



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (INTERNET OF THINGS)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Π. Φατούρος

Ιωάννης Χ. Φουσέκης

Επιβλέπων : Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (INTERNET OF THINGS)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Π. Φατούρος

Ιωάννης Χ. Φουσέκης

Επιβλέπων : Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Οκτωβρίου 2011.

.....
Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....
Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Κανελλόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

.....
Ανδρέας Π. Φατούρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Χ. Φουσέκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρέας Φατούρος, Ιωάννης Φουσέκης, 2011.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	15
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	15
1.1) Η ιστορία των τηλεπικοινωνιών.....	15
1.1.1) Εισαγωγή.....	15
1.2) Τρόπος Επικοινωνίας Κινητών Τερματικών.....	16
1.3) Δίκτυα πρώτης γενιάς (1G).....	18
1.4) Δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G).....	18
1.5) Το μεταβατικό στάδιο (2.5-2.75 G).....	19
1.6) Τα σημερινά δίκτυα (3G).....	20
1.6.1) Χαρακτηριστικά των δικτύων 3G.....	21
1.7) Τα μελλοντικά δίκτυα.....	22
1.8) Παράρτημα Α.....	26
1.8.1) Μεταγωγή Πακέτου vs Μεταγωγή Κυκλώματος.....	26
1.8.2) Διαμορφώσεις Σημάτων.....	26
1.8.3) TDD, FDD.....	28
Βιβλιογραφία.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	31
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ INTERNET OF THINGS (IOT).....	31
2.1) IOT (Διαδίκτυο Αντικειμένων).....	31
2.1.1) Εισαγωγή.....	31
2.2) «Έξυπνες» Συσκευές / «Έξυπνα» Αντικείμενα.....	33
2.2.1) Δημιουργία «Έξυπνων» Συσκευών (Smart Things).....	33
2.2.2) Αισθητήρες RFID.....	33
2.2.3) Λειτουργίες «Έξυπνων» Συσκευών.....	35
2.2.4) Κατηγορίες «Έξυπνων» Συσκευών.....	36
2.2.4.1) Αντικείμενο Δραστηριότητας (Activity-Aware Smart Object).....	37
2.2.4.2) Αντικείμενα Πολιτικής (Policy-Aware Smart Objects).....	38
2.2.4.3) Αντικείμενο Διαδικασίας (Process-Aware Smart Objects).....	38
2.2.5) Παράδειγμα «Έξυπνων» Αντικειμένων.....	39
2.2.6) Τρόπος Επικοινωνίας των «Έξυπνων» Αντικειμένων.....	41

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2.3) Προβλήματα Υλοποίησης & Λύσεις.....	43
2.3.1) Πλήθος Διευθύνσεων.....	43
2.3.2) Διευθυνσιοδότηση Αντικειμένων.....	43
2.3.3) Όγκος Δεδομένων.....	46
2.3.4) Πρωτόκολλο Επικοινωνίας.....	47
2.4) Προβλήματα του IOT.....	49
2.4.1) Εμβέλεια.....	49
2.4.2) Ισχύς Μετάδοσης - Κατανάλωση Ενέργειας.....	50
2.4.3) Ασφάλεια.....	51
2.4.3.1) Ιδιωτικότητα.....	51
2.4.3.2) Ταυτοποίηση.....	52
2.4.3.3) Κρυπτογραφία.....	52
2.5) Πλεονεκτήματα Χρήσης του IOT.....	53
2.6) Εφαρμογές Χρήσης του IOT.....	54
Βιβλιογραφία.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	61
ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	61
3.1) Εισαγωγή.....	61
3.2) Συνεργατικά δίκτυα.....	61
3.2.1) Στόχος και κέρδος χρήσης συνεργατικών δικτύων.....	65
3.2.2) Τρόποι μετάδοσης των δεδομένων στα συνεργατικά δίκτυα.....	66
3.3) Υπηρεσίες στα συνεργατικά δίκτυα.....	67
3.3.1) Συνεργατικές υπηρεσίες υποστηριζόμενες από χρήστες διαφορετικών απαιτήσεων.....	67
3.3.2) Αυξανόμενη ποιότητα υπηρεσιών λόγω της συγκέντρωσης χρηστών.....	68
3.3.3) Μοντέλα Αναμεταδοτών (Relay models).....	69
3.3.4) Παραδείγματα εφαρμογών και πειραματικά αποτελέσματα.....	71
3.3.4.1) Η ιδέα των torrent.....	71
3.3.4.2) Κατέβασμα video και video streaming.....	71
3.3.4.3) Web browsing.....	73
3.4) Τρέχοντα προγράμματα στα συνεργατικά δίκτυα.....	74
3.5) Προβλήματα και κίνητρα για την συνεργατικότητα.....	75
3.5.1) Προβλήματα.....	75

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3.5.2) Κίνητρα συνεργασίας.....	76
3.6) Κατανάλωση Ενέργειας (Power Consumption)	77
3.7) Παράρτημα Β.....	80
3.7.1) Τεχνικές κωδικοποίησης.....	80
Βιβλιογραφία	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	83
ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	83
4.1) Εισαγωγή	83
4.2) Βασική Ιδέα	83
4.3) Περιγραφή Σεναρίου	85
4.4) Προσομοιωμένο Σενάριο.....	87
4.5) Πλεονεκτήματα.....	89
Βιβλιογραφία	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	93
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	93
5.1) Εισαγωγή	93
5.2) Παράμετροι και μεταβλητές της προσομοίωσης.....	94
5.2.1) Αριθμός χρηστών (κινητών τερματικών)	94
5.2.2) Διαστάσεις της τοπολογίας.....	95
5.2.3) Μέγεθος αρχείου.....	95
5.2.4) Σενάριο προσομοίωσης.....	95
5.3) Παρουσίαση των κλάσεων της προσομοίωσης	96
5.4) Περιγραφή της προσομοίωσης	98
5.4.1) Δημιουργία των πακέτων	98
5.4.1.1) Δημιουργία πακέτων σε συστήματα με συνεργατικές υπηρεσίες.....	99
5.4.2) Ρυθμοί μετάδοσης και πιθανότητες λάθους.....	100
5.4.3) Το πρωτόκολλο TCP.....	101
5.4.4) Αποστολή και λήψη πακέτων	102
5.4.4.1) Αποστολή και λήψη πακέτων χωρίς συνεργατικές υπηρεσίες	102
5.4.4.2) Αποστολή και λήψη πακέτων με συνεργατικές υπηρεσίες.....	104
5.4.5) Μηχανισμοί ελέγχου τερματισμού και διόρθωσης λαθών της πλατφόρμας.....	105
5.5) Κατανάλωση Ενέργειας (Energy Consumption).....	105

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5.5.1) Κυψελωτή ζεύξη (UMTS)	105
5.5.2) Ζεύξη μικρής κλίμακας (Bluetooth)	106
Βιβλιογραφία	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	109
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	109
6.1) Εισαγωγή	109
6.2) Δεύτερο σενάριο προσομοίωσης.....	110
6.2.1)Εξάρτηση από τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών	110
6.2.2)Εξάρτηση από το μέγεθος του αρχείου.....	112
6.3) Τρίτο σενάριο προσομοίωσης	114
6.3.1)Εξάρτηση από τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών	115
6.3.2)Εξάρτηση από το μέγεθος του αρχείου.....	117
6.4) Συμπεράσματα.....	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	121
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	121
7.1) Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	123
ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	123
Γ.0) Εισαγωγή.....	123
Γ.1) Κλάση Simulation	124
Γ.2) Κλάση Basestation	129
Γ.3) Κλάση User	130
Γ.4) Κλάση Link	138
Γ.5) Κλάση linkTimer.....	140
Γ.6) Κλάση File	142
Γ.7) Κλάση Packet	142
Γ.8) Κλάση RLC_PDUs	143
Γ.9) Κλάση Bluetooth_Packet	143
Γ.10) Κλάση Rat	144
Γ.11) Κλάση Utils.....	144
Γ.12) Κλάση Statistics	146

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 - Το πρώτο τηλέφωνο	15
Εικόνα 1.2 - Κυψελωτά συστήματα	16
Εικόνα 1.3 - Αναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κυψελωτά δίκτυα.....	17
Εικόνα 1.4 - Τα πρότυπα ανά γενιά δικτύων	21
Εικόνα 1.5 - Η εξέλιξη των δικτύων.....	22
Εικόνα 2.1 - Διαστάσεις Διαδικτύου Αντικειμένων (IOT).....	32
Εικόνα 2.2 - Αισθητήρες RFID.....	34
Εικόνα 2.3 - Αισθητήρες τύπου μ-RFID	35
Εικόνα 2.4 - Διαστάσεις «έξυπνων αντικειμένων»	36
Εικόνα 2.5 - Λειτουργίες «έξυπνων αντικειμένων»	37
Εικόνα 2.6 - Διάγραμμα Ροής Αντικειμένου Δραστηριότητας.....	40
Εικόνα 2.7 - Επικεφαλίδα πακέτου IPv6	45
Εικόνα 2.8 - Αρχιτεκτονική STP/SP.....	49
Εικόνα 2.9 - Πρότυπα Ασυρμάτων Δικτύων	50
Εικόνα 2.10 - Τομείς των εφαρμογών	54
Εικόνα 2.11 - Συνεργαζόμενα Αυτοκίνητα.....	55
Εικόνα 2.12 - «Εξυπνη» Μηχανή.....	55
Εικόνα 2.13 - Συσκευή Ανάγνωσης.....	56
Εικόνα 2.14 - Παπούτσι Nike Air Zoom Moire	56
Εικόνα 2.15 - Παπούτσι Addidas.....	57
Εικόνα 2.16 - Τομείς των εφαρμογών	57
Εικόνα 2.17 - «Εξυπνη» Βιβλιοθήκη	58
Εικόνα 2.18 - «Εξυπνο» τραπέζι	58
Εικόνα 3.1 - Συνεργατικά Δίκτυα.....	63
Εικόνα 3.2 - Τρόποι μετάδοσης της πληροφορίας σε συνεργατικά δίκτυα.....	64
Εικόνα 3.3 - Τα συνεργατικά δίκτυα 4ης γενιάς.....	64
Εικόνα 3.4 - Ετερογενή δίκτυα	66
Εικόνα 3.5 - Συνεργατικές Υπηρεσίες.....	68
Εικόνα 3.6 - Συνεργατικές Υπηρεσίες με διαμοιρασμό περιγραφέων (D1, D2, D3, D4, D5) σε διαφορετικούς χρήστες.	69
Εικόνα 3.7 - Η ενεργειακή κατανάλωση συναρτήση των αριθμό των τερματικών που συνεργάζονται (SVC, GPRS/BT).	72
Εικόνα 3.8 - EDWIN project.	72
Εικόνα 3.9 - WEB Browsing. Στην πρώτη περίπτωση οι φάσεις κατεβάσματος δεν επικαλύπτονται και διακρίνονται οι περιπτώσεις που τα κινητά τερματικά είτε συνεργάζονται είτε όχι. Στην δεύτερη περίπτωση οι 2 φάσεις συμπίπτουν.	73
Εικόνα 3.10 - Συνεργατικά δίκτυα και διαμοιρασμός εργασιών.	79
Εικόνα 4.1 - Αρχιτεκτονική Δικτύου Συνεργασίας Μικρού Επιπέδου.....	84
Εικόνα 4.2 - Αρχιτεκτονική Δικτύου Συνεργασίας Μικρού Επιπέδου.....	85
Εικόνα 4.3 - Αρχιτεκτονική Δικτύου Συνεργασίας Μικρού Επιπέδου Με Δύο Κινητά Τερματικά	86
Εικόνα 5.1 - Η κατάτμηση από στρώμα σε στρώμα.....	99
Εικόνα 5.2 - Το πακέτο του Bluetooth.....	99
Εικόνα 5.3 - Το πρώτο pdu επαναμεταδίδεται στο αμέσως επόμενο διαθέσιμο block δεδομένων.....	101

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εικόνα 5.4 - Σε κάθε TTI μπορούν σταλούν περισσότερα του ενός Pds στο φυσικό στρώμα.	103
Εικόνα 5.5 – Κατανάλωση Ενέργειας σε σχέση με την απόσταση για το Bluetooth	106
Εικόνα 6.1 - Ρυθμός μετάδοσης του κυρίαρχου τερματικού σε σύγκριση με την ταχύτητα ενός συστήματος 3G.	110
Εικόνα 6.2 - Χρόνος που χρειάζεται για να κατέβει το αρχείο συγκριτικά με ένα δίκτυο 3G σε σχέση με τους συνεργαζόμενους χρήστες	111
Εικόνα 6.3 - Ενέργεια που καταναλώνεται στο σενάριο μας, συγκριτικά με ένα δίκτυο 3G, σε σχέση με τους συνεργαζόμενους χρήστες.....	112
Εικόνα 6.4 - Ρυθμός μετάδοσης των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με το μέγεθος του αρχείου.	113
Εικόνα 6.5 - Ο χρόνος που χρειάζεται σε διαφορετικά δίκτυα για το κατέβασμα ενός αρχείου μεταβλητού μεγέθους.	113
Εικόνα 6.6 - Ενεργειακή κατανάλωση σε συνεργατικά δίκτυα με μεταβαλλόμενο μέγεθος αρχείου.	114
Εικόνα 6.7 - Ρυθμός μετάδοσης των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών.	115
Εικόνα 6.8 - Χρόνος μετάδοσης αρχείου 500 KByte των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών.....	116
Εικόνα 6.9 - Ενέργεια που καταναλώνεται στο τρίτο σενάριο , συγκριτικά με ένα δίκτυο 3G, σε σχέση με τους συνεργαζόμενους χρήστες	117
Εικόνα 6.10 - Ρυθμός μετάδοσης των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με το μέγεθος του αρχείου.	118
Εικόνα 6.11 - Ο χρόνος που χρειάζεται σε διαφορετικά δίκτυα για το κατέβασμα ενός αρχείου μεταβλητού μεγέθους.....	118

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών και η συνεχόμενη αυξημένη ανάγκη για την ικανοποίηση της συνεχώς αυξανόμενης απαίτησης για πόρους του δικτύου (εύρος ζώνης, ρυθμός μετάδοσης), οδηγεί στην δημιουργία των δικτύων 4^{ης} γενιάς και την υλοποίηση του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων αποτελείται ουσιαστικά από το άθροισμα των διαφορετικών δικτύων που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες τη σημερινή εποχή, με το πρόσθετο χαρακτηριστικό, της ιδιότητας της συνεργατικότητας ή συνεργασίας, δηλαδή της δυνατότητας ταυτόχρονης χρήσης διαφορετικών δικτύων από την ίδια υπηρεσία.

Κεντρικός άξονας της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία μιας κατάλληλης αρχιτεκτονικής, όπου χρήστες ενός κυψελωτού δικτύου κινητής τηλεφωνίας να είναι σε θέση να συνεργάζονται μεταξύ τους ώστε να ικανοποιήσουν τις παραπάνω απαιτήσεις, με ταυτόχρονη όμως μείωση της κατανάλωσης των πόρων τους. Για την επίτευξη της συγκεκριμένης μελέτης επιχειρήθηκε μία όσο το δυνατόν πληρέστερη καταγραφή των ιδιοτήτων των πρωτοκόλλων UMTS και Bluetooth, με έμφαση στο τρόπο που στέλνουν πακέτα τα πρωτόκολλα, στο τρόπο επικοινωνίας των κινητών τερματικών με το Σταθμό Βάσης, όπως και στο τρόπο επικοινωνίας των κινητών τερματικών μεταξύ τους.

Ειδικότερα για την επίτευξη της παραπάνω συνεργασίας γίνεται προσομοίωση ενός περιβάλλοντος δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε γλώσσα προγραμματισμού Java, όπου τα κινητά τερματικά επικοινωνούν με το Σταθμό Βάσης χρησιμοποιώντας τη κυψελωτή ζεύξη με χρήση του πρωτοκόλλου UMTS, ενώ μπορούν να επικοινωνούν ταυτόχρονα μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Bluetooth. Στα πλαίσια της προσομοίωσης μελετάται μία υπηρεσία κατεβάσματος ενός αρχείου από το Διαδίκτυο, όπου τα κινητά τερματικά μπορούν να ανταλλάσουν μεταξύ τους κομμάτια από το αρχείο με χρήση του πρωτοκόλλου Bluetooth.

Η προσομοίωση του συγκεκριμένου δικτύου κινητής τηλεφωνίας παρέχει σημαντικά συμπεράσματα για την συνεργατικότητα των δύο δικτύων και γενικότερα για τις συνεργατικές υπηρεσίες καθώς, με αυτό τον τρόπο παρέχεται μια θεωρητική προσέγγιση του κέρδους από την ύπαρξη συνεργατικών δικτύων και υπηρεσιών στο καθημερινό περιβάλλον.

Λέξεις Κλειδιά

Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών, 4G, UMTS, Bluetooth, IOT, RFID, Έξυπνα Αντικείμενα, Διαδίκτυο των Αντικειμένων, Συνεργατικότητα, Συνεργατικά Δίκτυα, Συνεργατικές Υπηρεσίες

ABSTRACT

The evolution of telecommunications and the continual increased need to satisfy the consecutively increased demand for network resources (bandwidth, data rates) is driving to the creation of the 4G networks and the implementation of the Internet of Things. The Internet of Things, known as IOT, consists of the amount of the different network types, used in the telecommunications networks nowadays, with the characteristic of cooperation, namely the simultaneous use of different types of networks from the same service.

Particularly the main scope of this thesis is the development of a suitable architecture, where users/nodes of a cellular mobile infrastructure can cooperate with each other to meet the demands of a service and at the same time reduce their energy consumption. Achieving the goal of this thesis, research has been made to record the characteristics and the properties of the UMTS and the Bluetooth protocol, with emphasis on the way they send packets, the way users/nodes communicate with the Base Station and the way nodes communicate with each other.

Especially, quantifying the gain of the cooperation; a development of a mobile network infrastructure and simulations were taken place using a runtime Java environment. Particularly, in this network nodes can communicate with the Base Station using the cellular link (UMTS) and with the other nodes using a short range link (Bluetooth). In addition, to provide accurate results, study is made on a download cooperative service, in which nodes can trade parts of a file with the use of the Bluetooth connection.

The simulation of this cellular mobile telecommunications network can safely draw some conclusions for the cooperation of those two network protocols and cooperative services as well. To conclude, a theoretical approach of the gain from the existence of cooperative networks and services in the real environment is applied, as a result of the simulation process.

Keywords

Mobile Communications Networks, 4G, UMTS, Bluetooth, IOT, RFID, Smart Objects, Internet of Things, Cooperation, Cooperative Networks, Cooperative Scenarios, Cooperative Services

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μελέτη συνιστά τη διπλωματική μας εργασία στα πλαίσια του κύκλου σπουδών μας στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αποτελεί το σημαντικότερο σημείο της πορείας στη συγκεκριμένη σχολή και ολοκληρώνει τον κύκλο της φοιτήσεώς μας, δίνοντάς μας παράλληλα την ευκαιρία να αξιοποιήσουμε τις γνώσεις που λάβαμε καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής μας στα φοιτητικά έδρανα, καθώς και να αξιοποιήσουμε δημιουργικό και ερευνητικό μας πνεύμα. Αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κύριο Αθανάσιο Παναγόπουλο, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με ένα θέμα επίκαιρο και πρωτότυπο. Επιπλέον θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαιτέρως τον Δημήτρη Χαρίλα, υποψήφιο διδάκτορα, για την καθοδήγηση, την βοήθεια του, καθώς και για την άμεση ανταπόκρισή του σε οποιαδήποτε απορία ή πρόβλημα αντιμετωπίσαμε. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την οικογένειά μας για τη στήριξη και τη βοήθεια που μας παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματική εργασίας.

Α. Φατούρος, Ι. Φουσέκης
Αθήνα, 2011

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1) Η ιστορία των τηλεπικοινωνιών

1.1.1) Εισαγωγή

Μια από τις βασικότερες ανάγκες του ανθρώπου είναι η επικοινωνία. Για την κάλυψη της ανάγκης αυτής σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας εφευρίσκονταν διάφοροι τρόποι (σήματα καπνού, αγγελιοφόρους, ταχυδρομικά περιστέρια κτλ.), ωστόσο τα συγκεκριμένα μέσα ήταν ελλιπή, αφορούσαν μικρές κοινότητες και μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για μικρές αποστάσεις. Έτσι με την αύξηση του πληθυσμού και τη δημιουργία μεγάλων πόλεων υπήρξε η ανάγκη για ευρύτερη, ταχύτερη αλλά και ποιοτικότερη επικοινωνία. Τη λύση κατέστηκε να δώσει η τεχνολογία και ιδιαίτερα η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής. Με αυτό τον τρόπο το 18^ο αιώνα υλοποιείται το πρώτο ηλεκτρικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα (τηλέγραφος) και στη συνέχεια πιο προηγμένα μέσα (τηλέφωνο, ασύρματες επικοινωνίες, οπτικές ίνες). [1]



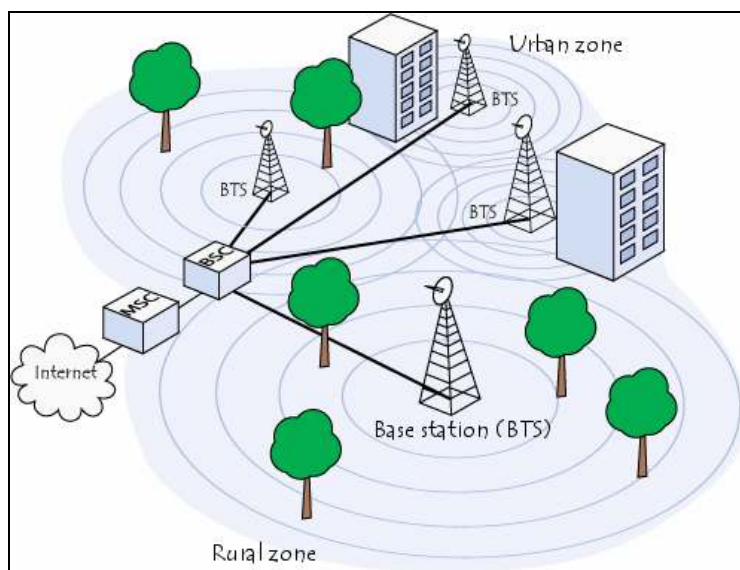
Εικόνα 1.1 - Το πρώτο τηλέφωνο

Τη σημερινή εποχή η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων έχει μία προηγμένη μορφή αφού με τη χρήση ενός κινητού τηλεφώνου ή ενός προσωπικού υπολογιστή είναι δυνατή η μεταφορά εικόνας και ήχου πάνω από ένα κοινό δίκτυο. Με τον όρο δίκτυα ορίζεται η σύνδεση («δικτύωση») διαφόρων ηλεκτρονικών συσκευών (τηλεφώνων, υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων κτλ) με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων.

1.2) Τρόπος Επικοινωνίας Κινητών Τερματικών

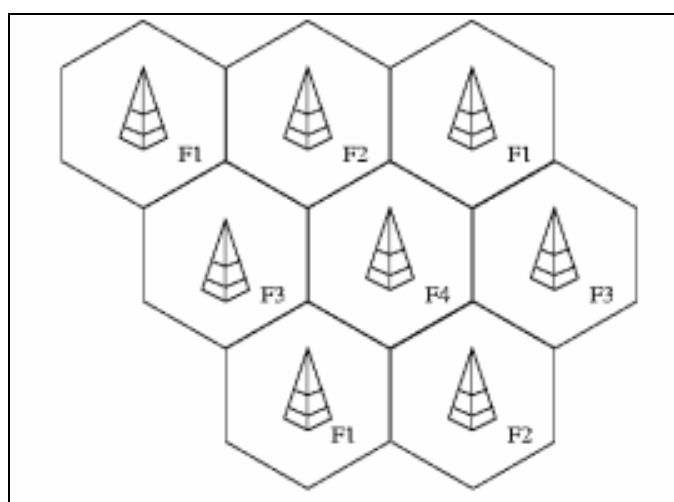
Πριν γίνει περαιτέρω αναφορά και επεξήγηση κάθε γενιάς δικτύων κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ ενός τερματικού σταθμού με το σταθμό βάσης σε ένα κυψελωτό τηλεπικοινωνιακό σύστημα, το οποίο ονομάζεται έτσι επειδή αρχικά η περιοχή κάλυψης είχε το σχήμα κυψέλης. Οι βασικές δομικές οντότητες σε ένα κυψελωτό τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι ο Κινητός Σταθμός (MS, **M**obile **S**tation), ο οποίος είναι επίσης γνωστός ως εξοπλισμός χρήστη (User Equipment), κινητό τερματικό ή τερματικός σταθμός, και ο Σταθμός Βάσης (BS, **B**ase **S**tation) ο οποίος είναι επίσης γνωστός ως BTS (**B**ase **T**ransceiver **S**tation). Ο Κινητός Σταθμός είναι το αντίστοιχο τερματικό (laptop, κινητό τηλέφωνο κτλ.) και μπορεί να κινείται ελεύθερα στη περιοχή κάλυψης μιας ή και περισσότερων κυψελών. Οι Σταθμοί Βάσης κατά κύριο λόγο είναι οι σταθεροί σταθμοί του δικτύου και αποτελούνται από πολλές κεραίες εκπομπής και λήψης. Συνήθως τοποθετούνται στο κέντρο αλλά και στις άκρες μιας περιοχής κάλυψης.

Ο τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των βασικών δομικών οντοτήτων είναι ο ακόλουθος. Το κινητό τερματικό επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης χρησιμοποιώντας τους διαθέσιμους ραδιοδιαύλους και την αντίστοιχη ασύρματη διεπαφή (air-interface) που διατίθενται σε κάθε κυψέλη. Ο Σταθμός Βάσης με τη σειρά του συνδέεται με το δίκτυο κορμού μέσω ενός ελεγκτή BSC (**B**ase **S**tation **C**ontroller) οι οποίοι με την σειρά τους συνδέονται στα κέντρα μεταγωγής MSC (**M**obile **S**witching **C**enter) της εκάστοτε εταιρίας κινητής τηλεφωνίας, οι οποίοι διαχειρίζονται και δρομολογούν τις κλήσεις σε μια μεγαλύτερη περιοχή εξυπηρέτησης ή στο Διαδίκτυο. Επιπλέον για την ταχύτητα της επικοινωνίας ο Σταθμός Βάσης επικοινωνεί με το τερματικό ανταλλάσσοντας μηνύματα ελέγχου ακόμα και όταν το Κινητό Τερματικό είναι σε αναμονή έτσι ώστε να είναι γνωστό σε ποιά κυψέλη κινείται το τερματικό. Η παρακολούθηση είναι συνεχής και επιβάλλεται καθώς η συνεχής μετατόπιση των κινητών τερματικών έχει ως συνέπεια την συνεχή μεταβολή της ποιότητας της ραδιοζεύξης.



Εικόνα 1.2 - Κυψελωτά συστήματα

Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών, αποτελεί η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών σε ένα μεγάλο αριθμό χρηστών με το υπάρχον περιορισμένο διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Επιπλέον στα κυψελωτά συστήματα περιορίζεται η ισχύς εκπομπής του Σταθμού Βάσης προς τα τερματικά έτσι ώστε να καλύπτουν μια μικρή μόνο περιοχή (περιοχή κάλυψης), πράγμα που οδηγεί σε οικονομικότερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και ασφαλέστερες από την ακτινοβολία περιοχές. Το εκάστοτε κυψελωτό σύστημα είναι χωρισμένο σε πολλές κυψέλες που η καθεμία πρέπει να χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες για την πρόσβαση στον ραδιοδιάυλο ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των κυψελών. Ωστόσο λόγω της χαμηλής εκπεμπόμενης ισχύος και της περιορισμένης περιοχής κάλυψης μη γειτονικές κυψέλες μπορούν χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων χωρίς να παρεμβάλλει η μια στην άλλη, πράγμα που οδηγεί στην αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων.



Εικόνα 1.3 - Αναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κυψελωτά δίκτυα

Βέβαια με το χωρισμό μιας περιοχής κάλυψης σε κυψέλες προκύπτουν και αρνητικές επιπτώσεις όσον αφορά την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η συνηθέστερη επίπτωση προκύπτει σε περίπτωση που το κινητό τερματικό μεταβεί από μια κυψέλη σε μια άλλη ενώ υπάρχει κλήση σε εξέλιξη. Το δίκτυο πρέπει τότε να φροντίσει να συνδέσει το Κινητό Σταθμό με το Σταθμό Βάσης στη νέα κυψέλη, αλλιώς υπάρχει διακοπή της κλήσης, πράγμα που οδηγεί σε κακή ποιότητα υπηρεσίας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως μεταπομπή. Επιπλέον περιπτώσεις μεταπομπής μπορεί να υπάρξουν και στη περιοχή κάλυψη στην ίδια κυψέλη όταν το κινητό τερματικό αλλάζει διάυλο επικοινωνίας. Οπότε γενικά η διαδικασία μετάβασης από μία οντότητα (κυψέλη, ραδιοδιάυλο) σε μία άλλη ονομάζεται μεταπομπή (handoff ή handover). Η αντιμετώπιση του παραπάνω φαινομένου γίνεται με χρήση διαφόρων μεθόδων ώστε να γίνεται αντιληπτό εάν υπάρχει περίπτωση μεταπομπής, χρησιμοποιώντας ως κύριο δείκτη την μέτρηση ισχύος στο κινητό τερματικό. [2]

1.3) Δίκτυα πρώτης γενιάς (1G)

Όσον αφορά τις κινητές τηλεπικοινωνίες, αρχικά αναπτύχθηκαν τα δίκτυα 1ης γενιάς στη δεκαετία του '80. Αφορούσαν μόνο αναλογικές συσκευές και η μετάδοση των σημάτων γινόταν με διαμόρφωση συχνότητας (FM, **F**requency **M**odulation) ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching), όπως αυτή παρουσιάζεται στο Παράρτημα. Τα συστήματα αυτά λειτουργούσαν στους 450 ή 900 Μεγακύκλους (450 ή 900 MHz), ενώ για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνταν δύο ζώνες συχνοτήτων (bands) εύρους 25MHz, μία για την αποστολή σημάτων από τον σταθμό βάσης στον χρήστη και μία ακόμα για την αντίστροφη διαδρομή. Οι ζώνες αυτές των συχνοτήτων για την επίτευξη καλύτερης εξυπηρέτησης μεταξύ των χρηστών χωριζόντουσαν επιπλέον σε μικρότερα κανάλια.

Τεχνολογικά το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε μόνο για τηλεφωνικές κλήσεις, εισάγοντας όμως για πρώτη φορά την ιδέα της μεταπομπής (handover) και του πολυκυβελωτού συστήματος επικοινωνίας, όπως επίσης και τη λογική της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας και του international roaming (NMT). Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι τα AMPS (**A**dvanced **M**obile **P**hone **S**ervice) (στα 824-894 MHz) στις Η.Π.Α στα οποία βέβαια χρησιμοποιήθηκε FDMA. Κάθε χρήστης είχε πρόσβαση σε ένα από τα κανάλια τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με ζώνες των 30 kHz και μπορούσε να εξυπηρετεί συγκεκριμένο αριθμό χρηστών. Άλλα πρότυπα δικτύων που αναπτύχθηκαν είναι τα TACS (**T**otal **A**ccess **C**ommunication **S**ystem) στην Ευρώπη, τα NTT στην Ιαπωνία και τα NMT. [3,4]

Μεγάλο μειονέκτημα για τα συστήματα αυτά υπήρξε η μη εγγύηση των τηλεφωνικών κλήσεων καθώς δεν υπήρχε η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του φάσματος καθώς πολλές κλήσεις απορρίπτονταν λόγω μη διαθέσιμων καναλιών και η ασφάλεια τους. Η μη κωδικοποίηση της πληροφορίας επέτρεπε τις υποκλοπές καθώς οποιοσδήποτε συντονιζόταν στην συχνότητα που επιθυμούσε, μπορούσε να «κρυφακούσει». Τα δίκτυα και οι τηλεφωνικές συσκευές 1ης γενιάς εγκαταλείφθηκαν με την εφεύρεση και καθιέρωση της 2ης γενιάς δικτύων καθώς δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ τους. [5]

1.4) Δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G)

Η ταχεία αύξηση της ζήτησης οδήγησε τα παραπάνω συστήματα πρώτης γενιάς να αντικατασταθούν γρήγορα από τα συστήματα 2ης γενιάς. Τα συστήματα αυτά ξεκίνησαν από την Φινλανδία όπου το 1991 δημιουργήθηκε το πρώτο δίκτυο και η μεγάλη καινοτομία τους ήταν η εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης ήταν της τάξης των 10 kbps. Η μετάδοση των σημάτων γίνεται πλέον ψηφιακά σε αντίθεση με την προηγούμενη γενιά ενώ χρησιμοποιείται το πρότυπο GSM (**G**lobal **S**ystem for **M**obile **C**ommunication ή **G**roup **S**pecial **M**obile). Σκοπός τους είναι να αντιμετωπίσουν την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση και τα φαινόμενα των παρεμβολών και των μεταπομπών στις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Το πρότυπο αυτό γίνεται γρήγορα το πιο δημοφιλές παγκοσμίως και κατακτά πάνω από το 80% της αγοράς παγκοσμίως. Εκτιμάται ότι το πρότυπο αυτό χρησιμοποιήθηκε από πάνω από 1.5-2 δισεκατομμύρια παγκοσμίως [6].

Κάποια άλλα δημοφιλή πρότυπα που επίσης ανήκουν στην ίδια γενιά είναι το cdmaOne καθώς και τα IS-54 και IS-136. Το cdmaOne χρησιμοποιεί CDMA πολυπλεξία για την πρόσβαση εύρους ζώνης καναλιού 1.25 MHz. Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται επιπλέον και διαφορετικοί ρυθμοί μετάδοσης. Για παράδειγμα το GSM υποστηρίζει ρυθμούς μέχρι 270 kbps ενώ το IS-54 ρυθμούς μέχρι 48 kbps. Για το GSM χρησιμοποιείται κυρίως TDMA πολυπλεξία όπως και στα πιο πολλά πρότυπα της εποχής εκείνης, ενώ για την διαμόρφωση των σημάτων χρησιμοποιείται GMSK (**G**aussian **M**inimum **S**hift **K**eying). Στα υπόλοιπα πρότυπα χρησιμοποιήθηκε διαμόρφωση CDMA (**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess) αλλά και FDMA σε πιο σπάνιες περιπτώσεις.

Τα 2G δίκτυα δημιουργήθηκαν κυρίως για υπηρεσίες φωνής σε σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης ενώ δημιουργήθηκαν και πρόσθετες υπηρεσίες. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι υπήρξε πολύ καλύτερη διαχείριση φάσματος ενώ εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τα SMS και τα e-mail. Πολλά από τα στοιχεία όπως για παράδειγμα η δομή των κελιών, παραμένουν κοινά με τα δίκτυα 1ης γενιάς, παρόλο που το μέγεθος τους αλλάζει, καθώς έχουμε μικρότερη ισχύ εκπομπής άρα και περισσότερες κυψέλες. Ταυτόχρονα η ψηφιακή κωδικοποίηση της φωνής έδωσε τη δυνατότητα για μεγαλύτερη διορθωτική ικανότητα σε κάθε λέξη το οποίο βελτίωσε την ποιότητα της φωνής και των υπόλοιπων παρεχόμενων υπηρεσιών. Επιπλέον η δυνατότητα συμπίεσης και πολυπλεξίας των ψηφιακών σημάτων αλλά και η αύξηση των αριθμών των κελιών για τους προαναφερθείς λόγους οδήγησαν στην αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου έως και 3 φορές σε σχέση με τα δίκτυα 1ης γενιάς [7]. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα δίκτυα 2ης γενιάς χρησιμοποιούνται ακόμα και στις μέρες μας σε πολλά μέρη του κόσμου. [3,4]

1.5) Το μεταβατικό στάδιο (2.5-2.75 G)

Μεταξύ των δικτύων δεύτερης και τρίτης γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας υπήρξαν κάποια μεταβατικά στάδια, (2.5G, 2.75G) που θεωρούνται πρόδρομοι του σημερινού 3G. Το δίκτυο 2.5G αναπτύχθηκε εξαιτίας της ζήτησης για καλύτερες υπηρεσίες, υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων καθώς και για πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι γενιές αυτές των δικτύων θεωρούνται περισσότερο ως επέκταση των δικτύων δεύτερης γενιάς με σκοπό να καλύψουν την προαναφερθείσα ζήτηση.

Η μεγαλύτερη καινοτομία των δικτύων αυτών είναι η εισαγωγή της τεχνολογίας GPRS και η για πρώτη φορά χρησιμοποίηση της μεταγωγής πακέτου σε συνδυασμό με την υπάρχουσα μεταγωγή κυκλώματος. Το GPRS (**G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice) είναι μια υπηρεσία δεδομένων κινητών προσανατολισμένη σε πακέτα και σχεδιάστηκε από τον οργανισμό 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ο οποίος ιδρύθηκε με σκοπό να δημιουργήσει μια κοινά αποδεκτή πρόταση για τα δίκτυα 3ης γενιάς, με σκοπό να επεκτείνει το υπάρχον δίκτυο GSM ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τη μεταγωγή πακέτου. Με την τεχνολογία αυτή και λόγω της αύξησης των ρυθμών μετάδοσης και της χρησιμοποίησης του δικτύου προστέθηκαν νέες υπηρεσίες στη διάθεση του χρήστη όπως για παράδειγμα MMS, συνεχές Διαδίκτυο ("always on" Internet), υπηρεσίες Διαδικτύου (Internet applications μέσω WAP) και πολλές άλλες. Το GPRS μπορεί να παρέχει ρυθμούς από 56 έως 115 kbit/s με θεωρητικό μέγιστο τα 171.2 kbit/s [8] και χρησιμοποιεί όπως και στο GSM, TDMA (Time Division Multiple Access) πολυπλεξία. Εκτός από την τεχνολογία GPRS στα δίκτυα 2.5G ανήκει και η τεχνολογία 1xRTT της οικογένειας CDMA2000 η οποία παρέχει ρυθμούς μετάδοσης που φτάνουν μέχρι τα 153,6 kbit/s. [7]

Μετά από το GPRS και το 1xRTT έκανε την εμφάνιση του το EDGE (**E**nhanced **D**ata rates for **G**SM **E**volution) που θεωρείται επίσης πρόδρομος του 3G, το οποίο αναπτύχθηκε και προτυποποιήθηκε από την 3GPP στην αρχή της δεκαετίας του 2000. Συγκεκριμένα στο πρώτο δίκτυο αναπτύχθηκε το 2003. Το EDGE ήρθε ουσιαστικά για να συμπληρώσει και να βελτιώσει το υπάρχον GPRS δίκτυο χωρίς επιπλέον κόστος αλλαγής υλικού ή λογισμικού καθώς λειτουργούσε πάνω στο ήδη εγκατεστημένο GSM δίκτυο. Οι νέες τεχνολογίες κωδικοποίησης και μετάδοσης της πληροφορίας έδωσαν την δυνατότητα για σημαντική αύξηση των ρυθμών μετάδοσης σε κάθε κανάλι (θεωρητικά μέχρι 384 kbit/s πρακτικά 236 kbit/s) και τριπλασιασμό της χωρητικότητας και των επιδόσεων σε σχέση με το GPRS. Για την κωδικοποίηση εκτός από την ήδη χρησιμοποιούμενη GMSK χρησιμοποιήθηκε και η 8PSK (**8** Phase **S**hift **K**eying) παρέχοντας 3 bit ανά σύμβολο (3 bit/symbol).

Μια άλλη τεχνολογική μέθοδος η οποία ωστόσο δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως είναι η HSCSD (**H**igh **S**peed **C**ircuit **S**witched **D**ata) που προσέφερε ρυθμούς μέχρι τα 64 kbit/s. Το σημαντικότερο μειονέκτημά της είναι ότι δεν επιτρέπει καλή διαχείριση του φάσματος και έχει υψηλό κόστος για τους χρήστες επειδή δεσμεύει περισσότερες χρονοθυρίδες σε κάθε χρήστη και αυτό αυξάνει σημαντικά το κόστος. Τέλος αργότερα αναπτύχθηκε το Evolved (εξελιγμένο) EDGE το οποίο προσφέρει θεωρητικά ταχύτητες μετάδοσης μέχρι 1 Mbit/s ή 600 kbit/s στη κάτω ζεύξη (downlink). Η τεχνολογία αυτή σχεδιάστηκε για να επεκτείνει το GSM εκεί όπου το 3G δεν ήταν εφικτό. Δεν χρησιμοποιείται παρά μόνο σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις [7,8]. Οι παραπάνω τεχνολογίες αποτελούν μια εξέλιξη πάνω από το 2.5G και λίγο πριν το 3G, για αυτό και είναι γνωστές ως 2.75G.

1.6) Τα σημερινά δίκτυα (3G)

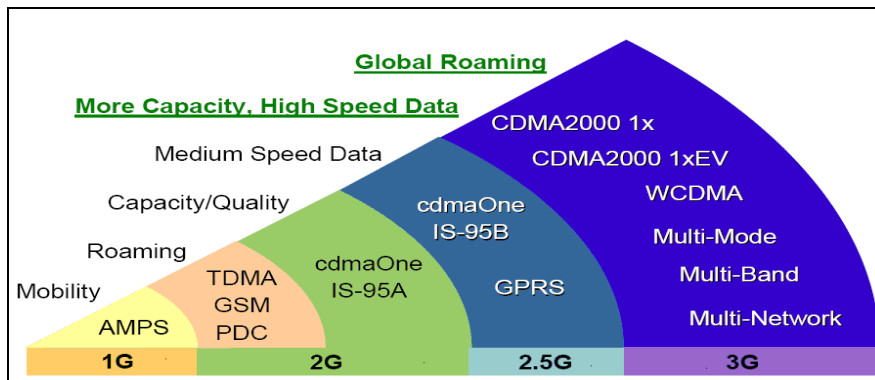
Ως επιστέγασμα των παραπάνω δικτύων κινητής τηλεφωνίας, στις αρχές τις δεκαετίας προτυποποιήθηκε το πιο ολοκληρωμένο και σύγχρονο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας το δίκτυο 3ης γενιάς το οποίο είναι ευρέως γνωστό 3G. Τα δίκτυα 3ης γενιάς (IMT-2000) που αναφέρονται και ως Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών-UMTS (**U**niversal **M**obile **T**elecommunication **S**ystem) σχεδιάστηκαν για να παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης με ταυτόχρονη μεγαλύτερη ποικιλία υπηρεσιών για τον χρήστη καθώς και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Πρόκειται για ένα παγκόσμιο σύστημα που συνδυάζει επίγεια και δορυφορικά στοιχεία. Ενδεικτικά κάποιες υπηρεσίες που εισήχθηκαν με τον ερχομό του 3G είναι η τηλεόραση στο κινητό (Mobile TV), το βίντεο κατά απαίτηση (VoD, Video on Demand) και η τηλεφωνική κλήση με χρήση εικόνας και ήχου (video calls).

Σύμφωνα με την 3GPP η τεχνολογία που προτάθηκε για το air interface ήταν το W-CDMA (ταυτίζεται με το UMTS) και αναπτύχθηκε αρχικά στην Ιαπωνία. Η τεχνολογία αυτή αφορά την πρόσβαση στο κανάλι και έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα στην διαχείριση φάσματος από τις τεχνολογίες TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiplexing **A**ccess) και FDMA(**F**requency **D**ivision **M**ultiplexing **A**ccess). Το πρότυπο αυτό λειτουργεί στα 2100 MHz για να διαχωριστεί από τα άλλα πρότυπα που καλύπτουν την περιοχή από 450 έως 1800 MHz και χρησιμοποιείται τόσο FDD (Frequency Division Duplexing) όσο και TDD (Time Division Duplexing) για την επικοινωνία μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τερματικού, όπως αυτές παρουσιάζονται στο παράρτημα. Για τον λόγο αυτό το UMTS είναι συμβατό με τις υπάρχουσες τεχνολογίες όπως είναι η GSM, δηλαδή δεν παρεμβάλλει με το GSM και μπορούν να συνυπάρχουν και τα δύο.[9]

Στην ίδια οικογένεια ανήκουν και τα τηλεπικοινωνιακά πρότυπα HSPA και HSPA+ που δημιουργήθηκαν για να επεκτείνουν το υπάρχον WCDMA. Οι ρυθμοί μετάδοσης διαφέρουν σε κάθε περίπτωση και εξαρτώνται κυρίως από το που βρίσκεται ο χρήστης και από το αν κινείται. Για παράδειγμα ένας κινούμενος χρήστης σε αγροτική περιοχή μπορεί να έχει ρυθμό μετάδοσης 144 kbits/sec ενώ ένας ακίνητος χρήστης ή χρήστης σε εσωτερικό περιβάλλον μπορεί να έχει ελάχιστο ρυθμό τα 2048 kbits/s [3,10]. Στο HSPA πρότυπο οι ταχύτητες φτάνουν μέχρι τα 14 Mbits/sec για την downlink ζεύξη και 5.8 Mbits/sec για την uplink. Γενικά τα δίκτυα 3ης γενιάς έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με την προηγούμενη γενιά δικτύων, κυρίως όσο αφορά τα σχήματα διαμόρφωσης και την κωδικοποίηση. [11]

Μια άλλη οικογένεια των δικτύων 3ης γενιάς που αναπτύχθηκε από την 3GPP2 είναι το CDMA2000 και πιο συγκεκριμένα το EVDO (Evolution-Data Optimized). Χρησιμοποιείται κυρίως στη Β. Αμερική και την Ν. Κορέα με κανάλια εύρους 1.25MHz όπως και το cdmaOne. Και σε αυτό το πρότυπο χρησιμοποιείται διαμόρφωση CDMA, όπως επίσης και TDMA με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η διεκπαιρευτική ικανότητα (throughput) των χρηστών αλλά και του συνολικού συστήματος [12]. Είναι θεμιτό να αναφερθεί ότι τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται από τις περισσότερες εταιρίες τηλεπικοινωνιών σε όλο τον κόσμο είναι αυτά της 3GPP και συγκεκριμένα τα GSM/GPRS/UMTS(WCDMA).

Στο παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα πρότυπα των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών κάθε γενιάς.



