει parsing (ανάλυση) στο xml αρχείο που της δίνουμε ως αρχείο εισόδου. Στη συνέχεια στο kml αρχείο γράφει τα περιεχόμενα του headers2.txt που είναι απαραίτητα προκειμένου να υπάρξει η χρωματική διαφοροποίηση των στοιχείων που θέλουμε στο Google Earth. Ακολουθεί η εισαγωγή των απαραίτητων στοιχείων για την σωστή δημιουργία του kml αρχείου. Τέλος, εισάγουμε και τα tags κλεισίματος του kml αρχείου.

6.1.3 Λειτουργία 3

1. Τίτλος: *create_kmls()*
2. Περιγραφή: Καλείται για να δημιουργήσει 3 kml αρχεία. Το placemarks.kml που έχει όλα τα placemarks των σημείων μας, το raods_pop.kml που έχει όλους τους δρόμους των σημείων μας με διαφορετική χρωματική απεικόνιση ανάλογα με το στοιχείο population, και το roads_kliseis.kml που η χρωματική απεικόνιση αλλάζει ανάλογα με τις κλίσεις των δρόμων όπως υπολογίζονται παραπάνω.
3. Είσοδος: Χρησιμοποιεί τη συνάρτηση *lx_distance()* προκειμένου να υπολογίσει την απόσταση και το population του κάθε lx (πλήθος συνεχόμενων σημείων) ξεχωριστά.
4. Υπολογισμοί: Μεταφέρει το περιεχόμενο του αρχείου headers2.txt στο kml αρχείο (απαιτείται για τη χρωματική διαφοροποίηση). Στη συνέχεια, δημιουργεί με τη σειρά τα αρχεία που θέλουμε προκειμένου να εξάγουμε τα συμπεράσματά μας.

6.1.4 Λειτουργία 4

1. Τίτλος: *new_xml()*
2. Περιγραφή: Καλείται για να δημιουργήσει το τελικό xml αρχείο. Το αρχείο αυτό είναι ουσιαστικά το αρχικό kalamata.xml τροποποιημένο. Προστίθενται στο αρχικό αρχείο τα πλασματικά μήκη που προκύπτουν λόγω της επίδρασης της κλίσης των δρόμων καθώς επίσης και του πλήθους και της κατανομής των μετρητών σε αυτούς. Έτσι δημιουργεί το kalamatav4.xml το οποίο είναι και το αρχείο που χρησιμοποιούμε τελικά στον κώδικα που χωρίζει την περιοχή μας σε υποπεριοχές.
3. Είσοδος: Χρησιμοποιεί τη συνάρτηση *calc_slopes()* για τον υπολογισμό των πλασματικών μηκών τα οποία εν συνεχεία καταγράφει στο νέο xml αρχείο.

4. Υπολογισμοί: Σκοπός της λειτουργίας αυτής δεν είναι τίποτα παραπάνω απ τη δημιουργία του αρχείου xml που μας χρειάζεται για τη συνέχεια της προσπάθειας αντιμετώπισης του προβλήματός μας.

6.2 Μονάδες λογισμικού – συναρτήσεις

Οι τρεις πρώτες συναρτήσεις *startElementHandler()*, *endElementHandler()*, *characterDataHandler()*, είναι χρήσιμες για τη διαχείριση ενός XML αρχείου.

- ✓ *startElementHandler()*. Καλείται για την «έναρξη» κάθε στοιχείου. Δέχεται ως στοιχεία εισόδου τη μεταβλητή *\$parser* που ουσιαστικά αναλύει xml αρχείο με τα δεδομένα μας, τη μεταβλητή *\$name* (string που περιέχει το όνομα του στοιχείου) και τη μεταβλητή *\$attributes* (που περιέχει τις ιδιότητες κάθε στοιχείου).
- ✓ *endElementHandler()*. Καλείται για το «κλείσιμο» κάθε στοιχείου και ακολουθεί την *startElementHandler()*. Ως στοιχείο εισόδου δέχεται τη μεταβλητή *\$parser* και τη *\$name*.
- ✓ *characterDataHandler()*. Καλείται για τη διαχείριση μη αριθμητικών στοιχείων. Ως στοιχείο εισόδου δέχεται προφανώς τη μεταβλητή *\$parser* καθώς επίσης και τη μεταβλητή *\$data*.
- ✓ *decimal_distance()*. Καλείται για τον υπολογισμό της κεκλιμένης απόστασης μεταξύ 2 διαδοχικών σημείων. Δέχεται ως στοιχεία εισόδου της γεωγραφικές συντεταγμένες καθώς και τα υψόμετρα των 2 σημείων και επιστρέφει την κεκλιμένη απόσταση μεταξύ τους.
- ✓ *lx_distance()*. Καλείται για να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ συγκεκριμένων σημείων καθώς επίσης να δώσει και το συνολικό population κάθε διαδρομής. Δέχεται ως στοιχείο εισόδου τη μεταβλητή *\$lx* που αποτελεί τον μετρητή των σημείων.

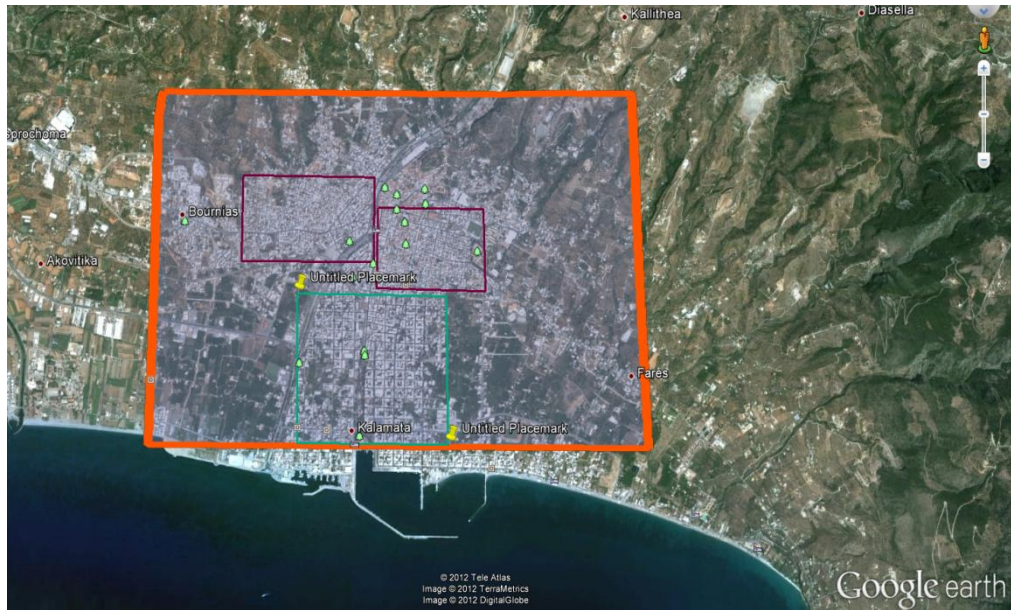
6.3 Διάγραμμα συναρτήσεων

7 ΕΚΤΕΛΕΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1 Σενάρια εκτέλεσης

Για την εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων χρησιμοποιήσαμε κάποια σενάρια εκτέλεσης του προγράμματος, τα οποία αφορούν τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των διαδοχικών σημείων. Τα σενάρια αυτά είναι τα εξής 4:

- Σενάριο penalty 0: Το 1^ο κατά σειρά σενάριό μας, περιλαμβάνει την απλούστερη περίπτωση της ευκλείδειας απόστασης. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζουμε απλώς την απόσταση των διαδοχικών σημείων με τη χρήση της λειτουργίας *decimal_distance()*.
- Σενάριο penalty 1: Το 2^ο κατά σειρά σενάριό μας, μεταβάλλει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων επηρεαζόμενο από την κλίση του μεταξύ τους τμήματος. Υπολογίζει λοιπόν το νέο ισοδύναμο μήκος σύμφωνα με τον τύπο $cL = |L \cdot A \cdot \tan(kl)|$ όπου L: το πραγματικό μήκος, A: παράμετρος που δείχνει την επιβράδυνση της μέσης ταχύτητας βαδίσματος του ανθρώπου λόγω της κλίσης και kl: κλίση.
- Σενάριο penalty 2α: Το 3^ο κατά σειρά σενάριό μας, μεταβάλλει την απόσταση και λόγω της κλίσης, αλλά και λόγω της πυκνότητας των μετρητών. Παραπάνω δείξαμε πως υπολογίζεται η επιβάρυνση λόγω κλίσης. Οπότε, ο υπολογισμός του μήκους λόγω της ύπαρξης μετρητών εξαρτάται από την πυκνότητά τους. Επειδή δεν έχουμε πραγματικά στοιχεία μετρητών, χρησιμοποιήσαμε 2 μεθόδους προσέγγισης του θέματος της κατανομής τους. Στην πρώτη περίπτωση (που είναι και το σενάριό μας) χωρίσαμε την περιοχή μας σε 4 υποπεριοχές όπου τις χαρακτηρίσαμε σύμφωνα με την πυκνότητα των μετρητών τους ως:
 - ✓ *έντονα πυκνοκατοικημένη*. Σ αυτή την περίπτωση η εκτίμηση των μετρητών υπολογίζεται από τον τύπο $ud = getDecimalRand(1,2,4)$. Καλεί τη συνάρτηση *getDecimalRand()* η οποία παράγει έναν τυχαίο αριθμό τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων από το 0 έως το 2 τον οποίο στη συνέχεια τον πολλαπλασιάζει με το ήδη αλλοιωμένο μήκος λόγω κλίσης .
 - ✓ *πυκνοκατοικημένη*. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση η εκτίμηση των μετρητών υπολογίζεται από τον τύπο $ud = getDecimalRand(1,2,4) / 2$ που ουσιαστικά παράγει έναν τυχαίο αριθμό από το 0 έως το 1.3 και ακολουθείται πάλι η ίδια διαδικασία.
 - ✓ *κανονικά κατοικημένη*. Σ αυτή την περίπτωση η εκτίμηση πραγματοποιείται με τον τύπο $ud = getDecimalRand(1,2,4) / 3$ που ο τυχαίος αριθμός κυμαίνεται από 0 έως 1.
 - ✓ *αραιοκατοικημένη*. Στην τελευταία αυτή περίπτωση ο τύπος είναι ο $ud = getDecimalRand(0,2,4) / 6.75$.



Εικόνα 7.1. Κατανομή και πυκνότητα των μετρητών σε υποπεριοχές

- Σενάριο penalty_2β:** Το σενάριο αυτό, μεταβάλλει την απόσταση πάλι λόγω κλίσης αλλά και λόγω της ύπαρξης των μετρητών, αλλά η κατανομή τους και η πυκνότητά τους δε μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή επιλεκτικά. Παράγεται τυχαία από την ίδια συνάρτηση για όλη την περιοχή και ακολουθεί την ίδια διαδικασία. Δηλαδή υπολογίζεται η επιβάρυνση λόγω κλίσης, έπειτα υπολογίζεται η επιβάρυνση λόγω του πλήθους των μετρητών, και στο τέλος προστίθενται και μας δίνουν τη συνολική επιβάρυνση λόγω των ανωτέρω λόγων.



Εικόνα 7.2. Κατανομή και πυκνότητα των μετρητών τυχαία

7.2 Προβλήματα και Παραδοχές

Κατά τη διάρκεια υλοποίησης της εφαρμογής προέκυψαν διάφορα προβλήματα. Για χάρην απλοποίησης των προβλημάτων αυτών, αλλά και εξαιτίας της πίεσης του χρόνου έγιναν ορισμένες παραδοχές – υποθέσεις που διευκόλυναν την περάτωση της εφαρμογής. Αυτές περιγράφονται στη συνέχεια.

7.2.1 Υπολογισμός Μήκους

Το Google Earth βασίζεται στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS84 όπως έχει ήδη αναφερθεί. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το WGS84, βασίζεται στο ελλειψοειδές WGS84. Οι παράμετροι του ελλειψοειδούς είναι:

- Μεγάλος ημιάξονας $a = 6378137m$
- Μικρός ημιάξονας $b = 6356752.3142m$ (WGS84)
- $e^2 = 1 - (1-f)^2$
- $e'^2 = 1 / ((1-f) * (1-f)) * e^2$
- $f = 1 / 298.257223563$ (WGS84)

Ένα σημείο στο χώρο σε κάθε Σύστημα Αναφοράς, στη Γεωδαισία μπορεί να εκφραστεί με τα παρακάτω συστήματα συντεταγμένων.

Τρισσορθογώνιες Καρτεσιανές Συντεταγμένες X,Y,Z.

Ελλειψοειδείς (γεωδαιτικές) συντεταγμένες φ,λ,h. Σε κρατικά (γεωδαιτικά) Συστήματα Αναφοράς χρησιμοποιείται συνήθως το υψόμετρο του κρατικού υψομετρικού συστήματος (για την Ελλάδα το ορθομετρικό υψόμετρο H) αντί του γεωμετρικού υψομέτρου.

Επίπεδες ορθογώνιες συντεταγμένες x,y, (στο προβολικό σύστημα), συνδεδεμένες με το υψόμετρο H του σημείου.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίστηκαν οι τρισσορθογώνιες καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z των τμημάτων που συγκροτούν τις διαδρομές. Έτσι υπολογίστηκαν οι πραγματικές συντεταγμένες του σημείου στο χώρο. Στη συνέχεια, προκειμένου να υπολογιστεί η κλίση των τμημάτων αυτών, ήταν αναγκαίος ο υπολογισμός της απόστασης των τμημάτων των διαδρομών. Οι αποστάσεις αυτές που υπολογίστηκαν είναι τα κεκλιμένα μήκη των τμημάτων των διαδρομών στον τρισδιάστατο χώρο. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών θεωρήθηκε ότι τα τμήματα αυτά αποτελούν ευθύγραμμα τμήματα με σταθερή κλίση.

7.2.2 Παραδοχή Σταθερής Κλίσης

Κατά την υλοποίηση της εφαρμογής ήταν αναγκαίο να γίνει η υπόθεση ότι η κλίση των τμημάτων των διαδρομών μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων παραμένει σταθερή κατά μήκος του εκάστοτε τμήματος της κάθε διαδρομής. Αυτό δε συμβαίνει στην πραγματικότητα καθώς κατά μήκος των τμημάτων μιας διαδρομής η κλίση μπορεί να μεταβάλλεται.

Για διαδρομές σε αστικές περιοχές, όπου το οδικό δίκτυο είναι πολύ πυκνό, η παραδοχή για σταθερή κλίση κατά μήκος των τμημάτων των διαδρομών δεν επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω της πυκνότητας του οδικού δικτύου, οι διαδρομές αποτελούνται από πολλά και μικρά τμήματα, δηλαδή λαμβάνονται περισσότερα ενδιάμεσα σημεία με αποτέλεσμα την καλύτερη και ακριβέστερη απόδοση των κλίσεων των διαδρομών. Επομένως από όσο περισσότερα ενδιάμεσα σημεία αποτελείται μια διαδρομή, τόσο πιο ρεαλιστικό είναι το αποτέλεσμα.

7.2.3 Πλήθος – κατανομή μετρητών

Ένα από τα σενάρια εκτέλεσης του προγράμματος όπως προαναφέραμε είναι το πλήθος και η κατανομή των μετρητών στην προς μελέτη περιοχή. Μη έχοντας λοιπόν πραγματικά δεδομένα, οφείλαμε να παράξουμε εμείς τους μετρητές της περιοχής και να τους κατανήσουμε στην περιοχή. Δημιουργήσαμε λοιπόν έναν αλγόριθμο για τη δημιουργία και κατανομή των μετρητών στην περιοχή μας. Αρχικά, φροντίσαμε το πλήθος των μετρητών να είναι σταθερό και να τείνει στον πραγματικό αριθμό μετρητών στην περιοχή, προκειμένου να προσεγγίσουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την πραγματικότητα. Έχοντας λοιπόν αυτό ως μοναδικό δεδομένο, έπρεπε να αποφασίσουμε στο πως θα γίνει η κατανομή των μετρητών μας. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιήσαμε δύο διαφορετικά σενάρια.

- Ομοιόμορφη κατανομή μετρητών στην περιοχή
- Ανομοιόμορφη κατανομή μετρητών στην περιοχή

Στην πρώτη περίπτωση, για κάθε επιμέρους απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων γνωστών συντεταγμένων, το πρόγραμμα παρήγαγε έναν αριθμό από το 0,1 έως το 0,2, ο οποίος αντιπροσώπευε το πλήθος των μετρητών ανά μέτρο. Αυτή η προσέγγιση τοπικά δε θεωρείται ομοιόμορφη κατανομή, αλλά στατιστικά, έχει ως αποτέλεσμα η περιοχή μας να έχει 1 μετρητή ανά μέτρο. Αυτός είναι και ο λόγος που θεωρείται ομοιόμορφη κατανομή.

Στην δεύτερη περίπτωση, θεωρήσαμε σκόπιμο να προσεγγίσουμε την πραγματικότητα – με μαθηματικό τρόπο βέβαια – χωρίζοντας την περιοχή μας σε τέσσερις υπο-περιοχές. Ο παράγοντας που ξεχωρίζει αυτές τις περιοχές μεταξύ τους είναι το πλήθος των μετρητών ανά μέτρο. Αυτή η διαδικασία είναι ακριβώς η αντίθετη της πρώτης. Δηλαδή, τοπικά, και για συγκεκριμένες περιοχές (γειτονιές), έχουμε ομοιόμορφη κατανομή, ενώ γενικά έχουμε μία ανομοιόμορφη κατανομή που το μέσο πλήθος μετρητών ανά μέτρο υπολογίζεται μόνο αφού ορίσει το μέγεθος των υπο-περιοχών.

Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν τα δύο σενάρια ξεχωριστά είναι για να προσεγγίσουμε κατά το δυνατόν περισσότερο την πραγματικότητα, αλλά και να αναδείξουμε ό,τι διαφορές μπορεί να προκύπτουν μεταξύ τους λόγω της κατανομής των μετρητών.