Εικόνα 1.4 - Τα πρότυπα ανά γενιά δικτύων

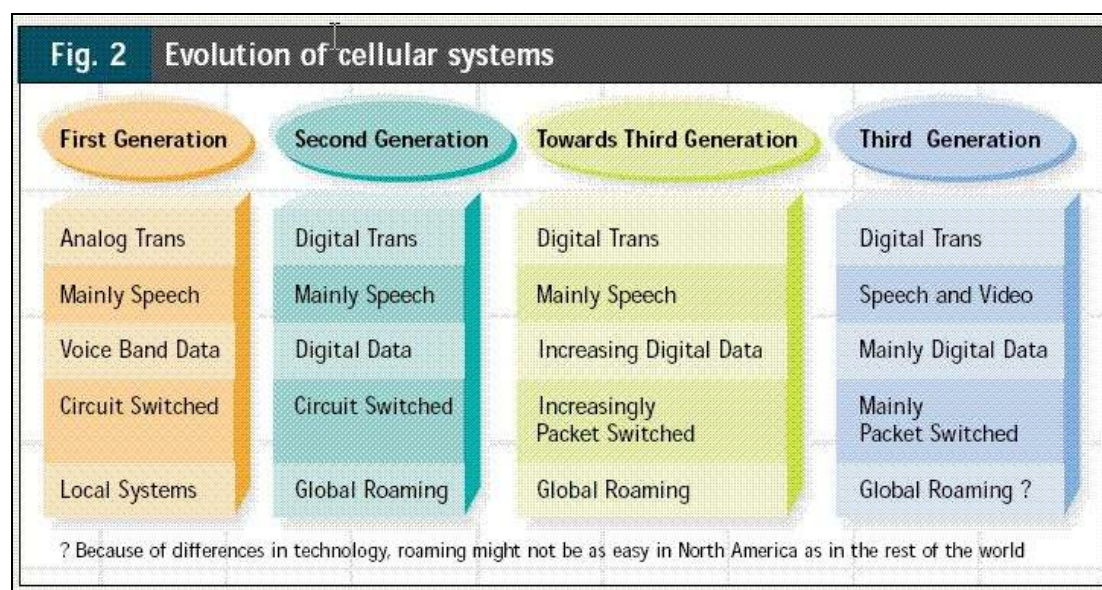
1.6.1) Χαρακτηριστικά των δικτύων 3G

Τα δίκτυα 3G προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με τα δίκτυα προηγούμενων γενιών, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αφήνεται στον εξοπλισμό του χρήστη να πιστοποιήσει την αυθεντικότητα του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολυπλοκότερα σχήματα χωρίς να επιβαρύνουν περαιτέρω το δίκτυο.

Επιπλέον ένα από τα πλεονεκτήματα των δικτύων 3G είναι η ευελιξία (flexibility) που παρέχουν. Με τη διαρκή εξέλιξη στην τεχνολογία των συσκευών και των εφαρμογών κινητών, θα γινόταν εξαιρετικά δύσκολο και θα απαιτούσε πολλαπλά interfaces και τεχνολογίες η ενοποίησή τους σε ένα δίκτυο. Αυτό το πρόβλημα έχει απευχθεί χάρη στην εξάπλωση ενός ενιαίου προτύπου (IMT-2000) που παρέχει ένα αρκετά εύελικτο σύστημα με δυνατότητες πολλών εφαρμογών και υπηρεσιών. Το 3G

δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες για συνομιλία και μεταφορά δεδομένων ταυτόχρονα. Σαν επιπρόσθετο χαρακτηριστικό τα συστήματα αυτά είναι αρκετά προσιτά στους χρήστες και είναι συμβατά με τις υπάρχουσες αλλά και τις προηγούμενες τεχνολογίες (2G) έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα συνύπαρξης ή ασυμβατότητας. Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι έχει προβλεφθεί δυνατότητα εξέλιξης των υπαρχόντων συστημάτων έτσι ώστε να καλύπτουν την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση σε χρήστες και υπηρεσίες. Απώτερος στόχος με τη χρήση των δικτύων της τρίτης γενιάς είναι η ομαλή μετάβαση στα δίκτυα 4ης γενιάς (4G). [13]

Η σημαντική αυτή εξέλιξη στις κινητές τηλεπικοινωνίες έδωσε το έναυσμα για πάρα πολλές καινοτομίες στον τομέα αυτό. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης και οι ρυθμοί μετάδοσης οδήγησαν τη ποιότητα υπηρεσίας (QoS, **Quality of Service**) στα μεγαλύτερα δυνατά επίπεδα και τις εταιρίες λογισμικού και παροχής υπηρεσιών σε συνεχόμενη διεύρυνση. Οι εταιρίες κατασκευής κινητών τηλεφώνων δεδομένου των δυνατοτήτων που τους δίνει τον δίκτυο, ανέπτυξαν μια νέα γενιά κινητών τηλεφώνων με πάρα πολλές δυνατότητες τα λεγόμενα «έξυπνα» τηλέφωνα (smart phones). Τα «έξυπνα» τηλέφωνα εκμεταλλεύονται στο έπακρο το δίκτυο και κάνουν πραγματικότητα τις βίντεο-κλήσεις, video-on-demand, πλοήγηση, "always on" internet και πολλά άλλα. Στο παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η εξέλιξη των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών.



Εικόνα 1.5 - Η εξέλιξη των δικτύων

1.7) Τα μελλοντικά δίκτυα

Παρόλη την επιτυχία των δικτύων τρίτης γενιάς οι «ανάγκες» των χρηστών αυξάνονται δραματικά χρόνο με το χρόνο. Ήδη από το 2006 έχει αρχίσει από κάποιες εταιρίες η μελέτη για την ανάπτυξη δικτύων 4ης γενιάς ενώ ακόμα δεν είχε διαδοθεί σε όλες τις χώρες το 3G. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2010 υπήρχαν περίπου 4.8 δισεκατομμύρια συσκευές κινητής τηλεφωνίας ενώ η κίνηση δεδομένων στις γραμμές υπερδιπλασιάζεται κάθε χρόνο. Ο αριθμός αυτός επαληθεύει την ανάγκη για καλύτερευση των δικτύων και μεταπήδηση στην επόμενη γενιά. [14]

Τα δίκτυα 4ης γενιάς (4G) αποτελούν το μέλλον των κινητών επικοινωνιών. Βέβαια βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό και ερευνητικό στάδιο δηλαδή δεν έχουν εισαχθεί ακόμη στην αγορά, ωστόσο είναι γνωστά κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματά τους και τις υπηρεσίες τους. Η ITU έχει θέσει τα πρότυπα (standards) για την τεχνολογία αυτή. Κάποιες προσπάθειες που έγιναν από κάποιους φορείς, όπως η ανάπτυξη των Mobile WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access-IEEE 802.16m) από την IEEE που αποτελεί επέκταση του IEEE 802.16e και του LTE από την 3GPP ήταν πολύ καλύτερες από την προηγούμενη γενιά και για τον λόγο αυτό θεωρούνται οι προκάτοχοι των δικτύων 4G.

Για να θεωρηθεί ένα δίκτυο ότι είναι δίκτυο «4ης γενιάς» ή όπως επίσης αναφέρεται ως IMT-advanced, η ITU θέτει ως κατώφλι για τον ρυθμό μετάδοσης τα 100Mbit/s για κινούμενους χρήστες σε μεγάλες ταχύτητες ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης πρέπει να φτάνουν το 1Gbit/s για σταθερούς χρήστες [15]. Επιπλέον τα δίκτυα αυτά βασίζονται αποκλειστικά στο πρωτόκολλο IP και στην μεταγωγή πακέτου. Λόγω της ταχείας αυξανόμενης ζήτησης είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιηθεί η 6η έκδοση του IP (IPv6) αντί για την 4η. Θα πρέπει επίσης να υπάρχει «συνδεσιμότητα» και roaming μεταξύ των δικτύων ανά τον κόσμο καθώς και υποστήριξη των νέων πολυμεσικών εφαρμογών όπως HD (High Definition) video και multiplayer gaming. Τέλος τα δίκτυα 4ης γενιάς θα πρέπει να είναι συμβατά με τα υπάρχοντα δίκτυα αλλά και εύκολα επεκτάσιμα για μελλοντικά δίκτυα και εφαρμογές. [16]

Συγκεκριμένα το WiMax προτάθηκε από την IEEE με κύριο σκοπό να βελτιώσει τις υπάρχουσες τεχνολογίες όσον αφορά:

- τους ρυθμούς μετάδοσης,
- της ακτίνας κάλυψης των χρηστών,
- την ποιότητα των υπηρεσιών
- την ασφάλεια
- την κινητικότητα των χρηστών (τα handoff) καθώς και
- για να επιτευχθεί καλύτερη διαχείριση του φάσματος.

Σαν τεχνολογία πρόσβασης στον τηλεπικοινωνιακό δίαυλο χρησιμοποιείται η OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη, ενώ στη περίπτωση αμφίδρομου (duplex) καναλιού χρησιμοποιείται κυρίως TDD, ωστόσο όμως οι νεότερες εκδόσεις καλύπτουν και FDD. Με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής επιτυγχάνεται βελτίωση για το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath propagation) σε non-line-of-sight περιοχές και μειώνει τις παρεμβολές [17]. Ο όρος πολυδιαδρομική διάδοση (multipath propagation) χρησιμοποιείται όταν εξαιτίας ανακλάσεων και σκεδάσεων το σήμα που αποστέλλεται από τον πομπό φθάνει στο δέκτη σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, λόγω των διαφορετικών δρόμων που διανύουν και συμβάλλουν με αυτό τον τρόπο είτε προσθετικά είτε αρνητικά αλλοιώνοντας το αρχικό σήμα.

Ενδεικτικά είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το WiMax υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 12 Mbit/s και διαχειρίζεται καλύτερα την ενέργεια σε σύγκριση με τα 3G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση μικρότερου αριθμού ενισχυτών και κεραιών. Μειώνεται με αυτό τον τρόπο σημαντικά το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός τέτοιου δικτύου [18]. Τέλος είναι θεμιτό να γίνει αναφορά στο ότι έχει ήδη ξεκινήσει ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του WiMax 2 το οποίο θα βελτιώσει περαιτέρω τις επιδόσεις του WiMax και θα φτάσει ακόμα πιο κοντά στις απαιτήσεις των χρηστών για την ποιότητα υπηρεσιών αλλά και της ITU για το IMT-advanced. Τα κύρια χαρακτηριστικά του νέου αυτού προτύπου είναι ότι

οι ρυθμοί μετάδοσης θα ξεπερνούν τα 300 Mbits/s, η καθυστέρηση (latency) μειώνεται και ταυτόχρονα μεγαλώνει η χωρητικότητα, εξυπηρετώντας με αυτό τον τρόπο καλύτερα εφαρμογές VoIP. [19]

Το LTE-advanced προτάθηκε από την 3GPP με στόχο να επεκτείνει το UMTS και να ικανοποιήσει τις προϋποθέσεις που έχει θέσει η ITU για το IMT-advanced. Βρίσκεται ακόμα σε αρχικά στάδια και αναμένεται εντός ολίγου καιρού να εισαχθεί στη αγορά. Το πρότυπο αυτό αναμένεται να είναι συμβατό με το απλό LTE και μάλιστα να χρησιμοποιεί το ίδιο φάσμα συχνοτήτων με αυτό. Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας είναι η ευελιξία που παρέχεται όσο αφορά το φάσμα που καταλαμβάνεται επιτρέποντας έτσι την καλύτερη διαχείριση του φάσματος και την απόδοση εύρους ζώνης μέχρι 100MHz. Τα τρία κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής είναι:

- Τεχνική πρόσβασης OFDMA για την κάτω ζεύξη
- Τεχνική πρόσβασης SC-FDMA για την άνω ζεύξη
- Τεχνικές MIMO

Το LTE σύμφωνα με τα παραπάνω υποστηρίζει τεχνικές MIMO με μετάδοση μέχρι οκτώ στρωμάτων στην κάτω ζεύξη και τεσσάρων στην άνω. Το ιδιαίτερο πλεονέκτημά του είναι ότι επιτρέπει συνεργατική μετάδοση από πολλαπλές κεραιές με το οποίο χωρίζεται η ροή δεδομένων σε πολλαπλές ροές οι οποίες στέλνονται στο ίδιο κανάλι ταυτόχρονα. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνεται μείωση των παρεμβολών και της πολυδιαδρομικής διάδοσης καθώς και η βελτίωση της διεκπαιρευτικής ικανότητας (throughput) και της επάρκειας φάσματος (spectral efficiency) [20]. Επιπλέον χρησιμοποιεί αναμεταδότες Relay-Nodes για να βελτιωθεί η κάλυψη.[21]

Όσον αφορά την ασύρματη διεπαφή (air interface) για την πρόσβαση στον δίαυλο το LTE-advanced χρησιμοποιεί επίσης OFDMA αλλά μόνο για την κάτω ζεύξη (downlink). Για την άνω ζεύξη έχει προτιμηθεί η τεχνική SC-FDMA (Single Carrier-FDMA) καθώς προσφέρεται για χαμηλή κατανάλωση ισχύος (low-power consumption) στον εξοπλισμό του χρήστη [20]. Το LTE-advanced αναμένεται να επεκτείνει το υπάρχον LTE με δεδομένο ότι θα είναι δηλαδή συμβατό προς τα πίσω και μάλιστα θα χρησιμοποιεί το ίδιο φάσμα συχνοτήτων με αυτό κάνοντας πιο εύκολη και οικονομική την μετάβαση αυτή. [14]

Συμπερασματικά όσον αφορά τις τεχνολογίες πρόσβασης, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερα (CDMA, FDMA και TDMA) είτε εγκαταλείπονται είτε χρησιμοποιούνται περιορισμένα και την θέση τους παίρνει η τεχνολογία OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) που επιτρέπει μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης και αποτρέπει τις παρεμβολές. Σε συνδυασμό επιπλέον με τη τεχνική OFDM για μετάδοση που επιτρέπει την μετάδοση δύο σημάτων σε ένα κανάλι, διπλασιάζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Επιπλέον με τα δίκτυα 4ης γενιάς επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς χαμηλό κόστος εξοπλισμού. [18]

Τα δίκτυα αυτά θα είναι εξ ολοκλήρου βασισμένα στο πρωτόκολλο IP με μεταγωγή πακέτου, κάτι σαφώς καινοτόμο αφού είναι η πρώτη φορά που ακολουθείται αυτού του είδους η μεταγωγή αποκλειστικά (είχε αρχίσει η χρησιμοποίηση της από τα δίκτυα 2.5G σε συνδυασμό ωστόσο με την μεταγωγή κυκλώματος). Η μεταγωγή πακέτου σε αντίθεση με την μεταγωγή κυκλώματος δεν απαιτεί την εγκατάσταση σύνδεσης από άκρη σε άκρη του δικτύου και προωθεί τα πακέτα (στην περίπτωση μας) διαβάζοντας την επικεφαλίδα IP. Για να γίνει αυτό φυσικά θα πρέπει οποιαδήποτε δεδομένα και πληροφορίες θέλει να στείλει ο χρήστης, να ψηφιοποιηθούν και να χωριστούν σε μικρά πακέτα IP όπου σε κάθε ένα θα

ενσωματώνεται μια επικεφαλίδα η οποία θα περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον προορισμό, τον αριθμό του πακέτου κ.α. Παρόλα αυτά πρέπει να τονιστεί ότι το WiMax και το LTE δεν ανταποκρίνονται στα κριτήρια που έχει θέσει η ITU για τα δίκτυα 4ης γενιάς. Το WiMax 2 και το LTE-advanced σχεδιάζονται ώστε να ικανοποιήσουν ή ακόμα και να ξεπεράσουν αυτά τα κριτήρια. Πάντως σε σύγκριση με τα δίκτυα τρίτης γενιάς, τα δίκτυα τέταρτης γενιάς μπορούν να παρέχουν σχεδόν 100 φορές παραπάνω ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας. [16]

Σημαντικές μελέτες έχουν λάβει χώρα με σκοπό να μειώσουν και να ομαλοποιήσουν τα handoffs των χρηστών. Η μεγάλη πρόκληση είναι να μειωθεί η καθυστέρηση μεταπομπής (handoff latency), η απώλεια πακέτων καθώς και να μην χάνεται η κλήση [22]. Έχουν προταθεί και εξετάζονται διάφοροι αλγόριθμοι και τεχνικές για τον σκοπό αυτό [23, 24]. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυναμική ανάθεση πόρων με σκοπό τη βελτίωσης της χρησιμοποίησης του δικτύου αλλά και την εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων χρηστών. Με την δυναμική ανάθεση πόρων στο δίκτυο θα υπάρχει καλύτερη διαχείριση του δικτύου προς όφελος των χρηστών και της ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που τους προσφέρεται. Για παράδειγμα μία κυψέλη με πολλούς χρήστες σε ώρες αιχμής θα μπορεί να «δανείζεται» συχνότητες από το δίκτυο ή τις γειτονικές κυψέλες ή επίσης και να «δανείζει» συχνότητες σε άλλο Σταθμό Βάσης σε περιπτώσεις μεταπομπών. [2]

1.8) Παράρτημα Α

1.8.1) Μεταγωγή Πακέτου vs Μεταγωγή Κυκλώματος

Υπάρχουν δύο τρόποι ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ δύο χρηστών. Ο ένας είναι η μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching) και ο άλλος είναι η μεταγωγή πακέτου (packet switching). Η μεταγωγή κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε κυρίως στα πρώτα δίκτυα πρώτης και δεύτερης γενιάς (1G και 2G) για τηλεφωνικές συνομιλίες και ανταλλαγή δεδομένων.

Η μεταγωγή κυκλώματος απαιτεί πριν την έναρξη της κλήσης την εγκατάσταση κυκλώματος από άκρο σε άκρο στο δίκτυο και αποτελεί μέθοδος προσανατολισμένη σε σύνδεση. Κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης, του νοητού αυτού κυκλώματος δεσμεύονται οι απαιτούμενοι πόροι για την πραγματοποίηση της κλήσης. Συγκεκριμένα δίνεται μία χρονοσχισμή (time slot) σε κάθε χρήστη η οποία χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων. Στην συνέχεια γίνεται ανταλλαγή πληροφοριών και απόλυση της σύνδεσης στο τέλος. Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει την ποιότητα των υπηρεσιών αφού οι πόροι του δικτύου δεσμεύονται εκ των προτέρων και τη διατήρηση της σωστής σειράς των δεδομένων. Παρόλα αυτά με την μέθοδο αυτή υπάρχει κατασπατάληση των πόρων του δικτύου αφού οι χρονοθυρίδες δεσμεύονται είτε υπάρχουν δεδομένα προς αποστολή είτε όχι. Έτσι μειώνεται σημαντικά η χρησιμοποίηση του δικτύου και για τον λόγο αυτό η μεταγωγή κυκλώματος δεν χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου στις επόμενες γενιές δικτύων (2.5G 3G 4G).

Η μεταγωγή πακέτου από την άλλη δεν απαιτεί την εγκατάσταση κυκλώματος και την δέσμευση πόρων στο δίκτυο. Αντίθετα τεμαχίζει τα πακέτα σε μικρότερα και τους προσθέτει μια επικεφαλίδα όπου αναγράφονται μεταξύ άλλων ο προορισμός (σε επίπεδο IP) και ο αριθμός του πακέτου (για την επανένωση των πακέτων στον προορισμό). Τα πακέτα προωθούνται στο δίκτυο από κάθε κόμβο με βάση την επικεφαλίδα τους και μπορούν να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές. Με την μέθοδο αυτή εξασφαλίζουμε την μεγαλύτερη χρησιμοποίηση (utilization) του δικτύου καθώς και την δυνατότητα πολυπλεξίας πολλών διαφορετικών ρυθμών μετάδοσης (ή ακόμα και δυνατότητα μέγιστου ρυθμού μετάδοσης) ανάλογα με την γραμμή. Επίσης η απόρριψη κλήσεων δεν υφίσταται στην μέθοδο αυτή σε αντίθεση με την μεταγωγή κυκλώματος (όταν όλες οι χρονοθυρίδες είναι κατειλημμένες). Η μεταγωγή πακέτου όπως προαναφέρθηκε έκανε την εμφάνιση της με την τεχνολογία GPRS (2.5G) και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα προσφέροντας τα οφέλη της στα δίκτυα. [25]

1.8.2) Διαμορφώσεις Σημάτων

Σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι απαραίτητο να υπάρχουν οι κατάλληλες διαμορφώσεις για πολλαπλή πρόσβαση στα κανάλια έτσι ώστε να έχουν πρόσβαση πολλοί χρήστες και να υπάρχει καλύτερη διαχείριση του φάσματος. Όσο αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου (σε αριθμό χρηστών) τόσο μειώνεται η πιθανότητα απόρριψης κλήσης και κατά συνέπεια βελτιστοποιείται η ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την πρόσβαση στα τηλεπικοινωνιακά κανάλια ωστόσο παρακάτω γίνεται περιγραφή των τεσσάρων κυριοτέρων [26]:

FDMA: Είναι η πρώτη και πιο απλή μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε και βασίστηκε στον διαχωρισμό συχνότητας. Καθώς ο χρήστης εισέρχεται στο σύστημα κάνοντας μια κλήση το δίκτυο του παραχωρεί μια συχνότητα (το συνολικό φάσμα χωρίζεται σε μικρότερα τα οποία και παραχωρούνται στους χρήστες). Κάθε χρήστης καταλαμβάνει μια διαφορετική συχνότητα. Το σύστημα περιορίζεται από τον αριθμό των χρηστών, καθώς υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός συχνοτήτων που μπορούν να παραχωρηθούν. Όλα τα αναλογικά συστήματα χρησιμοποίησαν FDMA.

TDMA: Επινοήθηκε με τον ερχομό των ψηφιακών συστημάτων και βασίζεται στον διαχωρισμό χρόνου. Πιο συγκεκριμένα στους χρήστες ανατίθενται χρονοθυρίδες ή χρονοσχισμές (timeslots). Η πληροφορία χωρίζεται σε μικρότερα κομμάτια και στέλνεται σε κάθε χρονοθυρίδα. Η ψηφιοποίηση της φωνής, έδωσε την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το TDMA. Η μικρή καθυστέρηση που υπάρχει ανάμεσα στα χρονοσχισμές δεν γίνεται αντιληπτή στον παραλήπτη. Κάθε χρήστης λοιπόν καταλαμβάνει μια διαφορετική χρονοσχισμή όπου μπορεί να στέλνει ή να δέχεται δεδομένα. Το σύστημα περιορίζεται και πάλι καθώς διατίθεται συγκεκριμένος αριθμός χρονοσχισμών.

CDMA: Αποτελεί μεταγενέστερη τεχνική πρόσβασης και βασίζεται σε «κωδικούς». Σύμφωνα με την τεχνική αυτή κάθε ομάδα συνομιλίας έχει ένα κωδικό. Οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο κανάλι αλλά στέλνουν τα μηνύματα τους με ένα συγκεκριμένο κωδικό (code) ο οποίος τους δίνεται από το σταθμό βάσης. Πιο συγκεκριμένα όταν παράγεται μια DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) η προς μετάδοση πληροφορία πολλαπλασιάζεται με αυτόν τον κωδικό. Με τον τρόπο αυτό το εύρος ζώνης μετάδοσης αυξάνεται. Ο παραλήπτης αντίστοιχα παραλαμβάνει μόνο τα μηνύματα με το συγκεκριμένο κωδικό που περιμένει και τα άλλα τα μηνύματα που μπορεί να φτάνουν σε αυτόν τα απορρίπτει. Με τον τρόπο αυτό πολλοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο κανάλι (ίδια συχνότητα) και να μην παρεμβάλλουν μεταξύ τους.

OFDMA: Με την μελέτη και ανάπτυξη των δικτύων 4ης γενιάς προτάθηκε και η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης OFDMA η οποία βασίζεται στην OFDM, η οποία είναι μέθοδος διαμόρφωσης του σήματος και όχι πρόσβασης. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική διαμόρφωσης τα φέροντα ενός σήματος μπορούν να είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, όσο αφορά τη συχνότητα αλλά να μην παρεμβάλλουν αρκεί να είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Έτσι στην OFDMA αποδίδεται σε κάθε χρήστη ένα ζεύγος από αυτά τα ορθογώνια φέροντα για να μεταδώσει πληροφορία στην άνω ζεύξη.

Οι προαναφερθείσες τεχνικές πρόσβασης αποτελούν τις βασικότερες εκδοχές ωστόσο έχουν προκύψει και άλλες που είναι βασισμένες σε αυτές όπως είναι για παράδειγμα η SC-FDMA. Τέλος να αναφερθεί ότι σε πολλά συστήματα τηλεπικοινωνιών δεν χρησιμοποιείται αποκλειστικά μία από τις παραπάνω διαμορφώσεις αλλά και συνδυασμός τους. Για παράδειγμα μπορεί να γίνει χρήση των τεχνικών TDMA και FDMA με σκοπό την καλύτερη διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος αλλά και την εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων χρηστών.

1.8.3) TDD, FDD

Με τον όρο duplex στις τηλεπικοινωνίες εννοούμε τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ 2 τερματικών σταθμών. Η επικοινωνία αυτή μπορεί είτε να είναι half-duplex είτε full-duplex. Στην πρώτη περίπτωση δεν υπάρχει ουσιαστικά αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των τερματικών σταθμών. Δηλαδή υπάρχει ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας και χρησιμοποιείται μια από τον ένα σταθμό και μια από τον άλλο. Έτσι επιτυγχάνεται ένας ασύγχρονος τρόπος επικοινωνίας με δυνατότητα επικοινωνίας και προς τις δύο κατευθύνσεις αλλά μόνο μια κάθε φορά. Στα full-duplex συστήματα υπάρχει επίσης επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις με την διαφορά ότι με αυτή την τεχνική μπορούν τα τερματικά να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα ταυτόχρονα, όπως και γίνεται στις κινητές τηλεπικοινωνίες. Υπάρχουν δύο τεχνικές που αφορούν τα full-duplex συστήματα [27]:

Time-Division Duplexing (TDD): Σε αυτή την περίπτωση οι δύο χρήστες χρησιμοποιούν διαφορετικές χρονοθυρίδες για την μεταξύ τους επικοινωνία. Δηλαδή στέλνουν τα δεδομένα σε μια από τις χρονοθυρίδες που τους έχουν παραχωρηθεί και ακούνε σε κάποια άλλη. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου οφείλεται στην ασυμμετρία που υπάρχει στους ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ uplink και downlink ζεύξης. Χρησιμοποιείται ήδη στα πιο πολλά γνωστά δίκτυα όπως το UMTS και το WiMax.

Frequency-Division Duplexing (FDD): Στην περίπτωση αυτή ο πομπός και ο δέκτης μπορούν να επικοινωνούν ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας ο καθένας διαφορετική συχνότητα για την αποστολή δεδομένων. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου εμφανίζεται στα συμμετρικά δίκτυα, δηλαδή για δίκτυα με ίδιους ρυθμούς μετάδοσης στην άνω και τη κάτω ζεύξη, όπου η τεχνική TDD κατασπαταλά το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Χρησιμοποιείται στα συστήματα ADSL και VDSL αλλά και στο WiMax.

Βιβλιογραφία

- [1]. History of Telecommunication,
http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_telecommunication
- [2]. “Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, Αθ. Κανάτας, Φίλ.Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος
- [3]. History of Mobile Phone,
http://ieeemacau.eee.umac.mo/ieee_student/history%20of%20mobile%20phone.htm
- [4]. “Ενοποίηση Δεικτών Απόδοσης & Επιλογή Δικτύου Με την Υψηλότερη QoS Σε Δίκτυα 4ης Γενιάς”, Ουρανία Μαρκάκη, Δημήτρης Χαρίλας, 2006
- [5]. 1G - First Generation networks - Mobile Phone Directory, http://www.mobile-phone-directory.org/Technology/1G_-_First_Generation/
- [6]. http://en.wikipedia.org/wiki/2.75G#2.75G_28EDGE.29
- [7]. 2G - Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/2G>
- [8]. UMTS and 3G FAQ page, <http://www.umtsworld.com/umts/faq.htm>
- [9]. 3G Tutorial, UMTS overview,
<http://www.umtsworld.com/technology/overview.htm>
- [10]. W-CDMA (UMTS) - Wikipedia, the free encyclopedia,
<http://en.wikipedia.org/wiki/W-CDMA>
- [11]. Evolution-Data Optimized - Wikipedia, the free encyclopedia
<http://en.wikipedia.org/wiki/EVDO>
- [12]. 2.5G, <http://www.mobilein.com/2.5G.htm>
- [13]. 3G - Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/3G>
- [14]. Amit Kumar, Dr. Yunfei Liu, Dr. Jyotsna Sengupta, “LTE-Advanced and Mobile WiMAX: Meeting the IMT-Advanced specifications for 4G”, International Journal of Computer Science and Technology, IJCST Vol. 1, Issue 1, September 2010, Pages 7 - 10
- [15]. Masako Robertson, Howard Curtis, “Technology Snapshot: On the Path to 4G – Advances Toward Next-Generation Networks and Handsets in Japan and Korea”, 2008
- [16]. Sawn Morton, “4G networks: Know the basics before jumping on the bandwagon”, 2010
- [17]. “Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”, Prepared on Behalf of the WiMAX Forum, 2006
- [18]. Denise Pappalardo, “What you need to know about 4G”, NetworkWorld, 21 May 2007
- [19]. WiMAX 2 Collaboration Initiative (WCI),
http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/page/2009/12/wimax_2_collaboration_initiative_qa_april_12_2010.pdf
- [20]. K. N Shantha Kumar, Madhu Kata, Paruchuri Chaitanya, Dinesh Mukkollu , “LTE-Advanced: Future of Mobile Broadband”, TCA, September 2009
- [21]. ”, Amit Kumar, Dr. Yunfei Liu, Amit Wason, “LTE-Advanced: The Roadmap To 4G Mobile Wireless Networks”, Global Journal of Computer Science and Technology, Vol. 9, No 4, 2009
- [22]. Chunming Liu, Dr. Chi Zhou, “Challenges and Solutions for Handoff Issues in 4G Wireless Systems An Overview”, Second LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2004), Miami, Florida, USA, 2-4 June 2004

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- [23]. Prakash.S, C.B.Akki , Kashyap Dhruve “Handoff Management Architecture for 4G Networks over MIPv6”, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.10 No.2, February 2010, Pages 267 - 274
- [24]. Chi Sun, Enrique Stevens-Navarro, Vincent W.S. Wong, “A Constrained MDP-based Vertical Handoff Decision Algorithm for 4G Wireless Networks”, Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference, Beijing, 19-23 May 2008, Pages 2169 - 2174
- [25]. “Συστήματα Μεταγωγής Πληροφορίας”, Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, 2004
- [26]. Multiple Access Schemes for Cellular Technology :: Radio-Electronics.Com, http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular_concepts/multiple_access_schemes.php
- [27]. Duplex (telecommunications) - Wikipedia, the free encyclopedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_\(telecommunications\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_(telecommunications))

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ INTERNET OF THINGS (IOT)

2.1) IOT (Διαδίκτυο Αντικειμένων)

2.1.1) Εισαγωγή

Το IOT (Internet Of Things), το οποίο στα ελληνικά μεταφράζεται ως Διαδίκτυο των Αντικειμένων, μπορεί κάλλιστα να χαρακτηριστεί ως το Διαδίκτυο του Μέλλοντος (Future Internet). Από την πρώιμη εποχή της πρώτης επιτυχημένης μεταφοράς δεδομένων μεταξύ δύο υπολογιστών σε διαφορετικά δωμάτια, η άμεση εξέλιξη των πραγμάτων όριζε, την ιδεατή για την τότε εποχή, δικτύωση όλων των υπολογιστών (τερματικών) πάνε σε ένα κοινό Δίκτυο. Η ιδέα αυτή όσον αφορά τη σύνδεση (δικτύωση) των προσωπικών υπολογιστών του χρήστη και των υπολογιστικών συστημάτων (mainframes, servers) υλοποιείται εδώ και χρόνια με το ευρέως πλέον γνωστό Διαδίκτυο (Internet), το οποίο δεν είναι τίποτα άλλο από τη σύνδεση πολλών δικτύων υπολογιστών μεταξύ τους.

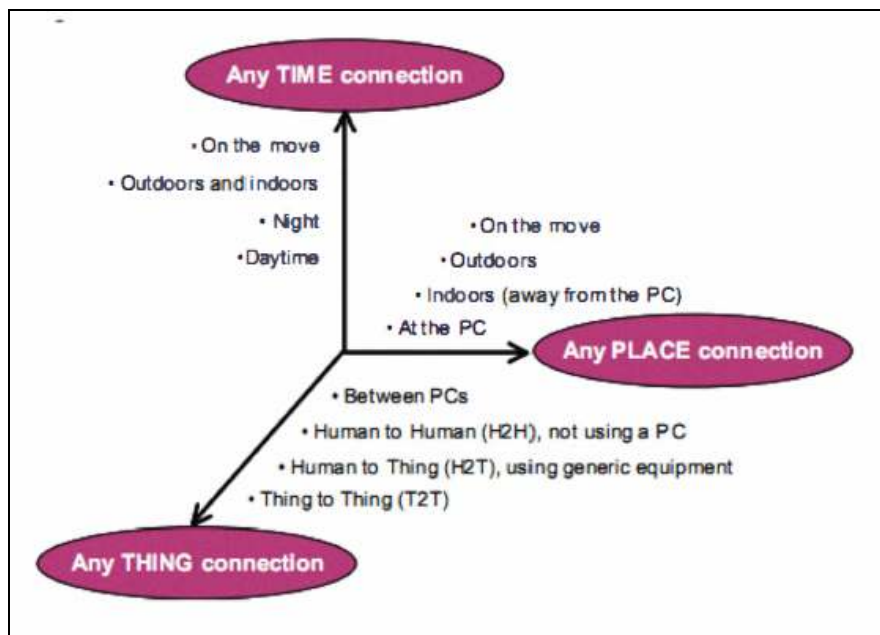
Η συνεχώς όμως αυξανόμενη ανάγκη επέκτασης της υπάρχουσας δικτύωσης τερματικών ώστε να υπάρξει παράλληλα και η προσφορά καλύτερων και αποδοτικότερων υπηρεσιών, έχει οδηγήσει στη μελέτη και ανάπτυξη συστημάτων και στη δημιουργία πρωτοκόλλων που να μπορούν να υποστηρίξουν μια βελτιωμένη ιδέα του Διαδικτύου. Ουσιαστικά ο πραγματικός στόχος είναι η διασύνδεση όλων των καθημερινών οικιακών ηλεκτρονικών συσκευών, όπως για παράδειγμα το πλυντήριο, το αυτοκίνητο, η τηλεόραση, σε ένα ευρύτερο δίκτυο, που για λόγους συνήθειας θα αποκαλείται Διαδίκτυο και στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.1, το Διαδίκτυο των αντικειμένων θα μπορούσε να οριστεί ως μια καινούρια διάσταση στη τεχνολογία των επικοινωνιών και της πληροφορίας, όπου οποτεδήποτε, οπουδήποτε και από οποιονδήποτε θα μπορεί να υπάρχει επικοινωνία και παροχή σύνδεσης στο Διαδίκτυο για οτιδήποτε [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η επέκταση αυτή του Διαδικτύου ώστε να μπορεί υποστηρίξει και άλλου είδους συσκευές, πέραν των προσωπικών υπολογιστών, στηρίζεται σε τεχνολογικά μέσα, όπως είναι η ηλεκτρονική ετικέτα (electronic tag), γνωστή επίσης και ως RFIDs (Radio Frequency IDentification), σε αισθητήρες ανίχνευσης (sensors) ή και τερματικά που μεταδίδουν φωνή με χρήση του πρωτοκόλλου IP (wireless VoIP (Voice over Internet Protocol) terminals). Τα παραπάνω αντικείμενα είναι φτηνά και παρασκευάζονται σε δισεκατομμύρια κομμάτια, πράγμα που μπορεί πολύ εύκολα να οδηγήσει στη τοποθέτησή τους σε κάθε συσκευή, κρατώντας παράλληλα χαμηλό το κόστος της νέας τεχνολογίας. Η ευρεία χρήση και διασύνδεση όλων των τερματικών στο διαδίκτυο, δε θα ήταν λάθος να χαρακτηριστεί, ως μία καινούρια πολιτισμική και τεχνολογική επανάσταση, που έχει πολλά κοινά με αυτήν που δημιούργησε το Διαδίκτυο στις αρχές της δεκαετίας του 90. [2]

Βέβαια το άμεσο ερώτημα που προκύπτει είναι πως μπορεί να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών, όταν οι ηλεκτρονικές συσκευές που παράγονται και χρησιμοποιούνται τη χρονική αυτή περίοδο, δεν έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Η απάντηση είναι πέρα για πέρα προφανής ταυτόχρονα όμως και δύσκολη στην υλοποίηση, δηλαδή απαιτείται επιπρόσθετα η δημιουργία μιας καινούριας αρχιτεκτονικής όπου το αντικείμενο να αποκτά την απαραίτητη «νοημοσύνη» για την επίτευξη της επικοινωνίας, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω.

Τέλος είναι θεμιτό να αναφερθεί ότι η υλοποίηση του IOT, με τη δημιουργία των κατάλληλων πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικών είναι ακόμη υπό έρευνα. Ωστόσο όμως δεν υπάρχει κοινά αποδεκτή λύση από την παγκόσμια κοινότητα και την ITU. Παρακάτω παρατίθενται οι πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, η θεωρητική προσέγγιση του διαδικτύου αντικειμένων, τα βασικά συστατικά στοιχεία που το απαρτίζουν, καθώς επίσης και οι απαιτούμενες λειτουργίες για την υλοποίηση της ιδέας της δικτύωσης όλων των αντικειμένων στο Διαδίκτυο. Επιπλέον παρουσιάζονται τα προβλήματα που δημιουργούνται από την ανάπτυξη και τη χρήση της καινούριας τεχνολογίας, όπως και οι λύσεις που έχουν βρεθεί. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κίνδυνοι και τα οφέλη από τη χρήση του Διαδικτύου Αντικειμένων όπως και παραδείγματα εφαρμογών που σχετίζονται άμεσα με τη χρήση του.



Εικόνα 2.1 - Διαστάσεις Διαδικτύου Αντικειμένων (IOT)

2.2) «Έξυπνες» Συσκευές / «Έξυπνα» Αντικείμενα

2.2.1) Δημιουργία «Έξυπνων» Συσκευών (Smart Things)

Για να γίνει αντιληπτός ο ορισμός του Διαδικτύου Αντικειμένων, πρέπει αρχικά να οριστεί το είδος των αντικειμένων/συσκευών που θα δικτυωθούν. Για τη δημιουργία των αντικειμένων όπως παρουσιάζεται και στη προηγούμενη παράγραφο χρησιμοποιείται η υπάρχουσα φτηνή και ευρέως γνωστή τεχνολογία (RFID tags, sensors, μικροεπεξεργαστές, κτλ). Παρακάτω δίδεται ο ορισμός των αντικειμένων που θα χρησιμοποιηθούν.

Τα **έξυπνα αντικείμενα** (smart objects) ή οι **έξυπνες συσκευές** δεν είναι απλά αισθητήρες ανίχνευσης (sensors), αλλά χρησιμοποιούν την απαραίτητη τεχνολογία (RFID tags, sensors, μικροεπεξεργαστές) ώστε να ανασχηματιστούν από συσκευές με μία λειτουργία, σε εργαλεία με τα οποία ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει και των οποίων η κύρια λειτουργία είναι να βοηθούν τους ανθρώπους στις καθημερινές τους ανάγκες. Ο χαρακτηρισμός των παραπάνω αντικειμένων με τον όρο «έξυπνα» δεν είναι τυχαίος και οφείλεται ακριβώς στη δυνατότητα τους και για την μεταξύ τους επικοινωνία αλλά και με τον εκάστοτε χρήστη.

Επομένως τα αντικείμενα αυτά δεν αποτελούν μόνο άλλη μια τεχνολογική συσκευή με βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά, αλλά η αλληλεπίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον είναι που αποδίδει στα έξυπνα αντικείμενα υβριδική φύση ή με άλλα λόγια μπορούν να θεωρηθούν ως μηχανές με δύο υποστάσεις, δηλαδή είναι οντότητες με φυσική αλλά και ψηφιακή μορφή.

2.2.2) Αισθητήρες RFID

Πριν γίνει αναφορά στις απαιτούμενες για τη δημιουργία των συσκευών, λειτουργίες, είναι καίριο να παρουσιαστεί, το βασικό συστατικό, η βασική δηλαδή τεχνολογία για τη υλοποίηση των έξυπνων συσκευών, που είναι οι αισθητήρες RFID (RFID sensors). Η τεχνολογία RFID (**R**adio **F**requency **I**dentification) χρησιμοποιείται για την αυτοματοποιημένη ανίχνευση αντικειμένων και ανθρώπων και είναι μια μετεξέλιξη του κλασικού γραμμωτού κώδικα (barcode). Μια συσκευή RFID, που επιπλέον ονομάζεται ετικέτα RFID (RFID tag), είναι ένας μικρός επεξεργαστής ο οποίος έχει σχεδιαστεί να μεταδίδει δεδομένα ασύρματα δεδομένα. Η στοιχειώδης λειτουργία του είναι να μεταδίδει δεδομένα (απαντήσεις) σε τυχόν ερωτήσεις από μία συσκευή ανάγνωσης (RFID Reader).

Οι ετικέτες RFID είναι τριών τύπων και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν διαθέτουν μπαταρία σαν πηγή ενέργειας ή όχι. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν οι παθητικές ετικέτες RFID (passive tags), οι οποίες έχουν μικρό μέγεθος και είναι χαμηλού κόστους. Δε διαθέτουν από τη κατασκευή τους κάποια πηγή ενέργειας, αλλά αντλούν την ενέργεια που χρειάζονται για την αποστολή των δεδομένων από το λαμβανόμενο σήμα που στέλνει η συσκευή ανάγνωσης. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι ετικέτες ή αισθητήρες RFID που διαθέτουν μπαταρίες. Αυτοί μπορεί να χωριστούν σε 2 υποκατηγορίες, τους ημι-παθητικούς αισθητήρες (semi-passive tags), οι οποίοι την ενέργεια από τη μπαταρία τους τη χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους σε περίπτωση ερώτησης από τη συσκευή ανάγνωσης, και τους ενεργητικούς (active tags), οι οποίοι χρησιμοποιούν την ενέργεια από τη μπαταρία τους για την αποστολή δεδομένων. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι ενεργοί αισθητήρες RFID έχουν εμβέλεια μεγαλύτερη από 100 m και είναι οι πιο ακριβοί από τους υπόλοιπους με

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

τιμές μεγαλύτερες των 20€. Τέλος στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζονται οι προαναφερόμενοι ανά κατηγορία RFID αισθητήρες. [3]



Εικόνα 2.2 - Αισθητήρες RFID

Δύο βασικά χαρακτηριστικά κάνουν τον αισθητήρα RFID κατάλληλο για την υλοποίηση του Διαδικτύου αντικειμένου (IOT). Το πρώτο είναι το κόστος του RFID αισθητήρα το οποίο στη κύρια μορφή ενός τύπου barcode RFID είναι λιγότερο από 0.13 αμερικάνικα δολάρια [3]. Το δεύτερο και συνάμα σημαντικότερο χαρακτηριστικό είναι το μέγεθος του. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τύπος μ -RFID έχει μέγεθος 0.4x0.4mm κάνοντας το κατάλληλο για τοποθέτηση σε κάθε είδους αντικείμενο. [4]

Επιπλέον παρουσιάζονται δύο βασικές λειτουργίες των αισθητήρων RFID που ενισχύουν την πεποίθηση της καταλληλότητας των αισθητήρων RFID για την σήμανση των αντικειμένων [3]:

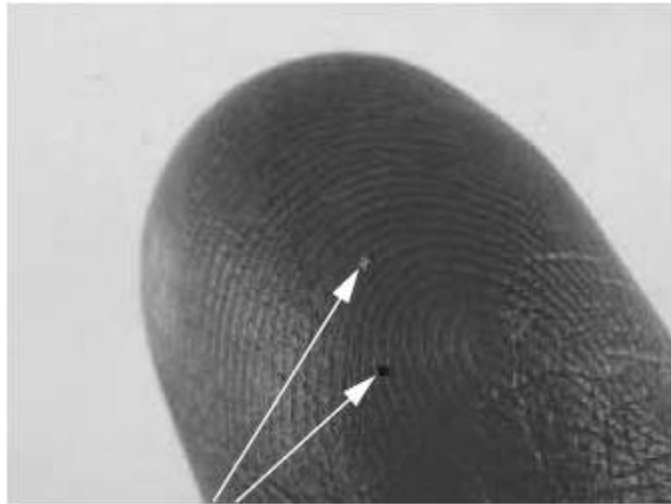
- **Μοναδικός τρόπος ανίχνευσης**

Σε σύγκριση με το κλασικό γραμμωτό κώδικα (barcode), ο αισθητήρας RFID εκτός από τη δήλωση του τύπου του αντικειμένου, εκπέμπει ένα μοναδικό σειριακό αριθμό, ο οποίος διακρίνει το αντικείμενο από τα χιλιάδες παρόμοια αντικείμενα. Επιπλέον για τη καλύτερη λειτουργία της αναγνώρισης, μια βάση δεδομένων μπορεί να περιέχει περισσότερες πληροφορίες για το εκάστοτε αντικείμενο.

- **Αυτοματοποίηση**

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανίχνευσης (barcode) χρειάζονται να υπάρχει οπτική επαφή με τη συσκευή ανάγνωσης του γραμμωτού κώδικα που είναι χαραγμένος στα αντικείμενα, όπως επίσης και στις περισσότερες περιπτώσεις ανθρώπινη παρέμβαση. Στη περίπτωση όμως της RFID ετικέτας όλες οι ανιχνεύσεις αντικειμένων γίνονται αυτόματα. Ως δείγμα της αυτοματοποίησης αναφέρεται ότι μια συσκευή ανάγνωσης μπορεί να σαρώσει 100 ετικέτες το δευτερόλεπτο.

Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται το μέγεθος δύο μ -RFID αισθητήρων. Όπως σημειώθηκε και παραπάνω παρατηρείται το πολύ μικρό μέγεθος των συγκεκριμένων αισθητήρων.



Εικόνα 2.3 - Αισθητήρες τύπου μ-RFID

2.2.3) Λειτουργίες «Εξυπνων» Συσκευών

Για να μπορέσουν οι έξυπνες συσκευές να επικοινωνήσουν μεταξύ τους αλλά και να αλληλεπιδράσουν με τον άνθρωπο οι παραπάνω συσκευές θα πρέπει από αρχιτεκτονικής πλευράς να χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω στοιχειώδεις λειτουργίες [5]:

- **Αντίληψη (Awareness)**

Η συγκεκριμένη λειτουργία αναφέρεται στη αναγκαία ικανότητα που πρέπει να έχουν τα έξυπνα αντικείμενα ώστε να μπορούν να ανιχνεύουν, να ερμηνεύουν, και να ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα από γεγονότα ή από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Γενικά να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον που βρίσκονται.