7.2.4 Επίδραση κλίσης στη διάσχιση διαδρομής

Η κλίση ενός δρόμου επιδρά στο χρόνο διάσχισής του. Ο τρόπος όμως με τον οποίο επιδρά δεν είναι καθολικός ούτε μαθηματικά τεκμηριωμένος. Έπρεπε λοιπόν να βρούμε ένα τρόπο με τον οποίο να μεταβάλλουμε την ταχύτητα διάσχισης ενός τμήματος (στην περίπτωση μας ανηγμένη σε πλασματική απόσταση). Σύμφωνα λοιπόν με την έρευνα “*Gender differences in walking and running on level and inclined surfaces*” των Elizabeth S. Chumanov, Cara Wall-Scheffler, Bryan C. Heiderscheit που δημοσιεύτηκε στις 8 Ιουλίου του 2008, η ανωφέρεια και η κατωφέρεια ενός τμήματος δρόμου επηρεάζουν κατά παρόμοιο τρόπο (επιβραδύνουν) τη διάσχιση μίας κεκλιμένης περιοχής. Οπότε εμείς, αυτό που είχαμε να αποφασίσουμε ήταν το μέγεθος μίας μεταβλητής A που πολλαπλασιαζόμενη με την απόσταση καθώς και με την εφαπτομένη της κλίσης, θα μας έδινε το πλασματικό μήκος. Δώσαμε λοιπόν στο A την τιμή 0.555. Με αυτή την τιμή, ουσιαστικά ο χρόνος διάσχισης (και κατά συνέπεια το πλασματικό μήκος) αυξάνεται επί τοις εκατό περίπου όσο είναι η κλίση του δρόμου σε μοίρες. Δηλαδή, για κλίση 10 μοίρες, το γινόμενο $0.555 \cdot \tan(\alpha) = 10\%$, για κλίση 20 μοίρες είναι περίπου 20% του μήκους κ.ο.κ.

7.2.5 Επίδραση πλήθους και κατανομής μετρητών στη διάσχιση διαδρομής

Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει όπως προαναφέραμε το χρόνο διάσχισης μίας διαδρομής εκτός της κλίσης, είναι και το πλήθος των μετρητών που πρέπει να συλλέξει πληροφορίες ο καταμετρητής. Δυστυχώς, δεν είχαμε πραγματικά δεδομένα μετρητών, και όπως προείπαμε αναγκαστήκαμε να παράξουμε εμείς μετρητές με τους δύο προαναφερθέντες τρόπους. Το θέμα μας όμως είναι το πώς επηρεάζουν οι μετρητές χρονικά τη διάσχιση της περιοχής. Έχοντας σε όλες τις περιπτώσεις αναγάγει την χρονική καθυστέρηση διάσχισης της διαδρομής σε επιπρόσθετο πλασματικό μήκος, δε θα μπορούσαμε και σε αυτή την περίπτωση να κάνουμε κάτι διαφορετικό. Έτσι δημιουργήσαμε μία νέα σταθερά B . Η σταθερά B λοιπόν ισούται με το γινόμενο $B = v \cdot t_c$ και περιγράφει το χρόνο που απαιτείται σε κάθε μετρητή (t_c)

επί την ταχύτητα διάσχισης του δρόμου. Οπότε για $v = 1.1 \text{ m/sec}$ έχουμε $B = 22$. Αυτός ο

συντελεστής, πολλαπλασιάζεται στη συνέχεια με την διανυόμενη απόσταση επί το πλήθος των μετρητών, και μας δίνει ως αποτέλεσμα την επιβαρυσμένη απόσταση ύπαρξης μετρητών.

7.3 Αποτελέσματα

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας που κάναμε σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.

7.3.1 Πίνακες ανά σενάριο

Όπως προαναφέραμε, τρέξαμε τον αλγόριθμο με το τροποποιημένο xml αρχείο, και αυτός μας έδωσε τα νέα αρχεία xml με τα διάφορα clusters που ζητήσαμε. Εμείς ζητήσαμε τα αρχεία για clusters από 10 έως 100 με βήμα 10 (10, 20, 30,..., 100), θεωρώντας ότι είναι υπέρ-αρκετά για να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα. Πήραμε λοιπόν τα 10 νέα xml αρχεία ανά σενάριο, τα κάναμε import στο Microsoft Excel 2007, και δημιουργήσαμε ένα πίνακα με τους μέσους όρους της μεταβλητής distance και έναν με τους μέσους όρους της μεταβλητής radius. Παρακάτω παρουσιάζουμε τους πίνακες ανά σενάριο όπως προέκυψαν από τα αρχεία xml.

Σενάριο 0. Ευκλείδεια απόσταση

-	radius	distance
10	3.1802	45.8864
20	2.03345	22.94305
30	1.6026	15.29553
40	1.331225	11.47158
50	1.16944	9.1773
60	1.01575	7.647733
70	0.923071	6.555214
80	0.850825	5.735775
90	0.7763	5.098511
100	0.7258	4.58863
S	13.60866	134.3997
MO	1.360866	13.43997

-	radius	distance
10	1.819334	32.44643
20	0.672584	9.503078
30	0.241734	1.855561
40	0.029641	1.968397
50	0.191426	4.262672
60	0.345116	5.792239
70	0.437795	6.884758
80	0.510041	7.704197
90	0.584566	8.341461
100	0.635066	8.851342

Στον παραπάνω πίνακα (αριστερά) βλέπουμε για τις δέκα διαφορετικές περιπτώσεις (από 10 έως 100 υποπεριοχές) τις μέσες αποστάσεις και ακτίνες που δημιουργούνται από τον αλγόριθμο.

Ο δεξιά πίνακας τυπικής απόκλισης των 2 μεταβλητών ο οποίος μπορεί να φανεί χρήσιμος για την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων.

Παρακάτω ακολουθούν οι αντίστοιχοι πίνακες για κάθε Σενάριο που μελετήσαμε

Σενάριο_1. Επίδραση της κλίσης

-	radius	distance
10	11.1229	143.1202
20	3.6765	71.56005
30	2.8643	47.7067
40	2.526825	35.78008
50	2.22876	28.624
60	1.974583	23.8534
70	1.752743	20.44579
80	1.600463	17.89006

-	radius	distance
10	8.057587	101.2007
20	0.611187	29.64059
30	0.201013	5.787242
40	0.538488	6.139383
50	0.836553	13.29546
60	1.090729	18.06606
70	1.31257	21.47367
80	1.46485	24.0294

90	1.497444	15.90228
100	1.40861	14.31203
S	30.65313	419.1946
MO	3.065313	41.91946

90	1.567868	26.01718
100	1.656703	27.60743

Σενάριο_2α (συστηματική κατανομή μετρητών). Επίδραση των μετρητών

-	radius	distance
10	14.8252	295.8122
20	9.4354	147.9062
30	5.684067	98.60407
40	4.8647	73.953
50	4.31866	59.16242
60	4.01595	49.30198
70	3.5846	42.25883
80	3.3588	36.97654
90	3.174067	32.86806
100	2.95906	29.58122
S	56.2205	866.4245
MO	5.62205	86.64245

-	radius	distance
10	9.20315	209.1697
20	3.81335	61.26375
30	0.062016	11.96162
40	0.75735	12.68945
50	1.30339	27.48003
60	1.6061	37.34047
70	2.03745	44.38362
80	2.26325	49.66591
90	2.447984	53.7744
100	2.66299	57.06123

Σενάριο_2β (τυχαία κατανομή μετρητών). Επίδραση των μετρητών

-	radius	distance
10	15.087	295.6147
20	9.94815	147.8073
30	5.7911	98.53813
40	4.9022	73.90368
50	4.32528	59.12294
60	3.96995	49.26912
70	3.7432	42.23063
80	3.48955	36.95194
90	3.184778	32.84613
100	3.03796	29.56151
S	57.47917	865.846
MO	5.747917	86.5846

-	radius	distance
10	9.339083	209.0301
20	4.200233	61.22265
30	0.043183	11.95353
40	0.845717	12.68093
50	1.422637	27.46166
60	1.777967	37.31549
70	2.004717	44.35397
80	2.258367	49.63266
90	2.563139	53.73847
100	2.709957	57.02309

7.3.2 Διαγράμματα ανά σενάριο

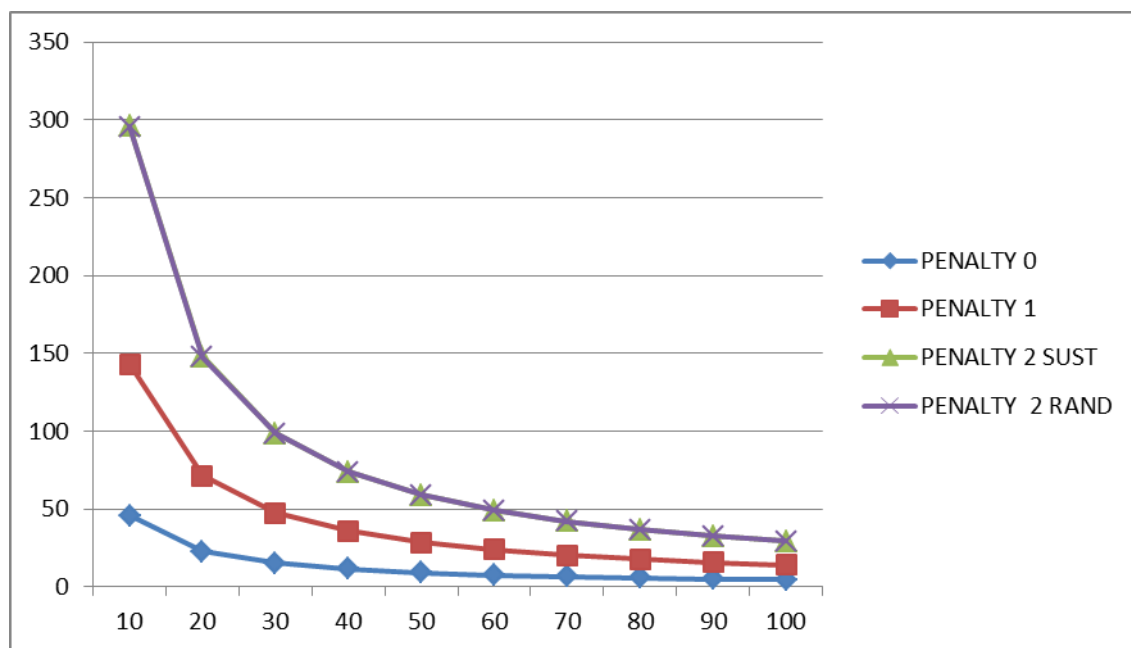
Από τους παραπάνω πίνακες, δημιουργήσαμε διαγράμματα για να παρατηρήσουμε το ρυθμό και τον τρόπο μεταβολής των μεταβλητών distance, radius όσο αυξάνονται τα clusters. Σε κάποια από αυτά, υπάρχουν χρωματικές διαφοροποιήσεις που είναι οι εξής:

Τα 4 χρώματα απεικονίζουν:

- ✓ Μπλε. Περίπτωση penalty_0
- ✓ Κόκκινο. Περίπτωση penalty_1
- ✓ Πράσινο. Περίπτωση penalty_2
- ✓ Μώβ. Περίπτωση penalty_2_tychaia

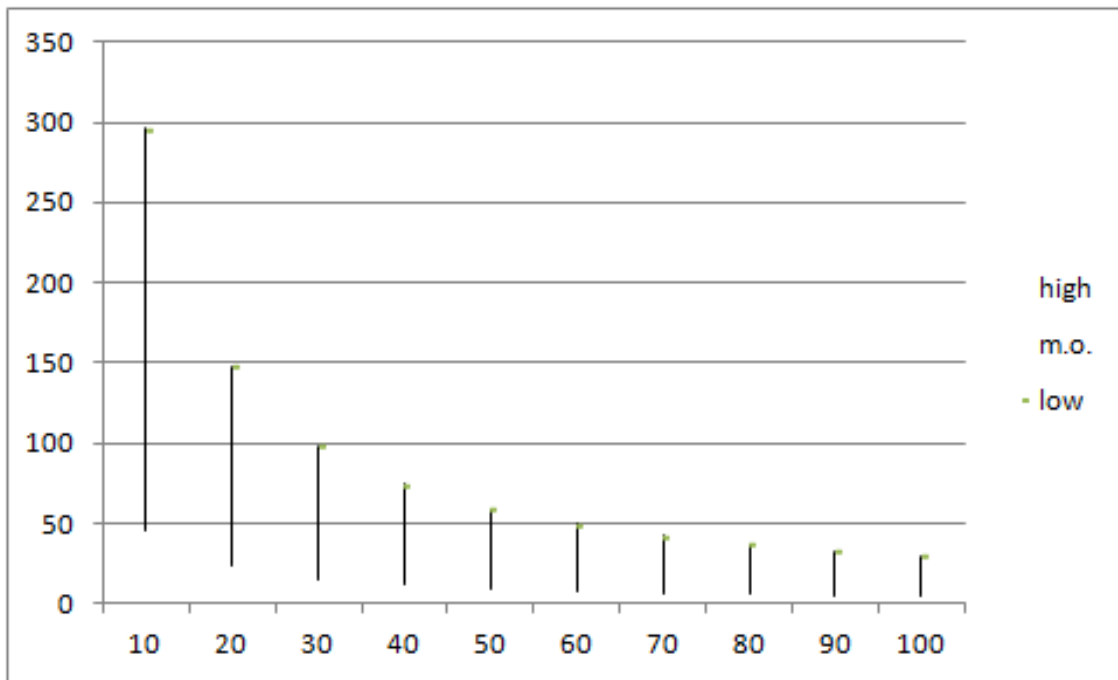
Αρχικά θα εξετάσουμε τη συμπεριφορά της μεταβλητής distance συναρτήσει των clusters.

Το πρώτο διάγραμμα, είναι συνάρτηση του μέσου distance ως προς το πλήθος των clusters (υπο-περιοχών).



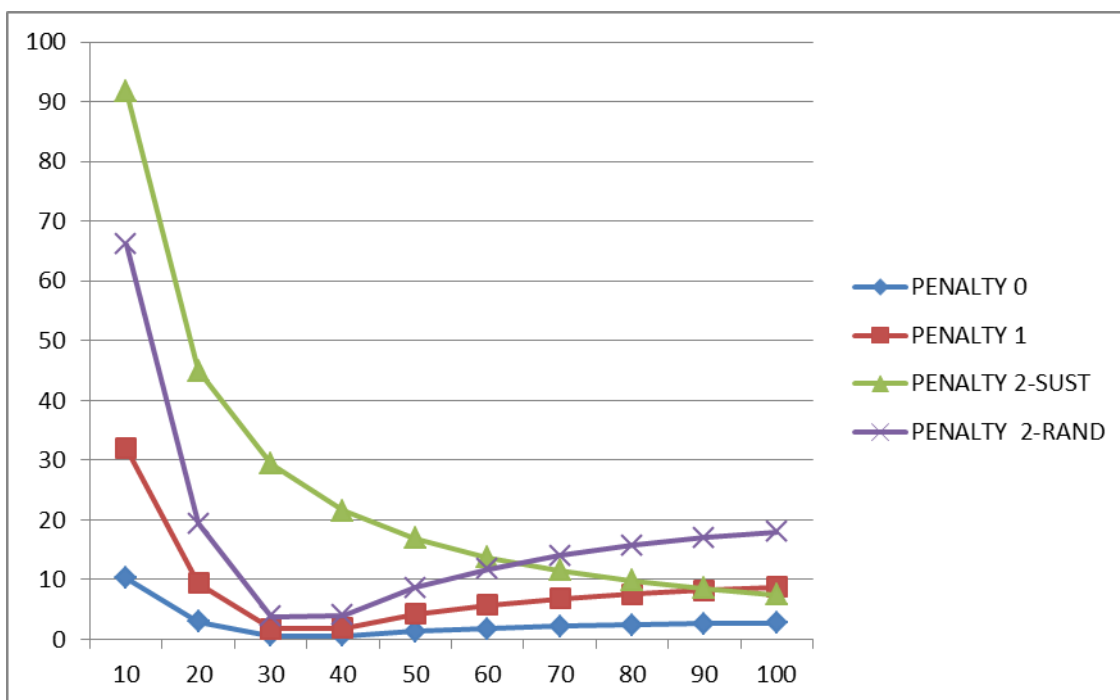
Σχήμα 7.1: $Average(distance)=f(clusters)$

Στο δεύτερο διάγραμμα βλέπουμε τα ακρότατα (μέγιστο και ελάχιστο) και κατά συνέπεια το εύρος της μεταβλητής distance σε ένα διάγραμμα high-low.



Σχήμα 7.2: Average(distance)=f(clusters) – high-low διάγραμμα

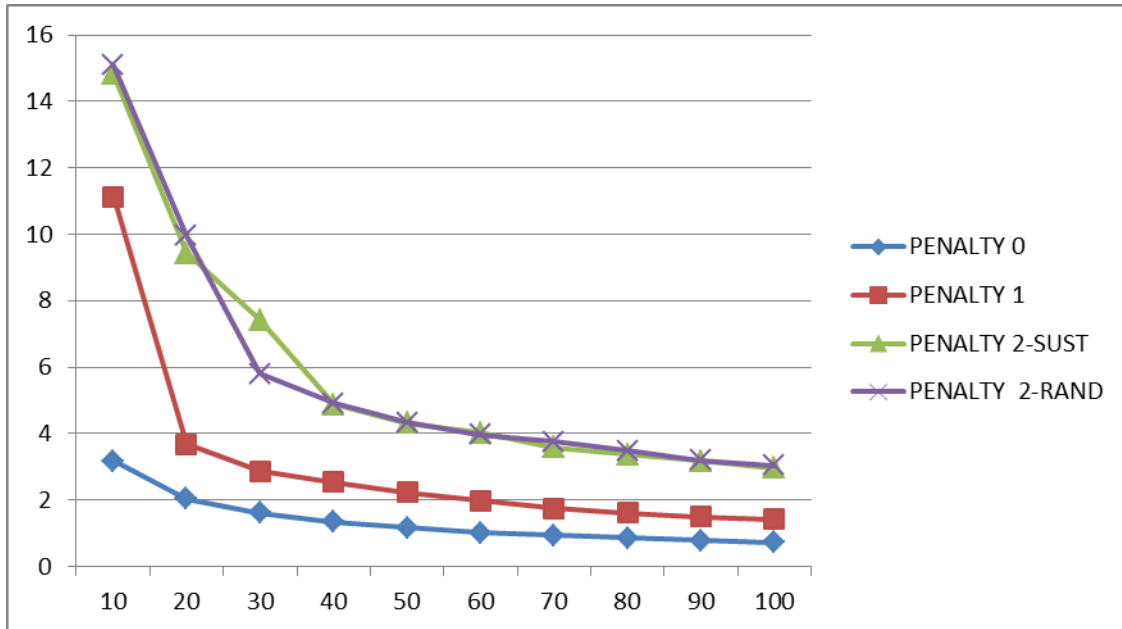
Το τελευταίο διάγραμμα έχει να κάνει με την τυπική απόκλιση της μεταβλητής distance.



Σχήμα 7.3: Τυπική απόκλιση της μεταβλητής distance

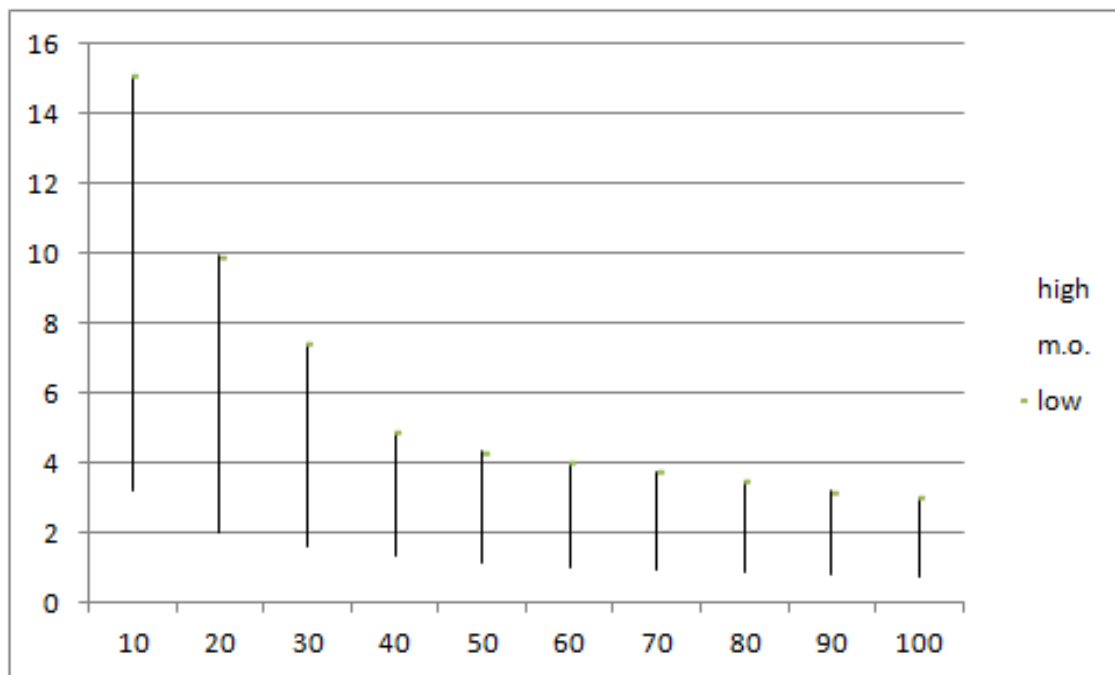
Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τη συμπεριφορά της μεταβλητής radius (ακτίνα) σε συνάρτηση με τα clusters (υπο-περιοχές).

Το πρώτο διάγραμμα, είναι συνάρτηση του μέσου radius ως προς το πλήθος των clusters (υπο-περιοχών).



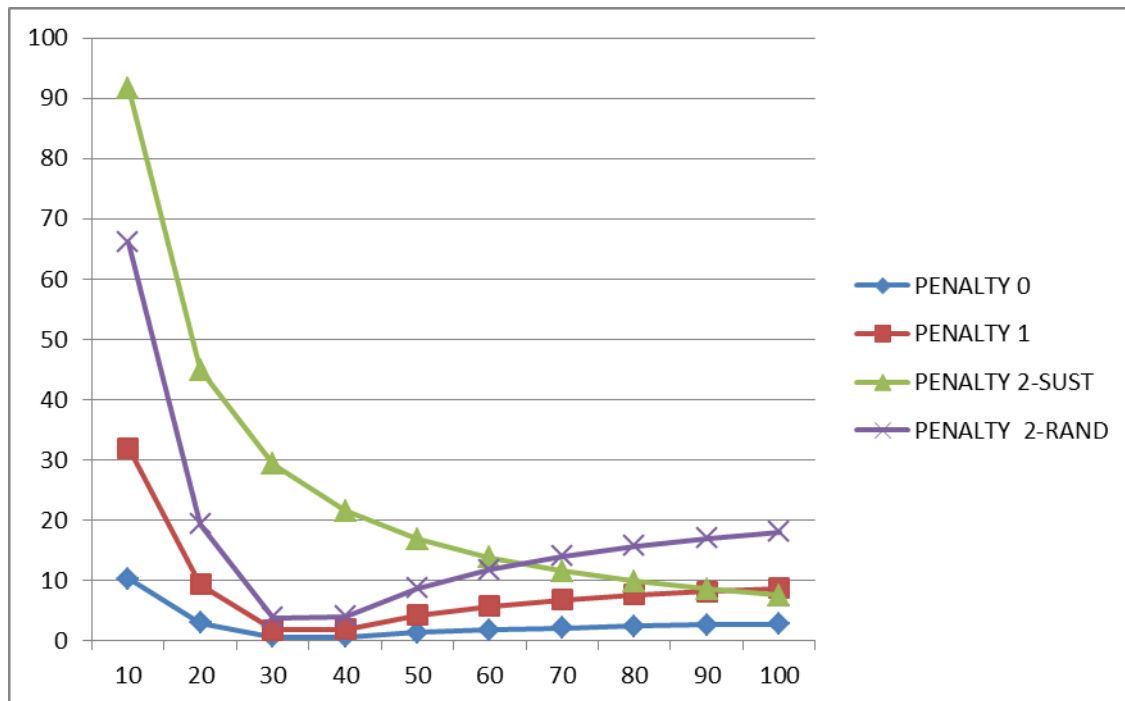
Σχήμα 7.4: Average(radius)=f(clusters)

Στο δεύτερο διάγραμμα βλέπουμε τα ακρότατα (μέγιστο και ελάχιστο) και κατά συνέπεια το εύρος της μεταβλητής radius σε ένα διάγραμμα high-low.



Σχήμα 7.5: Average(radius)=f(clusters) – high-low διάγραμμα

Το τελευταίο διάγραμμα έχει να κάνει με την τυπική απόκλιση της μεταβλητής radius.



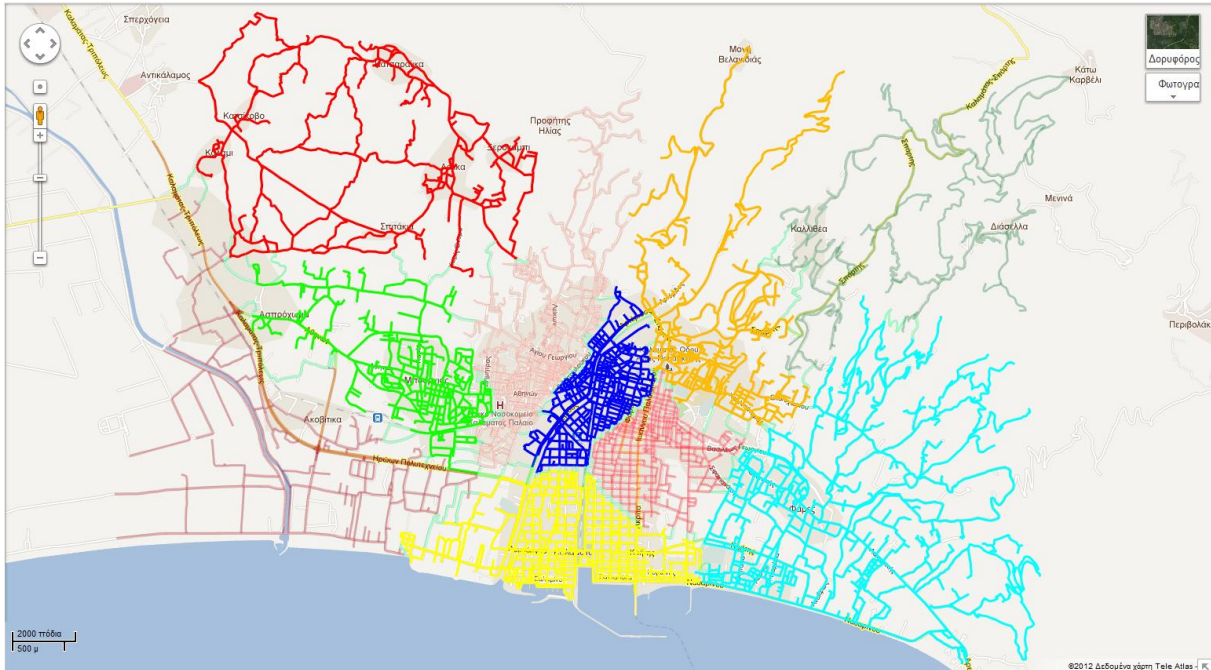
Σχήμα 7.6: Τυπική απόκλιση της μεταβλητής radius

7.3.3 Επιλεγμένοι χάρτες ανά σενάριο

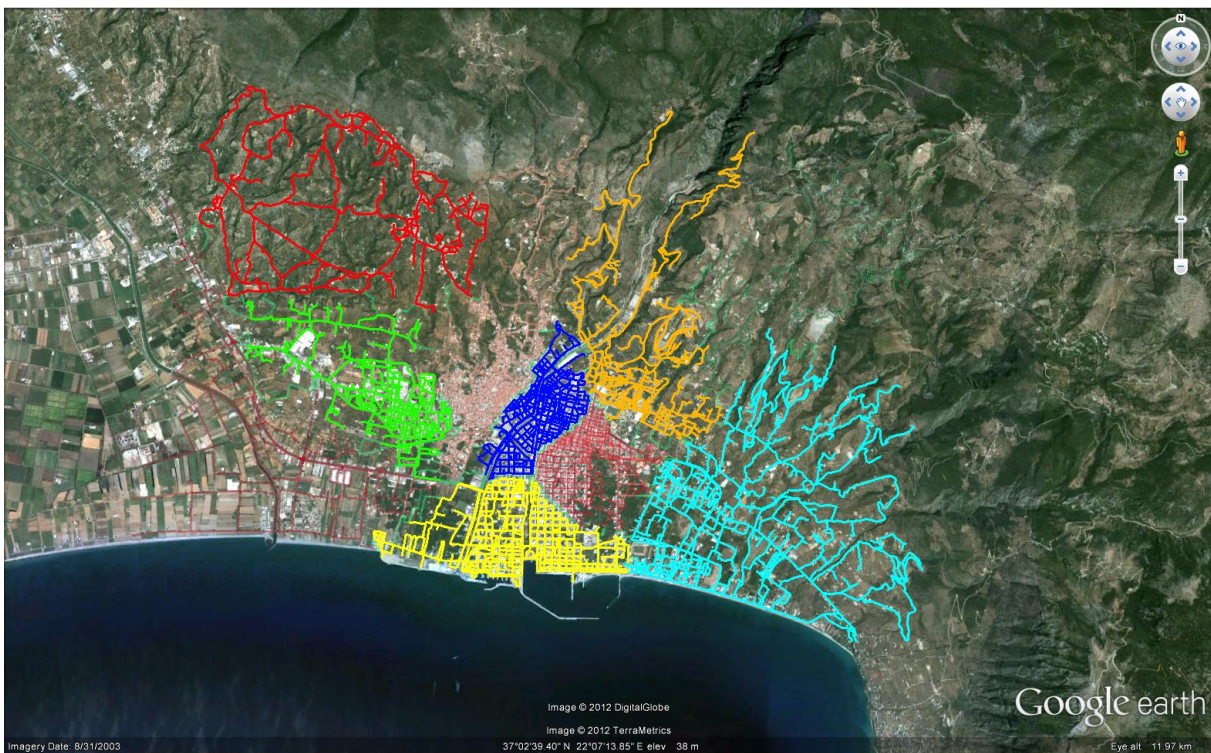
Παρακάτω απεικονίζονται οι χάρτες των 10, 40, 70 και 100 υποπεριοχών για κάθε σενάριο ξεχωριστά.

Ξεκινάμε με το Σενάριο_0 που περιέχει μόνο την ευκλείδια απόσταση. Συνεχίζουμε με το Σενάριο_1 που περιλαμβάνει και την επιβάρυνση λόγω της κλίσης του εκάστοτε τμήματος δρόμου, και ακολουθεί έπειτα το Σενάριο_2, με τις δύο περιπτώσεις του.

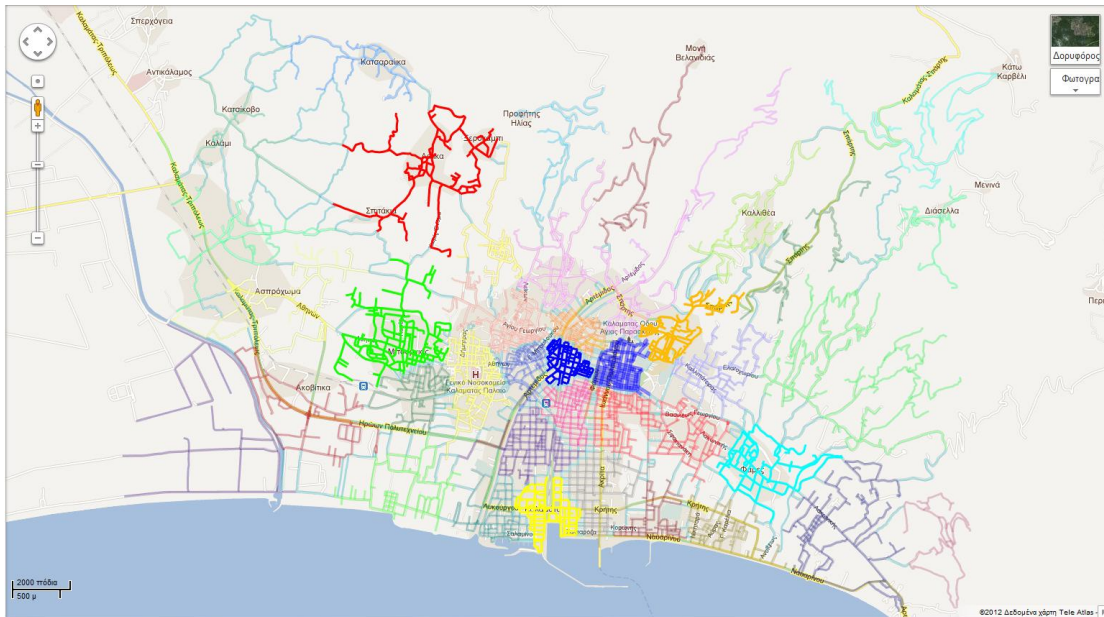
Σενάριο 0. Ευκλείδεια απόσταση



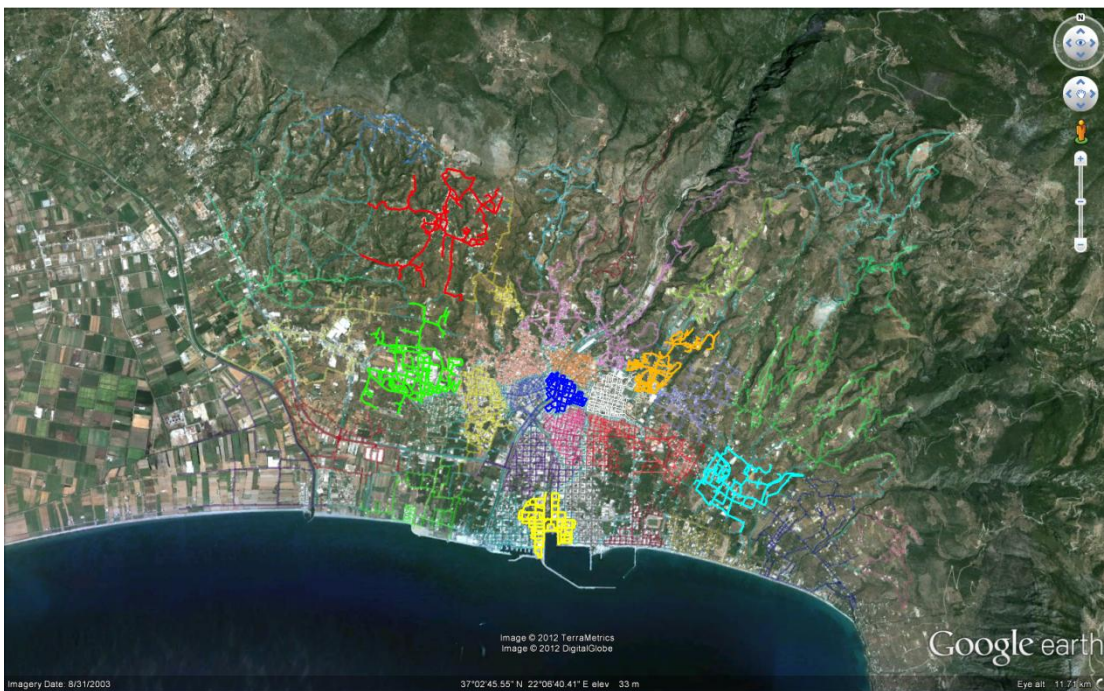
Εικόνα 7.3α: penalty_0-10.kml στο Google Maps



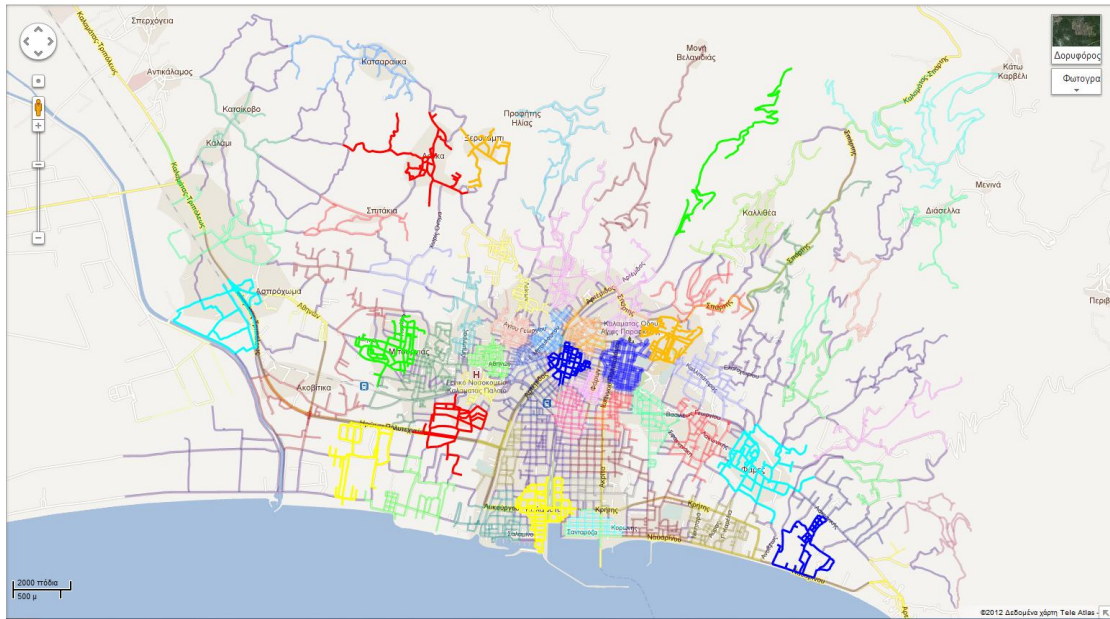
Εικόνα 7.3β: penalty_0-10.kml στο Google Earth