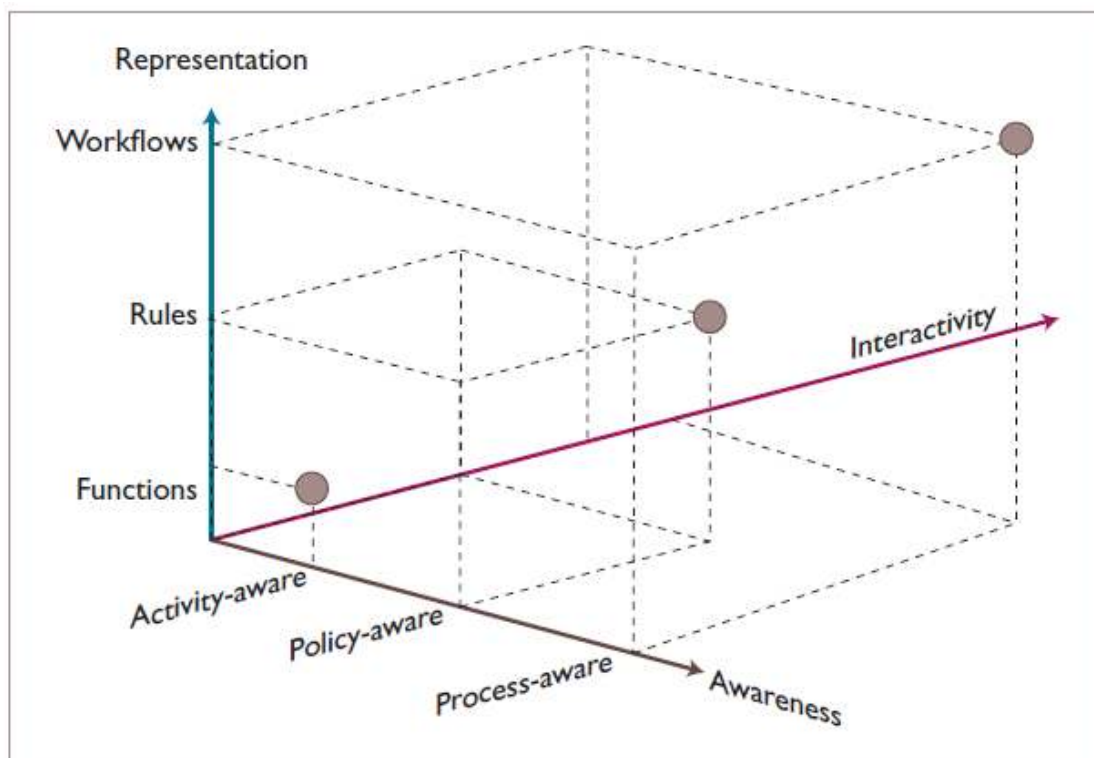
- **Απεικόνιση (Representation)**

Η λειτουργία της απεικόνισης αναφέρεται στα προγράμματα και τις εφαρμογές τα οποία υλοποιούνται από το υλικό της ηλεκτρονικής συσκευής.

- **Αλληλεπίδραση (Interaction)**

Τέλος, η λειτουργία της αλληλεπίδρασης δηλώνει την ικανότητα του αντικειμένου να αλληλεπιδρά με το χρήστη όσον αφορά την εισαγωγή δεδομένων και την παρουσίαση των ζητούμενων αποτελεσμάτων. Επιπλέον αναφέρεται και στη δημιουργία ροής ελέγχου της συσκευής, όπως και την ανάδραση (feedback) της συσκευής προς το χρήστη.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι παραπάνω τρεις στοιχειώδεις λειτουργίες σε ένα ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων.



Εικόνα 2.4 - Διαστάσεις «έξυπνων αντικειμένων»

Ο χωρισμός και η διάκριση μεταξύ των λειτουργιών οδηγεί σε μία δομημένη και εύκολη λύση για το σχεδιασμό «έξυπνων» αντικειμένων. Η κατάλληλη χρήση και ανάλυση των τριών λειτουργιών εξαρτάται από τις απαιτήσεις των εφαρμογών, έτσι ώστε να μπορούν να παρέχονται επιλογές και εναλλακτικές για κάθε περίπτωση. Συμπερασματικά δε θα ήταν ανούσιο να αναφερθεί ότι τα παραπάνω αντικείμενα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανθρωποκεντρικά, έχοντας όντας ως βασική τους αρχή την αλληλεπίδραση με τον άνθρωπο και την εξυπηρέτηση των απαιτούμενων αναγκών του.

2.2.4) Κατηγορίες «Έξυπνων» Συσκευών

Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.4, τα «έξυπνα» αντικείμενα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το είδος χρήσης τους, όσο αφορά την λειτουργία της ενημερότητας.

- Αντικείμενα Δραστηριότητας (Activity-Aware Smart Objects)
- Αντικείμενα Τακτικής ή Πολιτικής (Policy-Aware Smart Objects)
- Αντικείμενα Διαδικασίας (Process-Aware Smart Objects)

Οι λόγοι αυτού του διαχωρισμού προκύπτουν από τις διαφορετικές κάθε φορά ανάγκες για την υλοποίηση μιας εργασίας. Με αυτό τον τρόπο χρησιμοποιώντας αντικείμενα από τις παραπάνω κατηγορίες αντικειμένων δημιουργείται μια πληθώρα επιλογών για την αποτελεσματικότερη υλοποίηση της εργασίας. Στο παρακάτω

πίνακα (Εικόνα 2.5) καταγράφονται συνοπτικά οι κατηγορίες των αντικειμένων όπως και οι χαρακτηριστικές λειτουργίες που υλοποιούν. Στη συνέχεια της παραγράφου γίνεται ξεχωριστά ανάλυση για κάθε κατηγορία αντικειμένου.

	Awareness	Representation	Interaction
Activity-aware object	Activities and usage	Aggregation function	None
Policy-aware object	Domain-specific policies	Rules	Accumulated historical data, threshold warnings
Process-aware object	Work processes (that is, sequence and timing of activities and events)	Context-driven workflow model	Context-aware task guidance and alerts

Εικόνα 2.5 - Λειτουργίες «έξυπνων αντικειμένων»

2.2.4.1 Αντικείμενο Δραστηριότητας (Activity-Aware Smart Object)

Ένα αντικείμενο δραστηριότητας μπορεί να καταγράφει πληροφορίες σχετικές με δραστηριότητες και γεγονότα κάποιας εργασίας. Η κατηγορία των αντικειμένων αυτών είναι τα απλούστερα από τις τρεις κατηγορίες «έξυπνων» αντικειμένων και χρησιμοποιούνται καθημερινά, υποστηρίζοντας έτσι μια σειρά από ενδιαφέρουσες εφαρμογές. Τεχνικά τα αντικείμενα της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι αρμόδια για την ανάλυση της ροής δεδομένων που λαμβάνουν μέσω των αισθητήρων που διαθέτουν. Με χρήση αλγορίθμων αναγνώρισης επεξεργάζονται και εντοπίζουν τις δραστηριότητες και τα γεγονότα που καταγράφουν, ενώ στη συνέχεια εφαρμόζουν ένα σύνολο από ειδικές συναρτήσεις στα λαμβανόμενα δεδομένα.

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση των χαρακτηριστικών των αντικειμένων σε κάθε μία από τις τρεις βασικές λειτουργίες των «έξυπνων» αντικειμένων, όπως αυτές παρουσιάζονται στη παράγραφο (2.2.3).

- **Αντίληψη (Awareness)**

Ένα αντικείμενο αντιλαμβάνεται το εξωτερικό του περιβάλλον ως ροές δεδομένων από γεγονότα ή δραστηριότητες. Κάθε δραστηριότητα ή γεγονός σχετίζεται άμεσα με τη χρήση και την διαχείριση του αντικειμένου.

- **Απεικόνιση (Representation)**

Η λειτουργία της απεικόνισης για την συγκεκριμένη κατηγορία έξυπνων αντικειμένων αναφέρεται στην χρήση ενός συνόλου συναρτήσεων για την αναπαράσταση των καταγεγραμμένων γεγονότων ή δραστηριοτήτων.

- **Αλληλεπίδραση (Interaction)**

Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.4, η λειτουργία της αλληλεπίδρασης δεν παρέχεται στα συγκεκριμένα αντικείμενα αφού η βασική τους λειτουργία είναι η συλλογή και η καταχώρηση των λαμβανόμενων δεδομένων.

2.2.4.2) Αντικείμενα Πολιτικής (Policy-Aware Smart Objects)

Ένα αντικείμενο πολιτικής ή τακτικής είναι ένα αντικείμενο δραστηριότητας με το πρόσθετο χαρακτηριστικό ότι μπορεί να ερμηνεύει τα λαμβανόμενα γεγονότα και τις δραστηριότητες με σεβασμό στις προκαθορισμένες τακτικές ή πολιτικές οργάνωσης. Τεχνικά τα αντικείμενα της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι μια βελτιωμένη έκδοση των αντικειμένων δραστηριότητας, με το επιπρόσθετη ιδιότητα της ύπαρξης προεγκατεστημένου λογισμικού για τον έλεγχο της λαμβανόμενης ροής δεδομένων, ώστε να συμβαδίζει η χρήση του αντικειμένου με τις αρχές που έχουν θεσπιστεί. Επιπλέον τα αντικείμενα αυτά χαρακτηρίζονται και από την ύπαρξη αλληλεπίδρασης με το χρήστη, αφού εκτός από την καταγραφή και την ερμηνεία των ροών δεδομένων, παρέχουν συνεχή ενημέρωση στο χρήστη σχετικά με τα λαμβανόμενα δεδομένα.

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση των χαρακτηριστικών των αντικειμένων σε κάθε μία από τις τρεις βασικές λειτουργίες των «έξυπνων» αντικειμένων, όπως αυτές παρουσιάζονται στη παράγραφο (2.2.3).

- **Αντίληψη (Awareness)**

Ένα αντικείμενο πολιτικής αντιλαμβάνεται σε τι βαθμό οι δραστηριότητες και τα γεγονότα από το εξωτερικό του περιβάλλον συμμορφώνονται με τις προκαθορισμένες οργανωτικές αρχές και κανόνες.

- **Απεικόνιση (Representation)**

Η λειτουργία της απεικόνισης για την συγκεκριμένη κατηγορία έξυπνων αντικειμένων αναφέρεται στην χρήση ενός συνόλου κανόνων οι οποίοι ενεργούν στις λαμβανόμενες ροές δεδομένων των γεγονότων και των δραστηριοτήτων για την αναπαράσταση των καταγεγραμμένων γεγονότων ή δραστηριοτήτων.

- **Αλληλεπίδραση (Interaction)**

Η λειτουργία της αλληλεπίδρασης στα αντικείμενα τακτικής ορίζεται ώστε να παρέχεται από το αντικείμενο ευαίσθητες πληροφορίες σχετικές με το τρόπο χειρισμού των αντικειμένων και την επίδοση της εργασίας. Συγκεκριμένα δίνεται η δυνατότητα στο αντικείμενο να εκπέμπει προειδοποιητικά μηνύματα ή μηνύματα κινδύνου στη περίπτωση που υπάρχει παραβίαση των προκαθορισμένων αρχών.

2.2.4.3) Αντικείμενο Διαδικασίας (Process-Aware Smart Objects)

Δίνοντας τον ορισμό της έννοιας των διαδικασιών. Οι διαδικασίες είναι ένα σύνολο από σχετιζόμενες μεταξύ τους δραστηριότητες ή διεργασίες, οι οποίες ταξινομούνται ανάλογα με το χρόνο και το χώρο υλοποίησής τους. Τα αντικείμενα της συγκεκριμένης κατηγορίας υλοποιούν πολλές διεργασίες. Για αυτό το λόγο παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες αντικειμένων, καθώς σχετίζονται άμεσα με τη πληθώρα των εφαρμογών και των εργασιών που λαμβάνουν καθημερινά χώρα σε πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες. Τεχνικά τα αντικείμενα της κατηγορίας αυτής είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται τον ορθό τρόπο χρήσης του αντικειμένου σε διαφορετικά είδη εργασιών και ταυτόχρονα ποιες είναι οι επόμενες διεργασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για την υλοποίηση μια διαδικασίας.

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση των χαρακτηριστικών των αντικειμένων σε κάθε μία από τις τρεις βασικές λειτουργίες των «έξυπνων» αντικειμένων, όπως αυτές παρουσιάζονται στη παράγραφο (2.2.3).

- **Αντίληψη (Awareness)**

Ένα αντικείμενο διαδικασίας αντιλαμβάνεται τις οργανωτικές διαδικασίες οι οποίες αποτελούν μέρος και σχετίζονται άμεσα με την ύπαρξη των πραγματικών γεγονότων ή των δραστηριοτήτων.

- **Απεικόνιση (Representation)**

Η λειτουργία της απεικόνισης για την συγκεκριμένη κατηγορία έξυπνων αντικειμένων αναφέρεται σε ένα μοντέλο που περιλαμβάνει το απαιτούμενο περιβάλλον με τη ροή των απαραίτητων εργασιών και καθορίζει σαφώς το χρόνο και τη σειρά των εργασιών.

- **Αλληλεπίδραση (Interaction)**

Η λειτουργία της αλληλεπίδρασης εμφανίζεται στα συγκεκριμένα αντικείμενα με τη παροχή στους χρήστες των αντικειμένων, των αναγκαίων οδηγιών σχετικά με τις εργασίες που επιτελούνται, με τους χρονικούς περιορισμούς καθώς και με τις αποφάσεις που θα χρειαστεί να παρθούν.

2.2.5) Παράδειγμα «Έξυπνων» Αντικειμένων

Για την καλύτερη κατανόηση του παραπάνω διαχωρισμού των αντικειμένων σε κατηγορίες παρουσιάζεται ένα παράδειγμα υλοποίησης μιας εφαρμογής με χρήση τριών έξυπνων αντικειμένων αντίστοιχα σε κάθε μία από τις τρεις προαναφερθείσες κατηγορίες. Το συγκεκριμένο παράδειγμα αναφέρεται στη κατασκευή ενός δρόμου και παρουσιάζονται εργαλεία που γενικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διευκόλυνση και την ασφάλεια των εργασιών.

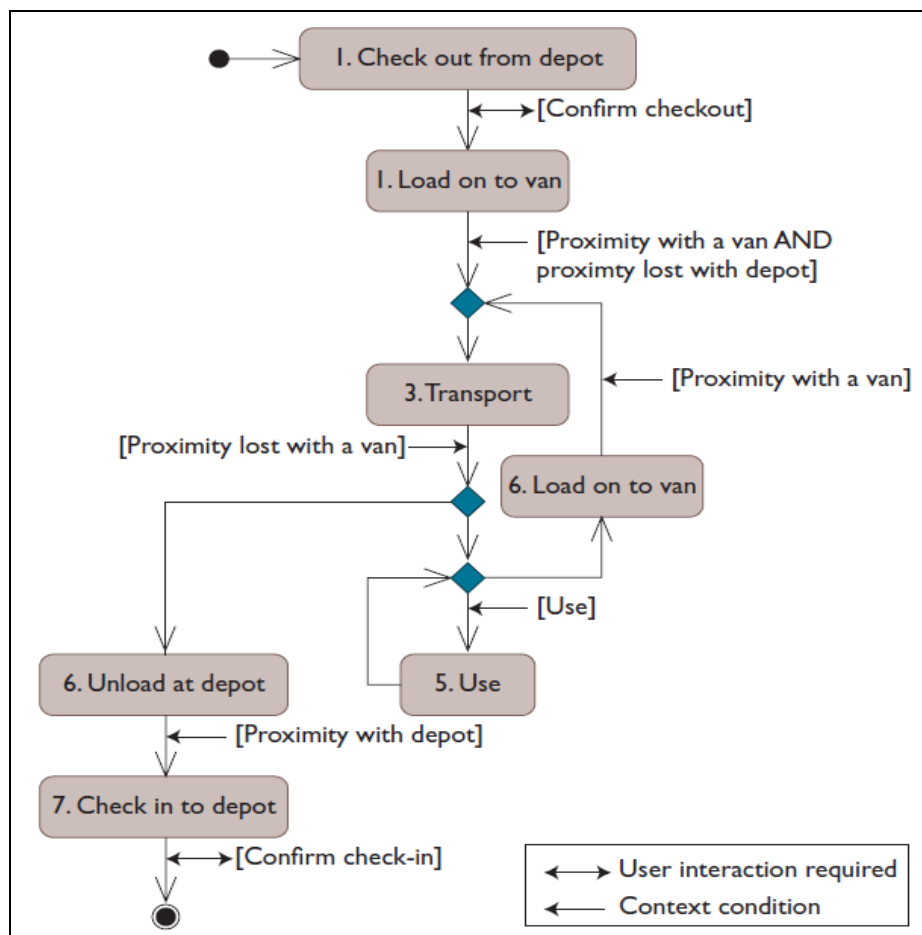
Το πρώτο αντικείμενο που μελετάται είναι μία συσκευή η οποία χρησιμοποιεί αισθητήρες για να συλλέγει και να καταγράφει δεδομένα σχετικά με την ώρα και τη διάρκεια χρήσης του συγκεκριμένου εργαλείου καθώς και τον τρόπο χρήσης του από τους εργαζόμενους. Η λειτουργία τους εργαλείου είναι να μετατρέπει τα λαμβανόμενα δεδομένα στο κόστος χρήσης του αντικειμένου. Επιπλέον το εργαλείο είναι σε θέση να ανιχνεύει τη τυχόν κακή χρήση του από τους εργάτες, όπως για παράδειγμα αν το αντικείμενο πέσει κάτω ή την τυχόν υπερθέρμανσή του, και αυτόματα να λαμβάνει την αναγκαία συντήρηση, προσθέτοντας ταυτόχρονα το κόστος επισκευής του αντικειμένου.

Τα περισσότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο κατασκευαστικό τομέα νοικιάζονται σύμφωνα με κάποιο συμβόλαιο και το κόστος ενοικίασης τους εξαρτάται από τη διάρκεια του συμβολαίου. Το πλεονέκτημα χρήσης του συγκεκριμένου εργαλείου δίνει την δυνατότητα στις κατασκευαστικές εταιρίες να μπορούν να πληρώνουν πλέον το αντικείμενο ανάλογα με τη χρήση του ενώ ταυτόχρονα οι εταιρίες ενοικίασης να μπορούν να ελέγχουν το κόστος σε πραγματικό χρόνο όσο και να επιβάλλουν επιπλέον κόστη για την μη ορθή χρήση του αντικειμένου. Όπως είναι προφανές από τις περιγραφόμενες λειτουργίες το αντικείμενο αυτό ανήκει στη κατηγορία των αντικειμένων δραστηριότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στη συνέχεια μελετώνται δύο συσκευές, οι οποίες ακολουθούν τις λειτουργίες των αντικειμένων πολιτικής. Το δεύτερο λοιπόν, αντικείμενο που μελετάται είναι ένα έξυπνο βαρέλι με προεγκατεστημένο λογισμικό κανόνων ασφαλούς αποθήκευσης επικίνδυνων χημικών. Ανάλογα με τη θερμοκρασία, τις δονήσεις και την σχετική απόσταση από το βαρέλι, ειδοποιεί τους εργάτες σχετικά με τυχόν παραβιάσεις ασφαλείας και τους προτείνει επιπλέον τις απαραίτητες και κατάλληλες κινήσεις που χρειάζονται για να γίνουν. Το τρίτο αντικείμενο που εξετάζεται αφορά μία συσκευή η οποία είναι σε θέση να παρακολουθεί και να ελέγχει την έκθεση των εργατών στις επικίνδυνες για την υγεία, δονήσεις από τη χρήση τρυπανιών. Τα δύο αυτά εργαλεία ως βασικό τους στόχο έχουν τη προστασία των εργαζομένων από την επαφή τους με επικίνδυνα χημικά υλικά, όπως και τη προστασία τους από τις επικίνδυνες δονήσεις ώστε να μην αναπτύξουν την ασθένεια **Vibration White Finger (VWF)**.

Για την ορθή λειτουργία των αντικειμένων είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός συνόλου από εργαλεία που να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται και να μετρούν την έκθεση των εργατών στις επικίνδυνες δονήσεις και να τις συγκρίνουν με τις καθορισμένες από τους κανονισμούς νόμιμες εκθέσεις. Με τη χρήση των εργαλείων αυτών εκτός από τη καταγραφή της έκθεσης των εργατών σε επικίνδυνες για την υγεία τους εργασίες, είναι δυνατή και η αποθήκευση των λαμβανόμενων δεδομένων για κάθε εργάτη ξεχωριστά. Δημιουργείται με αυτό το τρόπο ατομικός φάκελος για κάθε εργαζόμενο με δεδομένα τη διάρκεια και την έκθεση χρήσης επικίνδυνων συσκευών, ώστε να μπορούν και οι ίδιοι να προφυλάσσονται.



Εικόνα 2.6 - Διάγραμμα Ροής Αντικειμένου Δραστηριότητας

Το τέταρτο αντικείμενο που εξετάζεται ανήκει στην κατηγορία των αντικειμένων διαδικασίας. Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιείται και αυτό στην βιομηχανία και παρέχει στους εργαζομένους επικαιροποιημένες πληροφορίες σχετικά με τις απαιτούμενες δραστηριότητες. Για το προσδιορισμό της διαδικασίας που χρησιμοποιείται το αντικείμενο χρησιμοποιείται ένα διάγραμμα ροής εργασιών που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.6. Το συγκεκριμένο διάγραμμα παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις δραστηριότητες που πρέπει να γίνουν, αλλά και τη μετάβαση από τη μία δραστηριότητα στην άλλη. Επιπλέον είναι πλέον κατανοητή η αλληλεπίδραση που υπάρχει μεταξύ του αντικειμένου και του χρήστη καθώς για τη μετάβαση από τη μία δραστηριότητα στην άλλη, απαιτείται η συμβολή του χρήστη.

Το συγκεκριμένο αντικείμενο είναι ένα πολύ καλό εργαλείο για το λεπτομερή προγραμματισμό μιας σειράς δραστηριοτήτων που είναι απαραίτητες να γίνουν, για την υλοποίηση ενός έργου. Το αντικείμενο διαδικασίας είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται τον τρόπο με τον οποίο οι εργάτες θα το χρησιμοποιήσουν, αλλά και ποιες δραστηριότητες έχουν συνέχεια. Χρησιμοποιώντας ακριβώς αυτή την ιδιότητα μπορεί να παρέχει κατευθύνσεις σχετικά με τις εργασίες και τις διαδικασίες που πρέπει να γίνουν. Επιπλέον επειδή είναι δυνατή η αποθήκευση των προηγούμενων διαδικασιών, δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες του εργαλείου να κοιτάζουν προς τα πίσω τις προηγούμενες δραστηριότητες που έχουν λάβει χώρα, όπως επίσης και να ελέγξουν τις μελλοντικές δραστηριότητες. [5]

2.2.6) Τρόπος Επικοινωνίας των «Εξυπνων» Αντικειμένων

Όπως περιγράφηκε και στις προηγούμενες παραγράφους, η ουσία του Διαδικτύου Αντικειμένων (IOT) βρίσκεται στη διασύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών με το κοινό δίκτυο, με άλλα λόγια την επικοινωνία και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ηλεκτρικών συσκευών. Για να επιτευχθεί αυτή η αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων εφαρμόζεται η αρχιτεκτονική της σύνδεσης των τερματικών. Η θεωρητική προσέγγιση για την υλοποίηση της βασικής αυτής λειτουργίας προσπαθεί να μοντελοποιήσει και να ορίσει τη σύνδεση αυτή ως μία από μηχανή σε μηχανή επικοινωνία (Machine to Machine communication, M2M) που θα μπορούσε να ονομαστεί και μία από αντικείμενο σε αντικείμενο επικοινωνία (Thing to Thing Communication, T2T) [2, 6]. Στη πράξη δεν υπάρχει ακόμα κάποιος σταθερός, ασφαλής και αποδοτικός τρόπος επικοινωνίας των συσκευών μεταξύ τους, άλλα προτείνονται τα παραπάνω μοντέλα ως μια εξέλιξη της P2P (Peer-to-Peer) λογικής [5].

Η λογική της ομότιμης (P2P, peer-to-peer) ανταλλαγής δεδομένων βασίζεται σε ένα δίκτυο που επιτρέπει στους χρήστες του ισοδύναμα προνόμια αλλά και ταυτόχρονα ισοδύναμες υποχρεώσεις. Οι χρήστες που στο συγκεκριμένο δίκτυο ονομάζονται ισότιμοι (peers) μοιράζονται τους πόρους τους, όπως είναι η υπολογιστική ισχύς, ο αποθηκευτικός χώρος, η το εύρος ζώνης της σύνδεσής τους [7]. Το χαρακτηριστικό ενός τέτοιου δικτύου σε αντίθεση με το παραδοσιακό δίκτυο είναι ότι δεν υπάρχει η ανάγκη ύπαρξης κεντρικού συντονισμού από σταθερούς εξυπηρετητές, αφού οι χρήστες είναι ταυτόχρονα και καταναλωτές και πάροχοι πόρων [8]. Τα Peer-to-Peer δίκτυα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες [7, 9]:

- **Συγκεντρωτικά P2P δίκτυα (P2P δίκτυα πρώτης γενιάς)**

Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίζονται ως συγκεντρωτικά δίκτυα λόγω του τρόπου λειτουργίας τους, αν και είναι επίσης γνωστά ως δίκτυα πρώτης γενιάς. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ύπαρξη ενός κεντρικού εξυπηρετητή (Index Server) στον οποίο αποθηκεύονται οι πληροφορίες για τα περιεχόμενα των καταλόγων που οι συμμετέχοντες - χρήστες επιθυμούν να μοιράζονται. Οι χρήστες μπορούν να αναζητήσουν στους εξυπηρετητές αυτούς τα αρχεία που ψάχνουν, χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο πρόγραμμα - πελάτη. Όταν το αρχείο βρεθεί, ανοίγει μια σύνδεση μεταξύ των δύο χρηστών (αυτού που ψάχνει το αρχείο και αυτού που έχει το αρχείο) και ξεκινά η μεταφορά του. Η κατηγορία αυτή των δικτύων εγκαταλείφτηκε γρήγορα καθώς τα συστήματα αυτά είναι τρωτά σε επιθέσεις πλημμύρας (denial of service attack). Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν εφαρμογές διαμοιρασμού αρχείων όπως είναι το Napster, το DC++, το WinMX και πολλές άλλες.

- **Αποκεντρωτικά δομημένα P2P δίκτυα (P2P δίκτυα δεύτερης γενιάς)**

Η φιλοσοφία των δικτύων της γενιάς αυτής είναι αρκετά διαφορετική σε σχέση με τα δίκτυα P2P της πρώτης γενιάς. Κάθε σύστημα που συμμετέχει αποτελεί ταυτόχρονα χρήστη (client) και εξυπηρετητή (server). Μόλις κάποιος συνδεθεί μέσω ενός κατάλληλου προγράμματος-πελάτη P2P, κάνει γνωστή την παρουσία του σε ένα μικρό αριθμό υπολογιστών ήδη συνδεδεμένων στο δίκτυο, οι οποίοι με τη σειρά τους προωθούν τη δήλωση παρουσίας του σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο υπολογιστών και η διαδικασία συνεχίζεται. Η διαφορά με τα δίκτυα πρώτης γενιάς είναι ότι ο χρήστης έχει επιπλέον τη δυνατότητα να αναζητήσει οποιαδήποτε πληροφορία μεταξύ των διαμοιραζόμενων αρχείων. Η μεταφορά των αρχείων είναι όμοια με αυτή των συγκεντρωτικών P2P δικτύων. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν εφαρμογές όπως το Kazaa, το Gnutella, το BearShare και άλλες.

- **Αποκεντρωτικά αδόμητα P2P δίκτυα (P2P δίκτυα τρίτης γενιάς)**

Τα P2P δίκτυα της τρίτης γενιάς είναι αποκεντρωτικού τύπου όπως και τα δίκτυα δεύτερης γενιάς με τη διαφορά ότι η φιλοσοφία τους βασίζεται κατά κύριο λόγο στην παροχή ανωνυμίας, η οποία παρέχεται αφού το δίκτυο μπορεί να λειτουργεί χωρίς να είναι γνωστή η τοπολογία του και χωρίς ακριβή έλεγχο των δεδομένων που διακινούνται. Επιπλέον, αυτά τα δίκτυα χαρακτηρίζονται από υψηλή βιωσιμότητα, ενώ ο συνεχής διαμοιρασμός των αρχείων και η κωδικοποίησή τους ολοκληρώνουν την ακεραιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν, έτσι ώστε κανένας και ποτέ να μην μπορέσει να αποκτήσει κανένα είδος ελέγχου πάνω στις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μέσα σε ένα τέτοιο δίκτυο. Τα δίκτυα αυτού του τύπου είναι ακόμη υπό ανάπτυξη και έχουν χαρακτηριστεί ως μικρά παγκόσμια δίκτυα. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων είναι το Freenet, το I2P και το Entropy.

Συμπερασματικά, τα δίκτυα τρίτης γενιάς των δικτύων P2P, μπορούν να αποτελέσουν ένα πρότυπο για τη δημιουργία της κατάλληλης τεχνολογίας, ώστε να μπορεί να είναι δυνατή η από άκρο σε άκρο δημιουργία της από μηχανής σε μηχανή (M2M ή T2T) επικοινωνίας, αφού παρέχουν την απαραίτητη κωδικοποίηση και ασφάλεια για την μετάδοση των δεδομένων.

2.3) Προβλήματα Υλοποίησης & Λύσεις

2.3.1) Πλήθος Διευθύνσεων

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που απαγορεύει την υλοποίηση του Διαδικτύου των αντικειμένων είναι το διαθέσιμο πλήθος διευθύνσεων για την λεγόμενη διευθυνσιοδότηση των συσκευών. Αναλυτικότερα, για να μπορεί κάθε συσκευή να είναι προσπελάσιμη από διαφορετικά μέρη της γης πρέπει να της έχει αποδοθεί μια μοναδική διεύθυνση δικτύου. Την υπάρχουσα χρονική στιγμή χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο IPv4 διαθέτοντας 32 bits για διευθύνσεις, άρα μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι 2^{32} χρήστες δηλαδή παρέχει συνολικά 4.2 (4.294.967.296 για την ακρίβεια) δισεκατομμύρια μοναδικές διευθύνσεις IP. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό το παραπάνω πλήθος διευθύνσεων είναι πολύ μικρό αν σκεφτεί κανείς τα τρισεκατομμύρια των συσκευών και των αντικειμένων που ζητείται να συνδεθούν στο Διαδίκτυο. Ενδεικτικά να αναφερθεί ότι το Internet of Things υπολογίζεται να περιλαμβάνει στο μέλλον από 50 έως 100 τρισεκατομμύρια συσκευές!

Μια λύση που είχε προταθεί και χρησιμοποιείται αυτή τη χρονική στιγμή στα δίκτυα υπολογιστών λύνοντας προσωρινά το πρόβλημα του μικρού πλήθους των διευθύνσεων IP είναι η χρήση της μεθόδου NAT (Network Address Translation). Με τη διαδικασία αυτή δημιουργείται ένα υποδίκτυο στο οποίο μπορεί να είναι συνδεδεμένες πολλές συσκευές, όπου η κάθε μία έχει τη δική της διεύθυνση IP. Η διαφορά είναι ότι οι διευθύνσεις αυτές είναι μοναδικές και αναγνώσιμες μόνο εντός του υποδικτύου. Κάθε άλλη επικοινωνία του υποδικτύου με το Διαδίκτυο υλοποιείται με τη μοναδική δημόσια διεύθυνση IP που έχει αποδοθεί στο υποδίκτυο. Με αυτό τον τρόπο πολλές συσκευές μπορούν να συνδεθούν στο Διαδίκτυο με σημαντικό μειονέκτημα τη μη δυνατή αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών καθώς μία συσκευή πελάτης μπορεί να δημιουργεί εξερχόμενη κίνηση στο Διαδίκτυο, αλλά δε δέχεται εισερχόμενες συνδέσεις.

Μία δεύτερη και σαφώς καλύτερη λύση είναι η μεταπήδηση και χρήση της 128-bit διεύθυνσης IP που μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση του βελτιωμένου πρωτοκόλλου IPv6, το οποίο παρέχει 2^{128} ή $3.4 \cdot 10^{38}$ διευθύνσεις IP, καλύπτοντας πλήρως τη ζήτηση για διευθύνσεις που πρόκειται να δημιουργηθεί. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα που κάνει το IPv6 κατάλληλο για την διευθυνσιοδότηση των συσκευών, σε αντίθεση με το NAT, είναι η δυνατότητα του να υποστηρίζει end-to-end ή peer-to-peer εφαρμογές Διαδικτύου. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να υποστηριχθεί πλήρως ο τρόπος επικοινωνίας (machine to machine ή T2T) των «έξυπνων» αντικειμένων που περιγράφηκε παραπάνω. Σαφέστατα το παραπάνω χαρακτηριστικό είναι που κάνει την έκδοση 6 του πρωτοκόλλου IP επικρατέστερη για την διευθυνσιοδότηση των αντικειμένων. [6]

2.3.2) Διευθυνσιοδότηση Αντικειμένων

Όπως παρουσιάστηκε στη προηγούμενη παράγραφο η έκδοση 6 του πρωτοκόλλου IP είναι η επικρατέστερη για την διευθυνσιοδότηση των «έξυπνων» αντικειμένων. Στην επικεφαλίδα του κάθε πακέτου εκτός από την διεύθυνση πηγής και προορισμού, οι οποίες θα αποτελούνται από συνολικά 256 (128+128) bits θα πρέπει να περιλαμβάνεται και ένα πεδίο όπου θα γίνεται αντιληπτή η ταυτότητα του αντικειμένου με βάση το RFID αναγνωριστικό. Σύμφωνα με το EPCglobal το οποίο είναι το βασικό πρότυπο της τεχνολογίας RFID στα προϊόντα ώστε να μπορούν να

μοιράζονται οι πληροφορίες που παρέχονται σε αυτά, η επικεφαλίδα RFID χρησιμοποιεί αναγνωριστικά μήκους 64-96 bits.

Μία προτεινόμενη λύση του παραπάνω προβλήματος είναι η ακόλουθη. Στη περίπτωση που χρησιμοποιείται αναγνωριστικό RFID μήκους 64 bits, προτείνεται από τα 128 bits της διεύθυνσης IPv6 τα 64 bits να δίνονται στο RFID αναγνωριστικό, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα υπόλοιπα 64 bits θα χρησιμοποιούνται για την διευθυνσιοδότηση της διεπαφής της πύλης εξόδου που παρέχει επικοινωνία μεταξύ του συστήματος RFID και του Διαδικτύου. Ο χειρισμός των μηνυμάτων που αποστέλλονται από τις ετικέτες RFID στο Διαδίκτυο γίνεται από τη πύλη εξόδου. Δημιουργείται ένα νέο πακέτο IPv6 όπου στο ωφέλιμο φορτίο του περιλαμβάνει το μήνυμα που θέλει να αποστείλει η ετικέτα. Στην επικεφαλίδα του πακέτου αυτού θα πρέπει να περιλαμβάνεται η IP διεύθυνση δικτύου του αποστολέα που θα καταλαμβάνει τα 64 bits στο κομμάτι της διεύθυνσης IPv6, ενώ το αναγνωριστικό της ετικέτας RFID αντιγράφεται στο υπόλοιπο τμήμα της διεύθυνσης. Με την αντίστροφη αλυσιδωτή διαδικασία η πύλη εξόδου χειρίζεται τα πακέτα που έρχονται από το Διαδίκτυο στην ετικέτα. Συγκεκριμένα ο παραλήπτης του πακέτου στη περίπτωση που εξετάζεται είναι η ετικέτα RFID.

Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης προτεινόμενης λύσης είναι η αδυναμία της να υλοποιηθεί σε περίπτωση που χρησιμοποιείται αναγνωριστικό RFID μήκους 96 bits. Για την επίλυση του συγκεκριμένου ζητήματος προτείνεται η μεθοδολογία της χρήσης ενός κατάλληλου στοιχείου του δικτύου που ονομάζεται αντιπρόσωπος (agent). Η λειτουργία του αντιπροσώπου είναι να χαρτογραφεί το αναγνωριστικό RFID σε ένα πεδίο μήκους 64 bits ανεξάρτητα από το μέγεθος που έχει το οποίο θα χρησιμοποιηθεί όπως και στη παραπάνω λύση ως η διεύθυνση του αντικειμένου. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης επιλογής είναι ότι ο αντιπρόσωπος πρέπει να κρατά ενημερωμένα τα στοιχεία σχετικά με την αντιστοίχιση της χαρτογράφησης του RFID αναγνωριστικού πάνω στη διεύθυνση δικτύου

Μία τρίτη και ίσως πιο προσιτή λύση του συγκεκριμένου προβλήματος είναι το αναγνωριστικό του RFID συστήματος να περιλαμβάνεται ολόκληρο στην επικεφαλίδα του IP πακέτου, με τη μορφή ενός πεδίου μήκους 96 bits. Η συγκεκριμένη επιλογή παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.7. Με τη χρήση της συγκεκριμένης επιλογής, προκύπτει ότι ενώ μπορεί να παρέχεται μοναδικός τρόπος διευθυνσιοδότησης το μέγεθος της επικεφαλίδας του πακέτου αυξάνεται, σε αντίθεση με τον τρόπο διευθυνσιοδότησης των προηγούμενων προτάσεων, οπότε υπάρχει και μείωση της ωφέλιμης πληροφορίας που μεταδίδεται μέσα σε κάθε πακέτο. Παρόλα αυτά η διαδικασία της διευθυνσιοδότησης γίνεται πιο γρήγορα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από τους παραπάνω δύο τύπους των RFID αναγνωριστικών.

Το σημαντικό μειονέκτημα που προκύπτει και στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις είναι ότι ενώ το πρόβλημα της εύρεσης του τρόπου της διευθυνσιοδότησης μπορεί να λυθεί άμεσα, τίθεται το ζήτημα της μη κινητικότητας του αντικειμένου. Αυτό συμβαίνει γιατί και οι τρεις επιλογές βασίζονται στην ιδέα της διευθυνσιοδότησης χρησιμοποιώντας ως μέσω επικοινωνίας την πύλη εξόδου μεταξύ του αντικειμένου με το αναγνωριστικό RFID και το Διαδίκτυο.

Ένα επιπλέον ζήτημα που καλείται να επιλυθεί και αφορά την διευθυνσιοδότηση των συσκευών, είναι ο τρόπος με τον οποίο αποδίδονται οι διευθύνσεις IP στα αντικείμενα. Στο υπάρχον δίκτυο κάθε διεύθυνση δικτύου IP είναι προσπελάσιμη και διαχειρίζεται από εξυπηρετητές ονομάτων τομέα DNS (Domain Name Server). Η κύρια λειτουργία ενός εξυπηρετητή DNS είναι η παροχή πληροφοριών σχετικά με την αντιστοίχιση των δημοσίων και μοναδικών IP διευθύνσεων σε αλφαριθμητικά

όπως είναι το URL (Uniform Resource Locator), τα οποία σε γενικές γραμμές είναι πιο ευκολομνημόνευτα.

Version	Traffic Class	Flow Label	
Pay Load Length		Next Header	Hop Limit
Source Address (128 bits)			
Destination Address (128 bits)			
Next Header	Header Length	Option Type	Option Length
RFID Type	Message Type	Reserved	
RFID Code (96 bits)			
Message Data			

Εικόνα 2.7 - Επικεφαλίδα πακέτου IPv6

Στη περίπτωση του διαδικτύου των αντικειμένων προτείνεται η χρήση μιας νέας υπηρεσίας με συναφή χαρακτηριστικά με αυτά του εξυπηρετητή ονομάτων τομέα, η οποία ονομάζεται υπηρεσία ονόματος αντικειμένου ONS (Object Name Service), της οποίας η κύρια λειτουργία είναι παρόμοια με του εξυπηρετητή ονομάτων. Συγκεκριμένα, μία υπηρεσία ONS πρέπει να είναι σε θέση να συνδέει την αναφορά για τη περιγραφή ενός αντικειμένου με το συγκεκριμένο σε κάθε περίπτωση αναγνωριστικό RFID.

Ειδικότερα η ετικέτα αναγνώρισης αντιστοιχίζεται σε ένα αλφαριθμητικό URL (Uniform Reference Locator) το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικές με την περιγραφή του αντικειμένου. Στο Διαδίκτυο των αντικειμένων η υπηρεσία ονόματος αντικειμένου πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργεί αμφίδρομα, δηλαδή και προς τις δύο διευθύνσεις. Πρέπει να είναι σε θέση να συσχετίζει τη περιγραφή του αντικειμένου για ένα δοσμένο αναγνωριστικό RFID και ταυτόχρονα να κάνει και την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή για μια συγκεκριμένη περιγραφή ενός αντικειμένου να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ετικέτα RFID του αντικείμενου. Η αντίστροφη διαδικασία είναι πολύπλοκη να υλοποιηθεί και απαιτεί την ύπαρξη κεντρικού εξυπηρετητή ο οποίος μπορεί να ονομαστεί ως υπηρεσία αντιστοίχισης κώδικα σε αντικείμενο OCMS (Object Code Mapping Service) και είναι σε θέση να βρίσκει πληροφορίες για τα αναγνωριστικά RFID των διαφόρων αντικειμένων. Να σημειωθεί επιπλέον ότι το πρωτόκολλο επικοινωνίας που έχει προταθεί για την ανταλλαγή πληροφοριών με τον εξυπηρετητή OCMS ακολουθεί τη λογική P2P (peer-to-peer) για να παρέχεται η αναγκαία κάθε φορά ανεξαρτήτου μεγέθους πληροφορία. Κλείνοντας, είναι επιπλέον θεμιτό να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει πλήρως προκαθορισμένο μοντέλο για την παροχή της συγκεκριμένης αντιστοίχισης, πράγμα που αφήνει πολλά περιθώρια για βελτιώσεις.[11]

2.3.3) Όγκος Δεδομένων

Ένα επιπλέον πρόβλημα άμεσα συνυφασμένο με το πλήθος των αντικειμένων είναι ο όγκος των δεδομένων που θα διακινούνται στο δίκτυο. Με άλλα λόγια η κίνηση των δεδομένων λόγω της ύπαρξης τόσων πολλών τερματικών. Όπως έχει ειπωθεί και παραπάνω η σύνδεση των περισσότερων αντικειμένων στο Διαδίκτυο θα γίνεται με ασύρματο τρόπο. Σε ένα ασύρματο δίκτυο τα χαρακτηριστικά της κίνησης δεδομένων στο δίκτυο εξαρτώνται από την εκάστοτε εφαρμογή. Η συγκεκριμένη ιδιότητα δεν αποτελεί πρόβλημα για μικρής κλίμακας δίκτυα, αντίθετα η πολυπλοκότητα του συστήματος θα προκύψει συνδέοντας όλες τις συσκευές στο ασύγκριτα μεγαλύτερης κλίμακας δίκτυο, στο Διαδίκτυο. Η δημιουργία του Διαδικτύου των αντικειμένων σε αυτή τη περίπτωση θα εισάγει μια τεράστια ποσότητα δεδομένων που θα παράγεται από δίκτυα αντικειμένων με άγνωστα προς το παρόν χαρακτηριστικά [11]. Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος της κίνησης που αναμένεται να εισαχθεί στο Διαδίκτυο, υπολογίζεται ότι το πλήθος των αντικειμένων που θα εισέλθουν στο Διαδίκτυο των αντικειμένων ανέρχονται αρχικά σε 1 τρισεκατομμύριο, όπου στην τελική μορφή, στην οποία κάθε αντικείμενο, συσκευή, προϊόν θα αποκτήσει αναγνωριστικό RFID, ο αριθμός φτάνει στα 100 τρισεκατομμύρια αντικείμενα! [6]

Ένα άλλο ζήτημα που αυξάνει τη κίνηση στο διαδίκτυο είναι και ο τρόπος επικοινωνίας των αντικειμένων που ακολουθεί τη λογική P2P (peer-to-peer). Η συγκεκριμένη λογική επιτρέπει τη χρήση μεγάλου εύρους ζώνης για μεταφορά δεδομένων με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας συμφόρησης στο δίκτυο και ταυτόχρονα την αύξηση του κόστους προς τους παρόχους συνδέσεων Διαδικτύου. Στη παραδοσιακή μορφή του Διαδικτύου η λύση που χρησιμοποιείται είναι να αποθηκεύονται τοπικά (cashing) σε ενδιάμεσους κόμβους δεδομένα που έχουν μεγάλη ζήτηση. Με αυτό το τρόπο παρέχεται μία είδους αποσυμφόρηση στο δίκτυο κορμού [8, 12]. Επιπλέον ένα άλλο μειονέκτημα που εισάγει η λογική p2p είναι εκρηκτικότητα των πηγών για την οποία στη περίπτωση του Διαδικτύου των αντικειμένων αυξάνει δραματικά, λόγω του πλήθους των αντικειμένων. Εκρηκτικότητα ορίζεται ο τρόπος που μία οντότητα στέλνει δεδομένα στο δίκτυο, ώστε μια πηγή να ορίζεται εκρηκτική όταν χρησιμοποιεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης για μικρά χρονικά διαστήματα.

Σε γενικές γραμμές το ζήτημα της κίνησης των δεδομένων στο Διαδίκτυο και συγκεκριμένα σε ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης έχει απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα, έτσι ώστε ένα ασύρματο δίκτυο να μπορεί να παρέχει την κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας, με την ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ. Η μελέτη της κίνησης στο Διαδίκτυο των αντικειμένων δεν έχει πάντως μία σαφή λύση. Όπως περιγράφεται με λεπτομέρειες στο Κεφάλαιο 3 της παρούσης διπλωματικής εργασίας, παρά τα δισεπίλυτα ζητήματα που τίθενται, η συνεργασία μεταξύ των παρόχων, δηλαδή η συνεργατικότητα μεταξύ όλων των δικτύων που αποτελούν το διαδίκτυο για μια ορθολογικότερη και ποιοτικότερη παροχή υπηρεσιών, είναι η καλύτερη λύση στο υπάρχον πρόβλημα.

2.3.4) Πρωτόκολλο Επικοινωνίας

Αναλύοντας περαιτέρω τον τρόπο επικοινωνίας των αντικειμένων με το διαδίκτυο, δίνεται έμφαση στο πρωτόκολλο που θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την επίτευξη της επικοινωνίας και της μεταφοράς των δεδομένων με ασφάλεια από άκρο σε άκρο. Στα τωρινά δίκτυα υπολογιστών ως πρωτόκολλο μεταφοράς χρησιμοποιείται ευρέως το πρωτόκολλο TCP (Transmission Control Protocol). Όπως είναι φανερό το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι ανεπαρκές για τη χρήση με το Διαδίκτυο των αντικειμένων για τους εξής λόγους [11]:

1. Εγκατάσταση Σύνδεσης: Το πρωτόκολλο TCP είναι προσανατολισμένο σε σύνδεση, το οποίο σημαίνει ότι πριν από κάθε σύνοδο είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μίας σύνδεσης μεταξύ των οντοτήτων που θέλουν να επικοινωνήσουν, η οποία είναι γνωστή και ως τριπλή χειραγία. Η συγκεκριμένη ιδιότητα του πρωτοκόλλου TCP δεν είναι απαραίτητη με τη λογική ότι η επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων κατά πλείστον περιλαμβάνει την αποστολή μικρού αριθμού δεδομένων και ως συνέπεια η φάση τριπλής χειραγίας κρατά αξιοσημείωτο χρονικό διάστημα.
2. Έλεγχος Συμφόρησης: Το πρωτόκολλο TCP είναι επίσης υπεύθυνο για τον έλεγχο από άκρο σε άκρο της συμφόρησης. Στη περίπτωση του Διαδικτύου των αντικειμένων ένας τέτοιος έλεγχος μπορεί να προκαλέσει προβλήματα απόδοσης, καθώς η πλειονότητα της επικοινωνίας μεταξύ των αντικειμένων επιτυγχάνεται με χρήση ασύρματης σύνδεσης. Επιπλέον όπως ειπώθηκε και παραπάνω το μέγεθος των δεδομένων που ανταλλάσσεται σε μία σύνοδο είναι πολύ μικρό, πράγμα που καθιστά άχρηστο τον έλεγχο συμφόρησης. Αυτό συμβαίνει επειδή η αποστολή των δεδομένων προς το παραλήπτη μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα πακέτο και ο έλεγχος πραγματοποιείται με την αποστολή μιας απάντησης επιβεβαίωσης στον αποστολέα.
3. Προσωρινή Αποθήκευση Δεδομένων: Ένα άλλο από τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου TCP είναι ότι απαιτεί τα δεδομένα που αποστέλλονται να αποθηκεύονται σε ενδιάμεσους ενταμιευτές μνήμης και στον αποστολέα αλλά και στο παραλήπτη. Συγκεκριμένα στη περίπτωση του αποστολέα τα δεδομένα αποθηκεύονται ώστε να είναι διαθέσιμα για αναμετάδοση σε περίπτωση λανθασμένης αποστολής, ενώ στη περίπτωση του παραλήπτη για την ταξινόμηση των λαμβανόμενων κατακερματισμένων πακέτων σε περίπτωση πακέτου μεγάλου μήκους που δεν μπορεί να αποσταλεί ολόκληρο.

Ως συνέπεια των παραπάνω είναι προφανές ότι το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP είναι ανεπαρκές για την χρήση του από το Διαδίκτυο των αντικειμένων, αφού στον ασύρματο τρόπο μεταφοράς δεδομένων, ο οποίος χαρακτηρίζει τα «έξυπνα» αντικείμενα οι καθυστερήσεις και η λανθασμένη αποστολή δεδομένων ενισχύουν σημαντικά την παραπάνω ανεπάρκεια. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα στις υπό συζήτηση «έξυπνες» συσκευές είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την επίτευξη της επικοινωνίας του αντικειμένου με το Διαδίκτυο, σε αντιδιαστολή με την χαμηλή υπολογιστική ισχύ και τη επίσης περιορισμένη διάρκεια της μπαταρίας μια «έξυπνης» συσκευής. [2]

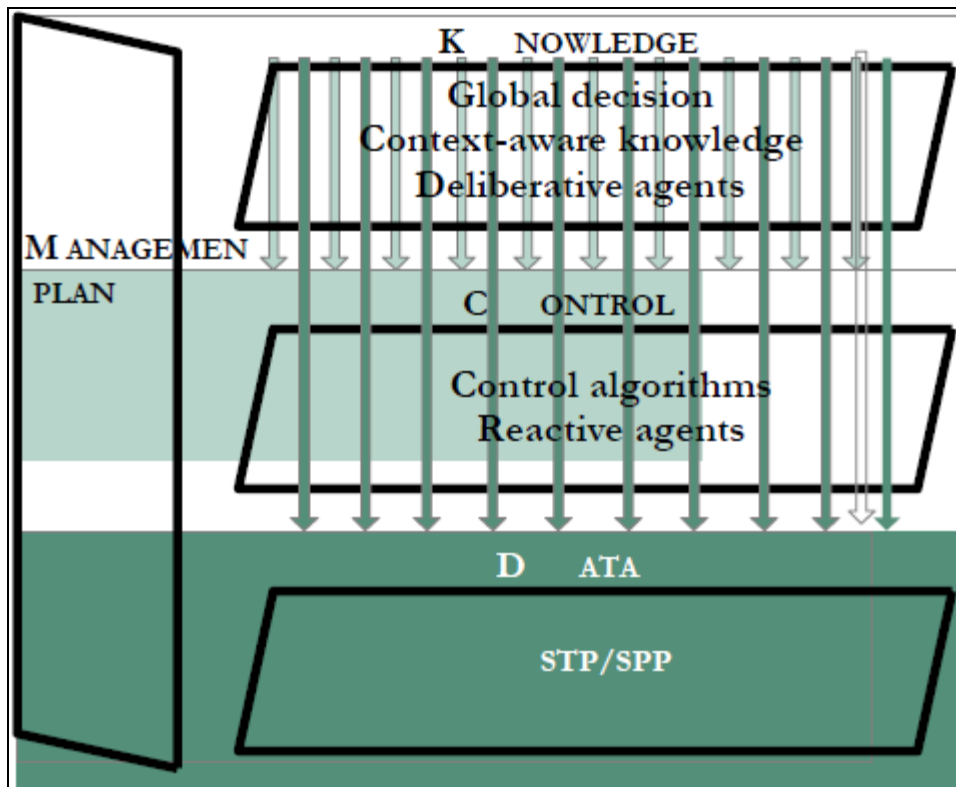
Μία πρώτη προσέγγιση για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος για τη μεταφορά των δεδομένων είναι η συμβατότητα με το υπάρχον πρωτόκολλο μεταφοράς το TCP, το οποίο παρόλα τα μειονεκτήματά του αφήνει πολλά περιθώρια για την ρύθμιση των παραμέτρων του. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να παρέχεται μέσα από τον έλεγχο από άκρο σε άκρο της ζεύξης επικοινωνίας των αντικειμένων κατάλληλη προσαρμογή του πρωτοκόλλου TCP για την βελτίωση στην αποστολή δεδομένων. Η συγκεκριμένη λύση όμως δεν καλύπτει βέλτιστα τις ανάγκες για οικονομία ενέργειας που χρειάζονται τα αντικείμενα στο Διαδίκτυο των αντικειμένων. Ως συνέπεια τίθεται άμεσα το ζήτημα της δημιουργίας μίας στοίβας πρωτοκόλλων κατάλληλα για την καινούριου τύπου επικοινωνία με παράλληλη βέβαια αλλαγή και της αρχιτεκτονικής στο επίπεδο μεταφοράς των αντικειμένων που πρέπει να βασίζεται σε μία πιο αυτόνομη αρχιτεκτονική.

Μία δεύτερη προτεινόμενη λύση η οποία καλύπτει τις παραπάνω προϋποθέσεις της αυτόνομης αρχιτεκτονικής είναι η αρχιτεκτονική STP/SP. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική περιλαμβάνει ένα καινούριο επίπεδο υψηλότερα ιεραρχικά στο επίπεδο μεταφοράς, το οποίο ονομάζεται το επίπεδο γνώσης και του οποίου βασική λειτουργία είναι η επιλογή των κατάλληλων πρωτοκόλλων για την εξομάλυνση κάθε χρονική στιγμή του τρόπου μεταφοράς των δεδομένων. Στη πραγματικότητα η αυτόνομη αρχιτεκτονική πρέπει να παρέχεται σε κάθε δικτυακό εξοπλισμό (router, switch) με μια προεγκατεστημένη στοίβα πρωτοκόλλων, τα οποία θα είναι σε θέση με τη χρήση του κατάλληλου κάθε φορά πρωτοκόλλου να βελτιστοποιούν τον τρόπο μεταφοράς.

Σύμφωνα και με την Εικόνα 2.8. η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αποτελείται από 4 επίπεδα, όπως παρακάτω:

- **Επίπεδο δεδομένων (Data Plane):** Αρμοδιότητα του συγκεκριμένου επιπέδου είναι η προώθηση των πακέτων.
- **Επίπεδο Ελέγχου (Control Plane):** Αρμοδιότητα του συγκεκριμένου επιπέδου είναι η αποστολή μηνυμάτων για τις απαραίτητες ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν στο επίπεδο δεδομένων, ώστε να υπάρξει βελτιστοποίηση της ρυθμαπόδοσης (throughput) και της αξιοπιστίας.
- **Επίπεδο Γνώσης (Knowledge Plane):** Αρμοδιότητα του συγκεκριμένου επιπέδου είναι η παροχή μιας συνολικής εποπτείας όλων των πληροφοριών που αφορούν το δίκτυο.
- **Επίπεδο Διαχείρισης (Management Plane):** Αρμοδιότητα του συγκεκριμένου επιπέδου είναι η διαχείριση των παραπάνω τριών επιπέδων.

Το σημαντικότερο επίπεδο της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής και η αιτία για την οποία γίνεται μνεία είναι το επίπεδο γνώσης. Το επίπεδο αυτό μπορεί να καθοδηγεί το δίκτυο μέσα από το επίπεδο ελέγχου. Για αυτό το λόγο πρέπει να είναι και σε θέση να διαλέγει τον καλύτερο κάθε φορά αλγόριθμο και να ρυθμίζει τις τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου, ώστε να επιτευχθούν οι προεπιλεγμένοι στόχοι των διαχειριστών. Επιπλέον αρμοδιότητα του πρωτοκόλλου αυτού είναι να ρυθμίζει το επίπεδο ελέγχου το οποίο με τη σειρά του ρυθμίζει το επίπεδο δεδομένων. Πρακτικά το πλήθος των διαφορετικών αλγορίθμων ελέγχου καθορίζεται από το τοπικό επίπεδο γνώσης του τοπικού δικτύου, αν και με τη συνολική εποπτεία του δικτύου μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά των αλγορίθμων ελέγχου. [2]



Εικόνα 2.8 - Αρχιτεκτονική STP/SP

2.4) Προβλήματα του IOT

2.4.1) Εμβέλεια

Ένα από τα προβλήματα για τη χρήση του Διαδικτύου των Αντικειμένων είναι ο τρόπος πρόσβασης των αντικειμένων στο Διαδίκτυο. Συγκεκριμένα εξαιτίας του μικρού μεγέθους αλλά και του χαρακτηριστικού της φορητότητας των αντικειμένων που εξετάζονται, ο καλύτερος τρόπος που ενδείκνυται για τη σύνδεση στο δίκτυο είναι ο ασύρματος τρόπος. Οπότε προκύπτει το ερώτημα της εμβέλειας που πρέπει να έχει ένα ασύρματο δίκτυο. Το συγκεκριμένο ερώτημα μπορεί να καταταγεί σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά ένα αντικείμενο το οποίο βρίσκεται εντός ενός εσωτερικού χώρου, όπου είναι πιο πιθανή η ύπαρξη κάποιου ασύρματου τρόπου πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Αντίθετα η δεύτερη αφορά ένα αντικείμενο που βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο, όπου η πιθανότητα ύπαρξης ενός ασύρματου δικτύου είναι πολύ μικρή, με άμεση συνέπεια την έλλειψη πόρων πρόσβασης σε κάποιο ασύρματο δίκτυο.

Εξετάζοντας τη πρώτη περίπτωση, ένα αντικείμενο που βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο ενός διαμερίσματος ή ενός ορόφου ή ακόμα και ενός κτηρίου, το πρόβλημα που αντιμετωπίζει πιο πολύ, είναι στο κατά πόσο ένα ασύρματο δίκτυο είναι ορθά καταναμημένο στο εσωτερικό του χώρου αυτού, δηλαδή στο κατά πόσο η εμβέλεια ενός ασυρμάτου δικτύου είναι αρκετή ώστε να είναι εφικτή η ικανοποίηση των αναγκών σε όλους τους χώρους. Πρακτικά το πρόβλημα αυτό εκμηδενίζεται αφού πλέον είναι πολύ εύκολη και οικονομική η δημιουργία ενός ασυρμάτου δικτύου μέσα σε ένα εσωτερικό χώρο, εφόσον το μόνο που χρειάζεται είναι ένα router ή κάποιο wifi - spot. Με άλλα λόγια το συγκεκριμένο πρόβλημα μεταφράζεται πρακτικά στην

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ορθή κατανομή των πόρων ενός ασυρμάτου δικτύου στον εσωτερικό χώρο ενός κτηρίου.

Εξετάζοντας τη δεύτερη περίπτωση, η οποία τυγχάνει να είναι και η πιο πολύπλοκη, γίνεται φανερό πόσο δύσκολη μπορεί να γίνει η υλοποίηση του Διαδικτύου των αντικειμένων σε ένα εξωτερικό χώρο. Πρακτικά ένα τέτοιο ζήτημα δημιουργείται επειδή δεν είναι εφικτή η εγκατάσταση ασυρμάτων δικτύων σε όλο τον εξωτερικό χώρο. Βέβαια η ύπαρξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας που παρέχουν την ζητούμενη πρόσβαση στο διαδίκτυο μπορεί να λύσει το πρόβλημα. Συμπερασματικά λοιπόν είναι φανερό ότι μία συγκεκριμένη προτυποποίηση για την πρόσβαση των αντικειμένων στο Διαδίκτυο δεν είναι μεμονωμένη, αλλά αποτελεί ένα κομμάτι του Διαδικτύου του Μέλλοντος (Future Internet) [11]. Με βάση λοιπόν αυτή την εξάρτηση, στη πραγματικότητα η μοναδική λύση που μπορεί να λύσει το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η συνεργασία και η συνεργατικότητα μεταξύ των διαφορετικών δικτύων, αφού η εμβέλεια κάλυψης των ασυρμάτων δικτύων διευρύνεται με τη δημιουργία ενός πλέγματος από δίκτυα [13]. Τέλος στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζονται μερικές προσπάθειες για τη δημιουργία προτύπων για την ασύρματη πρόσβαση των αντικειμένων στο Διαδίκτυο.

Standard	Objective	Status	Comm. range (m)	Data rate (kbps)	Unitary cost (\$)
<i>Standardization activities discussed in this section</i>					
EPCglobal	Integration of RFID technology into the electronic product code (EPC) framework, which allows for sharing of information related to products	Advanced	~1	~10 ²	~0.01
GRIFS	European Coordinated Action aimed at defining RFID standards supporting the transition from localized RFID applications to the <i>Internet of Things</i>	Ongoing	~1	~10 ²	~0.01
M2M	Definition of cost-effective solutions for machine-to-machine (M2M) communications, which should allow the related market to take off	Ongoing	N.S.	N.S.	N.S.
6LoWPAN	Integration of low-power IEEE 802.15.4 devices into IPv6 networks	Ongoing	10-100	~10 ²	~1
ROLL	Definition of routing protocols for heterogeneous low-power and lossy networks	Ongoing	N.S.	N.S.	N.S.
<i>Other relevant standardization activities</i>					
NFC	Definition of a set of protocols for low range and bidirectional communications	Advanced	~10 ⁻²	Up to 424	~0.1
Wireless Hart	Definition of protocols for self-organizing, self-healing and mesh architectures over IEEE 802.15.4 devices	Advanced	10-100	~10 ²	~1
ZigBee	Enabling reliable, cost-effective, low-power, wirelessly networked, monitoring and control products	Advanced	10-100	~10 ²	~1

Εικόνα 2.9 - Πρότυπα Ασυρμάτων Δικτύων

2.4.2) Ισχύς Μετάδοσης - Κατανάλωση Ενέργειας

Το ζήτημα της ισχύς μετάδοσης είναι άμεσα συνυφασμένο με την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για να επιτευχθεί η μετάδοση δεδομένων από ένα αντικείμενο. Όπως παρουσιάστηκε και στη προηγούμενη ενότητα η επικοινωνία των αντικειμένων είναι ευέλικτο να γίνεται με χρήση ασύρματων δικτύων. Η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των τερματικών παρουσιάζει δύο μικρές ατέλειες. Η πρώτη αφορά την περιορισμένη μπαταρία στα αντικείμενα, ενώ η δεύτερη αφορά το δίκτυο και συγκεκριμένα τη μη δυνατή ασύρματη κάλυψη μιας περιοχής, εξαιτίας της εξασθένησης λόγω του φαινομένου των πολυδιαδρομών (multipath fading). Στη περίπτωση που ένα αντικείμενο θέλει να συνδεθεί στο δίκτυο και αντιμετωπίζει φαινόμενα διαλείψεων ή εξασθένησης, χρειάζεται να αυξήσει την ισχύ που μεταδίδει πράγμα που οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, άρα και σε μικρότερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας του αντικειμένου.

Η άμεση λύση που μπορεί να επιλύσει και να διευκολύνει με αυτό τον τρόπο τα αντικείμενα είναι η συνεργασία μεταξύ των δικτύων. Ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης συνεργασίας είναι η αυξημένη αξιοπιστίας μιας ζεύξης, αφού υπάρχει μικρότερη πιθανότητα λάθους με μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση. Το σημαντικότερο βέβαια χαρακτηριστικό των συνεργαζόμενων δικτύων είναι η ικανότητα ρύθμισης του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) με άμεση συνέπεια την μειωμένη ενέργεια που απαιτείται στην ασύρματη εκπομπή ή λήψη. Επιπλέον η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται ακόμα περισσότερο αφού υπάρχει αναδιοργάνωση των δικτύων και μείωση των παρεμβολών μεταξύ τους, αφού εκπέμπουν σε χαμηλότερη ισχύ για να καλύψουν τις διάφορες περιοχές μετάδοσης. [13]

2.4.3) Ασφάλεια

Το διαδίκτυο των αντικειμένων είναι ένα πολύ τρωτό σύστημα σε επιθέσεις για αρκετούς λόγους. Πρώτον τα αντικείμενα των χρηστών πολλές φορές αφήνονται απαρατήρητα, πράγμα που διευκολύνει την φυσική επίθεση εναντίον τους. Δεύτερον επειδή όλες σχεδόν οι συνδέσεις και η επικοινωνία των αντικειμένων γίνονται με ασύρματο τρόπο, γίνεται εύκολη η παρακολούθηση των δεδομένων που αποστέλλονται. Τρίτον, εξαιτίας των χαμηλών δυνατοτήτων των αντικειμένων, σε ισχύ αλλά και σε υπολογιστικούς πόρους, το οποίο συμβαίνει ιδιαιτέρως στις παθητικές ετικέτες RFID, δεν γίνεται δυνατή η υλοποίηση πολύπλοκων αλγορίθμων ασφαλείας. Η ασφάλεια μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, αυτής που αφορά στην ιδιωτικότητα (privacy) του χρήστη, δηλαδή στην ακεραιότητα των δεδομένων που αποστέλλονται ή λαμβάνονται και αυτή που αφορά στη ταυτοποίηση (identification) για τη ανάγνωση των πληροφοριών του χρήστη. [11]

2.4.3.1) Ιδιωτικότητα

Η ιδιωτικότητα είναι μία από τα βασικά και νομικά θεμελιωμένα δικαιώματα του κάθε ανθρώπου. Εξαιτίας αυτού του δικαιώματος οποιαδήποτε μη ασφαλής παροχή υπηρεσιών μπορεί να οδηγήσει σε εμπόδια στην ανάπτυξη του διαδικτύου των αντικειμένων. Ένας τρόπος παραβίασης της ιδιωτικότητας είναι η δυνατότητα της ετικέτας να διαβαστεί από απόσταση χωρίς την γνώση του χρήστη, με άμεση συνέπεια τη παρακολούθηση του χρήστη από απόσταση. Επιπλέον είναι εφικτή η καταγραφή του χρήστη αφού μπορούν τα αντικείμενα που αγοράζει ο χρήστης να καταγράφονται σε βάσεις δεδομένων κάτω από το όνομά του. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η παραμονή των ετικετών και των πληροφοριών που διαθέτουν στις συσκευές ανάγνωσης και μετά το πέρας κάποιας διαδικασίας, φαινόμενο το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε διαρροή των προσωπικών πληροφοριών του χρήστη. [13]

Για να επιλυθεί το πρόβλημα της συλλογής δεδομένων χρειάζεται να βρεθούν λύσεις στα επιμέρους υποσυστήματα που απαρτίζουν το διαδίκτυο των αντικειμένων. Θα μπορούσε να ακολουθηθεί το μοντέλο που παραδοσιακά χρησιμοποιείται στο διαδίκτυο όπου παρέχεται στο χρήστη η επιλογή των προσωπικών του στοιχείων που χρησιμοποιηθούν σα παράμετροι για την χρήση μιας εφαρμογής. Επιπλέον για την διασφάλιση των δεδομένων που αποστέλλονται ή λαμβάνονται θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι ταυτοποίησης όπως περιγράφονται παρακάτω. Βέβαια όλες αυτές οι λύσεις προϋποθέτουν την χρήση των πόρων των αντικειμένων που τυχαίνει να είναι περιορισμένοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Τέλος για να μην αφήνεται έρμαιο στα χέρια των συσκευών ανάγνωσης και σε αυτούς που τις διαχειρίζονται, ο χρήστης θα πρέπει να μπορεί να προστατεύει τα προσωπικά του δεδομένα, εξασφαλίζοντας ποια δεδομένα του θα ανταλλάσσονται σε περίπτωση ερώτησης από κάποια συσκευή ανάγνωσης, ποιος θα συλλέγει τα δεδομένα αυτά, όπως επίσης και το χρόνο της συλλογής τους. Επιπλέον θα πρέπει να γνωρίζει το χρόνο παραμονής των δεδομένων του στις συσκευές ανάγνωσης, ο οποίος δε πρέπει να υπερβαίνει τον απαιτούμενο. [11]

2.4.3.2) Ταυτοποίηση

Η ταυτοποίηση είναι μία δύσκολη διαδικασία καθώς απαιτεί τη δημιουργία κατάλληλης υποδομής με εξυπηρετητές ώστε να διασφαλίζεται ότι το εκάστοτε αντικείμενο ή η συσκευή ανάγνωσης είναι πραγματική. Με δεδομένο ότι οι παθητικές ετικέτες δεν μπορούν να ανταλλάξουν πολλά μηνύματα με τους εξυπηρετητές ταυτοποίησης, καθίσταται πολλή δύσκολη η διαδικασία της ταυτοποίησης στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων. Ωστόσο υπάρχουν προτάσεις για την υλοποίηση της συγκεκριμένης λειτουργίας.

Ένας τρόπος ταυτοποίησης είναι το πρωτόκολλο yoking, το οποίο παρέχει κρυπτογραφημένες πληροφορίες ότι δύο ετικέτες δεν έχουν διαβαστεί ταυτόχρονα και στοιχεία ότι δεν έχουν διαβαστεί σε απόσταση μεταξύ τους. Το πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι δε χρειάζεται πολλούς υπολογιστικούς πόρους, ενώ το μειονέκτημα του συγκεκριμένου πρωτόκολλο είναι η ανάγκη για ύπαρξη μεγάλων αποθηκευτικών χώρων ώστε να μπορεί να εφικτή η σύγκριση των ετικετών. Με τον τρόπο αυτό ακόμα και παθητικές ετικέτες μπορούν να ελέγξουν ή και να δημιουργήσουν μία λίστα από αξιόπιστες συσκευές. [3]

2.4.3.3) Κρυπτογραφία

Γενικά όλες οι λύσεις που έχουν προταθεί μέχρι τώρα για την στήριξη της ασφάλειας χρησιμοποιούν κάποια μεθοδολογία κρυπτογραφίας. Τυπικά οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης χρειάζονται ένα μεγάλο μέρος από τους πόρους του συστήματος, δηλαδή σε ισχύ και εύρος ζώνης, και στη πηγή αλλά και στο προορισμό. Τέτοιου είδους λύσεις όμως δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο Διαδίκτυο των αντικειμένων με δεδομένο τις περιορισμένες δυνατότητες σε ισχύ και υπολογιστική ικανότητα των ετικετών ή των αισθητήρων. Συνεπώς πρέπει να βρεθούν λύσεις ασφαλείας που να παρέχουν την επιθυμητή ποιότητα ασφαλείας με την ελάχιστη χρήση πόρων. Ένας τρόπος κρυπτογραφίας είναι η χρήση ελαφριού τύπου συμμετρικών κλειδιών. Όμως η διαχείριση των κλειδιών αυτών είναι σε πρώιμο στάδιο και υπό έρευνα.

Μία έξυπνη λύση που έχει προταθεί είναι η επανεικετοποίηση (Relabeling). Η ιδέα αυτή προτείνει την εξάλειψη των μοναδικών αναγνωριστικών και την αντικατάστασή τους με ένα μηχανισμό δημιουργίας καινούριων ετικετών, αλλά και τη αποθήκευση των ήδη χρησιμοποιούμενων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική τους χρήση. Μπορεί επιπλέον να είναι δυνατή και η επιβεβαίωση της αλλαγής των ετικετών από το χρήστη για να ελαχιστοποιηθεί η εκπομπή δεδομένων. Όπως είναι φυσικό η εξάλειψη των μοναδικών ετικετών δεν επιλύει το πρόβλημα της μη εξουσιοδοτημένης ανάγνωσης του αντικειμένου, ούτε και την παρακολούθηση του, αφού ακόμα και εάν εκπέμπουν οι ετικέτες μόνο επιλεγμένες πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο, είναι και πάλι μοναδικά ανιχνεύσιμες.

Ενώ όμως οι συσκευές με δυνατότητες υψηλής ισχύς όπως οι συσκευές ανάγνωσης μπορούν να επανεικτετοποιούν, οι ετικέτες συνήθως παθητικές ετικέτες RFID δε μπορούν. Για αυτό το λόγο προτείνεται η χρήση ενός μινιμαλιστικού τρόπου κρυπτογράφησης, όπου κάθε ετικέτα μπορεί να περιέχει μία συλλογή από ψευδώνυμα. Με περιστροφή των ψευδωνύμων δίνεται σε κάθε αναζήτηση από τη συσκευή ανάγνωσης και διαφορετικό. Με τη χρήση του συγκεκριμένου τρόπου κρυπτογράφησης μία εξουσιοδοτημένη συσκευή ανάγνωσης μπορεί να αποθηκεύσει τη λίστα με τα ψευδώνυμα του αντικειμένου, σε αντίθεση με μία μη εξουσιοδοτημένη, η οποία δεν είναι σε θέση να συνεργαστεί με το αντικείμενο με τις εμφανίσεις διαφορετικών ψευδωνύμων. Επιπλέον στη περίπτωση ταχέων ερωτήσεων από τη συσκευή ανάγνωσης ώστε να υποκλέψει τη λίστα με τα ψευδώνυμα, το αντικείμενο μπορεί να επιβραδύνει το χρόνο απάντησης στη συσκευή ανάγνωσης. [3].

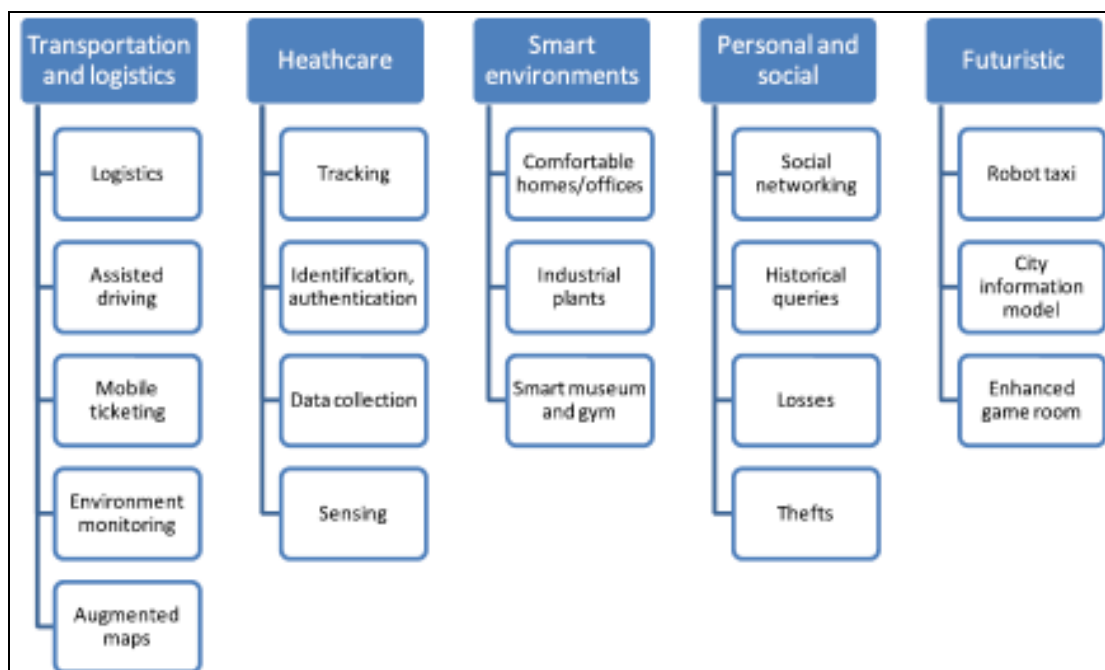
2.5) Πλεονεκτήματα Χρήσης του IOT

Το πλεονέκτημα χρήσης του Διαδικτύου των Αντικειμένων (IOT) είναι ότι προσφέρει δυνατότητες οι οποίες κάνουν εφικτή την ανάπτυξη ενός μεγάλου πλήθους εφαρμογών που προς το παρόν μόνο ένα μικρό κομμάτι από αυτές προσφέρονται στη κοινωνία. Οι τομείς που μπορεί να υλοποιηθεί η καινούρια αυτή τεχνολογία βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο τη ποιότητα ζωής είναι το οικιακό περιβάλλον, το εργασιακό περιβάλλον, τα ταξίδια, η γυμναστική και πολλοί άλλοι.

Τα περιβάλλοντα αυτά είναι εξοπλισμένα με αντικείμενα τα οποία έχουν πρωτόγονη νοημοσύνη και χωρίς καμία ικανότητα επικοινωνίας. Με τη παροχή της δυνατότητας επικοινωνίας των αντικειμένων μεταξύ τους και τη δυνατότητα επεξεργασίας των λαμβανομένων, από το περιβάλλον πληροφοριών, γίνεται εφικτή η κάθε φορά από το αντικείμενο αντίληψη του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται και ποιες από τις εφαρμογές μπορούν να υλοποιηθούν στο περιβάλλον αυτό. Ο διαχωρισμός των εφαρμογών μπορεί να χωριστεί ανάλογα με το τομέα που αναφέρονται ως εξής:

- Τομέας Μεταφορών και Χειρισμού Υλικών (logistics)
- Τομέας Υγείας.
- Τομέας Έξυπνου Περιβάλλοντος (σπίτι, γραφείο, κτηριακές εγκαταστάσεις)
- Τομέας Προσωπικός και Κοινωνικός

Ανάμεσα στις πιθανές εφαρμογές πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός, σε αυτές που είναι άμεσα διαθέσιμες προς υλοποίηση, δηλαδή είναι σχετικές με τις καθημερινές συνήθειες της κοινωνίας και τις εφαρμογές που είναι μελλοντικές δηλαδή αυτές που είναι φανταστικές προς το παρόν αφού η τεχνολογία ή η κοινωνία δεν μπορούν προς το παρόν να τις αναπτύξουν και να τις αποδεχθούν αντίστοιχα. Στην Εικόνα 2.10 παρουσιάζεται ο παραπάνω χωρισμός των εφαρμογών σε τομείς και οι υποτομείς που μπορεί να περιλαμβάνονται σε κάθε τομέα.



Εικόνα 2.10 - Τομείς των εφαρμογών

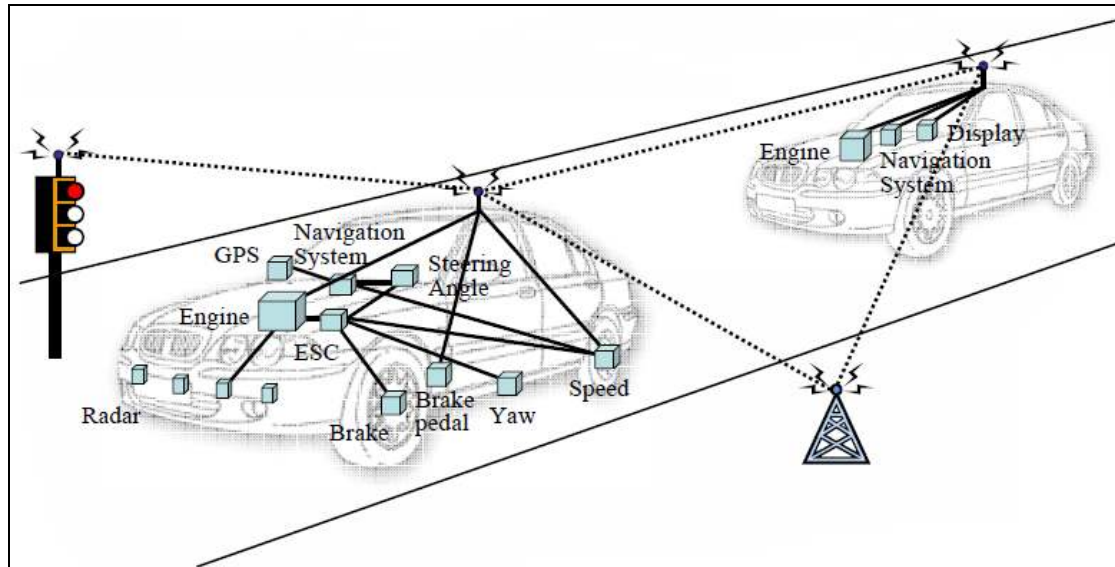
Για τη καλύτερη κατανόηση του παραπάνω διαχωρισμού στην επόμενη παράγραφο γίνεται παρουσίαση εφαρμογών για αντικείμενα οι οποίες χρησιμοποιούνται ήδη σε κάθε τομέα, αλλά και μελλοντικές εφαρμογές. Επιπλέον να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος διαχωρισμός δεν είναι απόλυτα αυστηρός, δηλαδή μπορούν εφαρμογές να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς από τους παραπάνω τομείς, αλλάζοντας απλά το στόχο τους. [11]

2.6) Εφαρμογές Χρήσης του ΙΟΤ

Στη συγκεκριμένη παράγραφο γίνεται μία αναφορά σε εφαρμογές που φανερώνουν την ανάγκη ύπαρξης του διαδικτύου των αντικειμένων. Για να υπάρξει μια ομαδοποίηση των παραδειγμάτων ακολουθείται κατά το δυνατό, ο παραπάνω διαχωρισμός στους διάφορους τομείς.

Τομέας Μεταφορών και Χειρισμού Υλικών (logistics)

Με τη χρήση αισθητήρων και δυνατοτήτων υπολογισμού στους μηχανισμούς κίνησης των αυτοκινήτων, τρένων, λεωφορείων αλλά και με τη χρήση αισθητήρων και ετικετών στο οδικό δίκτυο γίνεται εφικτή η αποφυγή συγκρούσεων και η παρακολούθηση της κυκλοφορίας ή της μεταφοράς επικίνδυνων υλικών. Επιπλέον μπορεί αυτόματα να ενημερώνονται τα οχήματα για πληροφορίες κίνησης ή ακόμα και εναλλακτικών διαδρομών [11]. Η υλοποίηση βέβαια μιας τέτοιας διαδικασίας είναι πολύ δύσκολη εξαιτίας της ανομοιογένειας του περιβάλλοντος αν και μελετάται ένας τρόπος αρχιτεκτονικής όπου όλες οι οντότητες να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και τα εμπόδια να ξεπεραστούν [14]. Στην Εικόνα 2.11 παρουσιάζονται δύο συνεργαζόμενα αυτοκίνητα, όπου το δεύτερο ενημερώνεται από το πρώτο για την ύπαρξη κόκκινου σηματοδότη [6].



Εικόνα 2.11 - Συνεργαζόμενα Αυτοκίνητα

Ένα ακόμη παράδειγμα έξυπνου αντικειμένου είναι η μηχανή της Εικόνας 2.12, όπου με χρήση βιομετρικών δεδομένων και ενός επεξεργαστή της Intel είναι σε θέση να χρησιμοποιεί κάμερες για τον έλεγχο του δρόμου, επικοινωνία μέσω δορυφόρου για τον έλεγχο του οδοστρώματος, ενώ βελτιώνονται και οι δυνατότητες της μηχανής [6].



Εικόνα 2.12 - «Έξυπνη» Μηχανή

Τομέας Υγείας

Με τη χρήση RFID ετικετών και ειδικών συσκευών ανάγνωσης, είναι εφικτή η ανίχνευση πληροφοριών σχετικά με κάθε είδος προϊόντα. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.13 η συσκευή ανάγνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες, πρέπει όμως να είναι σε θέση να χρησιμοποιεί μία δομή δικτύου ή του Διαδικτύου ώστε να αναγνωρίζει κάθε είδους αντικείμενα, απλά συνδεδεμένη με μία βάση δεδομένων όπου γίνεται καταχώρηση των ετικετών RFID. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει αναγνώριση και έλεγχος του φαγητού, των φαρμάκων ή και επιθεώρηση περιοχών. [15]



Εικόνα 2.13 - Συσκευή Ανάγνωσης

Ένα ακόμη παράδειγμα έξυπνων αντικειμένων που παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.14, είναι το καινούριο παπούτσι της Nike, το Air Zoom Moire, στο οποίο έχει ενσωματωθεί ένας αισθητήρας, ο οποίος στέλνει δεδομένα σχετικά με την άσκηση που λαμβάνει χώρα, σε ένα iPod Nano που έχει ενσωματωμένο ένα μικρό δέκτη, για να λαμβάνει και να παρουσιάζει τα δεδομένα. Συγκεκριμένα καθώς ο χρήστης τρέχει, ο αισθητήρας καταγράφει την απόσταση που διανύει, το χρόνο που πέρασε, το ρυθμό, ακόμα και τις θερμίδες που έχει κάψει, και σε πραγματικό χρόνο τα στέλνει στο iPod Nano. Επιπλέον με το πάτημα ενός κουμπιού επιστρέφει και ηχητική παρουσίαση των αποτελεσμάτων στα ακουστικά που είναι συνδεδεμένα στο iPod. [6]



Εικόνα 2.14 - Παπούτσι Nike Air Zoom Moire

Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.15, η εταιρία Addidas κατασκεύασε αθλητικά παπούτσια, εφοδιασμένα με μικροεπεξεργαστή, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν στο νούμερο παπουτσιού του αθλητή, στη ταχύτητά του και στο επίπεδο κόπωσης της άσκησης που κάνει. Επιπλέον ερευνητές στο MIT ανέπτυξαν ένα ζευγάρι παπούτσια που έχουν τη δυνατότητα να κάνουν σχεδόν τα πάντα, από το να παρέχουν προστασία στο βάδισμα μειώνοντας τους κραδασμούς μέχρι το να φορτίζουν τα αντικείμενα που φοράει πάνω του ο αθλητής!



Εικόνα 2.15 - Παπούτσια Addidas

Με τη προσθήκη του μικροεπεξεργαστή στα παπούτσια, δηλαδή με τη προσθήκη «ευφυΐας» στα παπούτσια είναι εφικτή η προσαρμοστικότητα του παπουτσιού σε κάθε περιβάλλον ώστε να υπάρχει κάθε φορά το μικρότερο επίπεδο κραδασμών. Συγκεκριμένα ο μικροεπεξεργαστής είναι σε θέση να υπολογίζει τη πίεση που ασκείται μεταξύ των ποδιών του αθλητή και του εδάφους, περίπου 5 εκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο. Με τον τρόπο αυτό, ο μικροεπεξεργαστής ελέγχει ένα μοτεράκι, που μακραίνει ή μικραίνει ένα καλώδιο που είναι συνδεδεμένο στο πλαστικό στοιχείο της σόλας και τη προσαρμόζει κατάλληλα για να βελτιστοποιήσει την επίπεδο άνεσης. [6]

Τομέας Έξυπνου Περιβάλλοντος (σπίτι, γραφείο, κτηριακές εγκαταστάσεις)

Στο συγκεκριμένο τομέα μελετάται η υλοποίηση έξυπνων αντικειμένων σε μία κατοικία. Το αντικείμενο που εξετάζεται είναι μία έξυπνη κάμερα και ένας έξυπνος ανιχνευτής κίνησης (Εικόνα 2.16). Στη περίπτωση εισβολής χωρίς άδεια στον ιδιωτικό χώρο του κτηρίου ο ανιχνευτής κίνησης επικοινωνεί άμεσα με τον κεντρικό επεξεργαστή του κτηρίου, ο οποίος ενεργοποιεί τη καταγραφή των κινήσεων των εισβολέων. Επιπλέον είναι εφικτή η αυτόματη μετάδοση του συγκεκριμένου καταγεγραμμένου υλικού οπουδήποτε έχει δηλώσει ο εκάστοτε χρήστης. [16]



Εικόνα 2.16 - Τομείς των εφαρμογών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η χρήση έξυπνων ραφιών (Εικόνα 2.17) και έξυπνου τραπεζιού (Εικόνα 2.18) δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να βρίσκουν που έχουν αφήσει τα αντικείμενα τους και να πληροφορούνται για το τι περιέχεται στη βιβλιοθήκη τους. Οι έξυπνες βιβλιοθήκες είναι σε θέση να διαβάζουν τις ετικέτες από τα αντικείμενα που βρίσκονται τοποθετημένα στα ράφια τους και να στέλνουν τις πληροφορίες στη κεντρική βάση δεδομένων της κατοικίας. [16]



Εικόνα 2.17 - «Έξυπνη» Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.18 - «Έξυπνο» τραπέζι

Ένα ακόμη παράδειγμα από το χώρο των κτηριακών εγκαταστάσεων είναι η χρήση έξυπνων συσκευών στο γυμναστήριο και στα μουσεία. Για παράδειγμα στο γυμναστήριο ο γυμναστής μπορεί να φορτώνει στο κάθε μηχάνημα το προσωπικό πρόγραμμα του κάθε αθλητή, το οποίο να ενεργοποιείται με τη χρήση μιας προσωπικής RFID ετικέτας. Στο μουσείο ανάλογα με τα εκθέματα στη κάθε αίθουσα μπορεί το κτήριο να ρυθμίζει τις συνθήκες στην αίθουσα ώστε να προσομοιώνονται με τα εκθέματα. [11]

Τομέας Προσωπικός

Στο τομέα αυτό εξετάζεται μία μηχανή αναζήτησης για αντικείμενα. Η μηχανή αναζήτησης είναι ένα εργαλείο που βοηθάει να βρεθούν χαμένα αντικείμενα, στη περίπτωση για παράδειγμα που δε θυμάται κάποιος που το έχει αφήσει. Στην απλούστερη περίπτωση μία εφαρμογή διαδικτύου βασισμένη στο αναγνωριστικό RFID, επιτρέπει στους χρήστες να βρουν ποια ήταν η τελευταία τοποθεσία του αντικειμένου τους.

Μία εφαρμογή παρόμοια με τη προηγούμενη είναι η ενημέρωση του χρήστη σε περίπτωση που αντικείμενά του μετακινηθούν από κάποια προσωπική του περιοχή, όπως το σπίτι του ή το γραφείο του, το οποίο μπορεί να υποδεικνύει την κλοπή του αντικειμένου. Σε αυτή τη περίπτωση ο χρήστης πρέπει να ειδοποιείται άμεσα ή ακόμα και η ασφάλεια του κτηρίου. Για παράδειγμα θα μπορούσε να στέλνεται ένα μήνυμα

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (INTERNET OF THINGS)

(sms) στο κινητό του χρήση όταν ένα αντικείμενο (laptop, πορτοφόλι, κόσμημα) απομακρυνθεί από το κτήριο χωρίς άδεια. [11]

Μελλοντικές εφαρμογές

Στις μελλοντικές πόλεις, τα ταξί-ρομπότ μπορούν να συνωστίζονται μαζί, κινούμενα σε ομάδες και να εξυπηρετούν τους πελάτες τους με το πιο αξιόπιστο τρόπο. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι σε θέση να επικοινωνούν με το περιβάλλον τους και να ακολουθούν δρόμους όπου η κίνηση είναι μικρότερη. Επιπλέον είναι σε θέση να σταματάνε με την αναγνώριση των χειρονομιών των χρηστών και να λειτουργούν είτε με οδηγούς είτε και χωρίς οδηγούς. [11]

Βιβλιογραφία

- [1]. Lu Tan, Neng Wang, “Future Internet: The Internet of Things”, 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010, Pages 376 - 380
- [2]. G. Puyolle, “An Autonomic-oriented Architecture for the Internet of Things”, Modern Computing, 2006. JVA '06. IEEE John Vincent Atanasoff 2006 International Symposium, Sofia, 3-6 October 2006, Pages 163 - 168
- [3]. A. Juels, “RFID Security and Privacy: A Research Survey”, IEEE Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 24, No. 2, FEBRUARY 2006
- [4]. K. Takaragi, M. Usami, R. Imura, R. Itsuki, and T. Satoh, “An ultra small individual recognition security chip,” IEEE Micro, Vol. 21, no. 6, 2001, Pages 43 - 49,
- [5]. G. Kortuem, D. Fitton, F. Kawsar, V. Sundramoorthy, “Smart Objects as Building Blocks for the Internet of Things”, IEEE Internet Computing, January/February 2010, Pages 44 - 51
- [6]. J. Pereira, “From Autonomous to Cooperative Distributed Monitoring and Control: Towards the Internet of Smart Things”, at ERCIM Workshop on eMobility, Tampere, 30 May 2008
- [7]. Peer-to-peer - Βικιπαίδεια, <http://el.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer>
- [8]. Peer-to-peer - Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer>
- [9]. European Commission, Information Society and Media, “FUTURE NETWORKS, The way ahead!”
- [10]. David Geer, «IPv6 and Distributed Applications», IEEE Distributed Systems Online, Vol. 6, No. 12, 2005
- [11]. L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, “The Internet of Things: A survey”, Computer Networks, 31 May 2010
- [12]. O.Saleh, M. Hefeeda, “Modeling and Caching of Peer-to-Peer Traffic”, Network Protocols, 2006, ICNP '06, Proceedings of the 2006 14th IEEE International Conference, Santa Barbara, CA, 12-15 Nov. 2006, Pages 249 - 258
- [13]. Neeli R. Prasad, “Secure Cooperative Communication and IoT: Towards Greener Reality”, CTIF Workshop 2010, May 31-June 1, 2010
- [14]. Vagan Terziyan, Olena Kaykova, Dmytro Zhovtobryukh, “UbiRoad: Semantic Middleware for Cooperative Traffic Systems and Services”, International Journal On Advances in Intelligent Systems, Volume 3, Numbers 3 and 4, 2010, Pages 286 - 302
- [15]. Noboru Koshizuka, Ken Sakamura, “Ubiquitous ID: Standards for Ubiquitous Computing and the Internet of Things”, Pervasive Computing, Vol. 9, Issue 4, October-December 2010, Pages 98 - 101
- [16]. Seung-Ho Baeg, Jae-Han Park, Jaehan Koh, Kyung-Wook Park, Moon-Hong Baeg, “Building a Smart Home Environment for Service Robots Based on RFID and Sensor”, Control, Automation and Systems, 2007, ICCAS '07, International Conference, 17-20 Oct. 2007, Pages 1078 - 1082

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

How can cooperation emerge in a world of egoists without central authority?