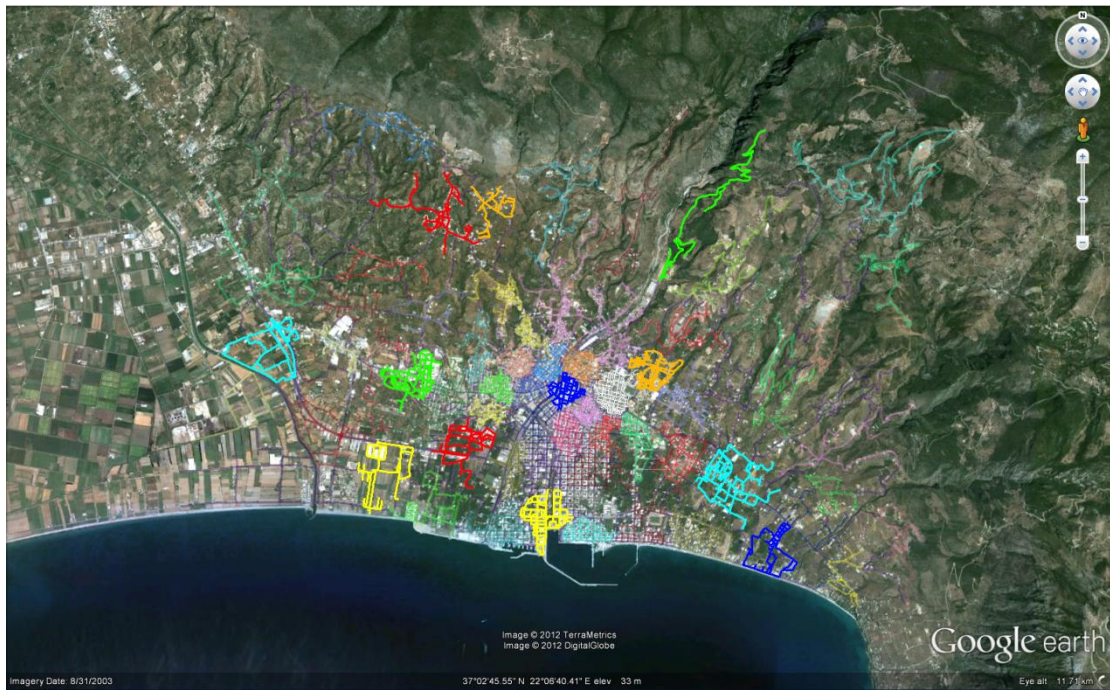
Εικόνα 7.4α. penalty_0-40.kml στο Google Maps



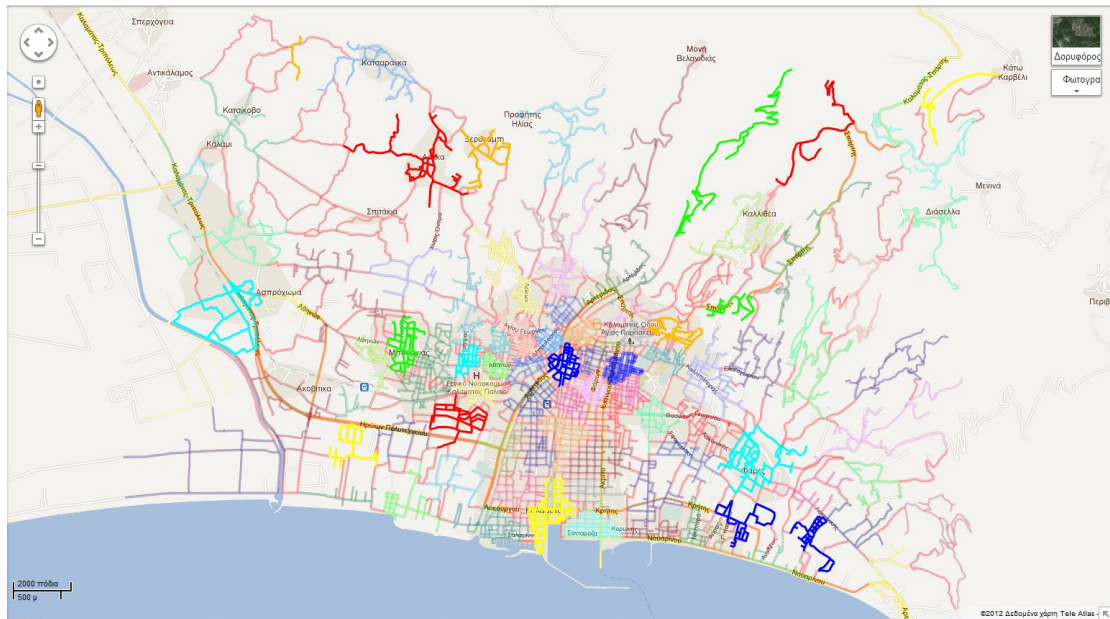
Εικόνα 7.4β. penalty_0-40.kml στο Google Earth



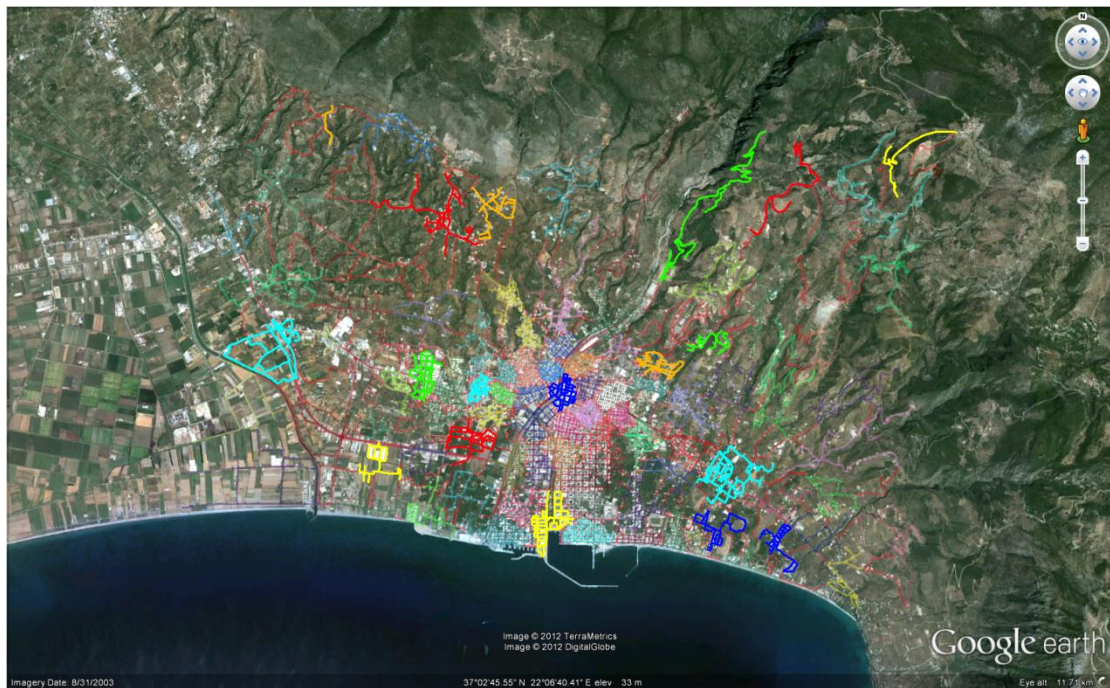
Εικόνα 7.5α. penalty_0-70.kml στο Google Maps



Εικόνα 7.5β. penalty_0-70.kml στο Google Earth

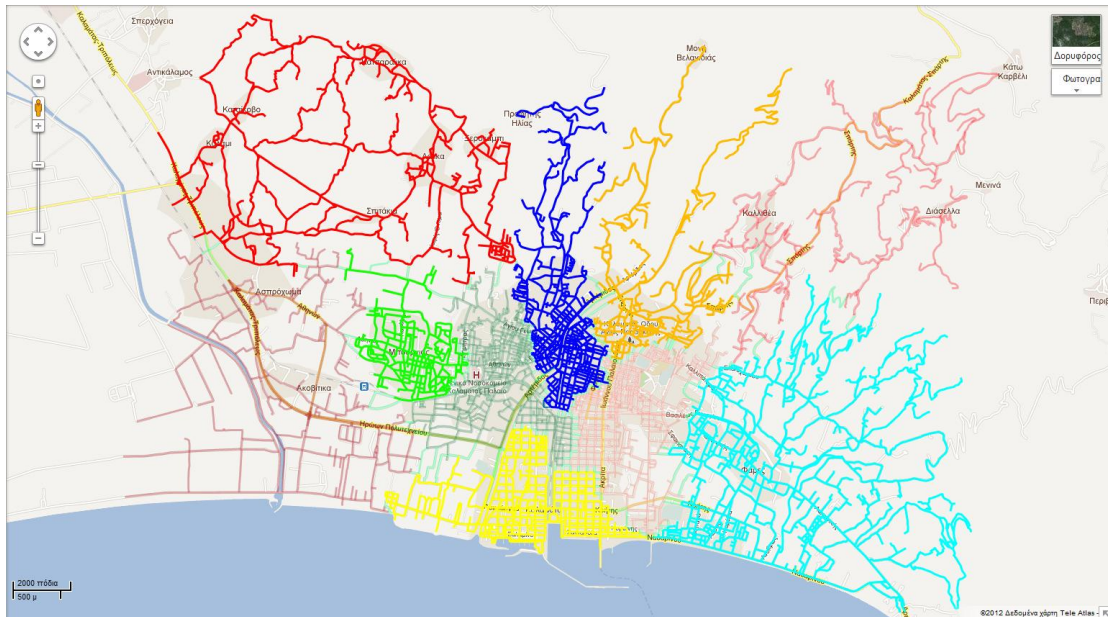


Εικόνα 7.6α. penalty_0-100.kml στο Google Maps

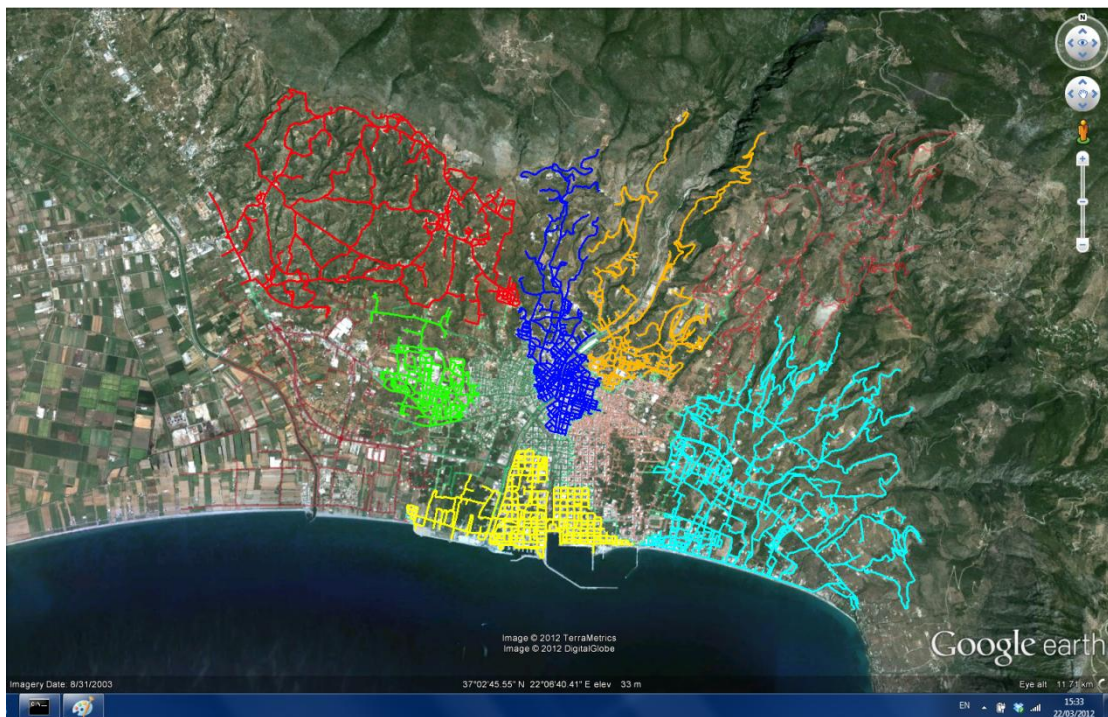


Εικόνα 7.6β. penalty_0-100.kml στο Google Earth

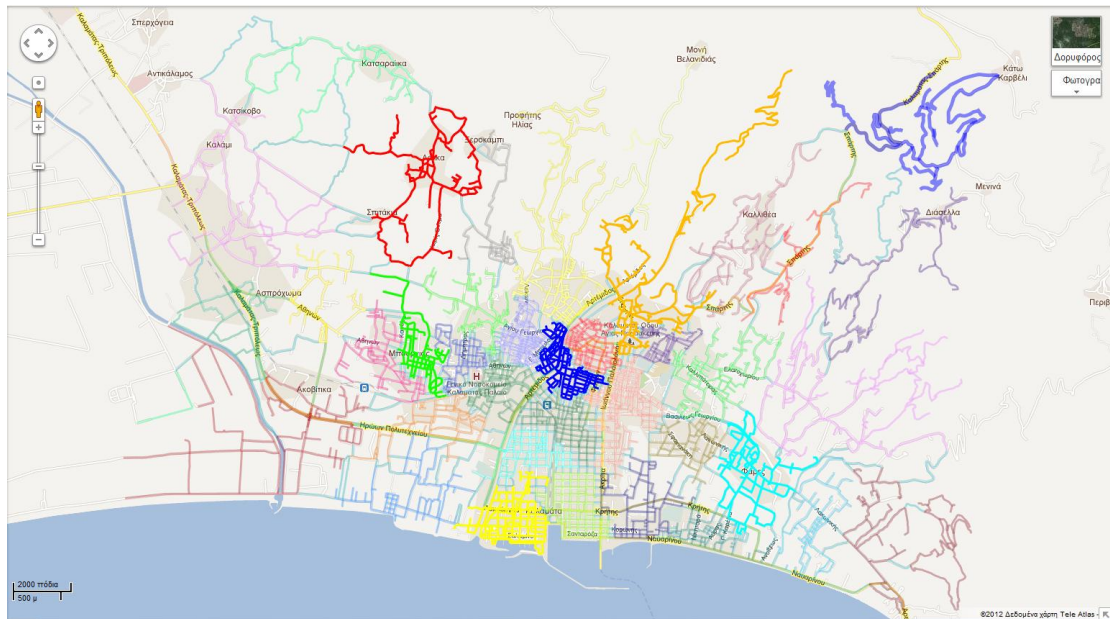
Σενάριο_1. Επίδραση της κλίσης



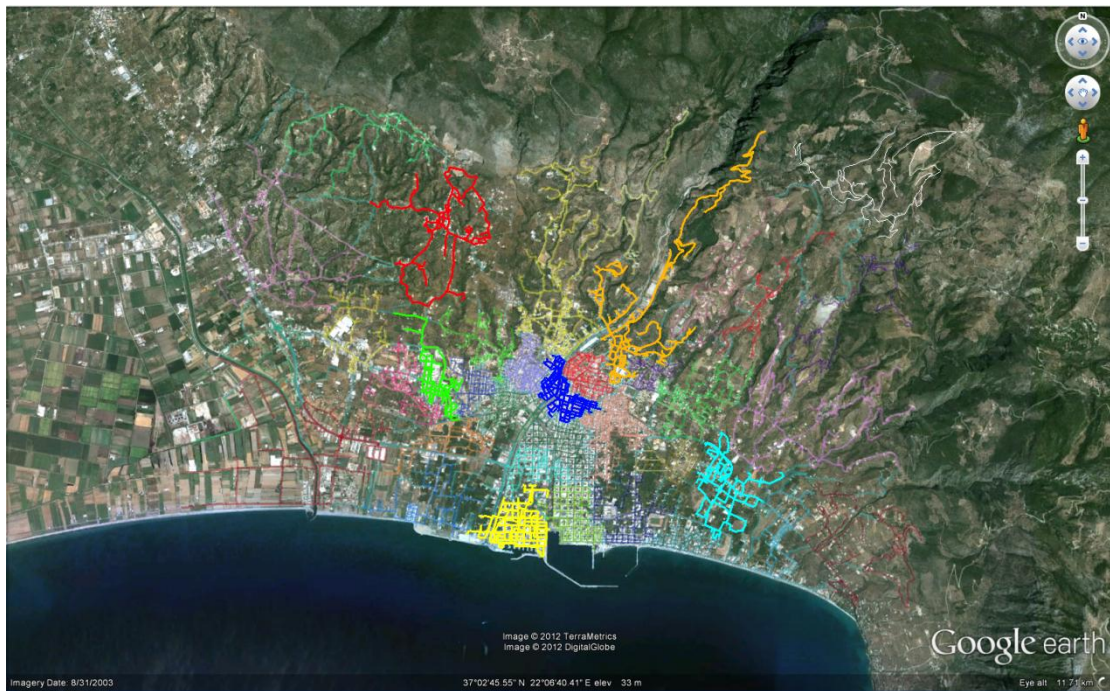
Εικόνα 7.7α. penalty_1-10.kml στο Google Maps