Robert Axelrod

3.1) Εισαγωγή

Η έννοια της συνεργατικότητας προέρχεται από την ανάπτυξη της ίδιας της ανθρώπινης κοινωνίας ή ακόμα και της βιολογίας -τα κύτταρα συνεργάζονται και δημιουργούν τους ιστούς- και έχει τις ρίζες της πολύ παλιά. Οι άνθρωποι από τα αρχαία χρόνια κατάλαβαν ότι μέσα από την συνεργασία μπορούν να πετύχουν τα ίδια ή ακόμα και καλύτερα αποτελέσματα απ' ότι αν εργάζονταν ο καθένας ατομικά, έχοντας ως αποτέλεσμα τη σπατάλη λιγότερου χρόνου, ενέργειας, σκέψης ακόμα και χρημάτων. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία συνεχής προσπάθεια χρήσης της ιδέας της συνεργατικότητας στις επιστήμες και ιδιαιτέρως σε πολλούς τεχνολογικούς τομείς, όπως τα πληροφοριακά συστήματα, τα δίκτυα και οι τηλεπικοινωνίες.

3.2) Συνεργατικά δίκτυα

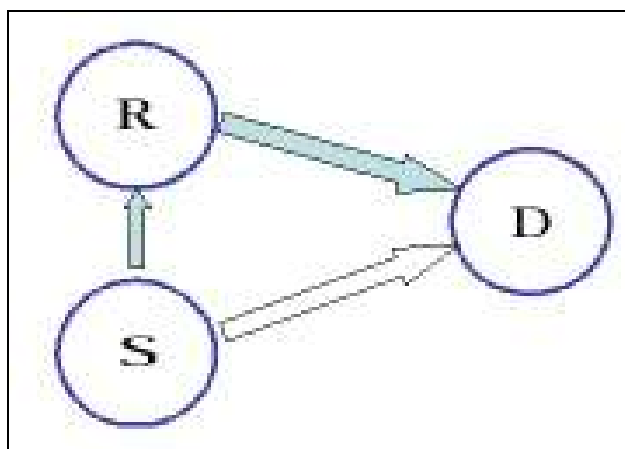
Η ανάγκη για επίτευξη ακόμα μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης όπως προβλέπεται από τα δίκτυα 4ης γενιάς, απαιτεί πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος ενώ ταυτόχρονα προκύπτει και αύξηση της πολυπλοκότητας στο δίκτυο. Όπως αναφέρεται και στο πρώτο Κεφάλαιο της παρούσης διπλωματικής εργασίας, η ITU έχει θέσει αυστηρές και συγκεκριμένες προδιαγραφές για τα δίκτυα 4ης γενιάς. Συνοπτικά αναφέρονται οι εξής: Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης κοντά στο 1 Gbit/s, συμβατότητα προς τα πίσω, δηλαδή συμβατότητα με τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς, καλύτερη ποιότητα στις υπηρεσίες πολυμέσων, όπως για παράδειγμα (Video On Demand, Mobile TV, HDTV). Επιπλέον τα δίκτυα 4ης γενιάς βασίζονται εξ' ολοκλήρου στην μεταγωγή πακέτου και στη χρήση του πρωτόκολλο IP για τα προς μετάδοση δεδομένα. Αναλυτικότερα οι προδιαγραφές αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Data transfer Capability	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100 Mbps (wide coverage) ▪ 1 Gbps (local area)
Networking	<ul style="list-style-type: none"> ▪ All-IP network (access and core networks) ▪ Plug & Access network architecture ▪ An equal-opportunity network of networks
Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ubiquitous ▪ Mobile ▪ Seamless and Continuous
Network Capacity	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10-fold that of 3G.
Latency	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Connection delay < 500 ms ▪ Transmission delay < 50 ms
Cost	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cost per bit: 1/10-1/100 lower than that of 3G ▪ Infrastructure cost: 1/10 lower than that of 3G
Connected Entities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Person-to-person ▪ Person-to-machine ▪ Machine-to-machine
4G Keywords	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Heterogeneity of networks, terminals and services ▪ Convergence of networks, terminals and services ▪ Harmonious wireless ecosystem ▪ Perceptible simplicity, hidden complexity ▪ Cooperation as one of its underlying principles.

Πίνακας 3.1 - Τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων 4ης γενιάς.

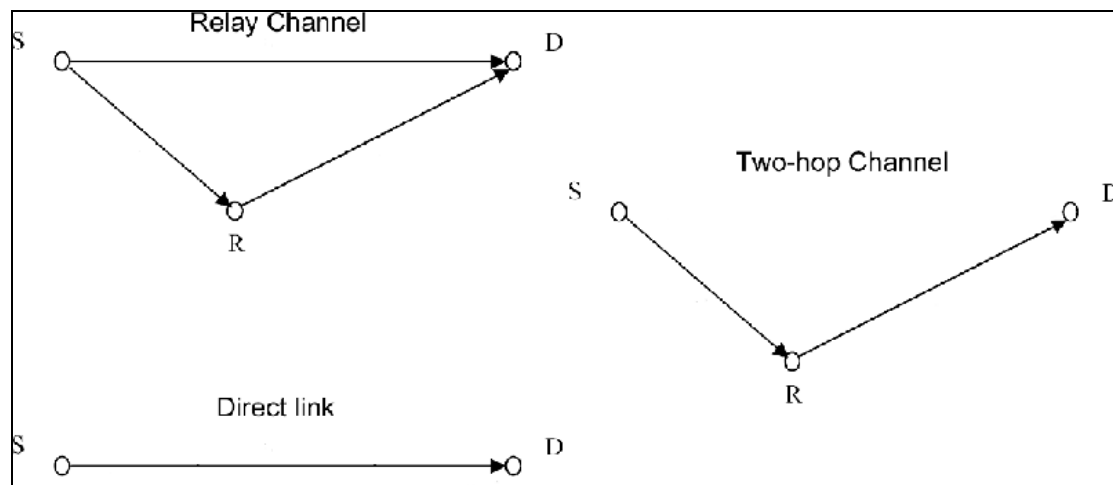
Επιπλέον μια καινοτομία που εισάγεται είναι η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ ετερογενών δικτύων. Είναι γεγονός ότι τεχνολογικά στη σημερινή εποχή γίνεται χρήση πολλών διαφορετικών δικτύων με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης, περιοχή κάλυψης και γενικά διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Σε γενικές γραμμές τα ασύρματα δίκτυα ευρείας πρόσβασης (wide access wireless networks) όπως για παράδειγμα το GPRS, UMTS έχουν μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης, υποστηρίζουν μεγαλύτερη κινητικότητα μεταξύ των χρηστών, αλλά παρέχουν χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε σύγκριση με τα δίκτυα μικρής πρόσβασης όπως το Bluetooth, WLAN. Τα διάφορα δίκτυα που χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο 3G, WLAN, καθώς και τα νέα δίκτυα υψηλών ρυθμών μετάδοσης θα μπορούν να λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και θα ανήκουν όλα σε ένα ευρύτερο δίκτυο [1]. Οι μεγάλοι ρυθμοί μετάδοσης, η απεριόριστη σύνδεση στο διαδίκτυο, η μεταφορά δεδομένων και η διαχείριση του φάσματος είναι μερικές από τις τεχνικές προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί δικτύων. Ως συνέπεια όλα αυτά τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις οδηγούν στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από τα κινητά τερματικά, γεγονός που δυσχεραίνει το σχεδιασμό και την υλοποίηση των δικτύων 4^{ης} γενιάς αλλά και νέων τερματικών συσκευών. [2]

Για να υποσκελιστούν τα προαναφερόμενα προβλήματα προτάθηκε μια νέα ιδέα η οποία καταρρίπτει τα δεδομένα που ισχύουν μέχρι σήμερα στις τηλεπικοινωνίες, τα συνεργατικά δίκτυα [2]. Πιο συγκεκριμένα η επικοινωνία με χρήση της peer-to-peer σύνδεσης κατά το οποίο ο Σταθμός Βάσης επικοινωνεί με το Κινητό Τερματικό μέσω μιας ζεύξης και το κάθε τερματικό λειτουργεί αυτόνομα, αντικαθίσταται πλέον από συνεργατικά δίκτυα και τερματικά [3]. Επιπλέον εισάγεται η έννοια του κόμβου (node) αντί του τερματικού. Κάθε κόμβος έχει την δυνατότητα να αποστέλλει και να λαμβάνει δεδομένα όπως και συμβαίνει και τώρα, αλλά έχει επίσης και την δυνατότητα να λειτουργεί ως ενδιάμεσος κόμβος, δηλαδή ως αναμεταδότης (relay), ώστε να προωθεί τα δεδομένα που προορίζονται για άλλους κόμβους του δικτύου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τοπολογία του δικτύου αποτελείται από το πομπό S (Source), το προορισμό D (Destination) και έναν ενδιάμεσο κόμβο R (Relay).



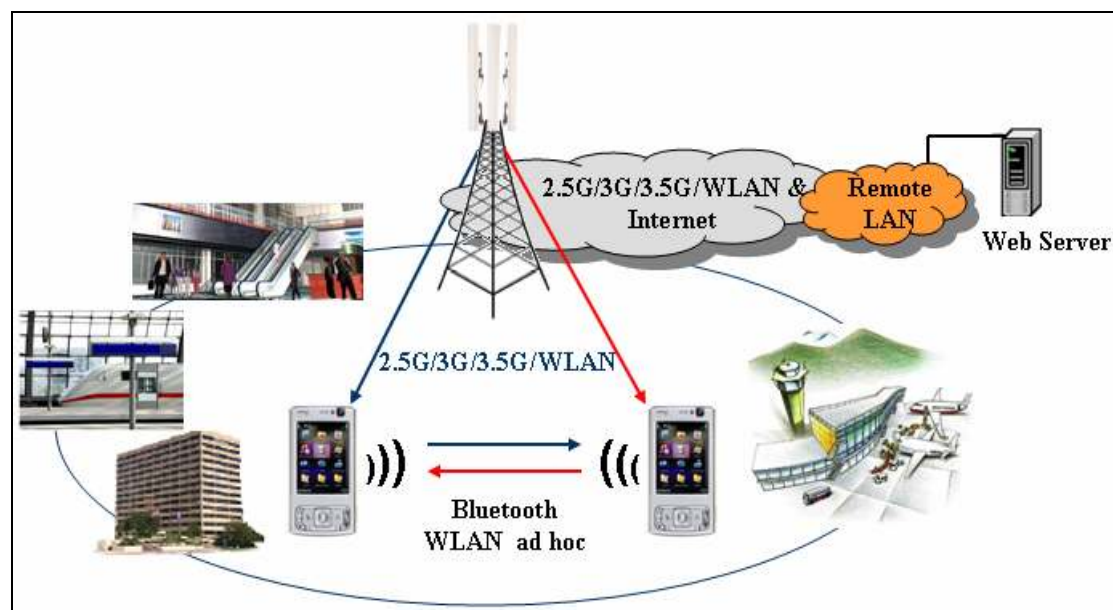
Εικόνα 3.1 - Συνεργατικά Δίκτυα

Γενικά ο πομπός (Σταθμός Βάσης) μπορεί να στείλει απευθείας δεδομένα στον προορισμό μέσω της απευθείας ζεύξης με ένα συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης. Σε αρκετές περιπτώσεις ωστόσο η απευθείας ζεύξη δεν προσφέρεται για αποστολή δεδομένων, εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων ή των μεγάλων απωλειών πακέτων. Επιπλέον μπορεί να απαιτείται για συγκεκριμένες υπηρεσίες επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης. Για τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών, η αποστολή των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων κόμβων, στη παραπάνω περίπτωση με χρήση του αναμεταδότη R. Σε πολλές περιπτώσεις η αποστολή δεδομένων μπορεί να γίνεται και με τους δύο τρόπους ταυτόχρονα για να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζονται οι δυνατοί τρόποι μετάδοσης των πακέτων πληροφορίας στο προηγούμενο απλούστερο παράδειγμα. Το απλό αυτό μοντέλο μπορεί να γενικευθεί σε περισσότερα τερματικά ή ακόμα και δίκτυα. Η συνεργατικότητα βέβαια ανάμεσα σε πολλά τερματικά ή ανάμεσα σε ετερογενή δίκτυα απαιτεί την μελέτη νέων πρωτοκόλλων επικοινωνίας ή την εισαγωγή επιπλέον bit επικεφαλίδας πληροφορίας (overhead) στα μηνύματα που ανταλλάσσουν τα τερματικά μεταξύ τους, αλλά και με τον Σταθμό Βάσης. Τα επιπλέον αυτά bit πληροφορίας, αναμένεται να μειώσουν το ρυθμαπόδοση (throughput) των δικτύων. Πρακτικά όμως το συνολικό κέρδος από τα συνεργατικά δίκτυα, σε ρυθμούς μετάδοσης, κατανάλωση ενέργειας και ακτίνα κάλυψης καθιστά τα επιπλέον bit πληροφορίας επικεφαλίδας αμελητέα.



Εικόνα 3.2 - Τρόποι μετάδοσης της πληροφορίας σε συνεργατικά δίκτυα

Τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς όπως προαναφέρθηκε θα αποτελούνται από πολλά μεταξύ τους συνδεδεμένα υποδίκτυα. Τα υπάρχοντα δίκτυα θα πρέπει να τροποποιηθούν έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν την συνεργατικότητα μεταξύ των διαφορετικών δικτύων και τερματικών (Εικόνα 3.4). Τα κινητά τερματικά θα έχουν δύο ασύρματες διεπαφές (air interfaces). Με τη πρώτη θα επικοινωνούν με τον σταθμό βάσης μέσω της κυψελωτής ζεύξης (cellular link) όπως γίνεται και στα τωρινά δίκτυα (GPRS, WLAN κτλ.) με την ιδιαιτερότητα ότι με χρήση της δεύτερης διεπαφής θα έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν με τα υπόλοιπα τερματικά μέσω ζεύξεων μικρής κλίμακας (Bluetooth, ad hoc κτλ), όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3.3. Οι δυο διεπαφές θα μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα όπως περιγράφεται στην συνέχεια της διπλωματικής.

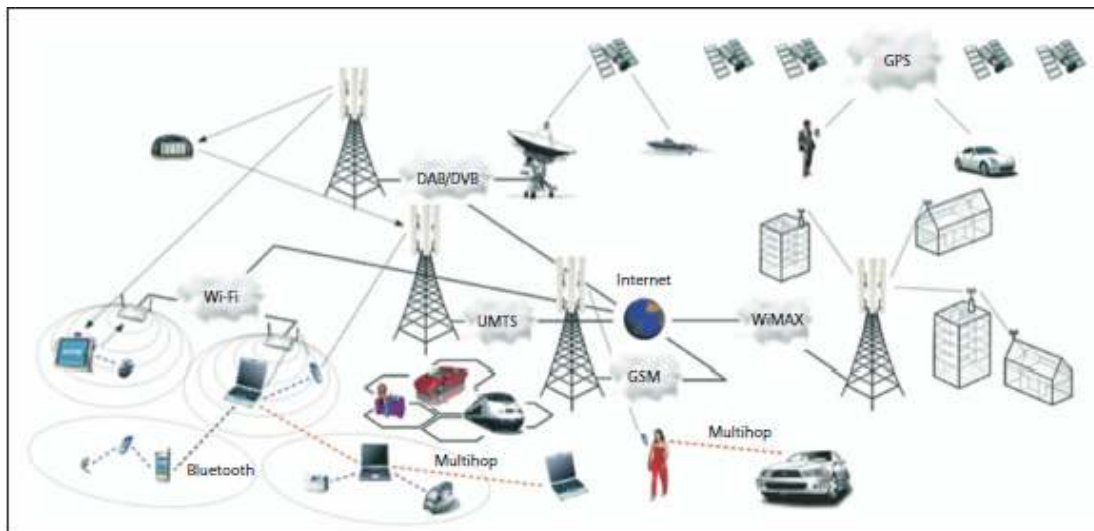


Εικόνα 3.3 - Τα συνεργατικά δίκτυα 4ης γενιάς

3.2.1) Στόχος και κέρδος χρήσης συνεργατικών δικτύων

Ο στόχος για τα συνεργατικά δίκτυα είναι να καλύψουν τις προδιαγραφές για τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς προσφέροντας μια απλή αρχιτεκτονική για την υλοποίηση τους και να προσφέρουν στους χρήστες την υψηλότερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών. Συνοψίζοντας λοιπόν, το κέρδος από τη χρήση συνεργατικών δικτύων 4^{ης} γενιάς παρουσιάζεται παρακάτω:

- **Ρυθμοί μετάδοσης:** Όπως αναφέρθηκε ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ του σταθμού βάσης και των τερματικών δεν αλλάζει, ωστόσο ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης βελτιώνεται σημαντικά μέσα από τα συνεργατικά δίκτυα. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης είναι υπερδιπλάσιος του κανονικού [2, 3].
- **Transmission time:** Καθώς ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται, η διάρκεια μετάδοσης αναμένεται να μειωθεί καθώς τα δεδομένα φθάνουν γρηγορότερα στον χρήστη. Η διάρκεια μετάδοσης μειώνεται ακόμα και στο μισό [4].
- **Χωρητικότητα κυψέλης:** Άμεσο επακόλουθο του προηγούμενου είναι η αύξηση της χωρητικότητας της κυψέλης. Στα συνεργατικά δίκτυα οι χρήστες κατεβάζουν ένα μόνο κομμάτι της συνολικής πληροφορίας κάτι το οποίο σημαίνει ότι σπαταλούν μικρότερο μέρος των πόρων του δικτύου, αυξάνοντας με αυτό το τρόπο τη χωρητικότητα του συστήματος.
- **Ακτίνα κάλυψης:** Μέσα από την συνεργασία των κινητών τερματικών οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε μια υπηρεσία σε μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης. Λόγω της συνεργασίας μέσα από ζεύξεις μικρής κλίμακας η πληροφορία μπορεί να διαδοθεί σε αρκετά μεγαλύτερη απόσταση [2, 3].
- **Ενεργειακή κατανάλωση:** Η κατανάλωση ενέργειας μέσα από τις ζεύξεις μικρής κλίμακας είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τις άλλες ζεύξεις. Στα συνεργατικά δίκτυα τα τερματικά χρησιμοποιούν πολύ μικρότερο ποσοστό της ζεύξης με τον σταθμό βάσης καθώς χρησιμοποιούν πολύ τις ζεύξεις μικρής κλίμακας για να επικοινωνήσουν με τους γειτονικούς κόμβους και με τον τρόπο αυτό η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται σημαντικά [2, 3, 5].
- **Ποιότητα υπηρεσιών (QoS) :** Όλα τα παραπάνω στοιχεία σε συνδυασμό με την βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) , αλλά και του λόγου σήματος-προς-παρεμβολή (SIR) συνεισφέρουν στην αύξηση του ρυθμού μετάδοσης της πληροφορίας με ταυτόχρονη μείωση της πιθανότητας λανθασμένου ψηφίου (BEP) και κατά συνέπεια στην θεαματική βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- **Κόστος υπηρεσιών:** Είτε ληφθεί υπόψη ο χρόνος που τα τερματικά χρησιμοποιούν την ζεύξη με τον σταθμό βάσης είτε ο όγκος των δεδομένων που κατεβάζουν από αυτόν υπάρχει σημαντική μείωση. Το κόστος λοιπόν των υπηρεσιών φυσιολογικά μειώνεται [4].



Εικόνα 3.4 - Ετερογενή δίκτυα

3.2.2) Τρόποι μετάδοσης των δεδομένων στα συνεργατικά δίκτυα

Προς το παρόν υπάρχουν δύο τρόποι μετάδοσης των δεδομένων και διαφοροποιούνται κυρίως στο κατά πόσο είναι ενημερωμένος ο εξυπηρετητής (server) για την διαδικασία της συνεργασίας. Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά μεταξύ των τρόπων επικοινωνίας, εξετάζεται το παράδειγμα όπου υπάρχουν δύο μόνο χρήστες και επιθυμούν να κατεβάσουν το ίδιο αρχείο από έναν server. [4]

- **Στατικός εξυπηρετητής (Static server) - aware:** Στην πρώτη περίπτωση ο server πρέπει να λαμβάνει πριν την μετάδοση τις απαραίτητες πληροφορίες για την συνεργατική διαδικασία. Μόλις ο server λάβει τις πληροφορίες αυτές, τα συνολικά προς μετάδοση δεδομένα χωρίζονται σε δύο μέρη (στην περίπτωση μας) και το κάθε τερματικό κατεβάζει το κομμάτι που του ανατίθεται. Το υπόλοιπο κομμάτι το ανταλλάσσουν μέσω της ζεύξης μικρής κλίμακας. Με την εγκατάσταση της ζεύξης αυτής, για παράδειγμα με χρήση του Bluetooth, τα τερματικά γνωρίζουν ποιο κομμάτι θα κατεβάσουν. Αν δεν υπάρξει συνεργασία τότε κάθε τερματικό θα κατεβάσει ολόκληρο το αρχείο. Το σενάριο αυτό αν και απλό έχει την δυνατότητα να επεκταθεί σε περισσότερα τερματικά.
- **Δυναμικός Εξυπηρετητής (Dynamic server) - unaware:** Η περίπτωση αυτή βασίζεται στην δυνατότητα του πρωτοκόλλου HTTP/1.1 για Range Request, δηλαδή το τερματικό έχει την δυνατότητα να επιλέξει ποιά bytes από κάποιο αρχείο θα κατεβάσει. Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο τα τερματικά στέλνουν μια αίτηση HTTP HEAD στον server για να μάθουν πληροφορίες για το αρχείο. Στην συνέχεια μέσα από την ζεύξη μικρής κλίμακας αποφασίζουν ποιά bytes θα κατεβάσει το καθένα και στέλνουν εκ νέου στον server ένα HTTP GET request με το προσυμφωνημένο Range Request μέσα στο GET. Το παράδειγμα αυτό γενικεύεται και για περισσότερα τερματικά. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο δυναμικός τρόπος μετάδοσης των δεδομένων. Ακόμα και αν χαθεί η ζεύξη μικρής κλίμακας το τερματικό απλά θα στείλει ένα ακόμα HTTP GET request στον server με σκοπό να κατεβάσει τα εναπομείναντα bytes/πακέτα/αρχεία.

3.3) Υπηρεσίες στα συνεργατικά δίκτυα

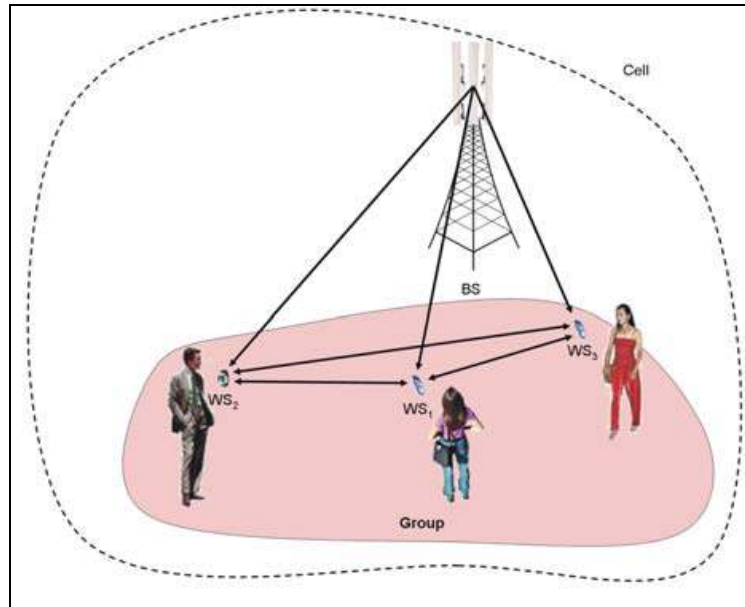
Παρατηρώντας τα δίκτυα 4ης γενιάς από την οπτική γωνία του χρήστη, διαφαίνεται η υπόσχεση για πληθώρα νέων εφαρμογών και υπηρεσιών. Το νέο σύστημα επικοινωνίας των τερματικών παρότι κυψελωτό δεν θα βασίζεται εξ' ολοκλήρου στην επικοινωνία σταθμού βάσης με το κινητό τερματικό, αλλά αντιθέτως η έννοια της συνεργατικότητας μεταξύ των κόμβων του δικτύου βασίζεται και στη χρήση συστημάτων επικοινωνιών μικρής κλίμακας (short-range communication systems). Η συνεργατικότητα μεταξύ των κόμβων βελτιώνει την αξιοπιστία των προσφερόμενων υπηρεσιών, αυξάνοντας την ακτίνα κάλυψης και μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα των δικτύων 3^{ης} γενιάς είναι η ανεπάρκεια τους στο να παρέχουν στο χρήστη νέες υπηρεσίες. Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίστηκαν ως μια απλή επέκταση των δικτύων 2^{ης} γενιάς και δεν έδωσαν κίνητρα στους χρήστες για να τα επιλέξουν, αρκεί να ληφθεί υπόψη ότι η 3GPP είχε ελλείψεις στη δυνατότητα δημιουργίας νέων καινοτόμων υπηρεσιών. Στα τελευταία πάντως πρότυπα παρουσιάστηκε η συγχώνευση δύο υπηρεσιών με υψηλές απαιτήσεις, όπως είναι Multimedia Broadcast and Multicast Service Center (MBMS) σε συνδυασμό με το IP Multimedia System (IMS), χωρίς όμως την αντίστοιχη απήχηση στην αγορά που αναφερόταν. Επιπλέον παρόλο την μικρή αυτή βελτίωση, στο συγκεκριμένο πρότυπο δεν λαμβάνεται υπόψη και δεν παρέχεται στη πράξη η δυνατότητα προσαρμογής της κατάλληλης κάθε φοράς τεχνολογίας πρόσβασης για χρήση του παραπάνω συνδυασμού υπηρεσιών. Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι για να τραβήξουν την προσοχή των χρηστών και να εισαχθούν δυναμικά στην αγορά τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς πρέπει να προσφέρουν πληθώρα νέων υπηρεσιών στους χρήστες σε υψηλή ποιότητα, χαμηλές τιμές, αλλά και προσαρμοστικότητα σε κάθε είδος δικτύου. [6]

3.3.1) Συνεργατικές υπηρεσίες υποστηριζόμενες από χρήστες διαφορετικών απαιτήσεων

Ένα παράδειγμα συνεργατικών υπηρεσιών παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι διάφοροι ασύρματοι σταθμοί βρίσκονται στην ίδια κυψέλη και επιχειρούν πρόσβαση στην ίδια υπηρεσία. Εάν κάποιος από τους χρήστες έχει λάβει κάποια κομμάτια πληροφορίας ή ακόμα και την συνολική πληροφορία, έχει την δυνατότητα να μεταδώσει την πληροφορία αυτή και στους υπόλοιπους χρήστες που περιμένουν να τη κατεβάσουν κάνοντας χρήση μια μικρής κλίμακας μετάδοσης, όπως για παράδειγμα με χρήση της τεχνολογίας Bluetooth. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας καθώς η μετάδοση σε μικρή απόσταση απαιτεί λιγότερη ενέργεια απ' ότι η επικοινωνία με τον σταθμό βάσης.

Επιπλέον με την τοπική αναμετάδοση των πακέτων υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αχρησιμοποίητες συχνότητες ή ακόμα και να μοιραστεί το φάσμα ανάμεσα στα υποδίκτυα που τυχόν δημιουργούνται, παρέχοντας με τον τρόπο αυτό εξοικονόμηση φάσματος και πόρων του δικτύου. Η νέα αυτή υπηρεσία αναμένεται να δώσει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα σχήματα αναμετάδοσης καθώς και σημαντική βελτίωση στην ποιότητα των υπηρεσιών [5]. Η υπηρεσία αυτή διαχειρίζεται είτε από το φυσικό στρώμα είτε από το στρώμα ζεύξης δεδομένων (χαμηλά δηλαδή στο OSI) και για το λόγο αυτό αναμένεται να έχει μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας.

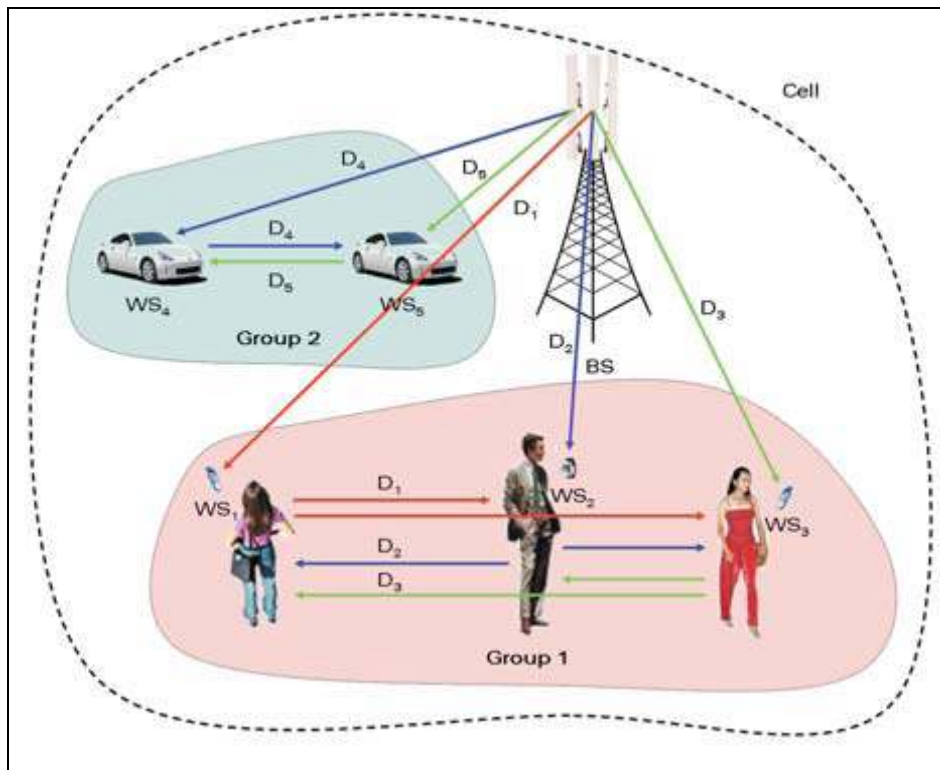


Εικόνα 3.5 - Συνεργατικές Υπηρεσίες

3.3.2) Αυξανόμενη ποιότητα υπηρεσιών λόγω της συγκέντρωσης χρηστών

Ένα ακόμη παράδειγμα συνεργατικών υπηρεσιών είναι η περίπτωση όπου πολλοί χρήστες, δηλαδή ασύρματα τερματικά και κόμβοι που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη θέλουν εκ νέου πρόσβαση σε μία υπηρεσία, όπως για παράδειγμα στο κατέβασμα ενός αρχείου βίντεο. Ο Σταθμός Βάσης πρέπει να αποφασίσει τον τρόπο που θα εξυπηρετήσει όλους τους χρήστες ταυτόχρονα. Στην περίπτωση αυτή δεν θα στείλει την ίδια πληροφορία σε όλους (multicast) αλλά θα στείλει σε ορισμένους χρήστες κάποιους περιγραφείς (descriptors) για το ποιά αρχεία θα λάβουν όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3.6. Στην συνέχεια με χρήση ακριβώς της ίδιας λογικής των περιγραφών και καθώς οι χρήστες θα έχουν κατεβάσει μέρος από το αρχείο που έχουν ζητήσει, θα γίνει διαμοιρασμός μέσω μικρής κλίμακας μεταδόσεων στους υπόλοιπους χρήστες και θα λάβουν τα αντίστοιχα κομμάτια που δεν έχουν παραλάβει από τον σταθμό βάσης με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα, η ύπαρξη μικρότερης κατανάλωσης ισχύος σε όλους τους χρήστες, η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών αλλά και η εξοικονόμηση χρόνου καθώς οι μεταδόσεις κοντινών αποστάσεων υπερτερούν, κατά τεκμήριο, στους ρυθμούς μετάδοσης απ' ότι η επικοινωνία σταθμού βάσης κινητού τερματικού. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό η ποιότητα των υπηρεσιών και η πυκνότητα συγκέντρωσης των χρηστών είναι δύο ανάλογες έννοιες, δηλαδή υπάρχει αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών με αύξηση της συγκέντρωσης των χρηστών και το αντίστροφο. Συμπερασματικά λοιπόν μπορεί να παρατηρηθεί, ότι ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τερματικού δεν εμφανίζουν κάποια βελτίωση, εντούτοις όμως ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης βελτιώνεται σημαντικά λόγω της συνεργασίας των κινητών τερματικών μέσα από τις κοντινές ζεύξεις. [5]



Εικόνα 3.6 - Συνεργατικές Υπηρεσίες με διαμοιρασμό περιγραφών (D1, D2, D3, D4, D5) σε διαφορετικούς χρήστες.

Για την μελέτη της παραπάνω υπηρεσίας χρησιμοποιήθηκε Multiple Description Coding (MDC) σαν τεχνική κωδικοποίησης της πληροφορίας όπως περιγράφεται και στο Παράρτημα. Η τεχνική αυτή αφορά κυρίως την μετάδοση video και βασίζεται στην ιδέα κατάτμησης της συνολικής ροής πληροφορίας (streaming) σε υποροές πληροφορίας (substreams) [7]. Με τον τρόπο αυτό, στο παραπάνω παράδειγμα κάθε ασύρματος σταθμός κατεβάζει μία ή παραπάνω υποροή πληροφορίας και την ανταλλάσει με τους γειτονικούς του σταθμούς μέσω ζεύξεων μικρής κλίμακας.

3.3.3) Μοντέλα Αναμεταδοτών (Relay models)

Ως τελευταίο παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση, όπως έχει παρουσιαστεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο ένας χρήστης να μπορεί να παίζει τον ρόλο του ενδιάμεσου κόμβου (relay), με σκοπό κάποιος άλλος χρήστης να μπορεί να έχει πρόσβαση σε κάποια υπηρεσία όταν δεν του επιτρέπεται η πρόσβαση από την απευθείας ζεύξη. Τέτοιου είδους πρόβλημα μπορεί να προκύψει είτε λόγω φαινομένων απωλειών είτε κακής ποιότητας του καναλιού, είτε ακόμα επειδή θα έχει μεγαλύτερο κέρδος από αυτή την διαδικασία. Είναι εμφανές ότι ο μοναδικός κερδισμένος σε αυτή την περίπτωση είναι ο χρήστης της υπηρεσίας ενώ ο ενδιάμεσος χρήστης δεν λαμβάνει κάποιο όφελος από την υπηρεσία αυτή. Ο χρήστης της υπηρεσίας αναμένεται να επιτυγχάνει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης μέσω της χρήσης του ενδιάμεσου κόμβου και ασφαλώς αναμένεται να έχει ακόμα μεγαλύτερο ενεργειακό κέρδος. Η ζεύξη μικρής κλίμακας απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ισχύος από την απευθείας κυψελωτή ζεύξη. Για την επιτυχία αυτής της υπηρεσίας είναι απαραίτητο να δοθούν κάποια κίνητρα στους χρήστες, κυρίως όταν παίρνουν τη θέση του ενδιάμεσου κόμβου, όπως περιγράφεται εκτενώς και παρακάτω. [2]

Έχουν προταθεί αρκετοί τρόποι με του οποίους μπορούν να λειτουργήσουν οι ενδιάμεσοι κόμβοι για να προωθήσουν την πληροφορία στον προορισμό. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά παρακάτω [2]:

- **Αποκωδικοποίηση & Προώθηση (Decode and Forward):** Σε αυτή την περίπτωση ο ενδιάμεσος κόμβος αποκωδικοποιεί το σήμα που λαμβάνει και το προωθεί στον προορισμό εισάγοντας κάποια επιπλέον πληροφορία στα πακέτα ή συμπιέζοντάς τα. Είναι πολύ σημαντικό για την μετάδοση της πληροφορίας ο ενδιάμεσος κόμβος να αποκωδικοποιήσει σωστά την πληροφορία που λαμβάνει από τον πομπό καθώς σε διαφορετική περίπτωση θα προωθήσει λανθασμένη πληροφορία
- **Εκτίμηση & Προώθηση (Estimate and Forward):** Σε αυτή την περίπτωση ο ενδιάμεσος κόμβος δεν αποκωδικοποιεί το προς μετάδοση σήμα αλλά συνεισφέρει στη αποκωδικοποίηση στον προορισμό αποστέλλοντας μια εκτίμηση του μεταδιδόμενου σήματος.
- **Ενίσχυση & Προώθηση (Amplify and forward):** Ο ενδιάμεσος κόμβος ενισχύει και προωθεί το σήμα στον προορισμό. Το ποσοστό ενίσχυσης εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα της ζεύξης μεταξύ του ενδιάμεσου κόμβου και του προορισμού αλλά και μεταξύ της πηγής και του ενδιάμεσου κόμβου. Για την σωστή προώθηση της πληροφορίας είναι σημαντικό το σήμα να φθάνει στον ενδιάμεσο κόμβο με ένα ικανοποιητικό, πάνω από κάποιο κατώφλι, σηματοθορυβικό λόγο SNR, καθώς σε διαφορετική περίπτωση ο κόμβος θα ενισχύσει και θα μεταδώσει στον προορισμό θόρυβο αντί για πληροφορία.
- **Διευκόλυνση (Facilitation):** Όταν ο αναμεταδότης δεν μπορεί να συνεισφέρει στην μετάδοση της πληροφορίας από τον πομπό στον προορισμό τότε απλά προσπαθεί να μείνει ως παρατηρητής της ζεύξης αποστέλλοντας αδιάφορα σήματα ελέγχου (η τεχνική αυτή παρουσιάζει μόνο θεωρητικό ενδιαφέρον).

Τέλος μια ακόμη υπηρεσία που πραγματικά αποδεικνύει την ανάγκη και ταυτόχρονα το πλεονέκτημα για συνεργασία και συνεργατικότητα μεταξύ των δικτύων, είναι η δυνατότητα του χρήστη της επιλογής δικτύου πρόσβασης σε κάποια υπηρεσία. Μέσω των συνεργατικών δικτύων ο χρήστης αναμένεται να έχει πρόσβασή σε πολλά διαφορετικά δίκτυα. Η ετερογενής αυτή υπηρεσία βασίζεται στην τοπολογία των δικτύων 4^{ης} γενιάς, δηλαδή για δίκτυο που αποτελείται από πολλά δίκτυα και στην δημιουργία έξυπνων τερματικών. Ένα απλό παράδειγμα είναι το εξής: έστω ότι το τερματικό του χρήστη δεν μπορεί να συνδεθεί στο προεπιλεγμένο δίκτυο, για παράδειγμα το ασύρματο δίκτυο WLAN της περιοχής που βρίσκεται. Με τη συνεργασία των δικτύων, θα έχει τότε τη δυνατότητα να συνδεθεί σε κάποιο άλλο διαφορετικό δίκτυο ή ακόμα να έχει πρόσβαση σε κάποια υπηρεσία μέσω ενός ή περισσότερων κόμβων (relay). [8]

3.3.4) Παραδείγματα εφαρμογών και πειραματικά αποτελέσματα

Τα συνεργατικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό και πειραματικό στάδιο και δεν υπάρχει κάποιο ευρέως χρησιμοποιούμενο δίκτυο που να έχει εφαρμοστεί και να προσεγγίζει τα δίκτυα αυτά. Κατά συνέπεια δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα εφαρμογές που να αφορούν εξ' ολοκλήρου τα δίκτυα αυτά. Ως βασική ανάγκη για την ανάπτυξη εφαρμογών απαιτείται η συμφωνία και η δημιουργία του προτύπου για τον ορισμό των δικτύων 4^{ης} γενιάς, της αρχιτεκτονικής τους και της διαστρωμάτωσης τους. Υπάρχουν ωστόσο κάποιες υλοποιημένες εφαρμογές οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω και παρέχουν με άμεσο τρόπο της δυνατότητες χρήσης των συνεργατικών δικτύων.

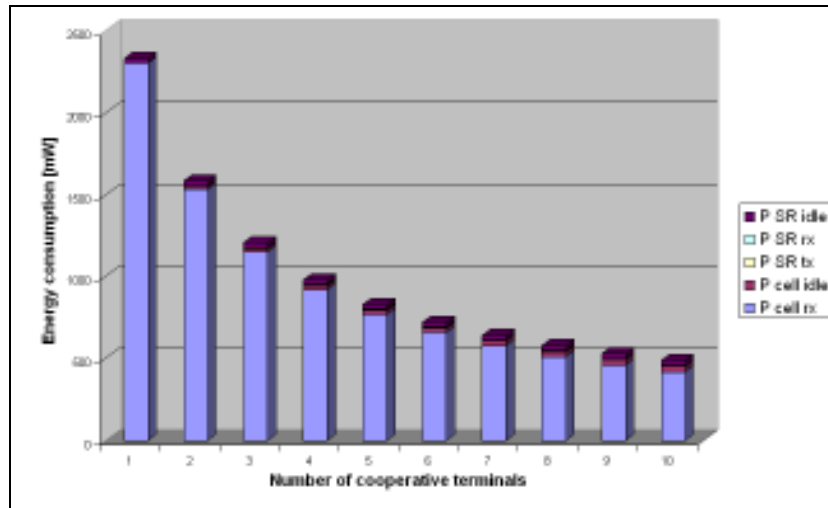
3.3.4.1) Η ιδέα των torrent

Το πρώτο παράδειγμα είναι η εφαρμογή του BitTorrent σε ασύρματες επικοινωνίες μέσα από μια πλατφόρμα με λογισμικό Symbian. Όπως και στην κανονική μορφή του BitTorrent ο εξυπηρετητής (server) διαθέτει ένα αντίγραφο ενός αρχείου και υπάρχουν δύο τερματικά που θέλουν να κατεβάσουν το αρχείο. Γνωρίζει επίσης ποιοι χρήστες διαθέτουν το αρχείο αυτό και σε ποιο ποσοστό. Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε GPRS για την πρόσβαση στον εξυπηρετητή και Bluetooth για την ζεύξη των δύο τερματικών. Ο εξυπηρετητής δίνει την δυνατότητα είτε κάθε τερματικό να κατεβάσει μόνο του όλο το αρχείο είτε να συνεργαστούν. Με την συνεργασία τα τερματικά κατεβάζουν το μισό σχεδόν αρχείο και ανταλλάζουν το υπόλοιπο μέσω Bluetooth. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μέσα από την συνεργασία ο χρόνος που χρειάζονται τα τερματικά είναι περίπου ο μισός απ' ότι αν κατέβαζε καθένα ξεχωριστά όλο το αρχείο, ενώ παρατηρείται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης της τάξεως του 44%. [1]

3.3.4.2) Κατέβασμα video και video streaming

Το video streaming έχει γίνει ίσως η πιο δημοφιλής εφαρμογή τη τωρινή εποχή ώστε να θεωρείται ως απαραίτητη υπηρεσία από τους χρήστες. Η υπηρεσία έχει υψηλές λειτουργικές απαιτήσεις, καθώς απαιτεί χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλή απώλεια πακέτων και δεσμεύει μεγάλο μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Επιπλέον η υπηρεσία αυτή είναι ιδιαίτερα απαιτητική όσο αφορά την ενεργειακή κατανάλωση και για το μέρος του κατεβασματος και για την εμφάνιση του video περιορίζοντας σημαντικά την διάρκεια ζωής της μπαταρίας των τερματικών. Για το λόγο αυτό η συνεργατικότητα των τερματικών μπορεί να προσφέρει λύσεις στα παραπάνω προβλήματα.

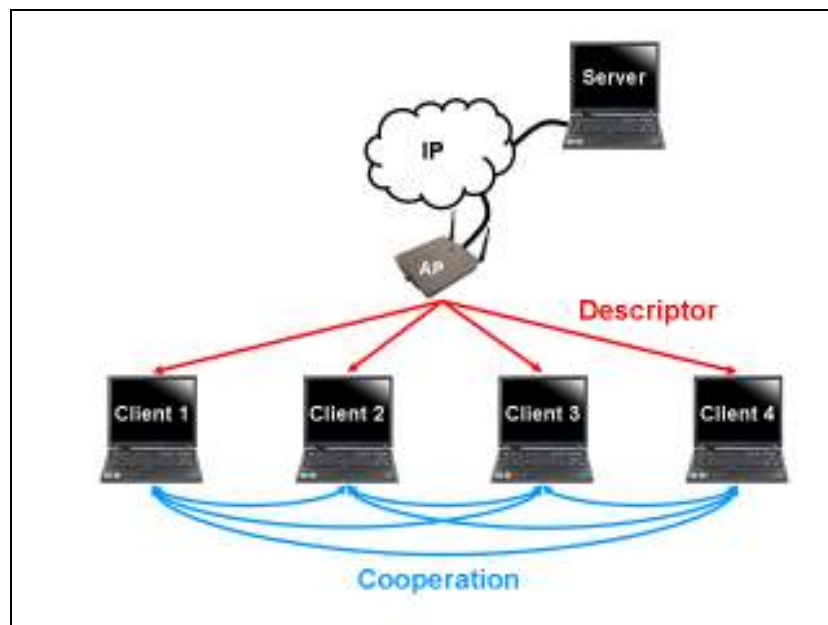
Συγκεκριμένα εκτελούνται μερικά σενάρια για την αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης του video streaming με βάση δύο τεχνικές κωδικοποίησης τις MDC και SVC, όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Στο σενάριο χρησιμοποιείται ένας αριθμός από κινητά τερματικά που επικοινωνούν μεταξύ τους με χρήση διαφόρων δικτύων μικρής κλίμακας (WLAN, Bluetooth, UWB) και με τον σταθμό βάσης (WLAN, GPRS). Σε όλα τα δυνατά σενάρια παρατηρείται μεγάλο ενεργειακό κέρδος και με τις δύο τεχνικές κωδικοποίησης, το οποίο αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των συνεργαζόμενων τερματικών, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.7. Το ενεργειακό κέρδος μπορεί να φθάσει στο 50% περίπου (MDC με GPRS/BT). [9]



Εικόνα 3.7 - Η ενεργειακή κατανάλωση συναρτήσει των αριθμό των τερματικών που συνεργάζονται (SVC, GPRS/BT).

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής που ονομάζεται EnhanceD cooperative Wireless Networks (EDWIN) και βασίζεται στο MDC όπως αναφέρεται και παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8, υλοποιείται ένα δίκτυο τεσσάρων υπολογιστών που συνδέονται μεταξύ τους μέσω IEEE802.11a και συνδέονται επίσης με ένα εξυπηρετητή video μέσω ενός access point με IEEE802.11b. Επειδή χρησιμοποιείται MDC η συνολική ροή πληροφορίας χωρίζεται σε μικρότερες επιμέρους ροές και κάθε υπολογιστής κατεβάζει συγκεκριμένους περιγραφείς (descriptors). Στην συνέχεια οι τέσσερις υπολογιστές ανταλλάσσουν τους περιγραφείς πολύ γρήγορα μέσω IEEE802.11a.