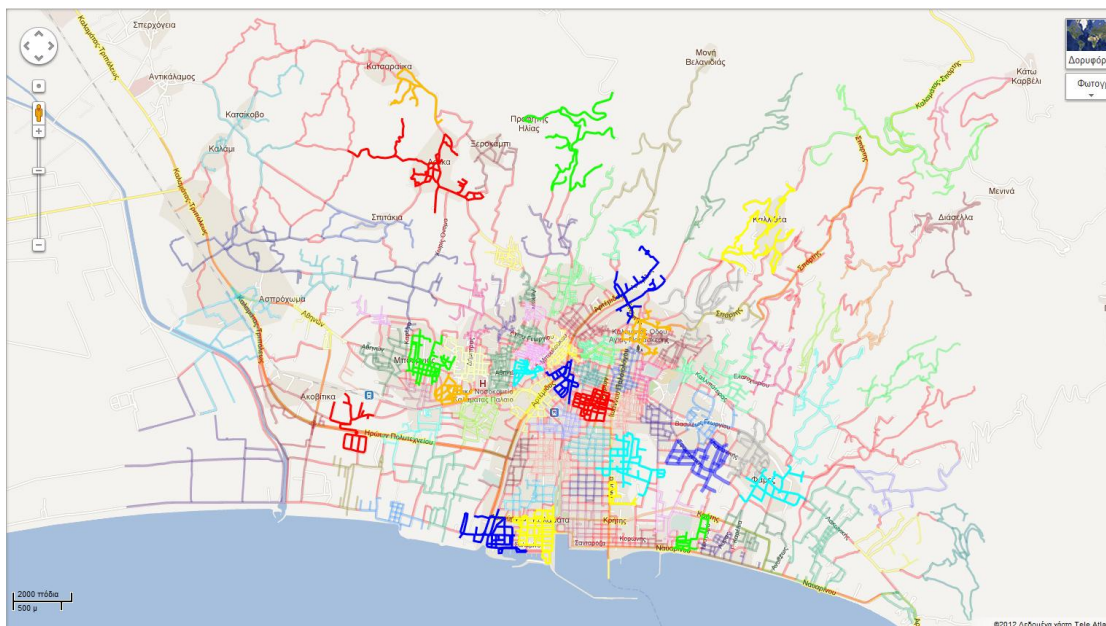
Εικόνα 7.7β. penalty_1-10.kml στο Google Earth



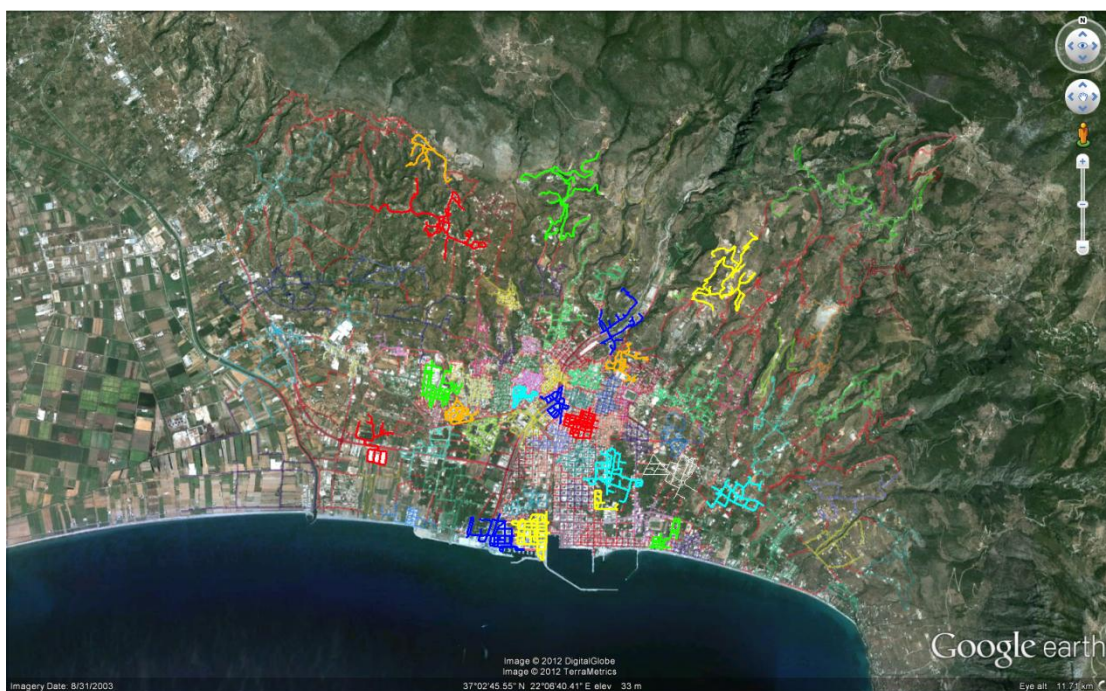
Εικόνα 7.8α. penalty_1-40.kml στο Google Maps



Εικόνα 7.8β. penalty_1-40.kml στο Google Earth

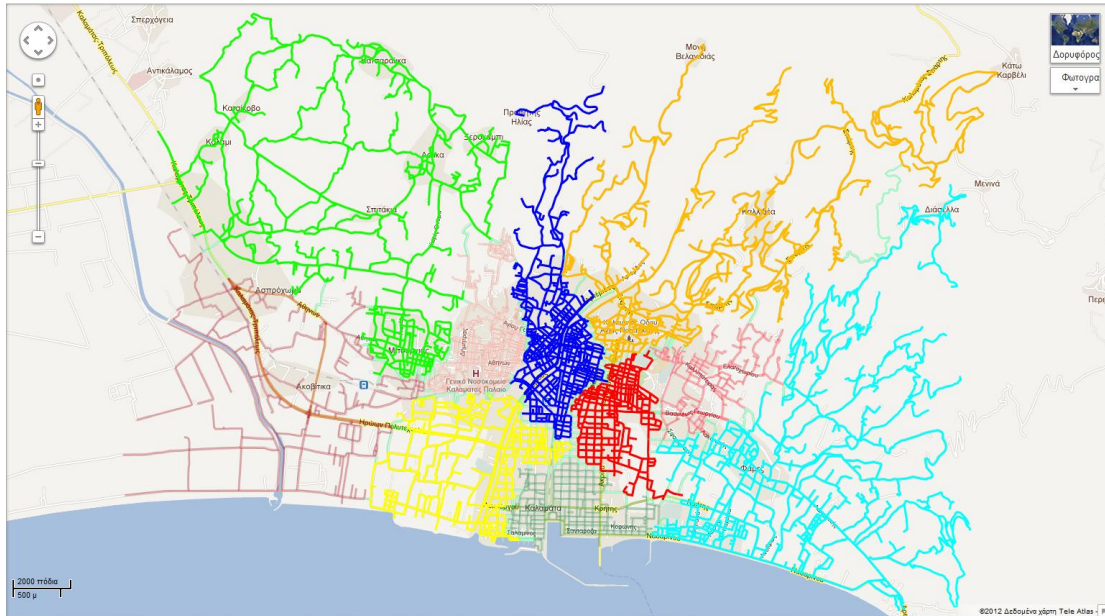


Εικόνα 7.10α. penalty_1-100.kml στο Google Maps



Εικόνα 7.10β. penalty_1-100.kml στο Google Earth

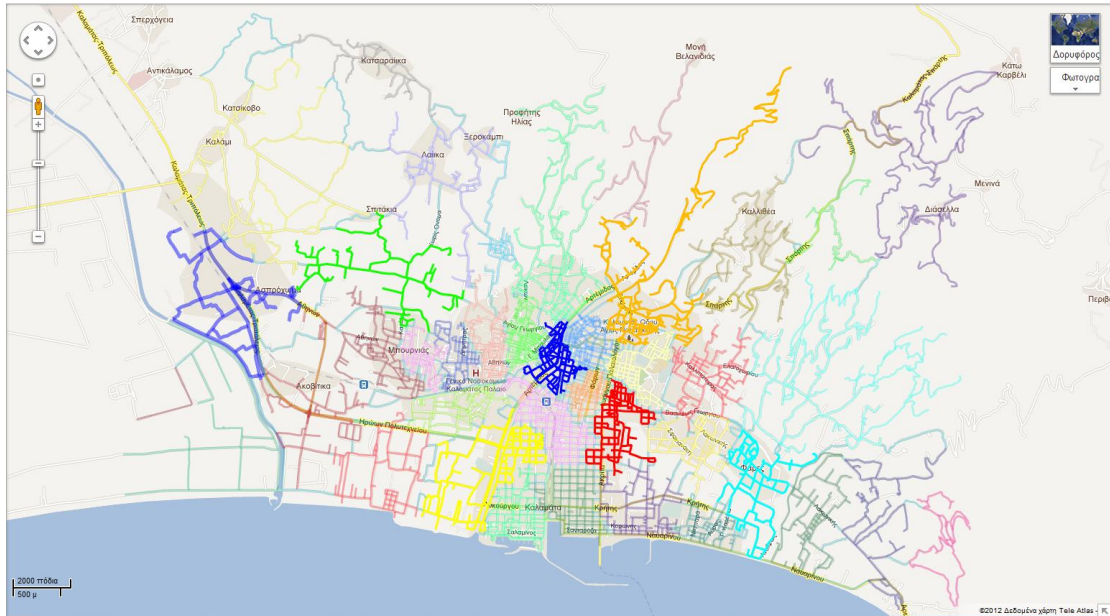
Σενάριο_2α (συστηματική κατανομή μετρητών). Επίδραση των μετρητών



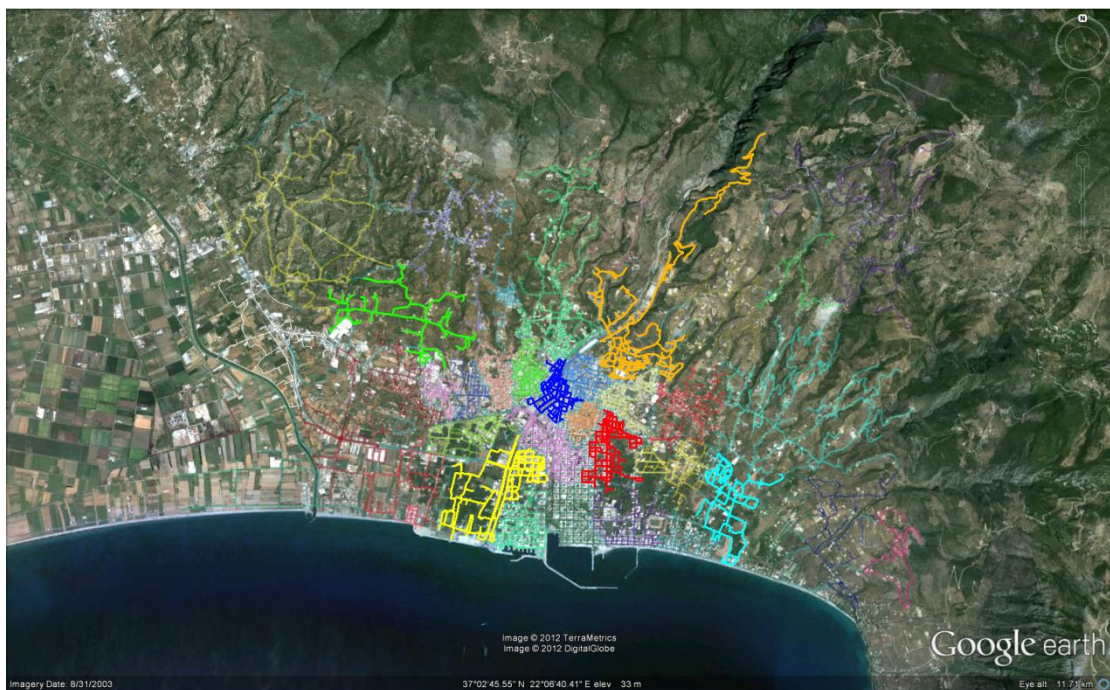
Εικόνα 7.11α. penalty_2-sust-10.kml στο Google Maps



Εικόνα 7.11β. penalty_2-sust-10.kml στο Google Earth

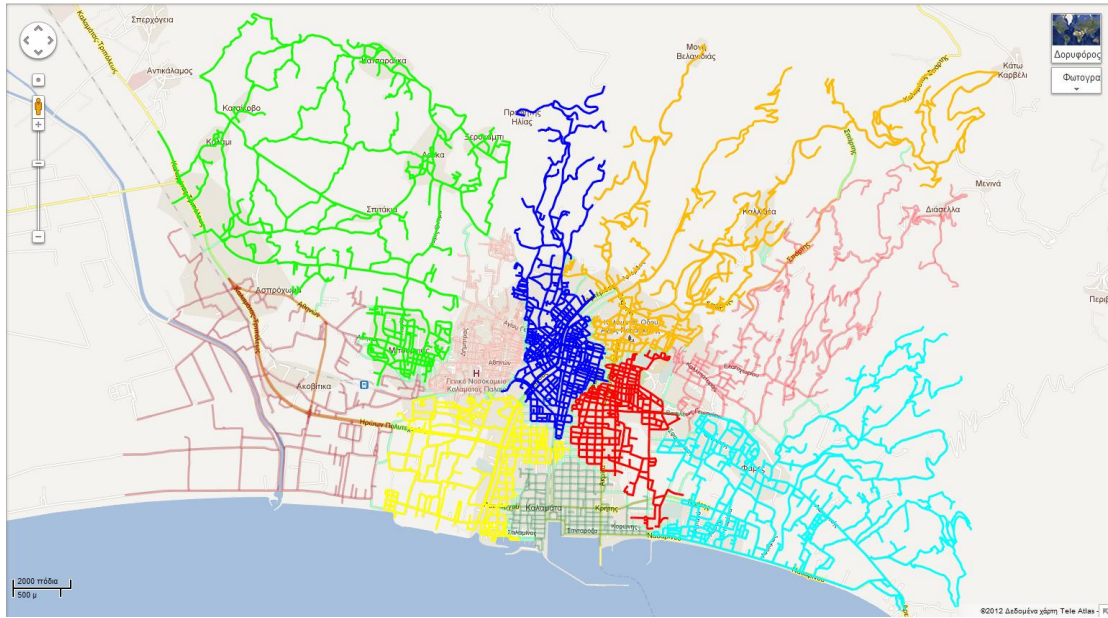


Εικόνα 7.12α. penalty_2-sust-40.kml στο Google Maps

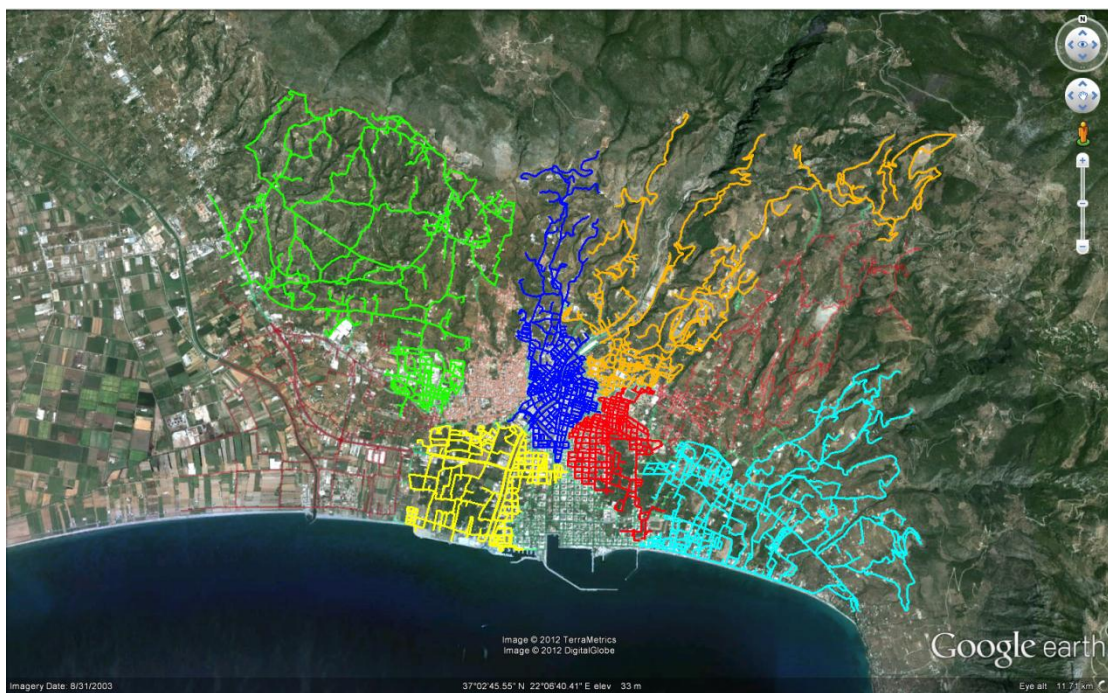


Εικόνα 7.12β. penalty_2-sust-40.kml στο Google Earth

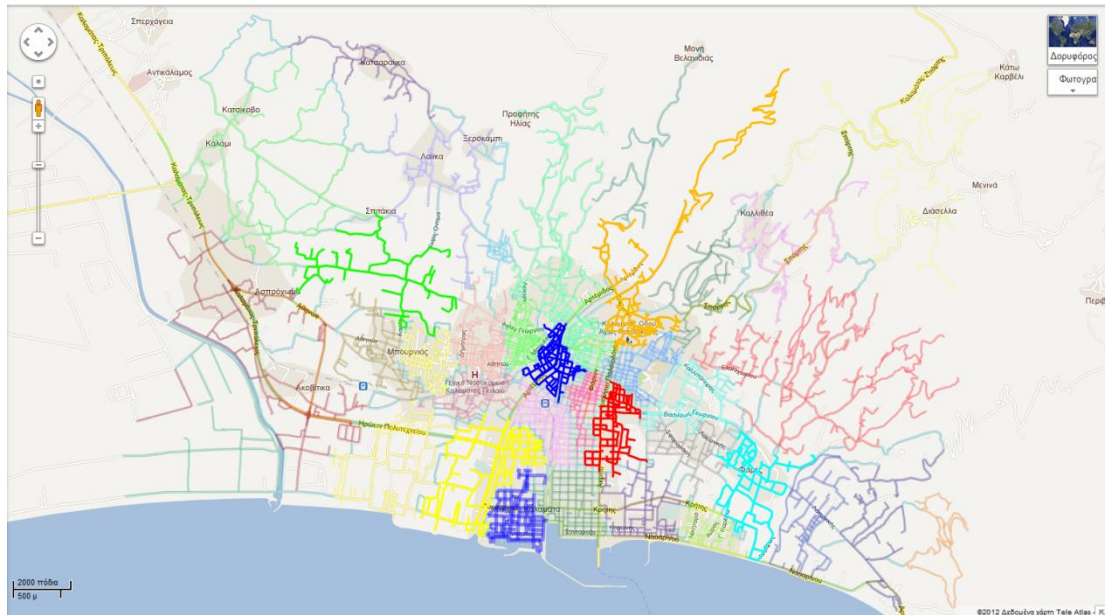
Σενάριο_2β (τυχαία κατανομή μετρητών). Επίδραση των μετρητών