Η συνεργασία αυτή σε κυβελωτή ζεύξη αυξάνει εικονικά το εύρος ζώνης της ζεύξης και επιτυγχάνονται παρόμοια αποτελέσματα με την παραπάνω εφαρμογή.



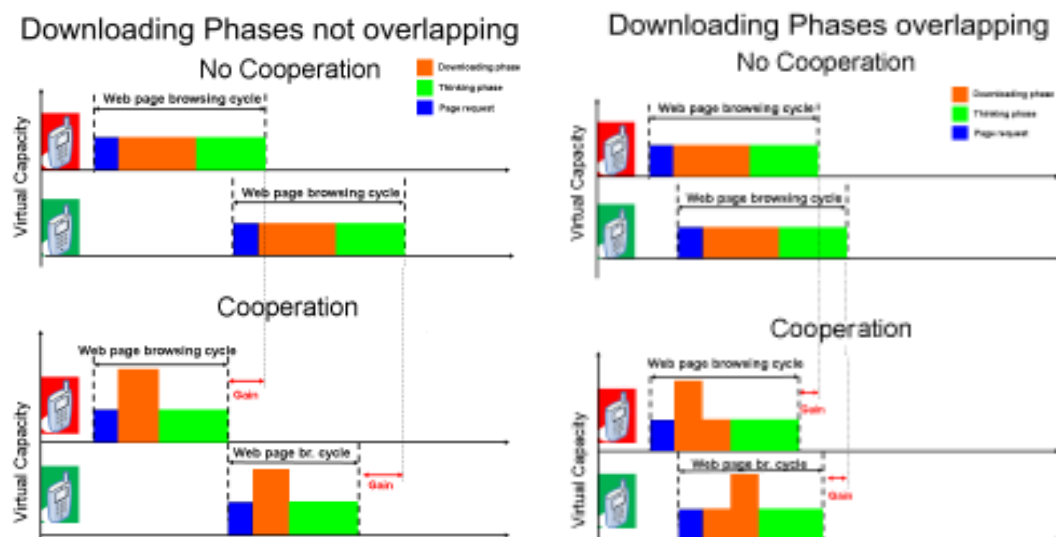
Εικόνα 3.8 - EDWIN project.

3.3.4.3) Web browsing

Μία ακόμα εφαρμογή που αναμένεται να έχουν τα συνεργατικά δίκτυα αφορά τη πλοήγηση ιστοσελίδας (web browsing). Η χρήση του Internet στα κινητά γίνεται με τον καιρό όλο και πιο δημοφιλής. Οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης και οι υψηλές τιμές απέτρεπαν τους χρήστες από το χρησιμοποιήσουν το Internet στο κινητό τους. Παρόλα αυτά τα συνεργατικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς υπόσχονται υψηλές επιδόσεις σε εφαρμογές που αφορούν το διαδίκτυο. [10]

Η πλοήγηση ιστοσελίδας μέσα από την συνεργασία των τερματικών μπορεί να γίνει αρκετά γρήγορα. Για ένα τερματικό υπάρχουν τρεις φάσεις κατά την πλοήγηση. Η πρώτη φάση περιέχει την αίτηση προς τον εξυπηρετητή για την ιστοσελίδα, η δεύτερη το κατέβασμα της ιστοσελίδας και η τρίτη την επεξεργασία των δεδομένων όπως για παράδειγμα το διάβασμα ειδήσεων. Εξετάζεται η πιο απλή περίπτωση με δύο τερματικές συσκευές. Το πρώτο τερματικό (master) στέλνει αίτηση στο δεύτερο (slave) για να κατεβάσει κάποια αρχεία της ιστοσελίδας. Η επικοινωνία των δύο τερματικών γίνεται μέσα από ζεύξεις μικρής κλίμακας, συνήθως Bluetooth.

Σε περίπτωση που το δεύτερο τερματικό δεν κάνει αίτηση για διαφορετική πλοήγηση θα συνεισφέρει στο κατέβασμα της ιστοσελίδας. Η χωρητικότητα του συστήματος αυξάνεται και ο χρόνος που απαιτείται για το κατέβασμα μειώνεται. Το κέρδος σε χρόνο και η χωρητικότητα του συστήματος φαίνονται στην εικόνα 3.9α. Επιπλέον η εικονική χωρητικότητα (εικονική διότι δεν είναι πραγματική αλλά συνυπολογίζεται από τις χωρητικότητες του master και του slave) σχεδόν διπλασιάζεται. Στη περίπτωση που οι δύο φάσεις κατεβάσματος συμπίπτουν (δηλαδή ο slave έχει ήδη κάνει μία αίτηση για κάποια ιστοσελίδα) τότε κάθε τερματικό κατεβάζει την δική του ιστοσελίδα. Γι' αυτό και το κέρδος είναι αρκετά μικρό. Στη περίπτωση που κάποιο τερματικό βγει από το φάση κατεβάσματος τότε προσφέρει τη ζεύξη του για συνεργασία και ανεβαίνει έτσι η εικονική χωρητικότητα του χρήστη, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3.9β. [10]



Εικόνα 3.9 - WEB Browsing. Στην πρώτη περίπτωση οι φάσεις κατεβάσματος δεν επικαλύπτονται και διακρίνονται οι περιπτώσεις που τα κινητά τερματικά είτε συνεργάζονται είτε όχι. Στην δεύτερη περίπτωση οι 2 φάσεις συμπίπτουν.

Στην παραπάνω εφαρμογή πρέπει να τονιστεί ότι το ενεργειακό κέρδος που αναμένεται να έχουν τα δύο τερματικά αυξάνεται με την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος και τη μείωση της διάρκειας χρήσης της ζεύξης με τον εξυπηρετητή. Με αυτό το τρόπο η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται. Με την αύξηση των τερματικών το web browsing θα αποτελεί μια πολύ γρήγορη και υψηλής ποιότητας εφαρμογή για τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς.

3.4) Τρέχοντα προγράμματα στα συνεργατικά δίκτυα

Έχουν ήδη ξεκινήσει αρκετά ερευνητικά προγράμματα για την μελέτη και επέκταση των συνεργατικών δικτύων 4^{ης} γενιάς. Σκοπός των προγραμμάτων αυτών είναι η βαθύτερη μελέτη και κατανόηση των δικτύων αυτών, καθώς και η προσπάθεια εφαρμογής τους στην πράξη. Παρακάτω παρουσιάζονται τα τέσσερα υπό μελέτη ερευνητικά προγράμματα.

1) "Cognitive Radio and Networking for Cooperative Coexistence of Heterogeneous Wireless Networks"

Το πρόγραμμα αυτό υπό την αιγίδα του COST Action IC0902 είναι να υλοποιήσει την ιδέα του cognitive radio σε όλα τα στρώματα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Το cognitive radio αφορά την δυναμική και αποτελεσματική διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος και των πόρων του δικτύου. Μελετάται λοιπόν η εφαρμογή του μεταξύ ετερογενών δικτύων για την βέλτιστη διαχείριση των πόρων του συστήματος μέσω της συνεργατικότητας μεταξύ των δικτύων αυτών. [11]

2) "Cognitive radio and Cooperative strategies for POWER saving in multi-standard wireless devices"

Το πρόγραμμα αυτό είναι υπό την αιγίδα της ευρωπαϊκής ένωσης, χρηματοδοτείται από το 7^ο κοινοτικό πλαίσιο και έχει στόχο την μελέτη και εφαρμογή της τεχνολογίας του cognitive radio και των συνεργατικών δικτύων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας στα ασύρματα δίκτυα. [12]

3) "Cooperative Situational Awareness for Wireless Networks "

Τα δίκτυα στη σημερινή εποχή δεν αντιμετωπίζουν μόνο δυαδικά δεδομένα αλλά καλούνται να επικοινωνούν με το περιβάλλον τους, να πλοηγούν (GPS). Ωστόσο τα δίκτυα αυτά πλησιάζουν τα θεωρητικά όρια τους όσο αφορά την ρυθμαπόδοση (throughput) στην επικοινωνία, τον εντοπισμό θέσεως και τις αποφάσεις που παίρνουν με βάση διάφορους αισθητήρες. Ο σκοπός αυτού του προγράμματος είναι να μελετήσει την συνεργατική φύση των μελλοντικών δικτύων και τις δυνατότητες που αυτά παρέχουν όσο αφορά τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Το πρόγραμμα αυτό αναμένεται να συνεισφέρει θεωρητικά στην κατανόηση των συνεργατικών δικτύων αλλά και με πειραματικά με την χρησιμοποίηση ενός προτύπου (testbed). Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες πληροφορίες σχετικές με το πρόγραμμα. [13]

Project Acronym: COOPNET
Project Reference: 258418
Start Date: 2011-05-01
Duration: 60 months
Project Cost: 1.5 million euro
Contract Type: ERC Starting Grant
End Date: 2016-04-30
Project Status: Accepted
Project Funding: 1.5 million euro

4) “Handovers for ubiquitous and optimal broadband connectivity among Cooperative networking environments” (HURRICANE)

Ένα σημαντικό πρόβλημα στις τηλεπικοινωνίες, που έχει αρνητικό αντίκτυπο στην διαρκή συνδεσιμότητα που υπόσχονται τα μελλοντικά δίκτυα, είναι οι μεταπομπές. Στο πρόγραμμα αυτό θα μελετηθούν οι μεταπομπές μεταξύ ετερογενών δικτύων και η επιρροή που μπορεί να έχει η συνεργατικότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες πληροφορίες σχετικές με το πρόγραμμα. [14]

Project Acronym: HURRICANE
Project Reference: 216006
Start Date: 2008-01-01
Duration: 36 months
Project Cost: 3.93 million euro
Contract Type: Collaborative project (generic)
End Date: 2010-12-31
Project Status: Completed
Project Funding: 2.61 million euro

3.5) Προβλήματα και κίνητρα για την συνεργατικότητα

Για να γίνει εφικτή η υλοποίηση των συνεργατικών δικτύων πρέπει να αντιμετωπισθούν συγκεκριμένα προβλήματα και να δοθούν κάποια κίνητρα στους χρήστες έτσι ώστε να «συνεργαστούν». Παρακάτω γίνεται εκτενής αναφορά στα προβλήματα που δημιουργούνται και στις λύσεις που θα πρέπει να δοθούν.

3.5.1) Προβλήματα

Παραπάνω παρουσιάστηκαν κάποιες τεχνολογίες, οι οποίες ερευνώνται ώστε να έχουν εφαρμογή στα συνεργατικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς και να προσδώσουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, χαμηλό λόγο εσφαλμένου bit (BER), χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Παρόλα αυτά υπάρχουν αρκετά προβλήματα που σχετίζονται κυρίως με την εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών.

Αρχικά σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές θεωρήθηκε αυτονόητη η συνεργασία των ενδιάμεσων κόμβων σε ορισμένες εφαρμογές (network coding, προώθηση πακέτων και δεδομένων κτλ.) χωρίς όμως αυτή να είναι ουσιαστικά εξασφαλισμένη. Πιο συγκεκριμένα σε αρκετές περιπτώσεις ο ενδιάμεσος κόμβος (κινητό τερματικό - relay) δεν αποκομίζει κάποια άμεσα οφέλη από την συνεργατικότητα, δηλαδή από την παροχή των δικών του πόρων. Αντιθέτως κατασπαταλά την ενέργεια της μπαταρίας του και σε ορισμένες περιπτώσεις καθυστερεί την αποστολή των δικών

του δεδομένων εάν βρίσκεται ήδη ως ενδιάμεσος κόμβος σε μια κλήση ή μεταφορά δεδομένων. Υπάρχει επίσης η περίπτωση να καθυστερήσει να λάβει τα μηνύματα που προορίζονται προς αυτόν εάν είναι κατειλημμένα όλα τα κανάλια στα οποία «ακούει» ο κόμβος αυτός.

Επιπλέον ένα δεύτερο σημαντικό πρόβλημα που αφορά την προτυποποίηση των συνεργατικών δικτύων είναι πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που πρέπει να υλοποιηθούν. Έχουν προταθεί κάποιοι αλγόριθμοι για διάφορους σκοπούς, όπως η εύρεση του πλησιέστερου κόμβου και η αναγνώριση της τοπολογίας του δικτύου για το network coding [15]. Είναι όμως απαραίτητη η δημιουργία αλγορίθμων και πρωτοκόλλων και στα κινητά τερματικά έτσι ώστε να μπορούν να συνεργάζονται με αποδοτικό τρόπο. Όλα τα παραπάνω αυξάνουν την πολυπλοκότητα στην σχεδίαση των συνεργατικών δικτύων 4ης γενιάς και των αντίστοιχων κινητών τερματικών. Ενδεικτικά κάποιοι από τους αλγόριθμους χαρακτηρίζονται ως NP-hard προβλήματα.

Το τρίτο σε σειρά πρόβλημα που καλείται να επιλυθεί είναι η επέκταση των υπαρχόντων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των τεχνικών πρόσβασης έτσι ώστε να καλύπτουν όλα τα σενάρια συνεργασίας. Για παράδειγμα στο πρωτόκολλο επικοινωνίας Bluetooth μπορούν να συνυπάρχουν μόνο 1 master και 7 slaves σε κάθε επικοινωνία. Επιπλέον οι slaves δεν μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και έτσι δεν καλύπτονται οι προδιαγραφές και τα σενάρια για τα συνεργατικά δίκτυα. [1]

Πρακτικά τα τρία παραπάνω προβλήματα φανερώνουν τη πολυπλοκότητα και τη δυσκολία που προκύπτει στη προσπάθεια που γίνεται ώστε τα διάφορα δίκτυα που υπάρχουν, να μπορέσουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ταυτόχρονα. Σε αντιδιαστολή όμως, παρά τα τόσα δυσεπίλυτα προβλήματα, το αποτέλεσμα από τη συνεργασία των δικτύων μπορεί να οδηγήσει σε τεράστια ανάπτυξη των κλάδο των δικτύων και των επικοινωνιών, με τη παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας.

3.5.2) Κίνητρα συνεργασίας

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, είναι απαραίτητο να δοθούν κάποια κίνητρα στους ενδιάμεσους κόμβους έτσι ώστε να παραχωρούν τους πόρους τους σε άλλα τερματικά, σε περίπτωση ζήτησης. Έχουν γίνει πολλές προτάσεις για το ποια μπορεί να είναι τα κίνητρα αυτά με τη σημαντικότερη από αυτές να αναλύεται παρακάτω. Η βασική πρόταση που εξετάζεται είναι η δημιουργία ενός μηχανισμού απομνημόνευσης των κόμβων που συνεργάζονται και των κόμβων που δεν συνεργάζονται.

Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται στην «υπόληψη» του εκάστοτε τερματικού, δηλαδή στο βαθμό της βοήθειας που προσφέρει (reputation based mechanism). Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό, η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με κάποιο τερματικό εξαρτάται από την υπόληψη που αυτό έχει. Η υπόληψη του κάθε τερματικού μπορεί να διαχειρίζεται με δύο τρόπους, είτε κεντρικά είτε διανεμημένα. Σε ένα κεντρικό σύστημα, ο φορέας που ελέγχει την υπόληψη των τερματικών συλλέγει στοιχεία για αυτά και τα εμφανίζει στο δίκτυο. Δίνεται η δυνατότητα λοιπόν σε κάθε χρήστη η πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με την υπόληψη άλλων χρηστών. Σε ένα διανεμημένο σύστημα, κάθε χρήστης αποθηκεύει πληροφορίες για τα γειτονικά τερματικά. Έχει λοιπόν την δική του βάση δεδομένων και την συγκρίνει με τους άλλους χρήστες. Η βασική ιδέα του συγκεκριμένου μηχανισμού είναι ότι στους χρήστες που συνεργάζονται και έχουν καλή υπόληψη, να τους δίνεται η δυνατότητα να αποκομίσουν κάποια οφέλη όπως δυνατότητα εκμετάλλευσης της συνεργατικότητας στο μέλλον [16]. Για παράδειγμα κάποιος χρήστης που βοήθησε

κάποιον άλλον στην λήψη δεδομένων λειτουργώντας σαν αναμεταδότης να μπορεί στο μέλλον να χρησιμοποιήσει άλλους χρήστες προς δικό του όφελος. [2, 17]

Μια δεύτερη πρόταση είναι η χρήση συγκεκριμένων και πολυπλοκότερων αλγορίθμων, με στόχο τον εντοπισμό των χρηστών που συνεργάζονται και αυτών που δεν συνεργάζονται και να παίρνουν τις αντίστοιχες αποφάσεις [2, 16, 17, 18]. Επιπλέον έχουν προταθεί και άλλοι μηχανισμοί για τον έλεγχο και την παροχή κινήτρων στα συνεργατικά δίκτυα που είναι λιγότερο δημοφιλείς όπως ο μηχανισμός με τις αμοιβές (renumeration mechanism). Πρέπει να τονισθεί ότι αυτοί οι μηχανισμοί εισάγουν ένα επιπλέον φορτίο bit πληροφορίας (overhead) στο σύστημα καθώς απαιτούν μηχανισμούς κωδικοποίησης για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Κατά συνέπεια αυξάνεται η κίνηση και μειώνεται η χωρητικότητα του δικτύου, και αντίστοιχα η ρυθμαπόδοση (throughput). [6, 16]

Κάποια επιπλέον κίνητρα ανεξάρτητα από τον μηχανισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συνεργατικότητα μπορούν να δοθούν από τους εκάστοτε παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Συγκεκριμένα οι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας μπορεί να παρέχονται χαμηλότερες χρεώσεις ή ακόμα και παροχή καλύτερων υπηρεσιών όπως μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης για τους «καλούς» χρήστες, δηλαδή για τους χρήστες που κάνουν πράξη τη συνεργατικότητα και παρέχουν τους πόρους των τερματικών τους για τη εξυπηρέτηση άλλων χρηστών ή διαφορετικά για του χρήστες με καλή υπόληψη.

3.6 Κατανάλωση Ενέργειας (Power Consumption)

Όπως προκύπτει και από τη παραπάνω ανάλυση του συγκεκριμένου κεφαλαίου, οι τηλεπικοινωνίες βρίσκονται στο κατώφλι των δικτύων 4^{ης} γενιάς. Τα δίκτυα αυτά αναμένεται να εισάγουν νέες υπηρεσίες και τεχνολογίες πολυμέσων οι οποίες αυξάνουν δραματικά την υπολογιστική πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που τρέχουν στις συσκευές. Η αύξηση αυτή της πολυπλοκότητας σε συνδυασμό με την ανάγκη για ταχύτερες συσκευές οδηγεί στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης των τερματικών συσκευών.

Επομένως γίνεται δυσκολότερο και πολυπλοκότερο να υποστηριχθούν όλες αυτές οι λειτουργίες και υπηρεσίες. Είναι χαρακτηριστικό ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας του κινητού αυξάνει με ρυθμό περίπου 10% κάθε χρόνο, ωστόσο η ζήτηση για ενέργεια αυξάνεται ταχύτερα. Για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κρίνεται απαραίτητη η συνεργασία ανάμεσα στα ετερογενή δίκτυα και ανάμεσα στα κινητά τερματικά. [1]

Η κατανάλωση ενέργεια στα κινητά τερματικά προέρχεται κυρίως από 3 λόγους:

- Αρχικά είναι απαραίτητη η κατανάλωση μίας, συγκριτικά μικρής ποσότητας ενέργειας για την λειτουργία των κινητών τερματικών. Βασικές λειτουργίες όπως τροφοδότηση κεραιών, λειτουργία οθόνης κ.α., απαιτούν αυτήν την ποσότητα ενέργειας σε όλη την διάρκεια λειτουργίας της συσκευής.
- Ένα μεγάλο ποσοστό από την ενέργεια που καταναλώνεται σε μια συσκευή προέρχεται κυρίως από την αποστολή και λήψη δεδομένων μεταξύ των τερματικών και του σταθμού βάσης, αλλά και των τερματικών μεταξύ τους. Ιδιαίτερα η επικοινωνία με το σταθμό βάσης απαιτεί πολύ περισσότερη ενέργεια από τις συσκευές σε σχέση με τις ζεύξης μικρής κλίμακας.

- Η επεξεργασία των δεδομένων που φθάνουν αλλά και το τρέξιμο των διαφόρων διεργασιών και εφαρμογών του χρήστη στα τερματικά απαιτούν (όπως σε έναν επεξεργαστή ενός υπολογιστή) την κατανάλωση ενέργειας από την μπαταρία της συσκευής. Οι ιδιαίτερα απαιτητικές εφαρμογές (παιχνίδια, ταινίες) χρησιμοποιούν συνεχώς τον επεξεργαστή και ελαχιστοποιούν την διάρκεια ζωής της μπαταρίας και κατά συνέπεια την λειτουργία της συσκευής.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό ο πρώτος παράγοντας κατανάλωσης της ενέργειας δεν προσφέρει πολλά περιθώρια για εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση εξαρτάται αποκλειστικά από την πρόοδο της τεχνολογίας, δηλαδή τη δημιουργία καλύτερων επεξεργαστών και την ανάπτυξη λογισμικού από τις εταιρίες. Επιπλέον είναι θεμιτό να σημειωθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας στην κατάσταση αναμονής του κινητού τερματικού (idle) είναι πολύ μικρή, της τάξης του 1/20 συγκριτικά με την κατανάλωση ενέργεια στην επικοινωνία. [19]

Εφόσον η τεχνολογία έχει φτάσει σε ένα πολύ υψηλό επίπεδο, έπρεπε να βρεθεί μια άλλη λύση. Τα συνεργατικά δίκτυα αποτελούν την καλύτερη λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας και με βάση την αρχή της σχεδίασή τους, μπορούν να υποστηρίζουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης απαιτητικών εφαρμογών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Πρέπει να επισημανθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας που απαιτούν οι ζεύξεις μικρής κλίμακας (Bluetooth, WLAN, UWB) είναι πολύ μικρότερη από αυτή των κυψελωτών ζεύξεων (GPRS, UMTS, GSM). Ισχύει δηλαδή:

$$\begin{array}{l} P_C > P_{SR} \quad (1) \\ R_{SR} > R_C \quad (2) \end{array}$$

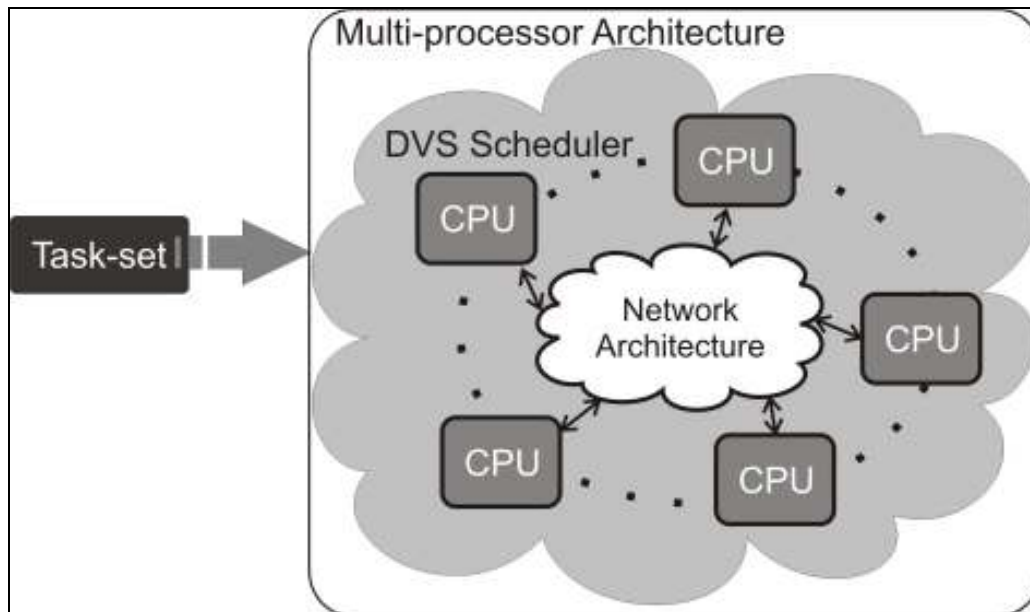
όπου P_C η ισχύς της κυψελωτής ζεύξης και P_{SR} η ισχύς της κοντινής ζεύξης και αντίστοιχα R_{SR} και R_C οι ρυθμοί μετάδοσης της κοντινής και κυψελωτής ζεύξης αντίστοιχα.

Από τη πρώτη σχέση είναι φανερό η ανάγκη για απαίτηση περισσότερης ισχύς στη μακρινή ζεύξη σε σχέση με τη κοντινή ζεύξη. Το αντίθετο ισχύει για τους ρυθμούς μετάδοσης, δηλαδή στη κοντινή ζεύξη μπορούν να επιτευχθούν συγκριτικά καλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης, από την μακρινή ζεύξη. [20]

Μέσω των συνεργατικών δικτύων δίνεται η δυνατότητα στα τερματικά να ανταλλάξουν το μεγαλύτερο μέρος ενός αρχείου ή μιας εφαρμογής, μέσω των ζεύξεων μικρής κλίμακας και να κατεβάσουν ένα μικρό μόνο μέρος από την ζεύξη κυψέλης. Η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης μέσα από την συνεργασία των συσκευών οδηγεί στην μείωση του χρόνου απασχόλησης της ζεύξης κυψέλης και συνεπώς εξοικονομείται ενέργεια. Επιπλέον όπως προαναφέρθηκε ,οι ζεύξεις μικρής κλίμακας απαιτούν πολύ χαμηλότερη ισχύ. Με τον τρόπο αυτό λοιπόν εξοικονομείται μεγάλο ποσοστό ενέργειας αλλά και χρόνου στις συσκευές. Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει πειραματικά το παραπάνω αποτέλεσμα και αναφέρουν ενεργειακά κέρδη έως και 50%. [1, 5, 7, 9, 20]

Ένα ακόμα πλεονέκτημα που προσφέρουν τα συνεργατικά δίκτυα είναι η δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας των δεδομένων ή των νημάτων (threads) μιας εφαρμογής. Όταν μια εφαρμογή έχει την δυνατότητα να «χωριστεί» σε μικρότερα κομμάτια ή νήματα το τερματικό μπορεί να τα στείλει σε γειτονικές συσκευές, μέσω ζεύξεων μικρής κλίμακας, ώστε να εκτελούνται ταυτόχρονα, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3.10. Με τον τρόπο αυτό το τερματικό μπορεί να τρέξει μια εφαρμογή σε πολύ λιγότερο χρόνο και με πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, υπάρχει βέβαια και μία εξάρτηση από τον αριθμό των τερματικών που συνεργάζονται. Οι

εφαρμογές παράγουν αποτελέσματα σε διαφορετικά τερματικά και αποστέλλονται στους υπόλοιπους χρήστες μέσω ζεύξεων μικρής κλίμακας. [21]



Εικόνα 3.10 - Συνεργατικά δίκτυα και διαμοιρασμός εργασιών.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι μια από τις μεγαλύτερες ανησυχίες των επιστημόνων και των εταιριών όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας στα κινητά τερματικά, μπορεί να επιλυθεί με την χρήση των συνεργατικών δικτύων. Πράγμα που αποδεικνύει ότι πέρα από τα υπόλοιπα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η χρήση των συνεργατικών δικτύων, αναμένεται η παροχή στους χρήστες μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και επέκταση της διάρκειας ζωής των κινητών τερματικών. Για να γίνει βέβαια δυνατή η ιδέα των συνεργατικών δικτύων και υπηρεσιών τίθεται η βασική προϋπόθεση, της ανάγκης οι χρήστες να παρακινηθούν έτσι ώστε να συνεργαστούν και να διαθέσουν τους πόρους τους.

3.7) Παράρτημα Β

3.7.1) Τεχνικές κωδικοποίησης

Για να βελτιωθεί η ποιότητα των υπηρεσιών σε κάποιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται τεχνικές κωδικοποίησης της ροής πληροφορίας. Με αυτές τις τεχνικές μειώνεται ο όγκος των δεδομένων που στέλνονται και κωδικοποιούνται για μεγαλύτερη παροχή ασφάλειας σε περιπτώσεις εσφαλμένης μετάδοσης. Κατά συνέπεια επιτυγχάνουν χαμηλότερες απώλειες πακέτων και μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση (throughput) στο σύστημα. Παρακάτω παρουσιάζονται δύο τεχνικές που χρησιμοποιούνται κυρίως για την κωδικοποίηση δεδομένων video.

- **MDC (Multiple Description Coding):** Σε αυτή την τεχνική κωδικοποίησης η συνολική ροή πληροφορίας (stream) χωρίζεται σε επιμέρους μικρότερες ροές, υποροές (substreams). Η ποιότητα του video στον εξαρτάται από τον αριθμό των σωστών υποροών που φθάνουν στον δέκτη. Οι διαφορετικές υποροές έχουν την δυνατότητα να αποκωδικοποιηθούν ξεχωριστά. Το γεγονός αυτό καθιστά την τεχνική αυτή ιδανική για τα συνεργατικά δίκτυα. [9]
- **SVC (Scalable Video Coding):** Η τεχνική αυτή έχει πολλά κοινά με την MDC δηλαδή χωρίζει το αρχικό video σε περισσότερες υποροές, ωστόσο χρησιμοποιεί έναν περισσότερο ιεραρχικό τρόπο για τον χωρισμό σε υποροές. Πιο συγκεκριμένα το video χωρίζεται σε ένα βασικό στρώμα (base layer) και σε πολλά εμπλουτισμένα στρώματα (enhancement layers). Με αυτό το τρόπο το βασικό στρώμα παρέχει τη βασική ποιότητα για το video και τα εμπλουτισμένα στρώματα ενισχύουν την ποιότητα του. [9]

Βιβλιογραφία

- [1]. Qi Zhang, Frank H.P. Fitzek, Marcos Katz , “Evolution of Heterogeneous Wireless Networks: Towards Cooperative Networks”, 3rd International Conference of the Center for Information and Communication Technologies (CICT) - Mobile and wireless content, services and networks - Short-term and long-term development trends, Copenhagen, Denmark, November 2006
- [2]. Frank H.P.Fitzek, Marcos Katz , “Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications”, 2006
- [3]. Jesper M. Kristensen, Frank H.P. Fitzek, “The Application of Software Defined Radio in a Cooperative Wireless Network”, Software Defined Radio Technical Conference. SDR Forum. Orlando, Florida, USA,2006
- [4]. L. Militano, F.H.P. Fitzek, A. Iera and A. Molinaro, “On the beneficial effects of Cooperative Wireless Peer to Peer Networking”, Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications 2007 (TIWDC 2007). Ischia Island, Naples, Italy, 2007
- [5]. Simone Frattasi, Bas,ak Can, Frank Fitzek, Ramjee Prasad , “Cooperative Services for 4G”, 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit. Dresden, Germany,2005
- [6]. Simone Frattasi, Frank H.P. Fitzek, Ramjee Prasad1, “A Look Into the 4G Crystal Ball”, IFIP International Federation for Information Processing, 2006, Pages 281 - 290
- [7]. Federico Albiero , Janne Vehkaper, Marcos Katz , Frank Fitzek , “Overall Performance Assessment of Energy-Aware Cooperative Techniques Exploiting Multiple Description and Scalable Video Coding Schemes”, Sixth Annual Conference on Communication Networks and Services Research (CNSR2008). Halifax, Nova Scotia, Canada, 2008
- [8]. Shweta Saraf, “Cooperative Networks for 4G”
- [9]. Federico Albiero , Marcos Katz , Frank H.P. Fitzek , “Energy-Efficient Cooperative Techniques for Multimedia Services over Future Wireless Networks”, IEEE International Conference on Communications (ICC 2008), 2008
- [10]. Gian Paolo Perrucci, Frank H.P. Fitzek, Amine Boudali, Maria Canovas Mateos, Peter Nejsun, Sune Studstrup, “Cooperative Web Browsing for Mobile Phones”, International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'07), India, 2007
- [11]. Projects,
http://tns.ted.unipi.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=13#cur
- [12]. Future Networks 5th FP7 Concertation Plenary Meeting: Call 4 Projects – Getting Started! - Future Networks 5th FP7 Concertation,
http://ec.europa.eu/information_society/events/cf/fnc5/item-display.cfm?id=2692
- [13]. European Commission: CORDIS: FP7; Find project, “Cooperative Situational Awareness for Wireless Networks (COOPNET)”,
http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP7_PROJ_EN&ACTION=D&DOC=1&CAT=PROJ&QUERY=012f79517e27:6183:51fce48f&RCN=98701
- [14]. European Commission: CORDIS: FP7; Find project, Handovers for ubiquitous and optimal broadband connectivity among Cooperative networking environments (HURRICANE),

http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP7_PROJ_EN&ACTION=D&DOC=15&CAT=PROJ&QUERY=012f79517e27:6183:51fce48f&RCN=85314

- [15]. Jin Zhang, Qian Zhang, “Cooperative Network Coding-Aware Routing for Multi-Rate Wireless Networks”, IEEE INFOCOM 2009, Rio de Janeiro, Brazil, Pages 181 - 189
- [16]. Nouha OUALHA, Yves ROUDIER , “Cooperation Incentive Schemes”, Rapport de recherche RR-06-176, France, 2006
- [17]. David Hales , “From Selfish Nodes to Cooperative Networks – Emergent Link-based incentives in Peer-to-Peer Networks”, The Fourth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, , Zurich, Switzerland, 25-27 August 2004
- [18]. Qixiang Sun, H. Garcia-Molina, “SLIC: A Selfish Link-based Incentive Mechanism for Unstructured Peer-to-Peer Networks”, Hector, Stanford, 2003
- [19]. Federico Albiero , Frank H.P. Fitzek , Marcos Katz ,” Cooperative Power Saving Strategies in Wireless Networks: an Agent-based Model”, Wireless Communication Systems, 2007. ISWCS 2007. 4th International Symposium, Trondheim, 17-19 October 2007, Pages 287 - 291
- [20]. L. Militano, A. Iera, A. Molinaro, F.H.P. Fitzek, “Wireless peer-to-peer cooperation: when is it worth adopting this paradigm?”, International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications(WPMC), Finland, September 2008
- [21]. Anders Brødløs Olsen, Frank H.P. Fitzek, Peter Koch, “Optimizing the Number of Cooperating Terminals for Energy Aware Task Computing in Wireless Networks”, Proceedings of the International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2005), Center for TeleInfrastruktur (CTIF), Aalborg Universitet, 2005

ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1) Εισαγωγή

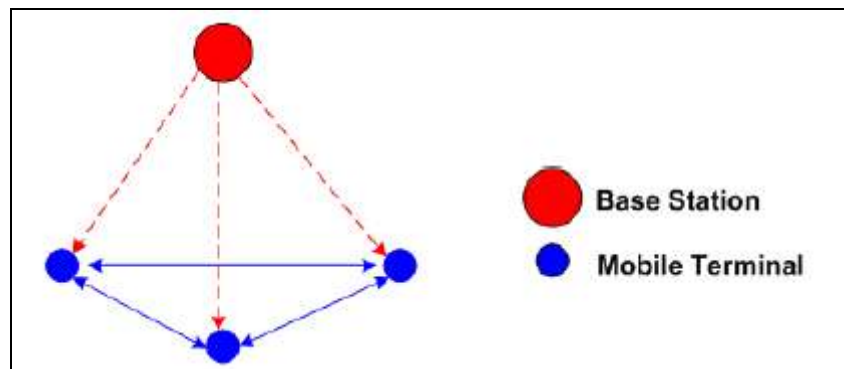
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μία περιληπτική περιγραφή του σεναρίου που προσομοιώνεται στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Δίνεται με αυτό τον τρόπο η δυνατότητα μελέτης ενός συστήματος όπου δύο ανόμοια δίκτυα χρησιμοποιούνται παράλληλα από τους χρήστες μιας υπηρεσίας. Μελετάται η βασική αρχιτεκτονική για τη δημιουργία ενός συνεργατικού δικτύου μικρού επιπέδου και παρουσιάζεται η υλοποίηση της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής με αναφορά στα βασικά λειτουργικά στοιχεία του σεναρίου. Πρακτικά ο τελικός στόχος από την υλοποίηση του σεναρίου είναι να φανερωθούν τα πλεονεκτήματα για ένα κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όταν ένα κυψελωτό σύστημα δίνει τη δυνατότητα στα κινητά τερματικά να υποστηρίζουν και μικρής κλίμακας επικοινωνίες [1]. Στη συνέχεια του συγκεκριμένου κεφαλαίου παρουσιάζεται το σενάριο που προσομοιώνεται για τη μέτρηση του κέρδους των συνεργατικών δικτύων. Τέλος παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του συγκεκριμένου σεναρίου στα συνεργατικά δίκτυα.

4.2) Βασική Ιδέα

Η βασική ιδέα του σεναρίου προκύπτει από την ανάγκη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας να είναι σε θέση να υποστηρίζουν τη συνεχώς αυξανόμενη τάση των απαιτήσεων από τις εφαρμογές, όπως και επίσης την ανάγκη των χρηστών να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες αυτές στη καλύτερη δυνατή ταχύτητα και με το μικρότερο κόστος. Η εφαρμογή του σεναρίου προκύπτει από την ιδέα της συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών δικτύων.

Σε μια συνεργασία μικρού επιπέδου οι οντότητες που συνεργάζονται είναι μικροσκοπικά συστατικά, τα οποία περιλαμβάνουν μονάδες υπολογιστικής ικανότητας, λειτουργικά κομμάτια και αλγορίθμους. Η βασική ιδέα μίας συνεργασίας μικρού επιπέδου είναι ουσιαστικά ο διαμοιρασμός των μικροσκοπικών αυτών στοιχείων με σκοπό το κέρδος χρήσης τους σύμφωνα με μία αρχιτεκτονική συνεργασίας. Για να γίνει πιο κατανοητή η παραπάνω πρόταση μπορεί να εξεταστεί το αποτέλεσμα της συνεργασίας από τις συνεργαζόμενες πλευρές, δηλαδή από αυτή του δικτύου πρόσβασης που καθορίζει τη κυψέλη, αλλά και από τη μεριά του χρήστη δηλαδή, του κινητού τερματικού.

Από την προσωπική μεριά του συστήματος μία συνεργασία μικρού επιπέδου μπορεί πρακτικά να αυξήσει το εύρος ζώνης της κυψελωτής ζεύξης (cellular link), να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικότερα το φάσμα συχνοτήτων, να βελτιώσει την αξιοπιστία ενός ασύρματου καναλιού μετάδοσης πληροφορίας. Από την οπτική γωνία του χρήστη, μπορεί ουσιαστικά να αυξήσει την διάρκεια της μπαταρίας από τη χρήση κάποιας υπηρεσίας, να βελτιώσει την υπολογιστική ικανότητα και πολλά άλλα. Στη παράγραφο 4.4 παρουσιάζονται γενικά τα πλεονεκτήματα από την ύπαρξη συνεργαζόμενων δικτύων και για το σύστημα, αλλά και για το κινητό τερματικό.



Εικόνα 4.1 - Αρχιτεκτονική Δικτύου Συνεργασίας Μικρού Επιπέδου

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται μία αρχιτεκτονική ενός δικτύου συνεργασίας μικρού επιπέδου. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αποτελείται από ένα κυψελωτό δίκτυο, σχεδιασμένο με κόκκινο χρώμα και από ένα δίκτυο βασισμένο σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας όπως το Bluetooth ή το WiFi, σχεδιασμένο με μπλε χρώμα. Το υψηλότερο επίπεδο της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής βασίζεται στην δυνατότητα του κινητού τερματικού να έχει πρόσβαση και στα δύο δίκτυα ταυτόχρονα. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι το κινητό τερματικό έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με το Σταθμό Βάσης με μία κυψελωτή ζεύξη, αλλά και με τα υπόλοιπα κινητά τερματικά, που πρέπει όμως να βρίσκονται εντός της ζώνης κάλυψης του ασύρματου δικτύου επικοινωνίας, με μία ζεύξη μικρής κλίμακας.

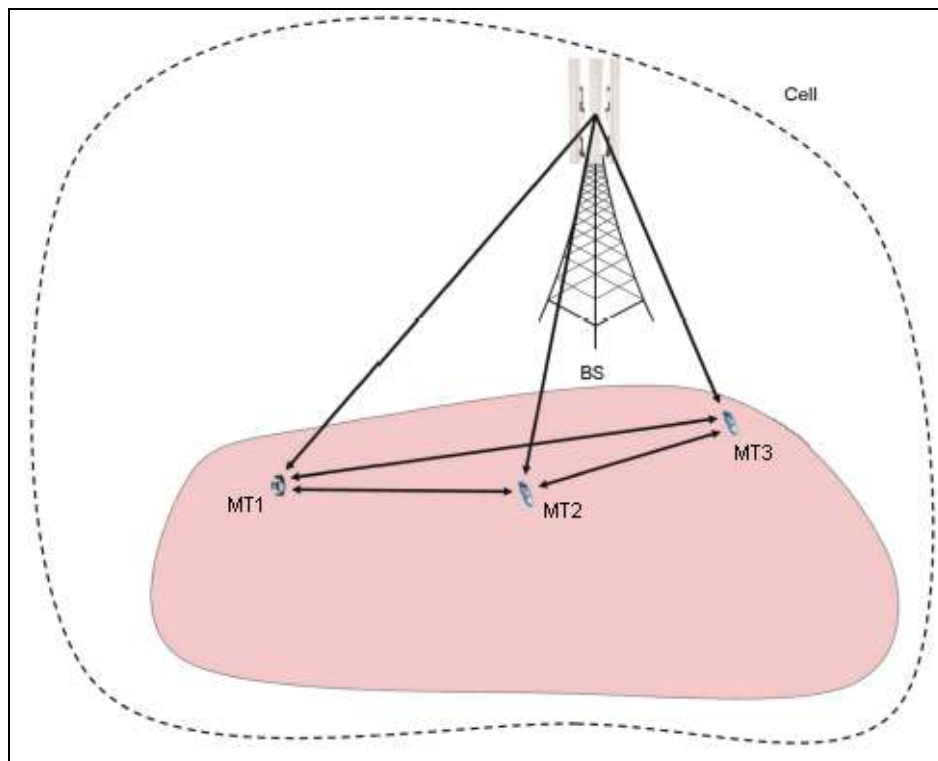
Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου δικτύου συνεργασίας είναι ότι οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται από τα κινητά τερματικά δεν είναι απλά πακέτα που προωθεί το ένα με το άλλο. Αντίθετα, το χρονικό διάστημα που αυτό θα συμβεί, ο τρόπος με τον οποίο θα συμβεί, αλλά και το είδος των πληροφοριών που θα ανταλλαχθούν καθορίζεται κάθε φορά από το σενάριο που πρέπει να υλοποιηθεί και από το μηχανισμό συνεργασίας που πρόκειται να δημιουργηθεί μεταξύ των κινητών τερματικών. Συμπερασματικά το συγκεκριμένο πρότυπο αρχιτεκτονικής είναι ένα καλό μοντέλο, χρήσιμο για το σχεδιασμό συνεργατικών υπηρεσιών και δικτύων. [2]

4.3) Περιγραφή Σεναρίου

Το σενάριο που εξετάζεται αφορά μια απλή διαδικασία κατεβάσματος ενός αρχείου από το Διαδίκτυο και στοχεύει στη μελέτη της συνεργασίας μεταξύ των κινητών τερματικών ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ακολουθώντας το βασικό πρότυπο αρχιτεκτονικής μικρού επιπέδου που περιγράφηκε παραπάνω, για το σενάριο που εξετάζεται θεωρείται ότι τα κινητά τερματικά έχουν δύο ασύρματες διεπαφές (air interfaces). Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 4.2, η μία χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού τερματικού με το Σταθμό Βάσης και η άλλη για την επικοινωνία των κινητών τερματικών μεταξύ τους.

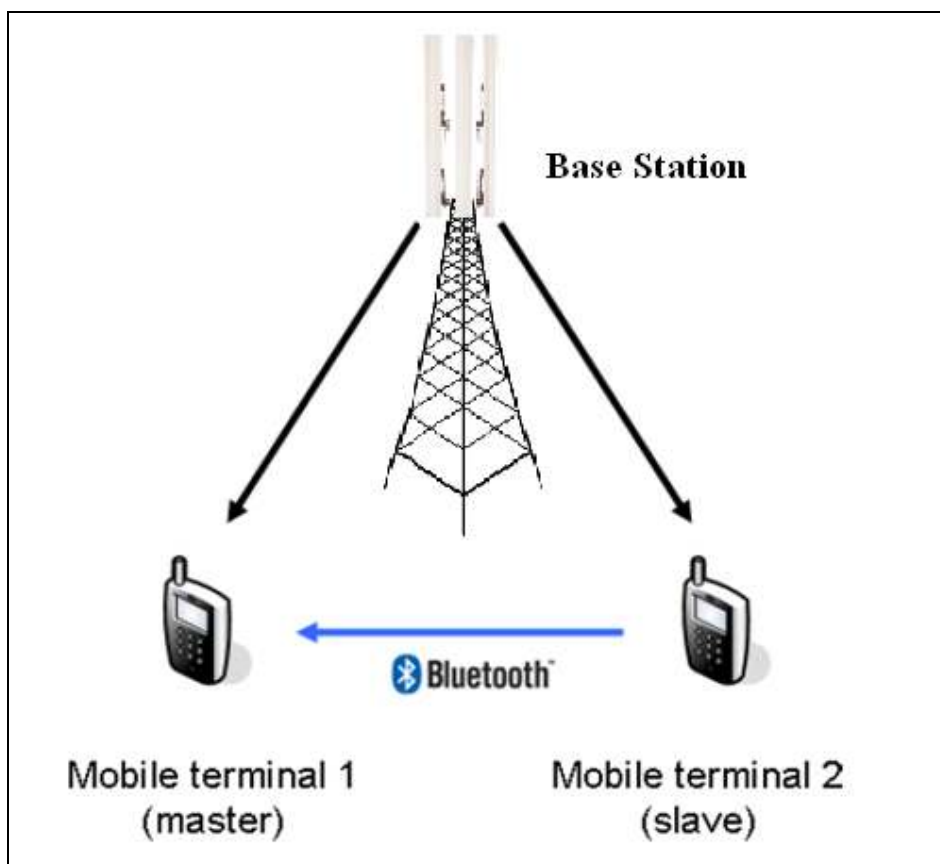
Στη πρώτη ασύρματη διεπαφή, η οποία ονομάζεται και κυψελωτή ζεύξη, χρησιμοποιείται σαν πρωτόκολλο επικοινωνίας το UMTS, ενώ για τη δεύτερη σαν πρωτόκολλο επικοινωνίας χρησιμοποιείται το Bluetooth. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των δύο αυτών διεπαφών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Δηλαδή ενώ γίνεται το κατέβασμα ενός αρχείου από το Σταθμό Βάσης, παράλληλα έχουν τη δυνατότητα τα κινητά τερματικά που συνεργάζονται με το κινητό τερματικό που κατεβάζει το αρχείο από το Σταθμό Βάσης, να λαμβάνουν μέρος του αρχείου ή ολόκληρο το αρχείο από το συγκεκριμένο κινητό τερματικό.

Στη παρακάτω περίπτωση (Εικόνα 4.2) θεωρείται ότι το κινητό τερματικό MT1 κατεβάζει ένα αρχείο από το Διαδίκτυο μέσω του Σταθμού Βάσης. Παράλληλα όμως μπορεί να χρησιμοποιεί και τους πόρους από τα άλλα δύο κινητά τερματικά δηλαδή τα MT2 και MT3. Με αυτό τον τρόπο το κινητό τερματικό MT1 κατεβάζει πιο γρήγορα το αρχείο που ζητάει. Για την ανάλυση των δυνατών περιπτώσεων, δηλαδή αν το κινητό τερματικό μπορεί να διαθέσει τους πόρους του για συνεργατική χρήση ή όχι, ακολουθεί ανάλυση στη πιο απλή περίπτωση της ύπαρξης δύο κινητών τερματικών, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 4.3.



Εικόνα 4.2 - Αρχιτεκτονική Δικτύου Συνεργασίας Μικρού Επιπέδου

Το πρώτο τερματικό που θεωρείται ότι είναι το κυρίαρχο (master) στέλνει αίτηση στο δεύτερο κινητό τερματικό που θεωρείται ως εξαρτημένο από το πρώτο (slave), για να κατεβάσει το ζητούμενο αρχείο. Η επικοινωνία των δύο τερματικών γίνεται μέσα από ζεύξεις μικρής κλίμακας χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Bluetooth. Με τις υποθέσεις ότι τα κινητά τερματικά υποστηρίζουν συνεργατικές υπηρεσίες και ότι βρίσκονται εντός του εύρους λειτουργίας του Bluetooth, εξετάζονται τρεις ειδικές περιπτώσεις. Η πρώτη αφορά την ύπαρξη ελεύθερων πόρων στο δεύτερο κινητό τερματικό (Mobile Terminal 2), ειδικά εάν το κινητό είναι σε κατάσταση αναμονής (Εικόνα 4.3). Η δεύτερη αφορά τη περίπτωση όπου και τα δύο κινητά ταυτόχρονα ζητούν να κατεβάσουν το συγκεκριμένο αρχείο ταυτόχρονα και η τρίτη τη μη δυνατότητα χρήσης ελεύθερων πόρων του κινητού τερματικού 2 από το κυρίαρχο (Mobile Terminal 1).



Εικόνα 4.3 - Αρχιτεκτονική Δικτύου Συνεργασίας Μικρού Επιπέδου Με Δύο Κινητά Τερματικά

Στη πρώτη περίπτωση, που το δεύτερο κινητό τερματικό δεν κάνει αίτηση για διαφορετική πλοήγησης στο Σταθμό Βάσης και μπορεί με αυτό τον τρόπο να διαθέσει τους πόρους του, μπορεί να συνεισφέρει στο κατέβασμα του αρχείου. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης συνεργασίας αφορούν τη χωρητικότητα του συστήματος, η οποία αυξάνεται, όπως επίσης και το χρόνο που απαιτείται για το κατέβασμα του αρχείου, ο οποίος μειώνεται. Επιπλέον η χωρητικότητα του συστήματος, η οποία είναι εικονική και όχι πραγματική αφού συνυπολογίζεται από τις χωρητικότητες των δύο Κινητών Τερματικών (master και slave), σχεδόν διπλασιάζεται [2].

Στη δεύτερη περίπτωση που τα δύο κινητά τερματικά βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια του Bluetooth, δηλαδή στα 10 – 15 μέτρα μεταξύ τους και ζητούν να κατεβάσουν το ίδιο αρχείο από το Σταθμό Βάσης, μπορούν να αποφασίσουν να συνεργαστούν δημιουργώντας ένα σύμπλεγμα (cluster), οπότε πλέον και οι δύο οντότητες είναι ισότιμες, δηλαδή δεν υπάρχει διάκριση (master - slave). Με αυτό τον τρόπο κάθε ένα κατεβάζει ένα μέρος του ζητούμενου αρχείου και το υπόλοιπο το ανταλλάσσει με το άλλο κινητό με χρήση της δεύτερης ασύρματης διεπαφής, δηλαδή χρησιμοποιώντας το Bluetooth. Όπως και παραπάνω, στη συγκεκριμένη περίπτωση επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης [3].

Στη τρίτη περίπτωση όπου δεν είναι δυνατή η χρήση των πόρων του κινητού τερματικού 2 από το κινητό τερματικό 1, τότε το κυρίαρχο τερματικό ξεκινάει να κατεβάζει το αρχείο με χρήση μόνο της κυψελωτής ζεύξης. Στη περίπτωση όμως που το δεύτερο κινητό τερματικό μεταβεί στη κατάσταση αναμονής τότε προσφέρει τη ζεύξη του για συνεργασία και ανεβαίνει έτσι η εικονική χωρητικότητα του χρήστη με τα πλεονεκτήματα όπως περιγράφονται και στη πρώτη περίπτωση [2].

Τέλος είναι θεμιτό να αναφερθεί ότι όπως παρουσιάζεται και στις παραπάνω περιπτώσεις στη πραγματικότητα το βασικό κομμάτι της διαδικασίας αυτής είναι απλά η ύπαρξη πολλών κινητών τερματικών, όπου μπορούν να δημιουργούν ένα σύμπλεγμα για να συνεργάζονται με δυναμικό κάθε φορά τρόπο ορισμού master και slave κινητών τερματικών. Πρακτικά η εφαρμογή της συγκεκριμένης συνεργασίας μπορεί να εφαρμοστεί σε ιδιαιτέρως συνωστισμένες από ανθρώπους περιοχές, για παράδειγμα σε λεωφορεία, τρένα, σιδηροδρομικούς σταθμούς, αεροδρόμια, καφετέριες, όπου είναι δυνατή η συνύπαρξη αρκετών χρηστών, για χρήση μικρής κλίμακας πρωτόκολλων [3].

4.4) Προσομοιωμένο Σενάριο

Στη συγκεκριμένη παράγραφο γίνεται ακριβής παρουσίαση του σεναρίου που προσομοιώνεται στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Με βάση τη παράγραφο 4.3, αυτό που πρακτικά υλοποιείται και προσομοιώνεται είναι μία διάταξη της Εικόνας 4.2 και 4.3, δηλαδή τα κινητά τερματικά μπορούν να επικοινωνούν με το Σταθμό Βάσης με μία ασύρματη διεπαφή, ενώ παράλληλα να επικοινωνούν και με τα υπόλοιπα κινητά που βρίσκονται κοντά τους, χρησιμοποιώντας μία ζεύξη Bluetooth. Σκοπός της συγκεκριμένης προσομοίωσης είναι η μέτρηση του κέρδους από τη χρήση των συνεργατικών δικτύων για το κατέβασμα από το Σταθμό Βάσης ενός αρχείου. Για τη μέτρηση του κέρδους του προσομοιωμένου δικτύου γίνονται συνεχόμενες προσομοιώσεις και μετρήσεις σχετικές με το χρόνο ολοκλήρωσης του κατεβάσματος του ζητούμενου αρχείου, του εικονικού ρυθμού μετάδοσης που πρακτικά μπορεί να υλοποιηθεί, καθώς και του χρόνου μετάδοσης των αρχείων προς τα κινητά τερματικά.

Αρχικά γίνονται αρκετές προσομοιώσεις σύμφωνα με την υπάρχουσα λογική της ατομικότητας, δηλαδή κάθε κινητό τερματικό να λαμβάνει ολόκληρο το ζητούμενο αρχείο από το Σταθμό Βάσης. Στη συνέχεια με βάση το σενάριο που περιγράφεται παρακάτω, γίνονται προσομοιώσεις σύμφωνα πλέον με τη λογική της συνεργατικότητας, όπου τα κινητά τερματικά μπορούν να κατεβάζουν ένα μέρος του αρχείου και παράλληλα να ανταλλάσσουν το υπόλοιπο μέσα από τις δευτερεύουσες ασύρματες διεπαφές που δημιουργούνται. Έπειτα με σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τύπων προσομοιώσεων όπως περιγράφηκαν παραπάνω, βρίσκεται το κέρδος που προκύπτει από την συνεργατική λειτουργία των κινητών τερματικών.

Σύμφωνα με τη περιγραφή του σεναρίου, κάθε κινητό τερματικό μπορεί να επικοινωνεί με το Σταθμό Βάσης με την ασύρματη διεπαφή που ορίζεται από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και με τα υπόλοιπα κινητά τερματικά με μία δευτερεύουσα μικρής κλίμακας διεπαφής βασισμένη στο Bluetooth. Το βασικό κομμάτι της υποστήριξης της αρχιτεκτονικής μικρού επιπέδου βασίζεται στο κυρίαρχο κινητό τερματικό, με την προϋπόθεση ότι τα κινητά τερματικά μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ τους.

Στην αρχή της προσομοίωσης το κυρίαρχο κινητό τερματικό πρέπει να δημιουργήσει ένα δίκτυο μαζί με τα κινητά τερματικά που θα εξαρτώνται από αυτό. Επειδή για τη ασύρματες διεπαφές μικρής κλίμακας χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Bluetooth, μπορεί να υποστηριχθεί ένα δίκτυο μικρής κλίμακας (piconet) σε απόσταση έως 10 μέτρων και μεταξύ 8 κινητών τερματικών. Πρακτικά αυτό οδηγεί στην ύπαρξη ενός κυρίαρχου τερματικού και 7 εξαρτωμένων από αυτό κινητά τερματικά (1 master + 7 slaves). Κατά τη δημιουργία του δικτύου το κυρίαρχο κινητό τερματικό είναι υπεύθυνο για τον ορισμό κάθε φορά των συχνοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν για τη χρήση του πρωτοκόλλου Bluetooth. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται οι ασύρματες διεπαφές για χρήση του Bluetooth από τα κινητά τερματικά και προς τα κινητά τερματικά.

Μία άλλη ιδιότητα του κυρίαρχου κινητού τερματικού (master) είναι, ότι είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή των αρχείων που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των κινητών τερματικών που εξαρτώνται από αυτό (slaves), στα πλαίσια των συνεργατικών υπηρεσιών. Με άλλα λόγια είναι υπεύθυνο για τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται από τις δευτερεύουσες ασύρματες διεπαφές. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι το κυρίαρχο κινητό τερματικό επιλέγει το χρονικό διάστημα που θα λάβει το ζητούμενο μέρος των αρχείων από τα εξαρτώμενα από αυτό κινητά τερματικά. Επιπλέον επιλέγει το χρονικό διάστημα που θα στείλει αυτό, μέρος του αρχείου στα εξαρτώμενα από αυτό κινητά τερματικά, στη περίπτωση για παράδειγμα που και αυτά θέλουν να κατεβάσουν το συγκεκριμένο αρχείο.

Στο βασικό μοντέλο προσομοίωσης που υλοποιείται γίνεται αρχικά δημιουργία των χρηστών, δηλαδή των κινητών τερματικών και τακτοποίησή τους στο χώρο με βάση μια τυχαία ακολουθία. Αφού έχουν δημιουργηθεί οι χρήστες, δημιουργούνται οι ζεύξεις μεταξύ των κινητών τερματικών των χρηστών με το Σταθμό Βάσης. Έπειτα με μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ των χρηστών και με τη προϋπόθεση ότι υποστηρίζονται συνεργατικές υπηρεσίες από τα κινητά τερματικά, δημιουργούνται οι ζεύξεις Bluetooth για τον αριθμό των κινητών τερματικών τα οποία βρίσκονται σε απόσταση μικρότερης των 10 μέτρων από το κυρίαρχο κινητό τερματικό. Ανάλογα με την προσομοίωση που επιθυμείται να γίνει, επιλέγεται και ο αριθμός των εξαρτώμενων χρηστών που σύμφωνα και με τη παραπάνω ανάλυση, δεν μπορεί να είναι περισσότεροι από (7) επτά. Στη περίπτωση που δεν υποστηρίζονται συνεργατικές υπηρεσίες απλά κάθε χρήστης κατεβάζει ολόκληρο το αρχείο από το Σταθμό Βάσης.

Στη συνέχεια καθορίζονται τα IP πακέτα που πρέπει να κατεβάσει ο κάθε χρήστης, δηλαδή σπάει το κεντρικό αρχείο σε ανάλογα κομμάτια. Επειδή όμως χρησιμοποιείται το UMTS για την επικοινωνία των κινητών τερματικών με το Σταθμό Βάσης, το μέγεθος των πακέτων που μπορεί να αποστέλλεται στις ασύρματες διεπαφές είναι 40 bytes και ονομάζεται pdu. Επομένως τα IP πακέτα του κάθε κινητού τερματικού από το συνολικό αρχείο, χωρίζονται σε πακέτα των 40 bytes, τα οποία κατεβάζουν αντίστοιχα τα κινητά τερματικά και τα ανταλλάσσουν από τη δευτερεύουσα ασύρματη διεπαφή.

Έπειτα γίνεται καθορισμός του χρόνου προσθήκης των πακέτων αυτών στη ζεύξη μέχρι να φτάσουν στο χρήστη, ο οποίος καθορίζεται από ένα χρονιστή (timer) που μειώνεται καθώς το πακέτο μένει στη ζεύξη. Γενικά θεωρείται ότι τα πακέτα αυτά αποστέλλονται κάθε 10 msec, που πρακτικά είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα πακέτο να προωθηθεί από το στρώμα MAC στο φυσικό στρώμα. Η ποσότητα των πακέτων που τοποθετούνται στη ζεύξη για αποστολή εξαρτάται από το TCP πρωτόκολλο, το οποίο χρησιμοποιώντας ένα παράθυρο συμφόρησης (cng, congestion window) ελέγχει τον αριθμό των προς αποστολή, πακέτων. Πρακτικά το συγκεκριμένο παράθυρο παίρνει τιμές από 2 έως 400. Ξεκινώντας κάθε φορά και αυξάνεται κατά ένα με κάθε επιτυχημένη αποστολή των πακέτων, αλλιώς επανέρχεται στην αρχική τιμή.

Όπως είναι φυσικό σε μία πραγματική ζεύξη υπάρχει πιθανότητα να χαθεί ένα πακέτο είτε από φαινόμενα σκιάσεων είτε από τη παρεμβολή μεταξύ των κινητών τερματικών, έχει θεωρηθεί ότι κάθε πακέτο είχε πιθανότητα εσφαλμένου bit ίση με 10^{-3} . Σε περίπτωση χαμένου πακέτου γίνεται επανεκπομπή του, την επόμενη φορά που θα γινόταν κανονικά η εκπομπή του πακέτου που είχε σειρά. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέχρι τα κινητά τερματικά να λάβουν το ζητούμενο αρχείο.

4.5) Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των συνεργατικών υπηρεσιών και ιδιαιτέρως από τη χρήση του συγκεκριμένου σεναρίου για τη πρόσβαση στο Διαδίκτυο και το κατέβασμα αρχείων, δηλαδή πληροφοριών είναι πολλά και αποδεικνύουν την ανάγκη για την ύπαρξη συνεργατικών υπηρεσιών μεταξύ ανόμοιων δικτύων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν και για το χρήστη του Διαδικτύου μέσω των κινητών επικοινωνιών αλλά και του ίδιου του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Για το χρήστη τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- **Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης:** Στα συνεργατικά δίκτυα τα τερματικά χρησιμοποιούν πολύ μικρότερο ποσοστό της ζεύξης με τον Σταθμό Βάσης καθώς χρησιμοποιούν πολύ τις ζεύξεις μικρής κλίμακας για να επικοινωνήσουν με τους γειτονικούς κόμβους. Η κατανάλωση ενέργειας μέσα από τις ζεύξεις μικρής κλίμακας και ιδιαιτέρως με χρήση του Bluetooth, είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τις κυβελωτές ζεύξεις. και με τον τρόπο αυτό η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται σημαντικά [3].
- **Αύξηση Ρυθμών Μετάδοσης:** Ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ του σταθμού βάσης και των τερματικών δεν αλλάζει, ωστόσο όμως ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης βελτιώνεται σημαντικά με χρήση του παραπάνω σεναρίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης είναι υπερδιπλάσιος του κανονικού [2, 3]
- **Μείωση Χρόνων Μετάδοσης:** Καθώς ο εικονικός ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται, η διάρκεια μετάδοσης αναμένεται να μειωθεί καθώς τα δεδομένα φθάνουν γρηγορότερα στον χρήστη αφού χρησιμοποιεί και τους πόρους των άλλων τερματικών. Η διάρκεια μετάδοσης μπορεί να μειωθεί ακόμα και στο μισό [3].

- **Βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS) :** Όλα τα παραπάνω στοιχεία σε συνδυασμό με την βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου (SNR), αλλά και του λόγου σήματος-προς-παρεμβολή (SIR) συνεισφέρουν στην αύξηση του ρυθμού μετάδοσης της πληροφορίας με ταυτόχρονη μείωση της πιθανότητας λανθασμένου ψηφίου (BER) και κατά συνέπεια στην θεαματική βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. [2]
- **Μείωση κόστους υπηρεσιών:** Είτε ληφθεί υπόψη ο χρόνος που τα τερματικά χρησιμοποιούν την ζεύξη με τον σταθμό βάσης είτε ο όγκος των δεδομένων που κατεβάζουν από αυτόν υπάρχει σημαντική μείωση. Το κόστος λοιπόν των υπηρεσιών φυσιολογικά μειώνεται.

Παρακάτω παρουσιάζονται τρία επιπλέον πλεονεκτήματα που αφορούν κυρίως το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

- **Αύξηση χωρητικότητας της κυψέλης:** η αύξηση της χωρητικότητας της κυψέλης προκύπτει εξαιτίας των μικρών χρόνων μετάδοσης. Στα συνεργατικά δίκτυα οι χρήστες κατεβάζουν ένα μόνο κομμάτι της συνολικής πληροφορίας, το οποίο οδηγεί στη μικρότερη σπατάλη των πόρων του δικτύου, αυξάνοντας με αυτό το τρόπο τη χωρητικότητα του συστήματος.[1]
- **Βελτίωση της ακτίνας κάλυψης:** Μέσα από την συνεργασία των κινητών τερματικών οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε μια υπηρεσία σε μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης. Λόγω της συνεργασίας μέσα από ζεύξεις μικρής κλίμακας, η πληροφορία μπορεί να διαδοθεί σε αρκετά μεγαλύτερη απόσταση. [1]
- **Αποτελεσματικότερη χρήση του φάσματος:** Η χρήση του Bluetooth για τις ζεύξεις μικρής κλίμακας οδηγεί σε ελάχιστες παρεμβολές μεταξύ των διαφόρων συμπλεγμάτων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει επαναχρησιμοποίηση του συγκεκριμένου φάσματος συχνοτήτων σε κοντινότερες αποστάσεις. [1, 2]

Βιβλιογραφία

- [1]. Simone Frattasi, Frank H.P. Fitzek, Anelia Mitseva, Ramjee Prasad, “A Vision on Services and Architectures for 4G”, 1st CTIF B3G/4G Workshop. Aalborg, Denmark, 2005
- [2]. Qi Zhang, Frank H.P. Fitzek, Marcos Katz, “Evolution of Heterogeneous Wireless Networks: Towards Cooperative Networks”, 3rd International Conference of the Center for Information and Communication Technologies (CICT) - Mobile and wireless content, services and networks - Short-term and long-term development trends, Copenhagen, Denmark, November 2006
- [3]. Gian Paolo Perrucci, Frank H.P. Fitzek, Amine Boudali, Maria Canovas Mateos, Peter Nejsun, Sune Studstrup, “Cooperative Web Browsing for Mobile Phones”, International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'07), India, 2007

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

5.1) Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και επεξήγηση του κώδικα που υλοποιήθηκε για να προσομοιώσει τις περιπτώσεις του σεναρίου, το οποίο βασίζεται στη παράγραφο 4.4 του προηγούμενου κεφαλαίου. Η απαίτηση για δημιουργία πολλαπλών αντικειμένων όπως κινητών τερματικών, χρηστών, ζεύξεων και πακέτων πληροφορίας για την αποτελεσματικότερη προσομοίωση ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, καθιστά απαραίτητη τη χρήση μιας αντικειμενοστραφούς γλώσσας προγραμματισμού. Για την υλοποίηση της προσομοίωσης χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού Java και η προσομοίωση γίνεται με την βοήθεια της πλατφόρμας Eclipse Enterprise Edition. Συγκεκριμένα γίνεται δημιουργία 12 κλάσεων της Java, καθεμία από τις οποίες διαθέτει τα δικά της χαρακτηριστικά και τις δικές της μεθόδους. Επιπλέον για την εκτενέστερη μελέτη του προσομοιωμένου σεναρίου και την καλύτερη δυνατή εξαγωγή αποτελεσμάτων, προσομοιώνονται τρία διαφορετικά σενάρια, με σκοπό να αντληθούν στοιχεία για την αποτελεσματικότητα των συνεργατικών δικτύων 4^{ης} γενιάς. Παρακάτω παρουσιάζονται τα τρία προσομοιωμένα σενάρια.

- **Σενάριο 1^ο:** Αρχικά προσομοιώνεται ένα δίκτυο UMTS που αποτελείται από μερικούς χρήστες και κάνουν χρήση της υπηρεσίας FTP (File Transfer Protocol) για να κατεβάσουν ένα αρχείο μεταβλητού μεγέθους. Στην περίπτωση αυτή δεν γίνεται χρήση της έννοιας της συνεργατικότητας και κάθε χρήστης λειτουργεί αυτόνομα για να κατεβάσει το αρχείο από τον κοντινότερο Σταθμό Βάσης.
- **Σενάριο 2^ο:** Στο δεύτερο σενάριο που εξετάζεται, προστίθεται η συνεργατικότητα των δικτύων με την εισαγωγή ζεύξεων Bluetooth μεταξύ ενός χρήστη (master) και όσων άλλων βρίσκονται εντός ακτίνας κάλυψης του Bluetooth, δηλαδή μικρότερη ή ίση 10m. Η συγκεκριμένη περίπτωση αντιστοιχεί στη δυνατότητα να παρέχονται υπηρεσίες σε κάποιο τερματικό το οποίο δεν μπορεί να επικοινωνήσει επαρκώς με το Σταθμό Βάσης. Έτσι με τη βοήθεια των κινητών τερματικών που βρίσκονται γύρω του, ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του κυρίαρχου τερματικού (master), καθώς οι χρήστες που συνεργάζονται, στέλνουν δεδομένα μέσω των ζεύξεων μικρής κλίμακας. Τα υπόλοιπα δεδομένα το κυρίαρχο τερματικό αλλά και οι υπόλοιποι χρήστης τα λαμβάνουν μέσω των ζεύξεων με τον σταθμό βάσης, με χρήση της κυψελωτής ζεύξης (UMTS).
- **Σενάριο 3^ο:** Στο τελευταίο σενάριο που προσομοιώνεται, εξετάζεται η αποτελεσματικότητα των συνεργατικών δικτύων όπως παρουσιάζεται στο προηγούμενο κεφάλαιο (παρ. 4.4). Ένας χρήστης που τυχαίνει να έχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης μέσω του δικτύου UMTS από τους υπόλοιπους χρήστες λειτουργεί ως το κυρίαρχο τερματικό (master) και εγκαθιστά ζεύξεις μικρής κλίμακας με όσους χρήστες βρίσκονται σε ακτίνα από αυτόν μικρότερη των 10 μέτρων με σκοπό να τους βοηθήσει να κατεβάσουν γρηγορότερα και με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας το επιθυμητό αρχείο.

5.2) Παράμετροι και μεταβλητές της προσομοίωσης

Στην συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζονται οι παράμετροι που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας της προσομοίωσης και δίνουν την δυνατότητα στον αναγνώστη να μελετήσει τα συνεργατικά δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Μέσω των πολλών διαφορετικών παραμέτρων και μεταβλητών που υπάρχουν στην προσομοίωση δίνεται η δυνατότητα για την αποτελεσματική μελέτη των σεναρίων που παρουσιάστηκαν και η απόκτηση των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις από τις κύριες μεταβλητές για τη προσομοίωση των παραπάνω τριών σεναρίων.

5.2.1) Αριθμός χρηστών (κινητών τερματικών)

Μέσω της ακεραίας μεταβλητής link_number που υπάρχει στην βασική κλάση του κώδικα της προσομοίωσης, δηλαδή τη κλάση Simulation, επιλέγεται ο επιθυμητός αριθμός των χρηστών-κινητών τερματικών που θα συμμετέχουν στην προσομοίωση. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, ο αριθμός των χρηστών που μπορούν να συμμετέχουν στο δημιουργημένο σενάριο, εξαρτάται από το πρωτόκολλο Bluetooth

που χρησιμοποιείται για τις ζεύξεις μικρής κλίμακας. και αποτελείται από μέχρι και 8 κινητά τερματικά (1 master και 7 slaves), καθώς δεν έχει νόημα η ανάλυση παραπάνω χρηστών αφού δεν υποστηρίζονται από το πρωτόκολλο. Ο αριθμός των χρηστών που συμμετέχουν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην περίπτωση των συνεργατικών δικτύων ιδιαίτερος στα Σενάρια 2 και 3, καθώς επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα όπως παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο.

5.2.2) Διαστάσεις της τοπολογίας

Ο Σταθμός Βάσης για το κυβελωτό δίκτυο βασισμένο στο UMTS πρωτόκολλο, και τα κινητά τερματικά τοποθετούνται σε ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. Ο Σταθμός Βάσης τοποθετείται στην θέση (10m,10m,10m) ενώ οι υπόλοιποι χρήστες τοποθετούνται σε μία περιοχή 3375 m³ σε τυχαίες θέσεις. Οι ζεύξεις Bluetooth έχουν ακτίνα κάλυψης το πολύ 10m ενώ ο Σταθμός Βάσης είναι σε θέση να επικοινωνεί με όλους τους χρήστες ανεξάρτητα της απόστασης.

5.2.3) Μέγεθος αρχείου

Στην κλάση Simulation ορίζεται ένα αντικείμενο τύπου File το οποίο περά από τα άλλα χαρακτηριστικά έχει και την μια ακέραια μεταβλητή Lsize που καθορίζει το μέγεθος του αρχείου που θα κατεβάσουν οι χρήστες. Το μέγεθος του αρχείου στην συγκεκριμένη έρευνα λαμβάνει τιμές από 10 KBytes έως 1 MBytes και καθορίζεται πριν αρχίσει η προσομοίωση. Οι απαιτήσεις σε μνήμη δεν επιτρέπουν την περαιτέρω αύξηση του μεγέθους με βάση τον συγκεκριμένο αριθμό των χρηστών και το μέγεθος των πακέτων IP και των pdus.

5.2.4) Σενάριο προσομοίωσης

Μέσω δύο διαφορετικών μεταβλητών που ορίζονται στην κλάση Simulation επιλέγεται το επιθυμητό σενάριο για την προσομοίωση. Η μεταβλητή τύπου Boolean, IOT καθορίζει εάν υπάρχει συνεργασία μεταξύ των κινητών τερματικών, δηλαδή εάν δημιουργούνται συνεργατικά δίκτυα. Εάν η μεταβλητή αυτή είναι ψευδής (false) τότε προσομοιώνεται το πρώτο από τα σενάρια και ο κάθε χρήστης κατεβάζει το αρχείο αυτόνομα επικοινωνώντας μόνο με τον Σταθμό Βάσης. Εάν η παραπάνω μεταβλητή είναι αληθής (true) τότε υπάρχουν δύο δυνατές επιλογές.

Οι δύο αυτές επιλογές ξεχωρίζονται από την ακέραια μεταβλητή scenario, η οποία καθορίζει ποιο από τα σενάρια 2 ή 3 προσομοιώνεται. Στην περίπτωση που η συγκεκριμένη μεταβλητή ισούται με 0 επιλέγεται το 2^ο σενάριο, δηλαδή η λειτουργία του τηλεπικοινωνιακού συστήματος για την εξυπηρέτηση του κυρίαρχου τερματικού, ενώ στη περίπτωση που η μεταβλητή ισούται με 1 επιλέγεται το 3^ο σενάριο, δηλαδή λειτουργία του συστήματος για την εξυπηρέτηση πολλαπλών χρηστών μέσω ενός κυρίαρχου τερματικού που διαθέτει καλύτερη ποιότητα ζεύξης από τα υπόλοιπα τερματικά.

5.3) Παρουσίαση των κλάσεων της προσομοίωσης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά η δομή της προσομοίωσης και η λειτουργία των διαφορετικών κλάσεων και αντικειμένων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο κώδικας της προσομοίωσης είναι χωρισμένος σε 12 διαφορετικές κλάσεις, κάθε μία από τις οποίες διαθέτει τα δικά της χαρακτηριστικά και επιτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες για τη σωστή μοντελοποίηση της προσομοίωσης. Οι κλάσεις παρουσιάζονται παρακάτω με μία μικρή περιγραφή των περιεχομένων τους:

1. **Simulation:** Η συγκεκριμένη κλάση είναι η βασική κλάση της προσομοίωσης. Σε αυτήν ορίζονται οι διαφορετικές παράμετροι του συστήματος, όπως ο αριθμός χρηστών, σενάριο προσομοίωσης κτλ., που είναι απαραίτητες για τον καθορισμό της προσομοίωσης. Επιπλέον στην κλάση αυτή δημιουργούνται όλα τα αντικείμενα που αντιπροσωπεύουν την λειτουργία ενός πραγματικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος: Σταθμοί Βάσης, κινητά τερματικά, ζεύξεις μικρής και μεγάλης κλίμακας, αρχεία, IP πακέτα, PDUs (οι μικρότερες μονάδες που κρατούν πληροφορία στα δίκτυα UMTS). Ένα ακόμα χρήσιμο χαρακτηριστικό της κλάσης αυτή είναι και η έναρξη της προσομοίωσης. Επιπλέον μερικές από τις λειτουργίες της είναι η μέτρηση της απόστασης των κινητών τερματικών με τον σταθμό βάσης, την απόσταση των τερματικών μεταξύ τους, τον έλεγχο της δυνατότητας δημιουργίας ζεύξης Bluetooth μεταξύ των τερματικών και πολλές άλλες.
2. **BaseStation:** Στη συγκεκριμένη κλάση ορίζεται το αντικείμενο του σταθμού βάσης. Η κλάση διαθέτει μεταβλητές που απεικονίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά ενός σταθμού βάσης όπως την θέση του, μέσω ενός τρισδιάστατου συστήματος συντεταγμένων καθώς και τα αρχεία που πρέπει να στείλει. Ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για την σωστή λειτουργία της υπηρεσίας FTP, τον καθορισμό του παραθύρου συμφόρησης του πρωτοκόλλου TCP, καθώς και τη λήψη θετικών ή αρνητικών επιβεβαιώσεων σε περίπτωση σωστής ή λανθασμένης λήψης των πακέτων από τον χρήστη αντίστοιχα.
3. **User:** Στη κλάση user, ορίζεται το αντικείμενο του χρήστη - κινητού τερματικού. Τα χαρακτηριστικά του χρήστη είναι η θέση του, ο μοναδικός τρόπος αναγνώρισής του (id χρήστη) και άλλα. Ο χρήστης διαθέτει πληροφορίες για τον αριθμό των πακέτων που πρέπει να κατεβάσει καθώς και για τον αριθμό των επιβεβαιώσεων που πρέπει να στείλει στον σταθμό βάσης. Σε περίπτωση συνεργατικών δικτύων διαθέτει πληροφορίες για τα πακέτα που πρέπει να λάβει ή να στείλει στους υπόλοιπους χρήστες. Επιπλέον ο χρήστης διαχειρίζεται μερικές από τις πιο σημαντικές λειτουργίες τους συστήματος. Καθορίζει πότε είναι έτοιμος να σταλούν τα πακέτα (ReadyToSend()) και στην συνέχεια τα πακέτα μπαίνουν στην ζεύξη. Οι λειτουργίες αυτές παρόλο που στην πραγματικότητα εκτελούνται από τον σταθμό βάσης, στην συγκεκριμένη προσομοίωση έχουν ανατεθεί στον χρήστη για ευκολία και απλότητα του προγράμματος χωρίς να επηρεάζουν τα αποτελέσματα και την προσέγγιση του πραγματικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Επιπλέον κάθε χρήστης είναι υπεύθυνος για την αποστολή είτε θετικών είτε αρνητικών επιβεβαιώσεων στον σταθμό βάσης, καθώς και για την λήψη πακέτων που βγαίνουν από την ζεύξη και την τοποθέτηση τους στην packetpool του χρήστη και σε πακέτα Bluetooth (αν χρειαστεί). Οι παραπάνω λειτουργίες αφορούν και τα πακέτα του UMTS (PDUs) καθώς και τα πακέτα του Bluetooth.

4. **Link:** Η συγκεκριμένη κλάση αφορά την αναπαράσταση της ζεύξης ενός πραγματικού συστήματος για την ενσωμάτωση στην προσομοίωσή μας. Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη ζεύξεων. Οι ζεύξεις με τον Σταθμό Βάσης (UMTS) και οι ζεύξεις μεταξύ των τερματικών (Short Range Link-Bluetooth στη περίπτωση μας). Διαθέτει συνδεδεμένες λίστες που αναπαριστούν την κάτω και άνω ζεύξη για κάθε σύστημα και διαχειρίζεται και τα χαρακτηριστικά των ζεύξεων αυτών (παράθυρο συμφόρησης). Τέλος η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για την εξαγωγή των πακέτων από την ζεύξη και την αποστολή τους στον χρήστη που ανήκουν όποτε αυτό κρίνεται απαραίτητο.
5. **linkTimer:** Όπως και στην πραγματικότητα κάθε χρήστης και κάθε Σταθμός Βάσης διαθέτει συγκεκριμένους μηχανισμούς για την αποστολή και την λήψη πακέτων, είτε στο UMTS είτε στο Bluetooth, ανά επιτρεπτά χρονικά διαστήματα. Αυτή ακριβώς την λειτουργία αναλαμβάνει η συγκεκριμένη κλάση με την χρησιμοποίηση διαφορετικών timers για τους χρήστες και τον σταθμό βάσης. Οι timers με την σειρά τους καλούν ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα τους χρήστες και τον σταθμό βάσης για να επιτελέσουν τις βασικές λειτουργίες (αποστολή λήψη πακέτων κτλ.). Είναι απαραίτητη για τον σωστό χρονισμό του συστήματος, την διατήρηση σταθερού ρυθμού μετάδοσης και γενικότερα την σωστή προσομοίωση πραγματικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος.
6. **File:** Εδώ ορίζεται απλά ένα αντικείμενο που απεικονίζει ένα αρχείο μεταβλητού μεγέθους. Διαθέτει χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος του αρχείου, ο αριθμός των πακέτων IP που αντιστοιχεί στο μέγεθος αυτό καθώς και το μοναδικό id του αρχείου.
7. **Packet:** Η κλάση αυτή χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των IP πακέτων του αρχείου που δημιουργούνται. Κάθε πακέτο έχει το δικό του μοναδικό id και διαθέτει πληροφορίες όπως: το μέγεθος του, ο αριθμός των rdus που περιέχει, ο ακολουθιακός αριθμός (συνεχόμενα αυξανόμενος αριθμός) και άλλα.
8. **RLC_PDU:** Αποτελεί την βασική και μικρότερη δυνατή μονάδα μετάδοσης της πληροφορίας στα συστήματα UMTS. Διαθέτει παρόμοια χαρακτηριστικά με την κλάση Packet.
9. **Bluetooth_Packet:** Στην κλάση αυτή ορίζεται το αντικείμενο που αναπαριστά ένα πακέτο πληροφορίας για το Bluetooth. Διαθέτει επίσης παρόμοια χαρακτηριστικά με την κλάση Packet. Κάθε πακέτο Bluetooth έχει την δυνατότητα να συμπεριλάβει στο εσωτερικό του μερικά rdus για την υλοποίηση των συνεργατικών δικτύων.
10. **Rat:** Στην κλάση Rat ορίζεται ο τύπος του συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί μαζί με τον ρυθμό μετάδοσης και την πιθανότητα λάθους στην ζεύξη.
11. **Utils:** Βοηθητική κλάση που περιέχει μεθόδους για να διορθώνει σφάλματα (bugs) του συστήματος, όπως για παράδειγμα χαμένα πακέτα που δεν έχουν σχέση με το τηλεπικοινωνιακό σύστημα αλλά με δυσλειτουργίες της πλατφόρμας Eclipse.
12. **Statistics:** Χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των επιθυμητών αποτελεσμάτων στο τέλος του προγράμματος.

5.4) Περιγραφή της προσομοίωσης

Στη συγκεκριμένη παράγραφο γίνεται περιγραφή του κώδικα, των κλάσεων, καθώς και των συναρτήσεων που υλοποιούνται για την αναπαράσταση του δικτύου και της προσομοίωσης που λαμβάνει χώρα.

5.4.1) Δημιουργία των πακέτων

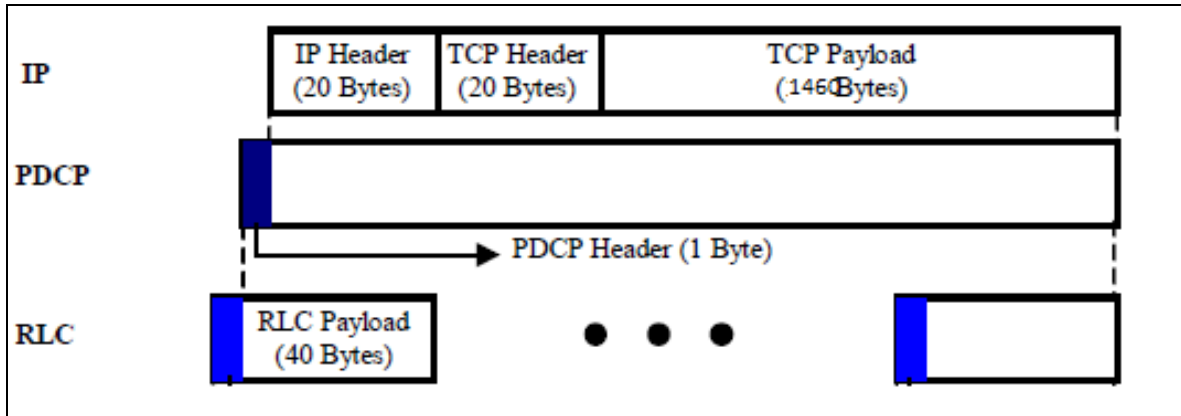
Η δημιουργία των πακέτων πληροφορίας γίνεται στην αρχή της προσομοίωσης τόσο για τα πακέτα IP όσο και για τα pdu. Ο αριθμός τους εξαρτάται καθαρά από το μέγεθος του αρχείου που έχει ορισθεί για την χρησιμοποίηση της υπηρεσίας FTP καθώς και από το μέγεθος των πακέτων IP και των pdu. Στη συνέχεια μετά τον ορισμό των παραμέτρων της προσομοίωσης όπως περιγράφηκε στη παράγραφο 5.2, ξεκινά η εκτέλεση της προσομοίωσης από την κλάση Simulation (συνάρτηση main) και η δημιουργία των πακέτων πληροφορίας. Στην συγκεκριμένη προσομοίωση ορίζεται το μέγεθος των IP πακέτων ίσο με 1500 bytes. Τα 40 πρώτα bytes αποτελούν την επικεφαλίδα του πακέτου και τα υπόλοιπα το ωφέλιμο φορτίο ($1500-40=1460$ bytes).

Εάν οριστεί ότι το μέγεθος του αρχείου είναι Lsize bytes τότε πρέπει να δημιουργηθούν $\frac{Lsize}{1460} + 1$ πακέτα IP.

Η μονάδα pdu, θεωρείται ότι είναι ίση με 40 bytes, όπως εκτενώς χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία [1]. Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 5.1, κάθε pdu διαθέτει επικεφαλίδα ενός byte από το στρώμα PDCP και μια επικεφαλίδα ενός byte από το RLC, η οποία μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα στον υπολογισμό των ρυθμών μετάδοσης. Έτσι λοιπόν κάθε πακέτο πληροφορίας IP χωρίζεται σε $\frac{1460}{40} + 1$

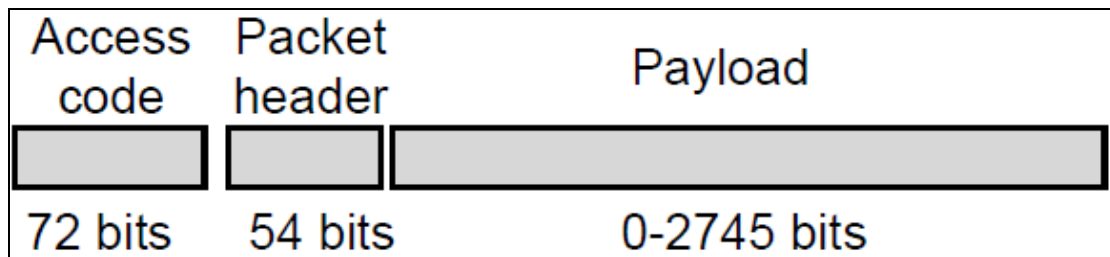
κομμάτια, αν είναι πλήρους μεγέθους ή σε $\frac{IPpacketSize}{40} + 1$, αν είναι διαφορετικού μεγέθους.

Η μοναδική ταυτότητα (id) του κάθε πακέτο, είτε αυτό είναι IP είτε pdu, διακρίνεται από μια συμβολοσειρά της μορφής “U0P0” και “U0P0_1” αντίστοιχα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ταυτοποίηση τους. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η αναγνώριση τους με βάση τον χρήστη που ανήκουν, όπως και η εύρεση των πακέτων που απαιτούνται για επανεκπομπή σε περίπτωση λανθασμένης λειτουργίας ή απώλειας του πακέτου. Επιπλέον είναι θεμιτό να αναφερθεί ότι κάθε χρήστης γνωρίζει τον ακριβή αριθμό των πακέτων που πρέπει να κατεβάσει και τελειώνει μόνο όταν έχουν κατέβει όλα τα πακέτα.



Εικόνα 5.1 - Η κατάτμηση από στρώμα σε στρώμα

Στην περίπτωση των συνεργατικών υπηρεσιών λαμβάνουν χώρα και πακέτα Bluetooth. Στην περίπτωση αυτή, τα πακέτα (pdus) που λαμβάνονται από τον master ή τους slaves (ανάλογα με το προσομοιωμένο σενάριο) τοποθετούνται σε νέα πακέτα Bluetooth για να αποσταλούν στον επιθυμητό παραλήπτη. Με την προϋπόθεση της ύπαρξης ενός διαύλου επικοινωνίας χωρίς υψηλό ρυθμό λαθών, δηλαδή της τάξεως του 10^{-4} , τα πακέτα που χρησιμοποιούνται, είναι τύπου DH5, δηλαδή πακέτα που καταλαμβάνουν 5 χρονοσχιμές του Bluetooth (0,625μsec/σχιμή). Η χωρητικότητα των πακέτων αυτών υπολογίζεται στα 339 bytes και ο ρυθμός μετάδοσης του Bluetooth στα 723 kbps [3]. Επειδή κάθε πακέτο έχει μέγιστο χώρο για δεδομένα 339 bytes μπορεί να «φιλοξενήσει» μέχρι 8 πακέτα pdus των 40 bytes. Η επικεφαλίδα των πακέτων αυτών περιλαμβάνει 15-16 bytes, τα οποία περιέχουν την επικεφαλίδα των πακέτων αλλά και ένα access code που χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό.



Εικόνα 5.2 - Το πακέτο του Bluetooth

5.4.1.1) Δημιουργία πακέτων σε συστήματα με συνεργατικές υπηρεσίες

Στην περίπτωση ύπαρξης συνεργατικών υπηρεσιών διαφοροποιείται μερικώς η δημιουργία των πακέτων για την προσομοίωση.

Στην περίπτωση του πρώτου σεναρίου όπου δεν υπάρχουν συνεργατικές υπηρεσίες (IOT=false) και του τρίτου σεναρίου (IOT=true & scenario=1) η δημιουργία των πακέτων γίνεται φυσιολογικά. Παράγονται όλα τα πακέτα IP και τα pdus από την αρχή ως το τέλος και ενημερώνεται ο χρήστης για τον ακριβή αριθμό τους. Στην συνέχεια τα pdus τοποθετούνται στην κάτω ζεύξη (downlink) με χρήση των απαραίτητων χρονοδιακοπών (timers), όπως εξηγείται σε επόμενη παράγραφο.

Ειδικότερα στην περίπτωση του τρίτου σεναρίου μόλις το κυρίαρχο τερματικό (master) αρχίζει να λαμβάνει πακέτα από τον Σταθμό Βάσης τα τοποθετεί σε πακέτα Bluetooth για να τα στείλει στα εξαρτώμενα κινητά τερματικά (slaves). Συγκεκριμένα κάθε 8 pdu που λαμβάνονται δημιουργείται και ένα νέο πακέτο Bluetooth.

Στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου η δημιουργία των πακέτων είναι λίγο διαφορετική. Αρχικά γίνεται ανίχνευση των συσκευών που θα «βοηθήσουν» το κυρίαρχο κινητό τερματικό στο κατέβασμα του αρχείου. Επειδή κάθε χρήστης που βρίσκεται εντός ακτίνας 10m από τον master θα πρέπει να του στείλει πακέτα Bluetooth, ανατίθεται σε κάθε χρήστη ένα ποσοστό 10 % επί του συνολικού αρχείου το οποίο προορίζεται για το κυρίαρχο κινητό τερματικό. Το ποσοστό αυτό είναι αρχικό και ενδεικτικό. Στην πορεία της προσομοίωσης για την απόκτηση αποτελεσμάτων μπορεί να διαφοροποιηθεί. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται για τον κυρίαρχο χρήστη μόνο ένα ποσοστό των πακέτων, π.χ. 70% του συνολικού αρχείου, ενώ για τους υπόλοιπους χρήστες δημιουργούνται όλα τα πακέτα. Τα πακέτα του κάθε χρήστη που συμμετέχει στο συνεργατικό δίκτυο και προορίζονται για τον κυρίαρχο χρήστη μαρκάρονται ώστε να τύχουν διαφορετικής μεταχείρισης, ενώ τα υπόλοιπα είναι κανονικά.

5.4.2) Ρυθμοί μετάδοσης και πιθανότητες λάθους

Οι ρυθμοί μετάδοσης σε κάθε ζεύξη θεωρούνται σταθεροί και ίσοι με 384kbps για την κάτω ζεύξη του UMTS [1, 2] ενώ για την ζεύξη Bluetooth θεωρούνται ρυθμοί μετάδοσης κοντά στα 720kbps [3]. Οι παραπάνω ρυθμοί μετάδοσης είναι το μέγιστο που μπορούν να φτάσουν οι χρήστες στην αντίστοιχη ζεύξη, ωστόσο για διάφορους λόγους αυτό είναι σπάνια εφικτό. Επιπλέον, εξαιτίας της μεθόδου υλοποίησης της προσομοίωσης οι ρυθμοί μετάδοσης δεν μπαίνουν σαν καθαροί αριθμοί στην προσομοίωση, αλλά υλοποιούνται μέσα από τους μηχανισμούς που αναπτύσσονται μέσα σε αυτήν.