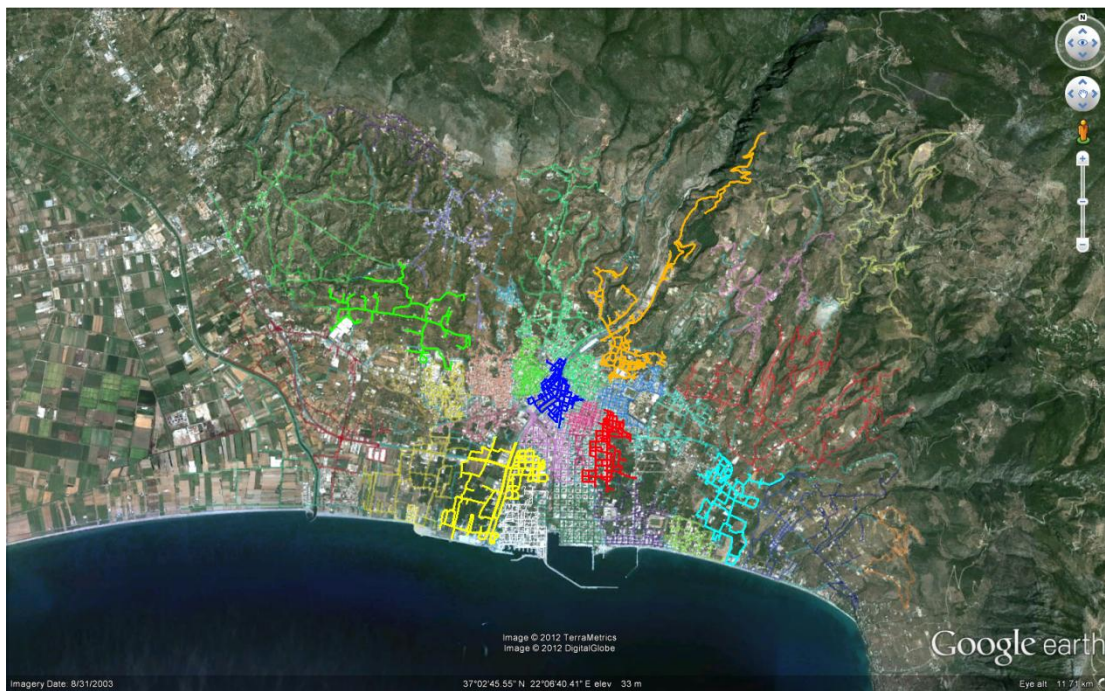
Εικόνα 7.15α. penalty_2-rand-10.kml στο Google Maps



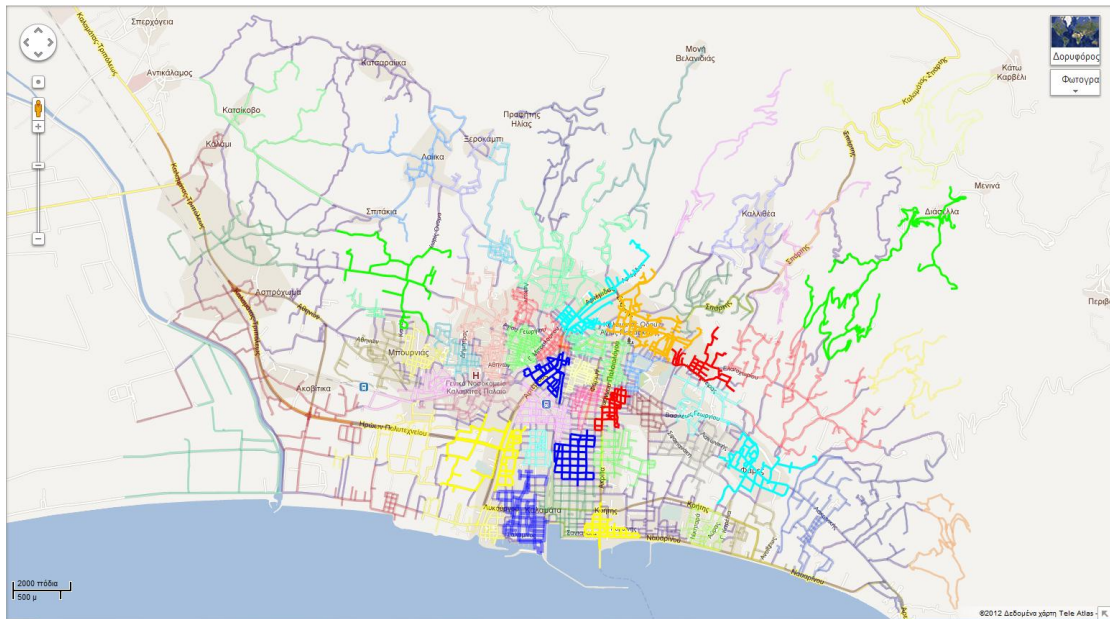
Εικόνα 7.15β. penalty_2- rand-10.kml στο Google Earth



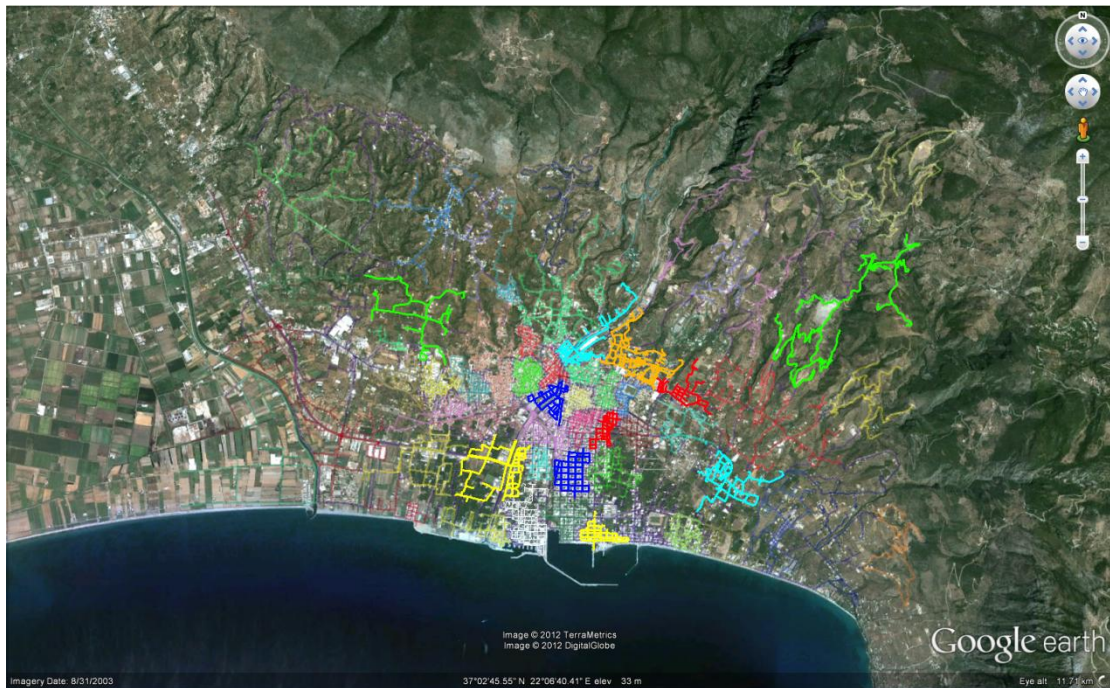
Εικόνα 7.16α. penalty_2- rand-40.kml στο Google Maps



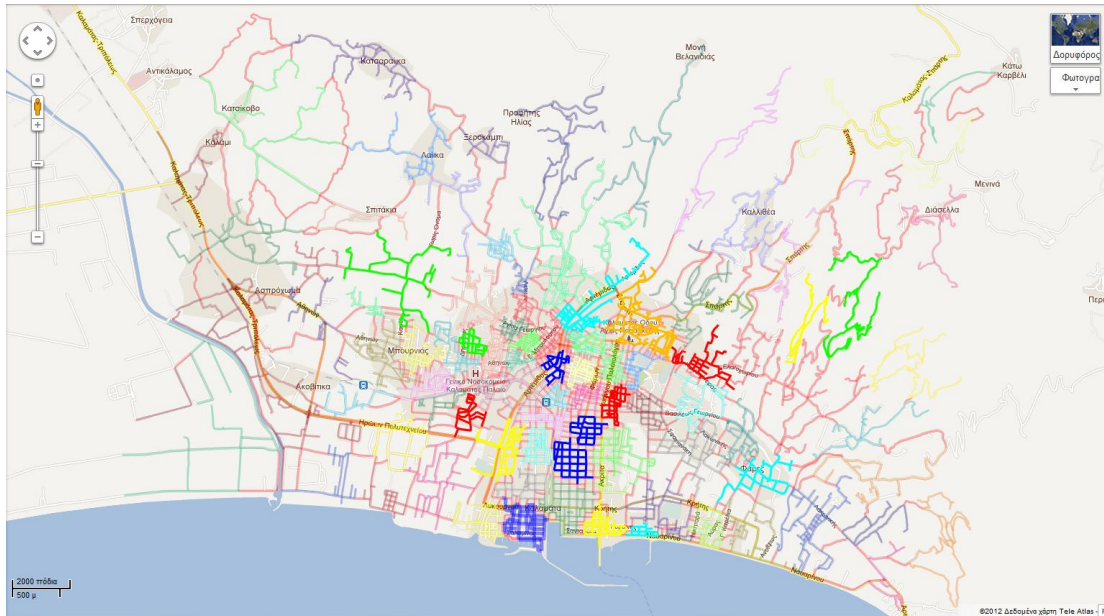
Εικόνα 7.16β. penalty_2- rand-40.kml στο Google Earth



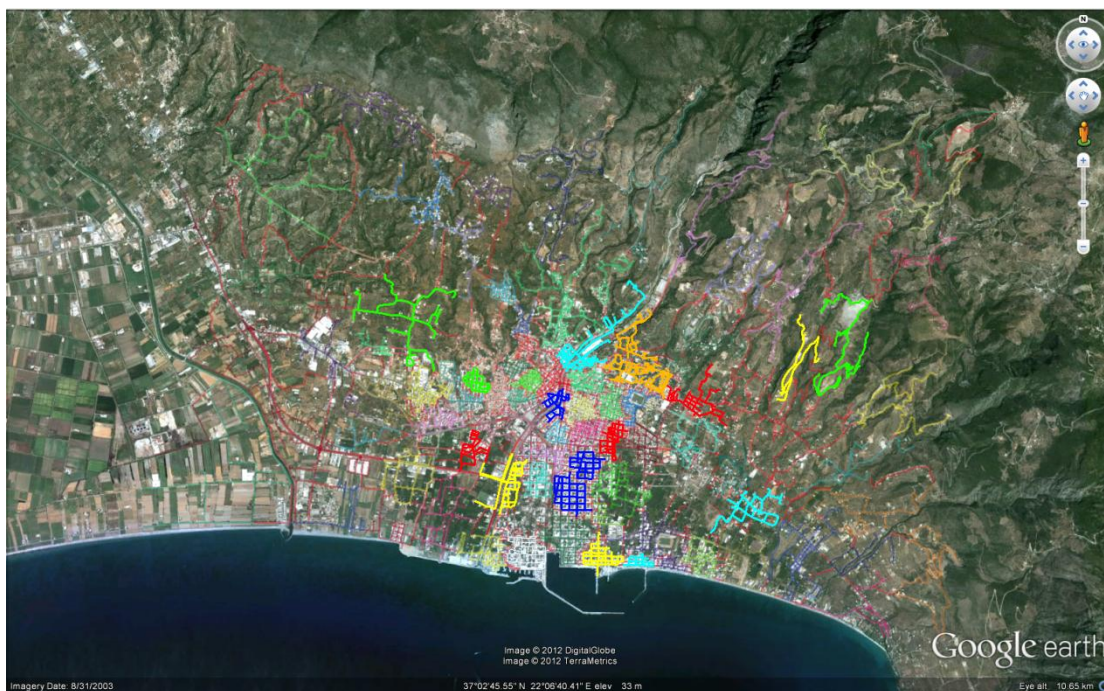
Εικόνα 7.17α. penalty_2- rand-70.kml στο Google Maps



Εικόνα 7.17β. penalty_2- rand-70.kml στο Google Earth



Εικόνα 7.18α. penalty_2- rand-100.kml στο Google Maps

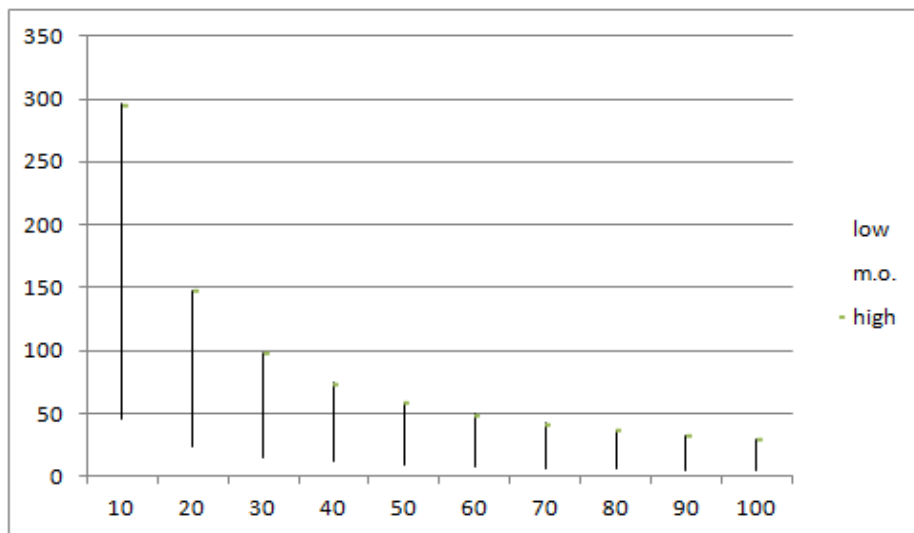


Εικόνα 7.18β. penalty_2- rand-100.kml στο Google Earth

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

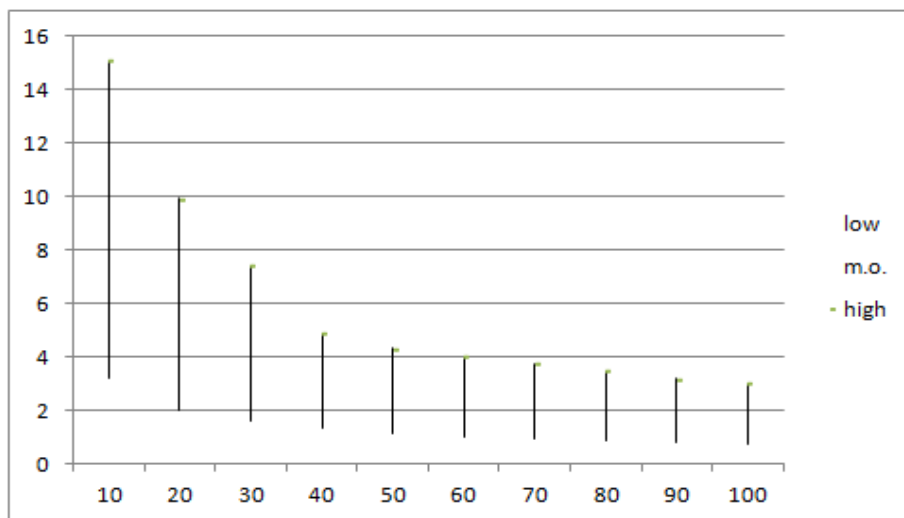
Οι εκτελέσεις των σεναρίων που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια πραγματοποιήθηκε μπορούν να μας οδηγήσουν σε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα που τεκμηριώνουν την "επιστροφή-της-επένδυσης" μιας εταιρείας κοινής ωφέλειας σε μια μελέτη βέλτιστης διαμέρισης των περιοχών στις οποίες καταμετρά περιοδικά την κατανάλωση των πελατών της.

Αρχικά, παρατηρώντας τα high-low διαγράμματα τόσο του distance



Σχήμα 8.1: Hi-Lo διάγραμμα $AV(\text{distance})=f(\text{clusters})$

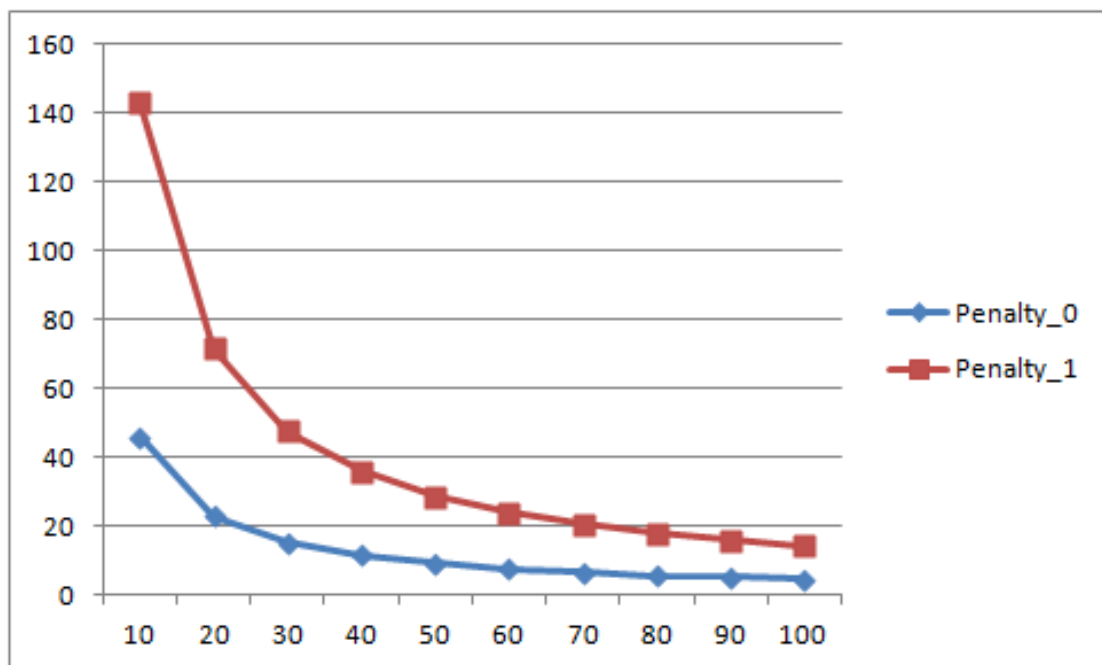
όσο και του radius



Σχήμα 8.2: Hi-Lo διάγραμμα $AV(\text{radius})=f(\text{clusters})$

μπορούμε να διαπιστώσουμε πώς λειτουργεί ο αλγόριθμος στη διαμέριση της περιοχής μελέτης. Όσο πληθαίνουν οι υποπεριοχές που του ζητάμε, τόσο μικρότερο εύρος έχει η μέση διανυόμενη απόσταση που απαιτείται σε κάθε υποπεριοχή για την πλήρη κάλυψή της και κατά συνέπεια τόσο "δικαιότερη" είναι η διαμέριση. Ξεκινώντας λοιπόν από αυτό, είναι ενθαρρυντικό στο ότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, παρότι δεν κατασκευάστηκε για αυτό το λόγο, μπορεί να μας φανεί χρήσιμος στην αντιμετώπιση του γενικότερου προβλήματος που είναι η βελτιστοποίηση του συστήματος καταμέτρησης των εταιρειών κοινής ωφελείας, μιας και ανάλογα με την έκταση της περιοχής μπορούμε να ζητήσουμε να μας τη χωρίσει σε τόσα clusters όσα είναι απαραίτητα για το ελάχιστο πλήθος συνεργείων καταμέτρησης που μπορεί να διαθέσει η εταιρεία.

Σενάριο penalty 1: υπολογισμός με ισοδύναμες αποστάσεις που λαμβάνουν υπόψη τις κλίσεις του οδικού δικτύου



Σχήμα 8.3: διάγραμμα μεταβολής $AV(\text{distance})=f(\text{clusters})$

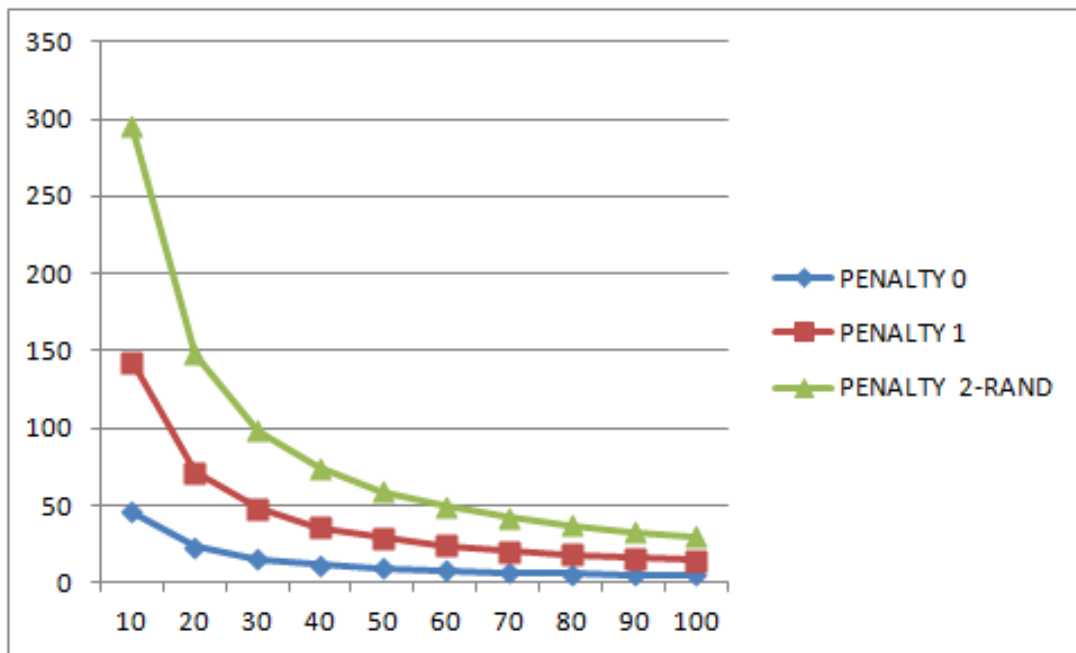
Παρατηρώντας κανείς το παραπάνω διάγραμμα της μέσης απόστασης συναρτήσει των υποπεριοχών ($Average(\text{distance})=f(\text{clusters})$) για τα δύο πρώτα σενάρια μπορεί να διακρίνει αρχικά τη διαφορά που δημιουργείται μεταξύ της ευκλείδιας απόστασης και της αντίστοιχης ισοδύναμης λόγω της κλίσης των δρόμων. Σημειώνεται ότι η μεταβολή της ταχύτητας διάσχισης πεζού σε δρόμους με κλίσεις εκτιμήθηκε με βάση τη βιβλιογραφία και δεν ανταποκρίνεται απαραίτητα στη συμπεριφορά των συνεργείων μιας συγκεκριμένης εταιρίας, ωστόσο μπορεί να προσαρμοστεί πλήρως σε αυτή.

Στη συνέχεια μελετήσαμε την επίδραση της ύπαρξης μετρητών στην περιοχή μας με δύο διαφορετικές υποπεριπτώσεις κατανομής.

Σενάριο penalty 2 rand: κλίσεις + τυχαία κατανομή μετρητών

Η πρώτη περίπτωση είναι η τυχαία κατανομή των μετρητών σε όλη την έκταση της προς μελέτη περιοχής μας. Παράξαμε μετρητές, σε πλήθος κατά το δυνατόν ίσους με το πραγματικό, και τους «μοιράσαμε» στην περιοχή μας με τυχαίο τρόπο.

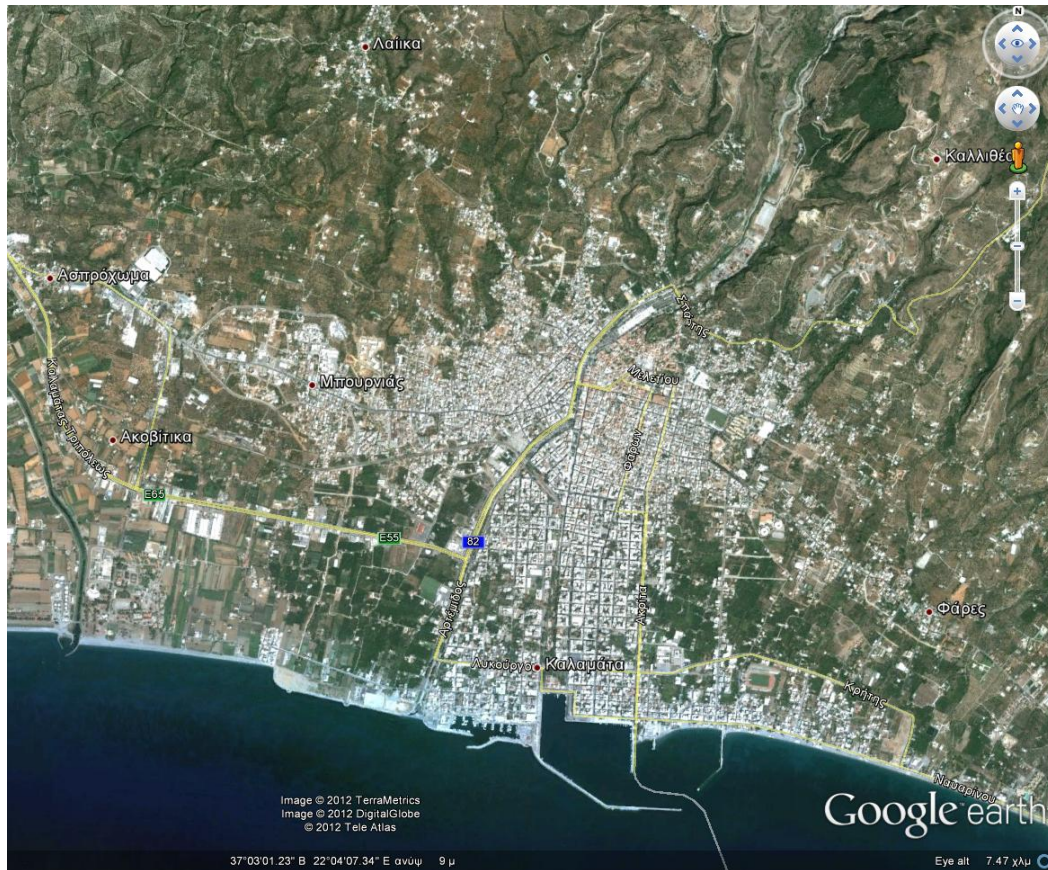
Ακολουθεί το διάγραμμα της μέσης απόστασης συναρτήσει των υποπεριοχών ($Average(distance)=f(clusters)$) των 3 σεναρίων.



Σχήμα 8.4: διάγραμμα μεταβολής $AV(radius)=f(clusters)$

Αρχικά να επισημάνουμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των μετρητών, τόσο μεγαλύτερη θα ήταν η απόκλιση μεταξύ της πράσινης (Σενάριο_2) και της κόκκινης γραμμής (Σενάριο_1). Στη δική μας περίπτωση η απόκλιση δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, διότι δεν είχαμε πραγματικούς μετρητές, οπότε και είχαμε τις 2 ακόλουθες επιλογές.

1. Η πρώτη επιλογή ήταν να επιλέξουμε να παράξουμε μετρητές σε πλήθος περίπου ίσο με τους πραγματικούς και να τους αναθέσουμε με τυχαίο τρόπο σε τμήματα του οδικού δικτύου, κάτι που δεν αντιστοιχεί σε πραγματικά δεδομένα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι μετρητές κατανέμονται στην ευρύτερη έκταση της περιοχής μας (η οποία είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την πόλη της Καλαμάτας όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.1), αντί να έχουμε 2 ή 3 μετρητές ανά μονάδα μήκους (σε μέτρια κατοικημένη περιοχή) καταλήγαμε στο σημείο να έχουμε 0.2 ή 0.3 μετρητές ανά μέτρο, όπως φαίνεται και στο Σενάριο_2_rand όπου για να τους παράξουμε χρησιμοποιήσαμε αυτό τον τυχαίο αριθμό.



Εικόνα 8.1: Περιοχή μελέτης (Καλαμάτα)

2. Η δεύτερη επιλογή μας ήταν να μη λάβουμε υπόψη μας το πραγματικό πλήθος των μετρητών, και να παράξουμε τόσους όσους χρειάζονται προκειμένου να έχουμε αποτελέσματα που τονίζουν τα στοχευμένα συμπεράσματα

Επιλέξαμε την πρώτη επιλογή προκειμένου να μη φτάσουμε στο σημείο να παράξουμε ένα πλήθος δεκαπλάσιων μετρητών, που απέχει πολύ από την πραγματικότητα, για να καταλήξουμε στα επιθυμητά προσεγγιστικά αποτελέσματα.

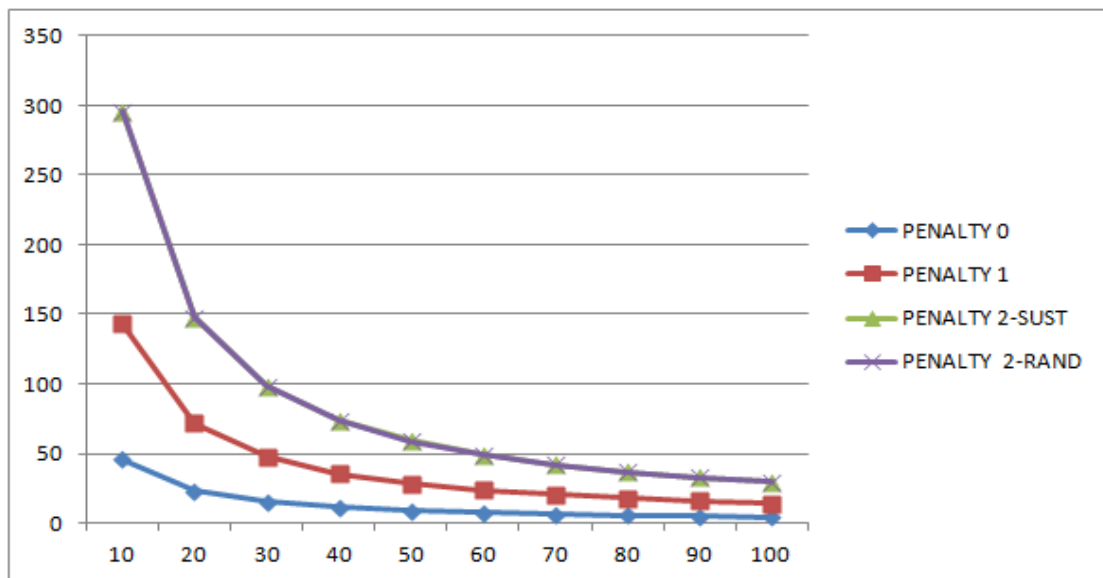
Σενάριο penalty 2 sust: κλίσεις + δομημένη κατανομή μετρητών

Στη δεύτερη αυτή περίπτωση κατανομής των μετρητών, επιλέξαμε έναν πιο συστηματικό τρόπο για να τους κατανήσουμε. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 10.2 που ακολουθεί, χωρίσαμε την περιοχή μας σε 4 υπο-περιοχές. Ορίσαμε με δική μας εκτίμηση (μη έχοντας πραγματικά δεδομένα) την πυκνότητα των μετρητών ανά περιοχή. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι η πυκνότητα των μετρητών ανά μονάδα μήκους που ορίσαμε είναι αυθαίρετη και δεν έχει καμία σχέση με την πραγματική κατανομή τους. Ο λόγος που κάναμε αυτή την προσέγγιση είναι για να μελετήσουμε τις μη-στατιστικές διαφορές σε σχέση με το Σενάριο penalty_2_rand που προαναφέραμε, δηλαδή κατά πόσο επηρεάζει ο τρόπος κατανομής των μετρητών τα τελικά αποτελέσματα.



Εικόνα 8.2: Περιοχή μελέτης (Καλαμάτα) χωρισμένη σε υπο-περιοχές

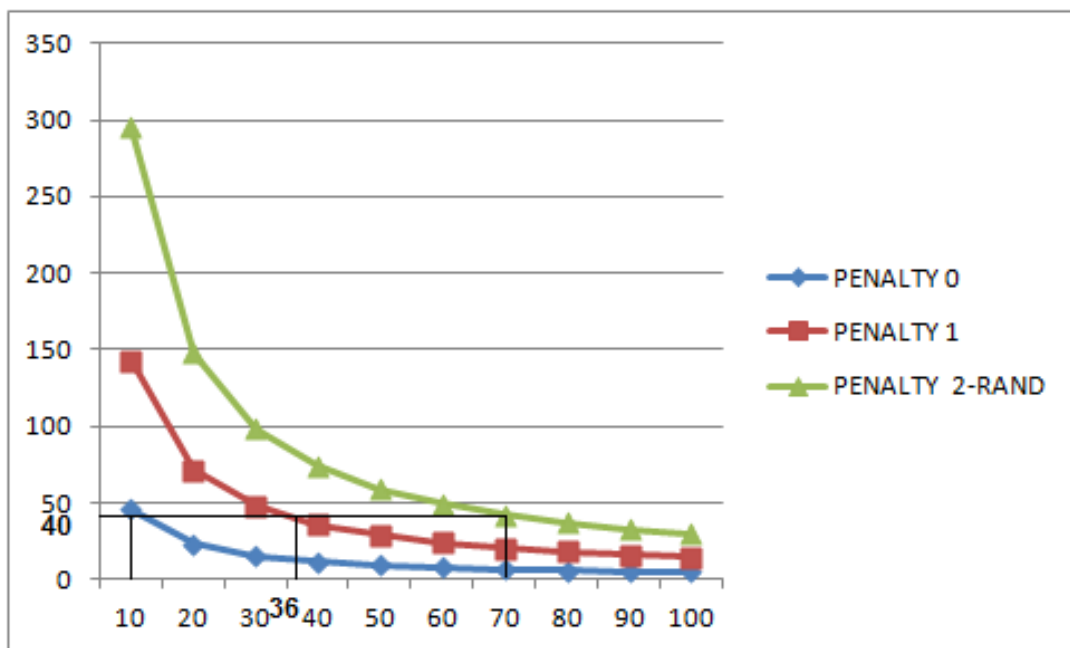
Στο διάγραμμα που ακολουθεί, ευδιάκριτο είναι και το γεγονός ότι η πράσινη και η μωβ γραμμή ταυτίζονται. Αυτό μας δείχνει ξεκάθαρα ότι μπορεί το πλήθος των μετρητών να επηρεάζει την διανυόμενη απόσταση και τη χωρική διαμέριση, αλλά η κατανομή τους δεν επηρεάζει συνολικά το χρόνο καταγραφής του. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο διότι τελικά οι συνολικές αποστάσεις και οι συνολικοί μετρητές είναι οι ίδιοι και είναι μοιρασμένοι στους ίδιους δρόμους με τις ίδιες κλίσεις. Οπότε μπορούμε με ασφάλεια να πούμε ότι η κατανομή των μετρητών σε μία περιοχή δεν επηρεάζει τη συνολική ενέργεια που απαιτείται για την καταμέτρηση καταμέτρηση της περιοχής από την εταιρεία κοινής ωφέλειας και όπως φαίνεται για σταθερή κλίση και ίδιες αποστάσεις, ο χρόνος καταμέτρησης εξαρτάται μόνο από το πλήθος των μετρητών και όχι από την κατανομή τους.



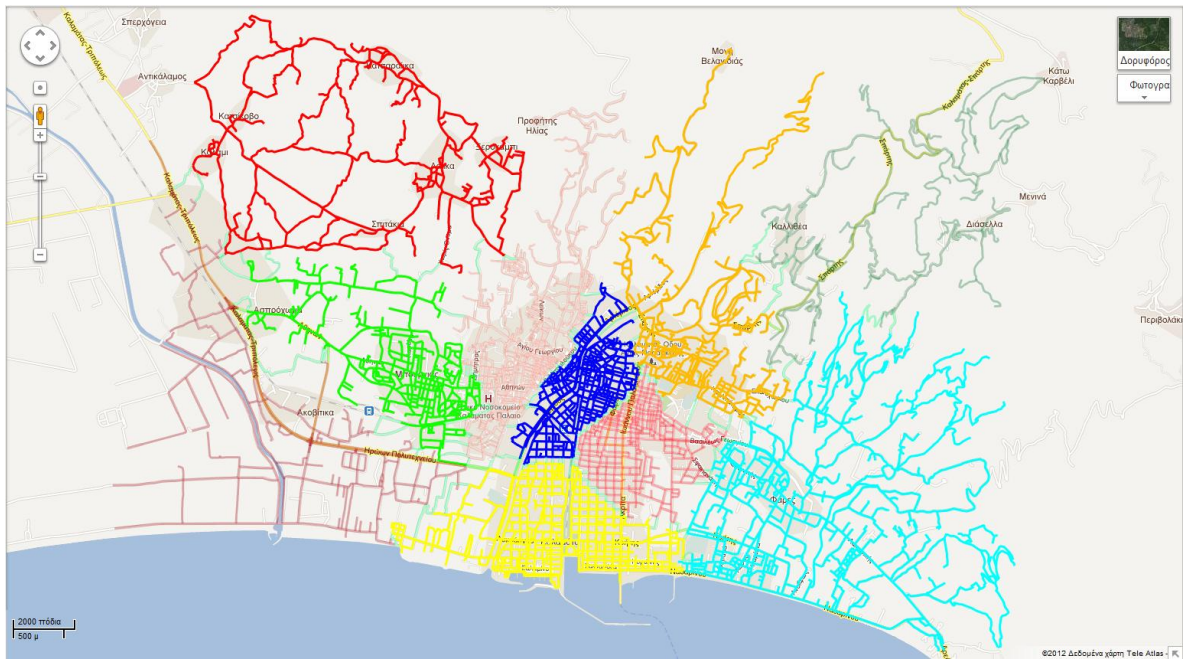
Σχήμα 8.5: διάγραμμα μεταβολής $AV(\text{distance})=f(\text{clusters})$

Τέλος, απ αυτό μόνο το διάγραμμα, μπορεί μία εταιρεία που γνωρίζει την αποδοτικότητα των συνεργειών καταμέτρησής της (δηλαδή τί αποστάσεις μπορεί ένα συνεργείο της να καλύψει σε βάση 8-ώρου) να επιλέξει μία υποπεριοχή ανά ημέρα ή συνεργείο, ανάλογα με τις ανάγκες της αφού πρώτα επιλέξει την κατάλληλη διαμέριση απ τον αλγόριθμο.

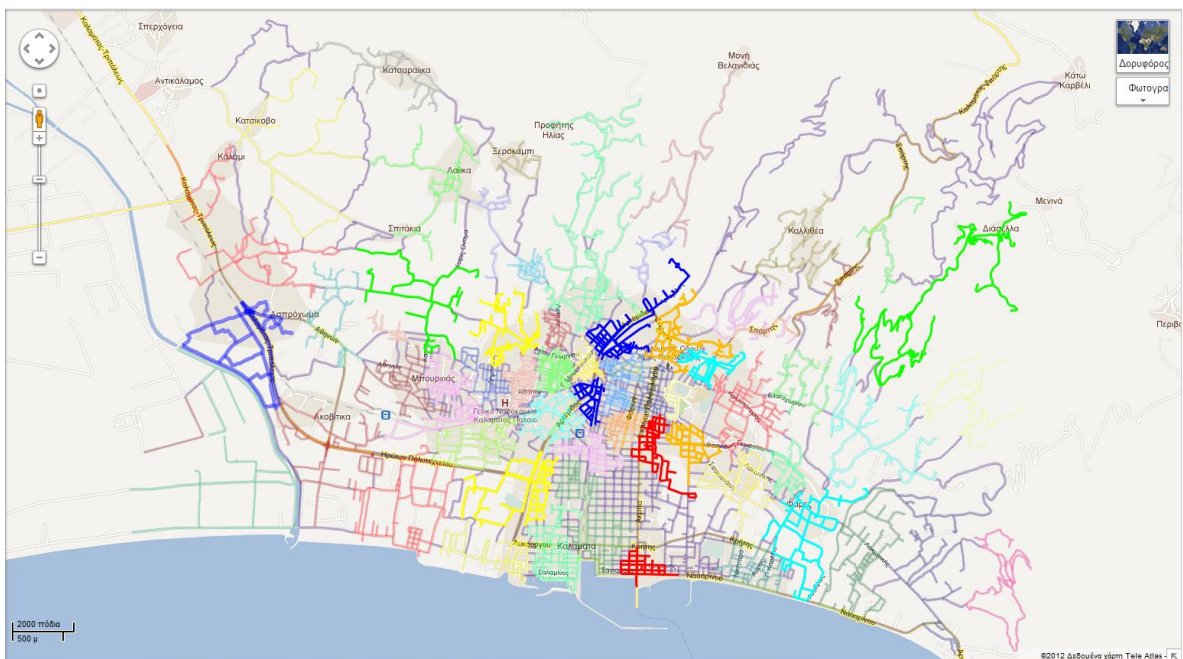
Ας δώσουμε ένα παράδειγμα σύμφωνα με τα δικά μας αποτελέσματα. Έστω ότι ένα συνεργείο της εταιρείας κοινής ωφελείας μπορεί να «σαρώσει» 40km την ημέρα αν κινείται σε δρόμους χωρίς κλίση και χωρίς να σταματά για καταμέτρηση σε σημεία που υπάρχουν μετρητές. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, αν δε λάβουμε υπόψη την κλίση και τους μετρητές, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε 10 συνεργεία για να καλύψουμε ολόκληρη την περιοχή. Αν λάβουμε υπόψη την καθυστέρηση λόγω κλίσεων (penalty_1) και με την παραδοχή ότι οι υπολογισμοί καθυστέρησης αντιστοιχούν στην πραγματική συμπεριφορά ενός συνεργείου, τότε για να καλύψουμε την ίδια περιοχή χρειαζόμαστε περίπου 36 συνεργεία. Τέλος, και αυτό είναι που ενδιαφέρει και την υποθετική μας εταιρεία, λαμβάνοντας υπόψη και την καθυστέρηση λόγω ύπαρξης μετρητών στην περιοχή μας, τότε χρειαζόμαστε 70 συνεργεία, δηλαδή η ευκλείδια απόσταση από μόνη της δε μπορεί να αποτελέσει κριτήριο “δίκαιης” ή “βέλτιστης” κατανομής των διαμερισμάτων επιμέτρησης σε συνεργεία.



Σχήμα 8.6: διάγραμμα μεταβολής $AV(\text{distance})=f(\text{clusters})$

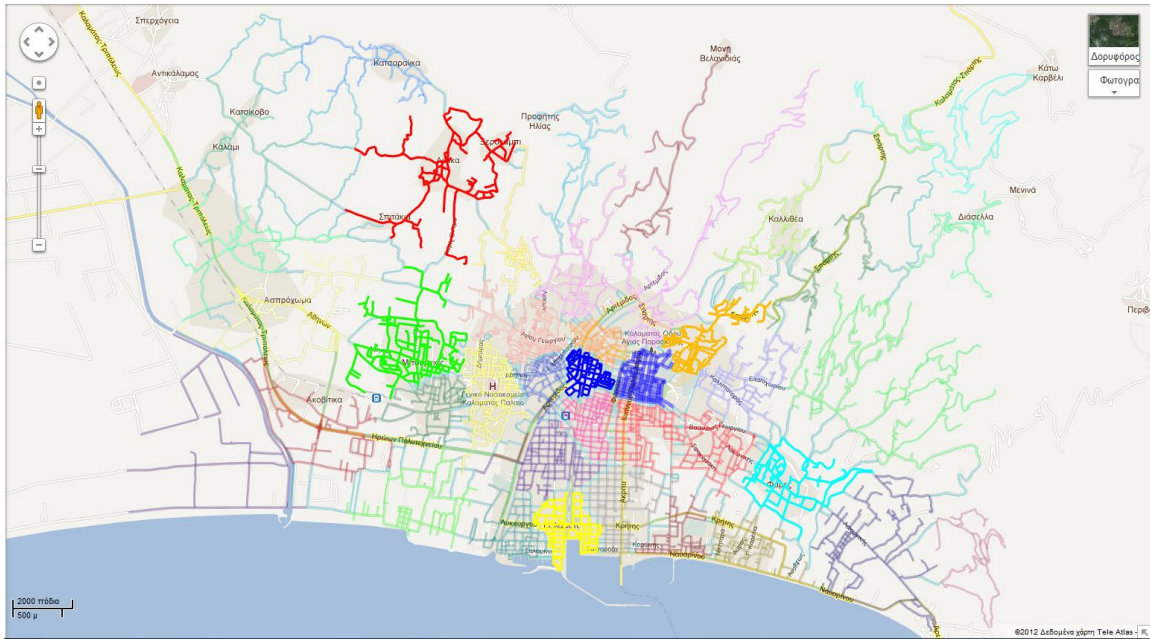


Εικόνα 8.4: penalty_0-10.kml στο Google Maps

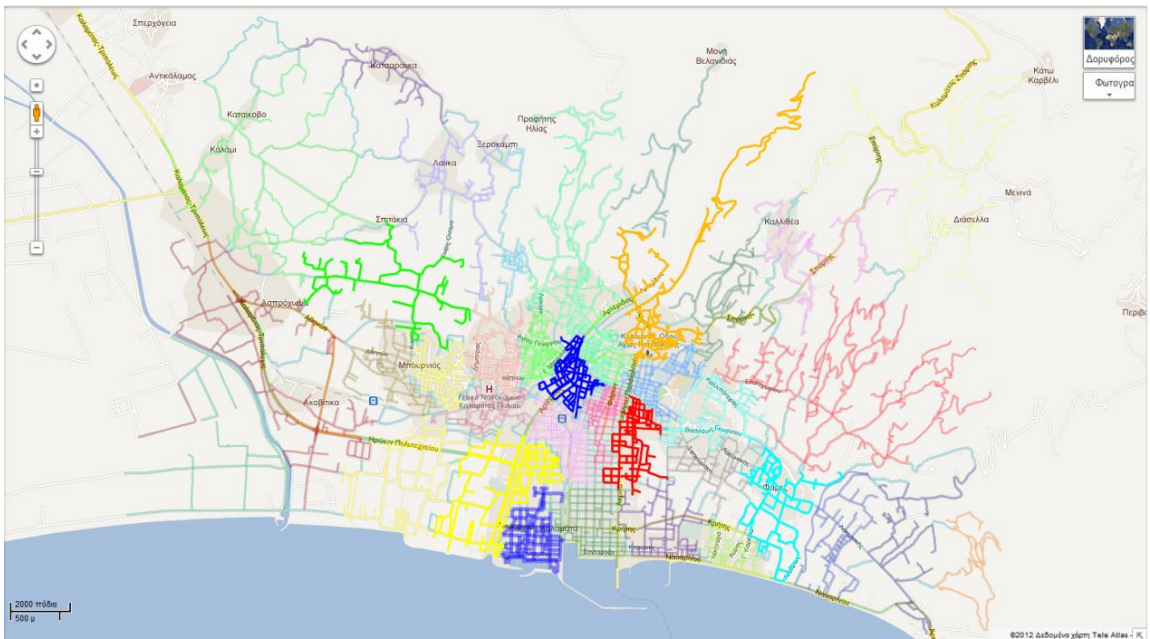


Εικόνα 8.5. penalty_2-sust-70.kml στο Google Maps

Στις παραπάνω εικόνες απεικονίζουμε τη διαμέριση που κάνει ο αλγόριθμος στο παράδειγμά μας. Χωρίς λοιπόν να λάβουμε υπόψιν την επίδραση λόγω κλίσης και μετρητών, είδαμε ότι απαιτούνται δέκα συνεργεία, ένα για κάθε υποπεριοχή όπως αυτές απεικονίζονται στην Εικόνα 8.4. Συμπεριλαμβανομένων όμως των σεναρίων που μελετήσαμε, όπως υπολογίσαμε απαιτούνται 70 συνεργεία, ένα ανά περιοχή, όπως στην Εικόνα 8.5. Είναι προφανές ότι η ύπαρξη κλίσεων και μετρητών επιδρά τόσο στην διαμέριση του δικτύου, όσο και στα απαιτούμενα συνεργεία για να έλθει εις πέρας η διαδικασία της καταμέτρησης.



Εικόνα 8.2. penalty_0-40.kml στο Google Maps



Εικόνα 8.3. penalty_2- rand-40.kml στο Google Maps

Στις δύο τελευταίες εικόνες, απεικονίζεται η διαμέριση του οδικού δικτύου σε 40 υποπεριοχές για την περίπτωση όπου λαμβάνουμε υπόψη μόνο τις ευκλείδειες αποστάσεις (penalty_0) και για την περίπτωση όπου επηρεάζουν τη διαμέριση τόσο η κλίση των επιμέρους τμημάτων δρόμων όσο και η πυκνότητα μετρητών (penalty_2). Είναι ευδιάκριτο ότι η διαμέριση είναι διαφορετική μεταξύ των δύο περιπτώσεων, κάτι που αναδεικνύει την επίδραση των παραμέτρων που μελετήσαμε.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι ο αλγόριθμος διαμέρισης οδικού δικτύου μπορεί να φανεί χρήσιμος στην επίλυση της βελτιστοποίησης του συστήματος καταμέτρησης των εταιρειών κοινής ωφέλειας.

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μπορούμε να προσεγγίσουμε το ελάχιστο πλήθος συνεργείων που απαιτείται σε μία εταιρεία κοινής ωφέλειας για τη συνολική καταμέτρηση όλων των πελατών της, αρκεί να έχουμε ως δεδομένα:

1. Οδικό δίκτυο
2. Πλήθος-χωρική κατανομή μετρητών
3. Αποδοτικότητα συνεργείου σε ημερήσια βάση

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο από εταιρείες κοινής ωφέλειας για την καταμέτρησή τους, αλλά και σε τομείς όπως η διανομή (πχ από μία εταιρεία με τμήμα διανομής κατ' οίκον), η μετακίνηση από «εσωτερικά» δημοτικά Μέσα Μαζικής Μεταφοράς και διάφορες άλλες εφαρμογές που μπορεί να φανούν χρήσιμες. Σημειώνουμε ότι θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η σύγκριση με μία τουλάχιστον διαμέριση μίας περιοχής από μία πραγματική εταιρεία κοινής ωφέλειας, ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός ωφέλειας, αν υπάρχει, από την υιοθέτηση μίας προσέγγισης όπως αυτή που μας απασχόλησε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ullman, Larry (2005), « Εισαγωγή στην PHP για τον παγκόσμιο ιστό », εκδόσεις Κλειδάριθμος
- Melonie, Julie C. (2008), « Μάθετε PHP, MySQL και Apache », εκδόσεις Γκιούρδας Μ.
- Velte, Elsenpeter (2010), « Cloud Computing, μία πρακτική προσέγγιση », εκδόσεις Γκιούρδας Μ.
- Danny, Brian (2006), « The Definitive Guide to Berkley DB XML», εκδόσεις Apress
- Josie, Wernecke (2007), « The KML Handbook », εκδόσεις Pearson Education (US)
- Γ. Βέης, Χ. Μπιλλήρης, Κ. Παπαζήση (2008), « Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας », εκδόσεις ΕΜΠ
- J.E.Beasley, A note on solving large p-Median problems. European J.Oper.Res.21 (1985) 270 –273.
- K.D.Boese, A.B.Kahng and S.Muddu, A new adaptive multi-start technique for combinatorial global optimizations. Operations Research Letters 16 (1994) 101 –113.
- J.Brimberg, P.Hansen, N.Mladenovic and E.Taillard. Improvements and Comparison of Heuristics for Solving the Multisource Weber Problem. Oper. Res. 48 (2000) 444-460.
- M.Daskin, Network and discrete location. Wiley, New York,1995.
- Z.Drezner, The p-Center problem-heuristics and optimal algorithms. J. Oprnl. Res. Society 35 (1984) 741 –748.
- M.E.Dyer and A.M.Frieze, A simple heuristic for the p-Center problem. Oprns. Res. Lett. 3 (1985)285 –288.

- P.Hansen and B.Jaumard, Algorithms for the maximum satisfiability problem. *Computing* 44 (1990) 279 –303.
- P.Hansen, M Labbe and M.Minoux, The p-Center-sum location problem, *Cahiers du CERO* 36 (1994) 203 –219.
- P.Hansen and N.Mladenovic, Variable neighborhood search for the p-Median, *Location Sci.*5 (1997) 207 –226.
- P.Hansen and N.Mladenovic, An introduction to Variable neighborhood search. In S.Vosset al.(eds.). *Metaheuristics, advances and trends in local search paradigms for optimization*, pp.433–458, Kluwer Academic Publishers Dordrecht (1999).
- P.Hansen, N.Mladenovic, J-MEANS:A new local search heuristic for minimum sum-of-squares clustering. *Pattern Recognition* 34 (2001) 405-413.
- P.Hansen, N.Mladenovic and D.Perez-Brito, Variable neighborhood decomposition search, *Journal of Heuristics* 7 (2001) 335-350.
- D.Hochbaum and D.Shmoys, A best possible heuristic for the k-Center problem. *Math. Oprns. Res.*10 (1985) 180 –184.
- O.Kariv and S.L.Hakimi, An algorithmic approach to network location problems. Part 1:The p-Centers, *SIAM J.Appl.Math.*37 (1979) 513 –538.
- Laporte, G., Nobert, Y. & Desrochers, M. (1985). Optimal routing under capacity and distance restrictions. *Operations Research*, Vol. 33, pp. 1050-1073.
- J.Martinich, A vertex-closing approach to the p-Center problem. *Naval Res.Log.*35 (1988) 185 –201.
- E.Minieka, The m-Center problem. *SIAM Rev.*12 (1970) 138 –139.

- N.Mladenovic, A variable neighborhood algorithm -a new metaheuristic for combinatorial optimization. Presented at Optimization Days, Montreal (1995) pp.112.
- N.Mladenovic and P.Hansen. Variable neighborhood search. *Comps. Opns. Res.* 24 (1997) 1097 –1100.
- N.Mladenovic, J.P.Moreno, and J.Moreno-Vega, Tabu search in solving the p-facility location-allocation problems, *Les Cahiers du GERAD,G-95-38*,Montreal (1995).
- J.Plesnik. A heuristic for the p -Center problem in graphs. *Discrete Appl Math* 17 (1987) 263 –268.
- S.Voss, A reverse elimination approach for the p-Median problem. *Studies in Locational Analysis* 8 (1996) 49 –58.
- R.Whitaker. A fast algorithm for the greedy interchange for large-scale clustering and median location problems. *INFOR* 21 (1983) 95 –108.
- E. Chumanov, Gender differences in walking and running on level and inclined surfaces. University of Wisconsin (2008).

URL's

- (1) <http://www.php.net>
- (2) <http://code.google.com>
- (3) <http://www.ituts.gr>
- (4) <http://en.wikipedia.org>
- (5) <http://el.wikipedia.org/wiki/>
- (6) <http://www.sitepoint.com/really-good-introduction-xml/>
- (7) <http://www.xml.com/pub/a/98/10/guide0.html>
- (8) <http://www.exforsys.com/tutorials/xml/xml-introduction.html#.Tg76JlsuOeY>
- (9) http://www.w3schools.com/xml/xml_what.asp
- (10) <http://www.garshol.priv.no/download/text/xml-intro/index-en.html>
- (11) http://www.filaderlis.com/ebooks/XML_tselios.pdf
- (12) http://en.wikipedia.org/wiki/Keyhole_Markup_Language
- (13) <http://code.google.com/intl/el-GR/apis/kml/documentation/>
- (14) <http://www.htmlgoodies.com/beyond/xml/article.php/3473531/What-is-XML.htm>
- (15) <http://www.softwareprojects.org/php-what-is-01.htm>
- (16) http://en.wikipedia.org/wiki/Visibility_graph_analysis
- (17) <http://www.weberdev.com>
- (18) <http://www.w3schools.com/php/>
- (19) <http://www.infosoc.gr>
- (20) http://www.dmst.aueb.gr/louridas/lectures/dais/web_intro/ar01s22.html
- (21) <http://www.pip.gov.pl/handlingloads/el/29.html>