Οι πιθανότητες λάθους επηρεάζουν άμεσα τους ρυθμούς μετάδοσης μιας ζεύξης. Μια πιθανή απώλεια πακέτου οδηγεί σε επαναμετάδοση της χαμένης πληροφορίας και κατά συνέπεια μείωση του ρυθμού μετάδοσης και της συνολικής διεκπεραιωτικής ικανότητας (throughput) του συστήματος. Κατά συνέπεια μια ζεύξη με υψηλό ποσοστό λαθών BEP (Bit Error Probability) μειώνει την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Ο τρόπος και ο χρόνος της επαναμετάδοσης του πακέτου καθορίζεται από το πρωτόκολλο TCP που αναλύεται σε επόμενη παράγραφο. Για να προσεγγιστεί η πραγματικότητα υλοποιήθηκε μια συνάρτηση πιθανότητας ανεξάρτητη για κάθε πακέτο. Κάθε pdu λοιπόν, έχει πιθανότητα εσφαλμένης μετάδοσης 10^{-3} για την ζεύξη με τον σταθμό βάσης [1, 2] ενώ για την ζεύξη μικρής κλίμακας η πιθανότητα αυτή πέφτει στο 10^{-4} .

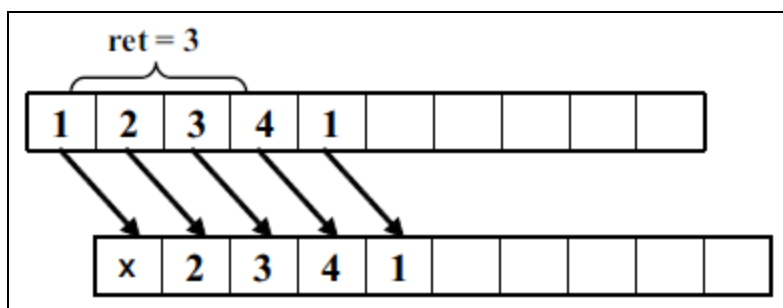
Η πιθανότητα αυτή υλοποιείται στην κλάση user μέσω της συνάρτησης User.prob η οποία απλά διαλέγει έναν τυχαίο αριθμό από το 0 έως το 9999. Εάν ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος του 9990 τότε το πακέτο στέλνεται κανονικά, ενώ σε αντίθετη περίπτωση τοποθετείται σε έναν buffer για να αποσταλεί με το επόμενο block δεδομένων και στέλνεται αρνητική επιβεβαίωση (NACK) στον σταθμό βάσης. Με τον τρόπο αυτό απεικονίζεται η πιθανότητα λάθους 10^{-3} (και αντίστοιχα 10^{-4} για το Bluetooth εφόσον ο αριθμός είναι μικρότερος του 9999).

5.4.3) Το πρωτόκολλο TCP

Γενικά το πρωτόκολλο TCP είναι το πιο διαδομένο πρωτόκολλο του στρώματος μεταφοράς και έχει εφαρμογή τόσο στα δίκτυα υπολογιστών όσο και στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, καθώς είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση μιας σημείο προς σημείο αξιόπιστης ζεύξης, πάνω από το μη αξιόπιστο IP πρωτόκολλο. Το πρωτόκολλο αυτό διαθέτει μηχανισμούς ελέγχου της ροής των δεδομένων πάνω στην ζεύξη με σκοπό την αποφυγή συμφόρησης. Η αξιοπιστία μιας ζεύξης ελέγχεται από μηχανισμούς επαναμετάδοσης των χαμένων πακέτων οι οποίοι εξαρτώνται από τις επιθυμίες του παραλήπτη (π.χ. υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ή μηδαμινή απώλεια πακέτων) [4]. Στη συνέχεια της συγκεκριμένης παραγράφου γίνεται αναφορά στα πρωτόκολλα του TCP που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της προσομοίωσης.

Στην παρούσα προσομοίωση δεν ενδιαφέρουν οι αρχικές συνθήκες που χρειάζονται για την εγκαθίδρυση μιας ζεύξης, δηλαδή η κατά τα γνωστά, τριπλή χειραψία, με συνέπεια την μη περαιτέρω ανάλυση και μελέτη. Αντίθετα το κομμάτι του TCP που χρησιμοποιείται στην υλοποίηση του σεναρίου είναι οι μηχανισμοί ελέγχου ροής δεδομένων και επαναμετάδοσης πακέτων.

Για τον έλεγχο σωστής μετάδοσης δεδομένων ο Σταθμός Βάσης του συστήματος, τοποθετεί κάθε πακέτο που έχει να στείλει σε έναν ενταμιευτή μετάδοσης (transmission buffer) και αφού το στείλει περιμένει μια επιβεβαίωση ACK από τον χρήστη. Οι επιβεβαιώσεις είναι πακέτα IP που δεν περιέχουν κάποιο ωφέλιμο φορτίο παρά μόνο επικεφαλίδα. Εφόσον ληφθεί το πακέτο διαγράφεται και από τον ενταμιευτή μετάδοσης. Στη περίπτωση λήψης αρνητικής επιβεβαίωσης NACK και στη περίπτωση μη λαμβανόμενης επιβεβαίωσης το πακέτο, φεύγει από τον ενταμιευτή μετάδοσης, τοποθετείται στη ζεύξη και επαναδρομολογείται [2, 4]. Με χρήση του συγκεκριμένου μηχανισμού, όπως υλοποιείται και στην συγκεκριμένη προσομοίωση, είναι εφικτός ο έλεγχος στη περίπτωση απώλειας πακέτων.



Εικόνα 5.3 - Το πρώτο pdu επαναμεταδίδεται στο αμέσως επόμενο διαθέσιμο block δεδομένων

Για τον έλεγχο της ροής των δεδομένων το πρωτόκολλο TCP της προσομοίωσης που υλοποιείται, χρησιμοποιεί την μέθοδο του συρόμενου παραθύρου (sliding window). Με την μέθοδο αυτή είναι δυνατή η ταυτόχρονη αποστολή περισσότερων του ενός πακέτων για την καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρου ζώνης. Η αποστολή των πακέτων ξεκινάει με μικρό μέγεθος παραθύρου, δηλαδή 1-2 (MSS (Maximum Segment Size) στην περίπτωση μας pdu, και κάθε φορά που Σταθμός Βάσης λαμβάνει επιβεβαιώσεις για το block δεδομένων που έστειλε προωθεί το παράθυρο, δηλαδή το αυξάνει συνήθως κατά 1, μέχρι να φθάσει ένα συγκεκριμένο άνω όριο. Το άνω φράγμα του παραθύρου συμφόρησης έχει σχέση με το BDP (Bandwidth Delay Product) του συστήματος.

Το BDP είναι το γινόμενο του εύρους ζώνης (Bandwidth) με το RTT (**R**ound **T**rip **T**ime). Μόλις το παράθυρο φθάσει το μέγεθος αυτό, παραμένει εκεί και η ροή των δεδομένων είναι πλέον σταθερή. Για το UMTS που χρησιμοποιείται στην υλοποιημένη προσομοίωση, το BDP κυμαίνεται από 7200 έως 64000 bytes [2, 5]. Αν θεωρηθεί το ελάχιστο BDP, δηλαδή ίσο με 7200 bytes, αυτό σημαίνει ότι μπορούν να αποσταλούν ταυτόχρονα το πολύ 5 πλήρους μεγέθους πακέτα IP και κατά συνέπεια το πολύ 180 pdu's των 40 bytes. Το συγκεκριμένο γεγονός, θα μπορούσε να περιορίζει την ζεύξη, αλλά στην πραγματικότητα λόγω των χαμένων πακέτων δύσκολα το παράθυρο συμφόρησης φθάνει σε αυτό το όριο.

Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται η περίπτωση που ο Σταθμός Βάσης, στέλνει ξανά το χαμένο πακέτο, το οποίο και δρομολογεί την αμέσως επόμενη περίοδο αποστολής πακέτων. Για την επαναμετάδοση των χαμένων πακέτων χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης Selective Repeat. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, κάθε φορά που χάνεται ένα πακέτο και το καταλαβαίνει ο Σταθμός Βάσης είτε μέσω αρνητικής επιβεβαίωσης είτε λήξης της περιόδου που αναμένει για επιβεβαίωση, το χαμένο πακέτο ξαναστέλνεται με το επόμενο block δεδομένων (Εικόνα 5.3). Στην περίπτωση αυτή το μέγεθος του παραθύρου θεωρείται ότι παραμένει σταθερό και δεν αυξάνεται [6]. Το συρόμενο παράθυρο ρυθμίζεται στην κλάση BaseStation, κάθε φορά που ο σταθμός βάσης λαμβάνει επιβεβαίωση με χρήση της συνάρτησης BaseStation.look_for_ack().

5.4.4) Αποστολή και λήψη πακέτων

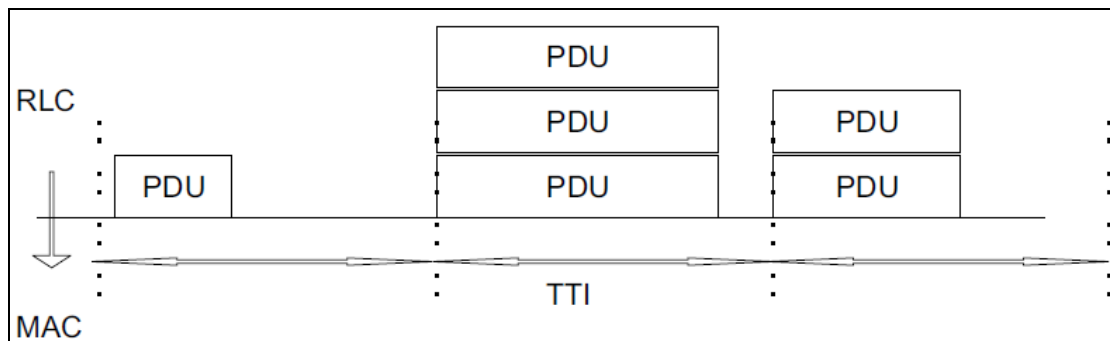
Η ανάγκη ώστε η αποστολή και λήψη πακέτων να ανταποκρίνεται κατά μεγάλο ποσοστό στην πραγματικότητα, οδηγεί στην ανάπτυξη μιας σειράς από μηχανισμούς, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

5.4.4.1) Αποστολή και λήψη πακέτων χωρίς συνεργατικές υπηρεσίες

Με βάση τα παραπάνω και με σκοπό την προσέγγιση ενός πραγματικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος χωρίς ταυτόχρονα την παραβίαση όλων των πρωτοκόλλων από το φυσικό στρώμα έως το στρώμα μεταφοράς που υλοποιούνται, αναπτύσσονται μηχανισμοί αποστολής και λήψης πακέτων.

Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι για το UMTS πάνω από το φυσικό στρώμα (PHY) υπάρχει ένα στρώμα δεύτερου επιπέδου του OSI το οποίο χωρίζεται στα υποστρώματα RLC (**R**adio **L**ink **C**ontrol) και MAC (**M**edium **A**ccess **C**ontrol). Τα δύο υποστρώματα εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες. Στο υπόστρωμα RLC πραγματοποιείται ο θρυμματισμός (segmentation) και η επανένωση (reassembly) από και προς τα ανώτερα υποστρώματα. Κατά τον θρυμματισμό παράγονται οι μικρότερες μονάδες πληροφορίας τα Pdu's. Ενώ το υπόστρωμα MAC είναι υπεύθυνο για την πρόσβαση στο φυσικό μέσο (ζεύξη) κάθε στιγμή [2, 7].

Για την αποστολή δεδομένων από το υπόστρωμα MAC στο φυσικό στρώμα μεσολαβεί κάποιος χρόνος. Ο χρόνος αυτός είναι γνωστός και ως TTI (**T**ransmission **T**ime **I**nterval) και για το UMTS λαμβάνει τιμές μερικών millisecond συνήθως 10 ή 20. Κατά την διάρκεια ενός TTI, μπορούν να σταλούν από το στρώμα MAC στο φυσικό στρώμα περισσότερα από ένα pdu's που έχουν παραχθεί στο RLC όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 5.4. Σε κάθε περίπτωση αυτό εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης του συστήματος.



Εικόνα 5.4 - Σε κάθε TTI μπορούν σταλούν περισσότερα του ενός Pdus στο φυσικό στρώμα.

Στα περισσότερα πραγματικά συστήματα το TTI είναι 10 msec και για τον λόγο αυτό τόσο είναι και στην προσομοίωση που υλοποιείται. Επιπλέον επειδή φθάνουν στο φυσικό στρώμα πακέτα κάθε 10 msec γίνεται την παραδοχή ότι ο αποστολέας (sender) στέλνει πακέτα στον παραλήπτη κάθε 10 msec. Για την υλοποίηση αυτή χρησιμοποιούνται timers από το πακέτο `java.util.Timer` της βιβλιοθήκης της Java. Κάθε χρήστης έχει τον δικό του timer που ρυθμίζεται στην αρχή του προγράμματος στην κλάση `Simulation` και τον ειδοποιεί κάθε 10 msec για να στείλει όσα πακέτα πρέπει να στείλει. Ο αριθμός των πακέτων που θα στείλει ο χρήστης εξαρτάται αποκλειστικά από το τρέχον παράθυρο που του δίνει το πρωτόκολλο TCP. Στο προσομοιωμένο σενάριο, ο μέγιστος αριθμός pdus που μπορεί να στείλει ο χρήστης είναι 96 κάθε 10 msec έτσι ώστε να μην υπερβαίνεται η ταχύτητα των 384 kbps.

Εφόσον ξεκινήσει το `Simulation` και δημιουργηθούν τα πακέτα πληροφορίας, κάθε χρήστης δημιουργεί το δικό του thread, έτσι ώστε να τρέχουν ξεχωριστά και να μην επηρεάζει ο ένας τον άλλον και στην συνέχεια αρχικοποιούνται οι timers τους. Για να προσεγγιστεί καλύτερα ένα πραγματικό σύστημα, οι χρήστες μπαίνουν στην προσομοίωση και αρχίζουν να λαμβάνουν πακέτα με διαφορά από 1 έως 3 δευτερόλεπτα και όχι όλοι μαζί. Συγκεκριμένα κάθε 10 msec που ειδοποιείται ο χρήστης από το `Timer` καλείται η συνάρτηση `User.ReadyToSend()` που υποδηλώνει ότι ο χρήστης είναι έτοιμος για νέα πακέτα. Τα πακέτα προστίθενται στην κάτω ζεύξη (downlink) με την σειρά που δημιουργούνται και παραμένουν εκεί για κάποιο χρονικό διάστημα.

Επιπλέον κάθε χρήστης χρησιμοποιεί άλλους δύο timers. Ο ένας ενημερώνει τον Σταθμό Βάσης να ελέγχει για επιβεβαιώσεις στην άνω ζεύξη (uplink) ανά τακτά χρονικά διαστήματα με χρήση της συνάρτησης `BaseStation.look_for_ack()`. Ο άλλος timer, ο οποίος καλείται αρκετά συχνά, κοιτάζει την κάτω ζεύξη έτσι ώστε να βγάλει τα πακέτα που αφορούν τον εκάστοτε χρήστη από τη ζεύξη με χρήση της συνάρτησης `decrease_ttl()`, έτσι ώστε να παραδοθούν στο χρήστη. Επιπλέον, επειδή μπορούν να μπαίνουν στην ζεύξη έως και 96 πακέτα κάθε 10 msec και το μικρότερο κλάσμα χρόνου που μπορούν να καλείται ο κάθε timer είναι 1 msec σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δύο timers από τον χρήστη για να βγάλουν τα πακέτα από την κάτω ζεύξη. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει η δυνατότητα απορρόφησης από την ζεύξη έως και 2 πακέτα ανά msec.

Ως εκ τούτου, με τον τρόπο αυτό αντιπροσωπεύεται ουσιαστικά το γεγονός ότι τα πακέτα, όπως και στην πραγματικότητα δεν φθάνουν κατευθείαν από τον Σταθμό Βάσης στον χρήστη, αλλά παραμένουν για κάποιο χρονικό διάστημα στην ζεύξη. Έπειτα μόλις ένα πακέτο βγει από την κάτω ζεύξη καλείται η συνάρτηση `User.receivepacket()` και το πακέτο τοποθετείται στην `packetpool` του χρήστη. Όταν ο

αριθμός των πακέτων είναι ο επιθυμητός για τον χρήστη τότε έχει κατεβάσει όλο το αρχείο του και σταματάει. Τέλος, αφού ολοκληρώσουν όλοι οι χρήστες το κατέβασμα του αρχείου που τους ανατέθηκε, η προσομοίωση σταματάει.

5.4.4.2) Αποστολή και λήψη πακέτων με συνεργατικές υπηρεσίες

Επειδή οι μηχανισμοί που λαμβάνουν μέρος στο δεύτερο και στο τρίτο σενάριο διαφέρουν μεταξύ τους αναλύονται ξεχωριστά οι δύο περιπτώσεις.

Στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου για κάθε χρήστη εξαρτώμενο από το κυρίαρχο τερματικό (slave) έχουν δημιουργηθεί πακέτα που είναι μαρκαρισμένα για να αποσταλούν μέσω της ζεύξης μικρής κλίμακας (Bluetooth) στο κυρίαρχο τερματικό (master). Ο συνολικός αριθμός των πακέτων αυτών είναι γνωστός για κάθε χρήστη. Η προσομοίωση ξεκινάει και τα pdus αποστέλλονται στον χρήστη σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο. Μόλις ολοκληρωθεί η λήψη των μαρκαρισμένων πακέτων ο παραλήπτης της ζεύξης UMTS με τον Σταθμό Βάσης, γίνεται ταυτόχρονα και αποστολέας στην ζεύξη Bluetooth με τον master. Τα pdus τοποθετούνται σε πακέτα Bluetooth, όπως παρουσιάζεται και στη παράγραφο 5.4.1 και ξεκινάει ένας νέος timer που αντιπροσωπεύει την ζεύξη αυτή. Σύμφωνα και με την βιβλιογραφία κάθε πακέτο τύπου DH5 της ζεύξης μικρής κλίμακας καταλαμβάνει 5 χρονοσχισμές των 0,625 msec, δηλαδή συνολικά 3,125 msec αφήνοντας και 1 timeslot για την λήψη επιβεβαίωσης [3]. Ο timer του Bluetooth καλείται όπως και ο timer του UMTS με την μόνη διαφορά ότι πλέον καλούνται συναρτήσεις για την τοποθέτηση στην ζεύξη πακέτων Bluetooth και όχι pdus (User.ReadyToSend2()).

Το κυρίαρχο τερματικό λαμβάνει ταυτόχρονα και από την ζεύξη με τον σταθμό βάσης και από τους slaves. Σε κάθε πακέτο Bluetooth που λαμβάνει, παίρνει τα pdus που περιλαμβάνει αυτό και τα τοποθετεί στην στοίβα με τα λαμβανόμενα πακέτα (packetpool). Μόλις ο αριθμός των πακέτων που λήφθηκαν από όλους τους χρήστες ισούται με τον συνολικό αριθμό των πακέτων που πρέπει να κατεβάσουν η προσομοίωση τελειώνει.

Στην περίπτωση του τρίτου και τελευταίου σεναρίου ακολουθείται μια διαφορετική τακτική για την αποστολή και λήψη των πακέτων. Το κυρίαρχο τερματικό, που τυγχάνει να έχει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης από τους υπόλοιπους χρήστες του συστήματος, στην περίπτωση του σεναρίου αυτού, οφείλει να στέλνει συνεχώς πακέτα προς τους χρήστες με τους οποίους συνεργάζεται. Δεν πρέπει ωστόσο να τους στέλνει πακέτα τα οποία έχουν λάβει ή πρόκειται να τα λάβουν από τον σταθμό βάσης εντός μικρού χρονικού διαστήματος. Για τον λόγο αυτό το κυρίαρχο τερματικό λαμβάνει τα πακέτα που πρέπει να λάβει από τον σταθμό βάσης ανάποδα, από το τέλος προς την αρχή. Αυτή η παραδοχή δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και προσεγγίζει επαρκώς την πραγματικότητα. Το κυρίαρχο τερματικό στη συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνει pdus από τον Σταθμό Βάσης και τα τοποθετεί σε πακέτα Bluetooth. Αφού δημιουργηθούν τα πρώτα πακέτα, αρχικοποιούνται οι timers για την αποστολή μέσω Bluetooth. Μόλις οι χρήστες συμπληρώσουν τον επιθυμητό αριθμό πακέτων η προσομοίωση τελειώνει. Τέλος οι μηχανισμοί τοποθέτησης στην ζεύξη, απομάκρυνσης από την ζεύξη και λήψης πακέτων και στα δύο σενάρια, είναι παρόμοιοι με αυτούς που αναλύθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

5.4.5) Μηχανισμοί ελέγχου τερματισμού και διόρθωσης λαθών της πλατφόρμας

Επιπλέον είναι απαραίτητο να ελέγχονται από κάποιες συναρτήσεις οι συνθήκες τερματισμού. Για τους παραπάνω δύο λόγους αναπτύχθηκε η κλάση Utils που περιέχει συγκεκριμένες συναρτήσεις.

Κατά τη λειτουργία της προσομοίωσης παρατηρήθηκαν ορισμένα χαμένα πακέτα που δυστυχώς δεν οφείλονταν στις πιθανότητες λάθους του συστήματος (BEP). Τα χαμένα πακέτα δεν επιτρέπουν τον σωστό τερματισμό και την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Εάν ο χρήστης δεν περιμένει άλλα πακέτα αλλά το κατέβασμα του αρχείου δεν έχει ολοκληρωθεί, γίνεται ο απαραίτητος έλεγχος για να εντοπισθούν τα χαμένα πακέτα με χρήση των συναρτήσεων `Utils.checkWhichPDUsAreMissing()` και `Utils.listContainsPacket()` με βάση τον ακολουθιακό τους αριθμό (`sequence_number`). Τα πακέτα που λείπουν αναζητούνται στον ενταμιευτή μετάδοσης (`transmission buffer`) και σε εφεδρικές συνδεδεμένες λίστες και ξαναστέλνονται στον χρήστη που προορίζονται.

Για τον τερματισμό του προγράμματος είναι απαραίτητο όλοι οι χρήστες την μεταβλητή `file_ok` στο `true` (τίθεται `true` όταν ο χρήστης έχει λάβει όλα τα πακέτα). Η συνάρτηση `Utils.checkFiles()` ελέγχει αν όλοι οι χρήστες έχουν τελειώσει με το κατέβασμα του αρχείου. Εάν επιστρέφει `true` γίνεται ο τερματισμός του προγράμματος. Τέλος στην κλάση `Utils` περιέχονται χρήσιμες συναρτήσεις για τον έλεγχο και το `debugging` του συστήματος. Συναρτήσεις που ελέγχουν τις επιβεβαιώσεις, τα επαναμεταδιδόμενα πακέτα καθώς και συναρτήσεις που τυπώνουν τα `id` από τα πακέτα που έχουν ληφθεί.

5.5) Κατανάλωση Ενέργειας (Energy Consumption)

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία κατανόησης της ανάγκης για ύπαρξη συνεργατικών υπηρεσιών, είναι η μέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται για τη παροχή των υπηρεσιών. Για την μελέτη της ενέργειας κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης υπολογίζεται η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τα κινητά τερματικά για την λειτουργία τους. Η μελέτη της ενέργειας χωρίζεται σε μερικές κατηγορίες ώστε να είναι ευκολότερη η διεξαγωγή συμπερασμάτων μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων, των διαφορετικών χρηστών, αλλά και των διαφορετικών δικτύων. Παρακάτω παρουσιάζεται το μοντέλο για τον υπολογισμό της ενέργειας ση κυψελωτή ζεύξη και στη ζεύξη Bluetooth.

5.5.1) Κυψελωτή ζεύξη (UMTS)

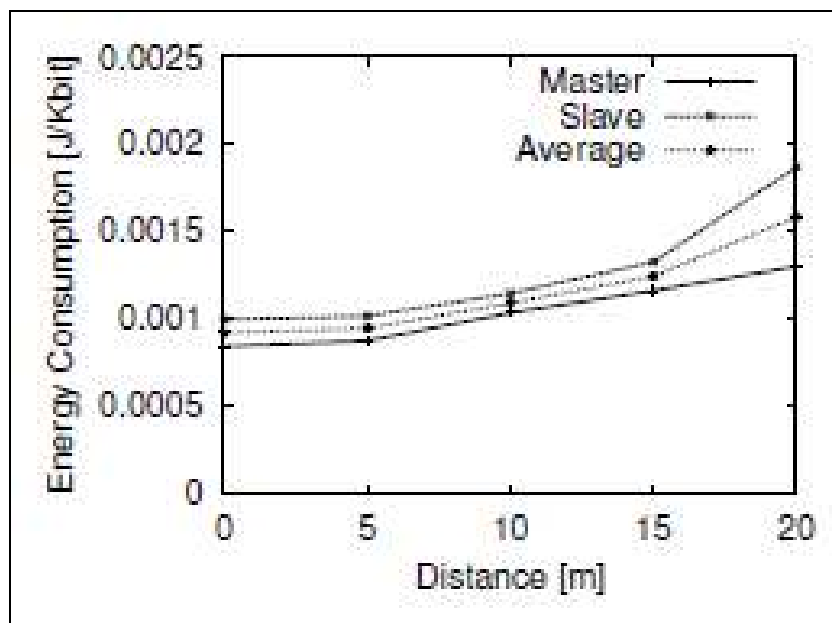
Η κυψελωτή ζεύξη είναι η βασική ζεύξη για την επικοινωνία με το Σταθμό Βάσης. Εξαιτίας της απόστασης από το Σταθμό Βάσης καταναλώνεται μεγάλο μέρος της ενέργειας του κινητού τερματικού για την επικοινωνία αυτή. Η μοντελοποίηση ενός κυψελωτού συστήματος που να μπορεί να υπολογίζει με ακρίβεια την ενέργεια αυτή, είναι δύσκολο να υλοποιηθεί. Πρακτικά όμως, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας για την υπηρεσία που μελετάται, δηλαδή το κατέβασμα ενός αρχείου από το Σταθμό Βάσης, αφορά το χρόνο που παραμένει το κινητό στη κατάσταση υψηλής ισχύος.

Στη κατάσταση αυτή το κινητό βρίσκεται ώστε να μπορεί να λάβει όλα τα κομμάτια των pdu που έρχονται να τα βάλει σε σειρά και να ελέγξει εάν έχει έρθει όλο το αρχείο [8]. Ακολουθώντας τη συγκεκριμένη μπορεί να ληφθεί μία σταθερή τιμή της ενέργειας που καταναλώνεται ανά Kbit που προκύπτει ύστερα από προσομοιώσεις όπως αυτές παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία $35,121J/MB$ ή $0.0044J/Kbit$ [9]. Στο κώδικα της προσομοίωσης η συγκεκριμένη τιμή ανάγεται στο pdu ώστε να υπολογίζεται η τιμή της ενέργειας ανά pdu δηλαδή,

$$\frac{3512,1J}{100MB} = 0.0014J / pdu$$

5.5.2) Ζεύξη μικρής κλίμακας (Bluetooth)

Η ζεύξη μικρής κλίμακας (Bluetooth) αφορά την επικοινωνία των κινητών τερματικών. Για την υλοποίηση της προσομοίωσης που υλοποιείται θεωρείται ότι η μέγιστη απόσταση που μπορεί να βρίσκεται ένα κινητό τερματικό είναι τα 10m. Επιπλέον για να γίνει καλύτερη μέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται από τα κινητά τερματικά γίνεται διαχωρισμό της ενέργειας που καταναλώνει το κυρίαρχο κινητό τερματικό (master) και τα εξαρτώμενα από αυτό κινητά τερματικά (slaves). Στην Εικόνα 5.5, παρουσιάζεται η ενέργεια που καταναλώνεται από τα κινητά τερματικά ανά Kbit και ανά κατηγορία (master ή slave) [10]. Η ενέργεια στη συνέχεια ανάγεται στο μέγεθος πακέτου που αποστέλλεται με το Bluetooth που είναι τα 359 bytes.



Εικόνα 5.5 – Κατανάλωση Ενέργειας σε σχέση με την απόσταση για το Bluetooth

- **0-5m:** Παρατηρείται μία σταθερότητα σε σχέση με την απόσταση όποτε θεωρούνται σταθερές τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας. Επομένως προκύπτει:
 - **Master:** Energy=0.001 J/Kbit=0.0029J/Bluetooth_Packet
 - **Slave:** Energy= 0.0008 J/Kbit=0.0023J/Bluetooth_Packet
- **5-10m:** Υπάρχει μία γραμμική εξάρτηση της ενέργειας από την απόσταση. Επιπλέον μπορούν να θεωρηθούν όμοιες τις κλίσεις των συναρτήσεων και για Master και για Slave κινητά τερματικά. Οπότε προκύπτουν οι εξής συναρτήσεις βασισμένες στη γραφική παράσταση:

Για τον **Master** χρησιμοποιώντας τα σημεία (5, 0.001) και (10, 0.0011)

$$Energy = 2 \cdot 10^{-5} \cdot Dist + 9 \cdot 10^{-4}, \text{ για } 5 \leq Dist \leq 10$$

και με αναγωγή στο μέγεθος του πακέτου Bluetooth προκύπτει:

$$Energy = 5.74 \cdot 10^{-5} \cdot Dist + 2.6 \cdot 10^{-3}, \text{ για } 5 \leq Dist \leq 10$$

Για τον **Slave** χρησιμοποιώντας τα σημεία (5, 0.0008) και (10, 0.0009)

$$Energy = 2 \cdot 10^{-5} \cdot Dist + 7 \cdot 10^{-4}, \text{ για } 5 \leq Dist \leq 10$$

και με αναγωγή στο μέγεθος του πακέτου Bluetooth προκύπτει:

$$Energy = 5.74 \cdot 10^{-5} \cdot Dist + 2 \cdot 10^{-3}, \text{ για } 5 \leq Dist \leq 10$$

Βιβλιογραφία

- [1]. Anthony Lo, Geert Heijen, Cezar Bruma, “Performance of TCP over UMTS Common and Dedicated Channels “, IST Mobile & Wireless Communications Summit 2003, Aveiro, Portugal, 15-18 Jun 2003, Pages 138 - 142.
- [2]. OUMER MOHAMMED TEYEB, “Quality of Packet Services in UMTS and Heterogeneous Networks , Objective and Subjective Evaluation” (2006)
- [3]. Jesung Kim, Yujin Lim, Yongsuk Kim, Joong Soo Ma,” An adaptive segmentation scheme for the Bluetooth-based wireless channel”, Tenth International Conference on Computer Communications and Networks, Scottsdale, AZ , USA, 15 - 17 Oct 2001, Pages 440 - 445
- [4]. Transmission Control Protocol - Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol
- [5]. TCP over Second (2.5G) and Third (3G) Generation Wireless Networks [RFC-Ref], <http://rfc-ref.org/RFC-TEXTS/3481/chapter4.html#d4e443021>
- [6]. Silan Liu, “Sliding Window Mechanism in Data Transmission” http://progtutorials.tripod.com/sliding_window.htm
- [7]. Robert Bestak, Philippe Godlewski and Philippe Martins,” RLC BUFFER OCCUPANCY WHEN USING A TCP CONNECTION OVER UMTS”, 2002 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Communications, 15-18 Sept. 2002, Pages 1161 - 1165 vol.3
- [8]. Niranjana Balasubramanian, Aruna Balasubramanian, Arun Venkataramani “Energy Consumption in Mobile Phones: A Measurement Study and Implications for Network Applications”
- [9]. Gian Paolo Perrucci and Frank H.P. Fitzek and Giovanni Saso and Wolfgang Kellerer and Jörg Widmer, “On the Impact of 2G and 3G Network Usage for Mobile Phones’ Battery Life”, European Wireless 2009
- [10]. L. Militano, A. Iera, A. Molinaro, F.H.P. Fitzek, “WIRELESS PEER-TO-PEER COOPERATION: WHEN IS IT WORTH ADOPTING THIS PARADIGM?”, The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC’08)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

6.1) Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μέσα από γραφήματα και αναλύονται λεπτομερέστερα τα κέρδη των συνεργατικών δικτύων και υπηρεσιών 4^{ης} γενιάς και του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Τα αποτελέσματα αυτά βασίζονται σε μετρήσεις που έγιναν κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα για την απόκτηση έγκυρων αποτελεσμάτων και ασφαλών συμπερασμάτων έγιναν παρά πολλές προσομοιώσεις. Επιπλέον πολλές φορές στα γραφήματα σχεδιάζονται οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων για να απεικονιστεί καλύτερα το αποτέλεσμα των προσομοιώσεων.

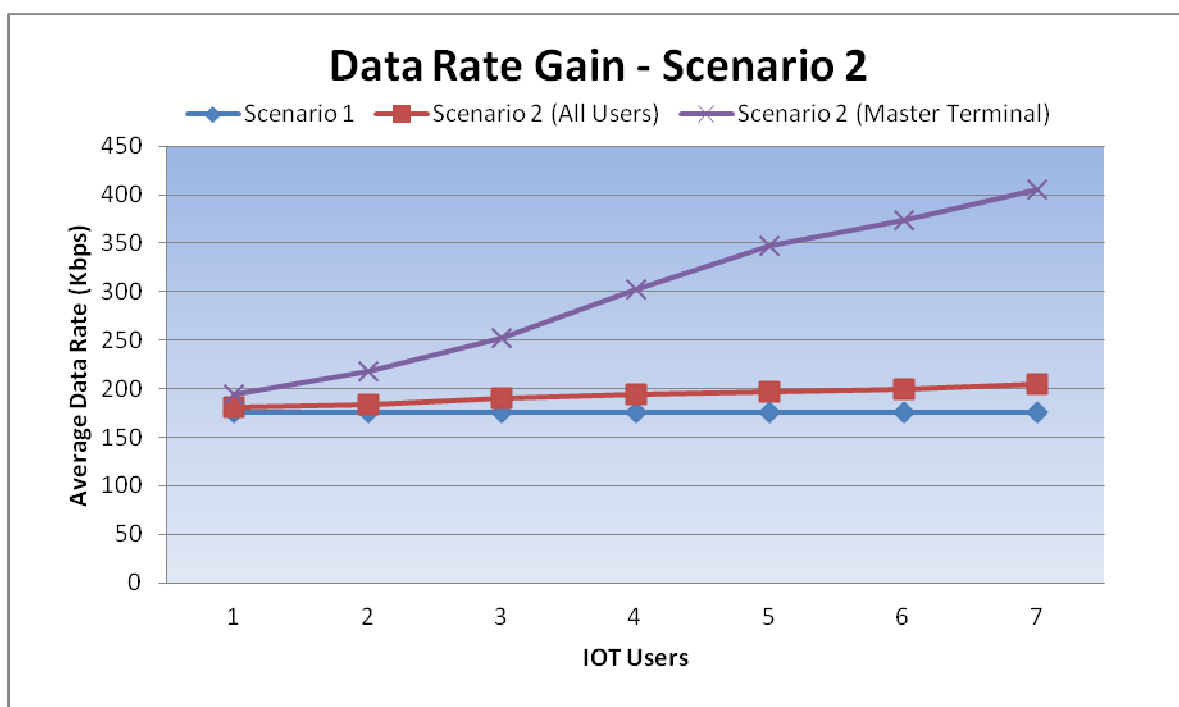
Η ανάλυση των αποτελεσμάτων χωρίζεται σε δύο τμήματα. Στο πρώτο κομμάτι γίνεται σύγκριση του δεύτερου σεναρίου με ένα απλό σημερινό κυψελωτό δίκτυο UMTS (Σενάριο 1) ενώ στο δεύτερο μέρος γίνεται σύγκριση του τρίτου σεναρίου που υλοποιήθηκε με το απλό κυψελωτό δίκτυο (Σενάριο 1). Περισσότερες πληροφορίες για τα σενάρια μπορούν να βρεθούν στα Κεφάλαια 4 και 5 της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Τα μεγέθη που ερευνήθηκαν και ενδιαφέρουν περισσότερο είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η ενέργεια που καταναλώνεται από τα κινητά τερματικά κατά τη διάρκεια χρήσης της υπηρεσίας κατεβάσματος ενός αρχείου μέσω FTP και ο χρόνος που χρειάστηκε κάθε τερματικό για την ολοκλήρωση της λήψης ενός αρχείου μεταβαλλόμενου μεγέθους. Τα μεγέθη αυτά δεν παραμένουν σταθερά αλλά εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι αναλύονται στην συνέχεια.

6.2) Δεύτερο σενάριο προσομοίωσης

Στο δεύτερο προσομοιωμένο σενάριο, όπως αναφέρεται και σε προηγούμενα κεφάλαια, ένα τερματικό ζητάει χρήση της υπηρεσίας FTP. Το κυρίαρχο αυτό τερματικό (master) ζητάει από όσους χρήστες είναι στην ακτίνα κάλυψης της ζεύξης μικρής κλίμακας να συνεισφέρουν στο κατέβασμα του αρχείου, μεταδίδοντας πακέτα του αρχείου μέσα από την ζεύξη Bluetooth. Κάθε χρήστης (slave) που βρίσκεται στην ακτίνα κάλυψης του κυρίαρχου τερματικού συνεισφέρει σε αυτό μεταδίδοντας μέσω της ζεύξης μικρής κλίμακας το 10% ενός αρχείου. Καθίσταται με αυτό τον τρόπο προφανές ότι όσοι περισσότεροι χρήστες συνεισφέρουν στην εφαρμογή τόσο μεγαλύτερο κέρδος στον ρυθμό μετάδοσης και στην εξοικονόμηση χρόνου θα λάβει το κυρίαρχο τερματικό.

6.2.1) Εξάρτηση από τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών

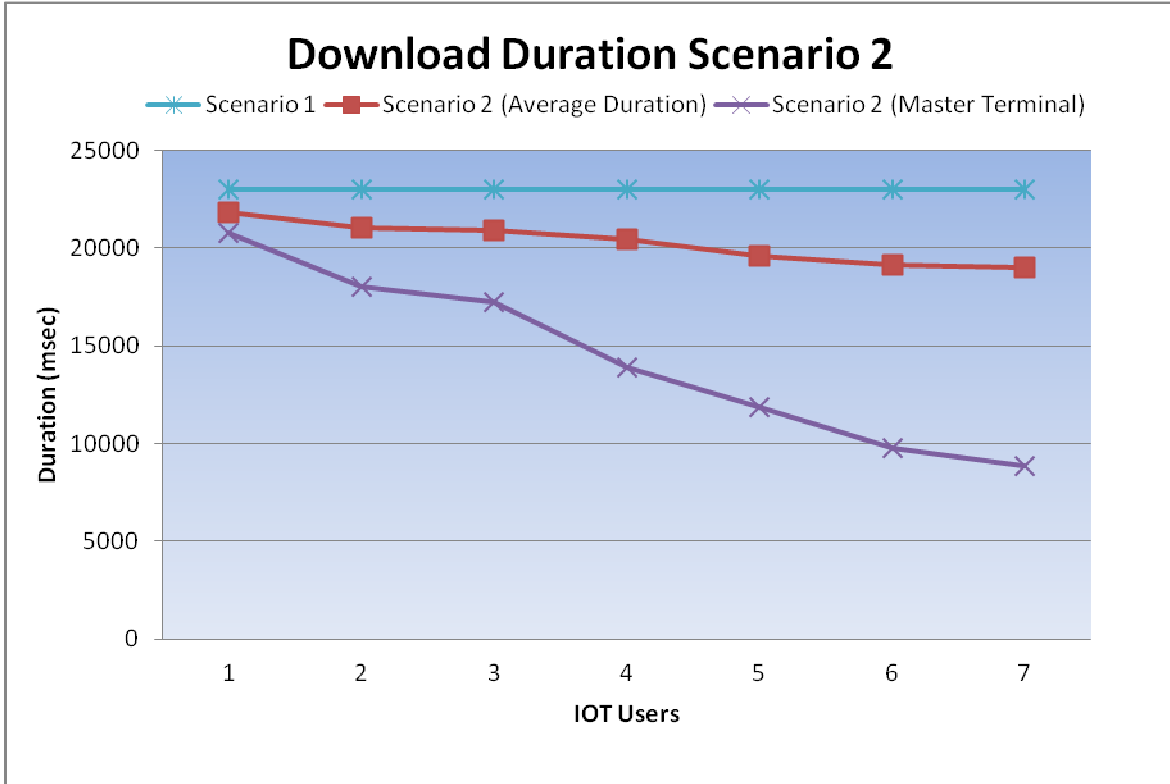
Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχείο σταθερού μεγέθους 500 KByte, ενώ ο αριθμός των χρηστών που συνεργάζονται με το κυρίαρχο τερματικό είναι μεταβλητός.



Εικόνα 6.1 - Ρυθμός μετάδοσης του κυρίαρχου τερματικού σε σύγκριση με την ταχύτητα ενός συστήματος 3G.

Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 6.1 το κυρίαρχο τερματικό αυξάνει το ρυθμό μετάδοσης αναλογικά με τους χρήστες που συνεισφέρουν στην υπηρεσία. Ο αριθμός των συνεργαζόμενων χρηστών φθάνει μέχρι 7, όσο το επιτρεπτό όριο του Bluetooth. Όπως φαίνεται από παραπάνω το κυρίαρχο τερματικό στην περίπτωση των 7 συνεργαζόμενων χρηστών, μπορεί να έχει παραπάνω από 100% κέρδος στον ρυθμό μετάδοσης. Οι υπόλοιποι χρήστες κυμαίνονται στα επίπεδα του UMTS και δεν λαμβάνουν κάποιο ορατό όφελος στην περίπτωση του σεναρίου αυτού.

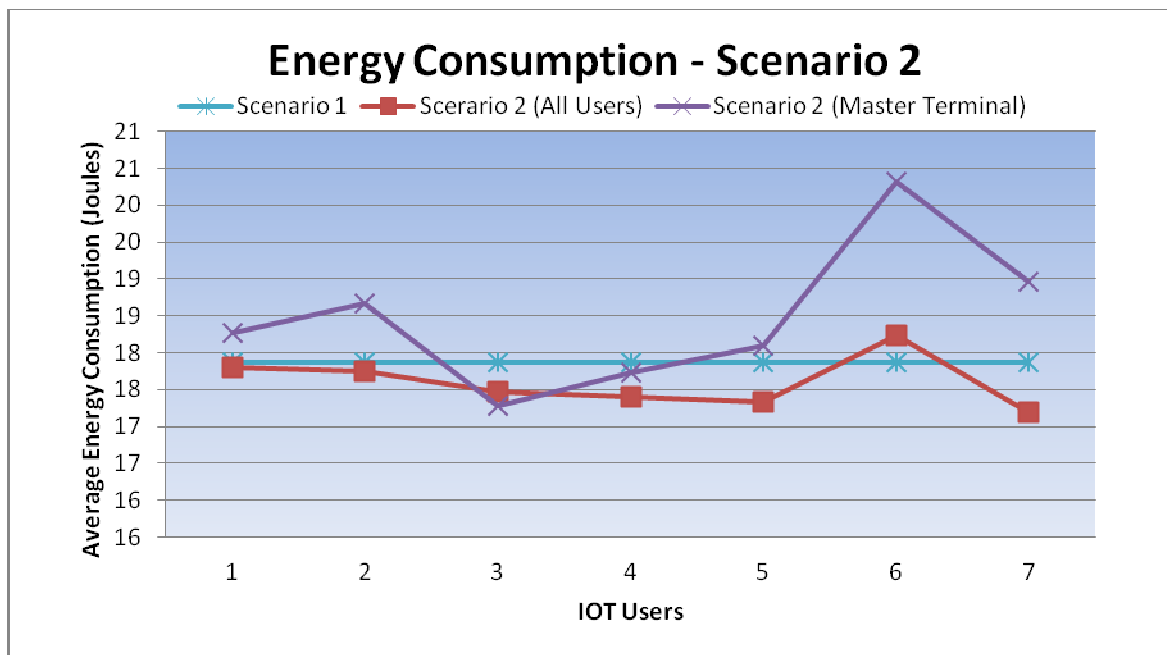
Επιπλέον όμως, όπως αναλύεται και στα Κεφάλαια 3, στα τερματικά αυτά μπορούν να παρέχονται διαφορετικά οφέλη από τον πάροχο της υπηρεσίας ή να βρεθούν και τα ίδια αργότερα σε μια άλλη περίπτωση στην θέση του κυρίαρχου τερματικού και να αυξήσουν τον ρυθμό μετάδοσης. Σε γενικές γραμμές πάντως ο αυξανόμενος ρυθμός μετάδοσης αναμένεται να παρέχει και άλλα οφέλη στο κυρίαρχο τερματικό όπως το γρηγορότερο κατέβασμα του αρχείου.



Εικόνα 6.2 - Χρόνος που χρειάζεται για να κατέβει το αρχείο συγκριτικά με ένα δίκτυο 3G σε σχέση με τους συνεργαζόμενους χρήστες

Στην Εικόνα 6.2 φαίνεται ξεκάθαρα το κέρδος του κυρίαρχου τερματικού όσον αφορά τον χρόνο που αυτό χρειάζεται για να κατεβάσει ένα αρχείο σταθερού μεγέθους. Με την αύξηση των συνεργατών το κυρίαρχο τερματικό λαμβάνει τα περισσότερα πακέτα του αρχείου μέσα από τις ζεύξεις Bluetooth οι οποίες είναι πολύ ταχύτερες από τις ζεύξεις UMTS. Αυτό έχει ως συνέπεια να ελαχιστοποιείται ο χρόνος μέχρι και 70% σε σχέση με το υπάρχον απλό δίκτυο (περίπτωση με 7 χρήστες). Στην περίπτωση αυτή κερδίζει το κυρίαρχο τερματικό παραπάνω από το μισό σε χρόνο για το κατέβασμα του αρχείου.

Όσον αφορά την ενέργεια που καταναλώνουν τα τερματικά, θα περίμενε κανείς αυτή να είναι μικρότερη από ένα απλό δίκτυο τρίτης γενιάς και ειδικότερα για το κυρίαρχο τερματικό που κατεβάζει το αρχείο σε πολύ λιγότερο χρονικό διάστημα και από τις ζεύξεις Bluetooth, που εν γένει είναι πολύ πιο συμφέρουσες ενεργειακά από τις ζεύξεις UMTS. Παρόλα αυτά όπως φαίνεται και από την Εικόνα 6.3, το κυρίαρχο τερματικό καταναλώνει λίγο περισσότερη ενέργεια, της τάξης 9-11%, από ένα τερματικό που κατεβάζει το ίδιο αρχείο από το δίκτυο UMTS χωρίς χρήση συνεργατικών υπηρεσιών. Το «παράδοξο» αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο κυρίαρχος χρήστης (master) καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από τους slaves για την λήψη των αρχείων όπως αναλύεται και στην παράγραφο 5.5.2. Πάντως η συνολική ενέργεια του συστήματος είναι στα ίδια επίπεδα με ένα δίκτυο UMTS.



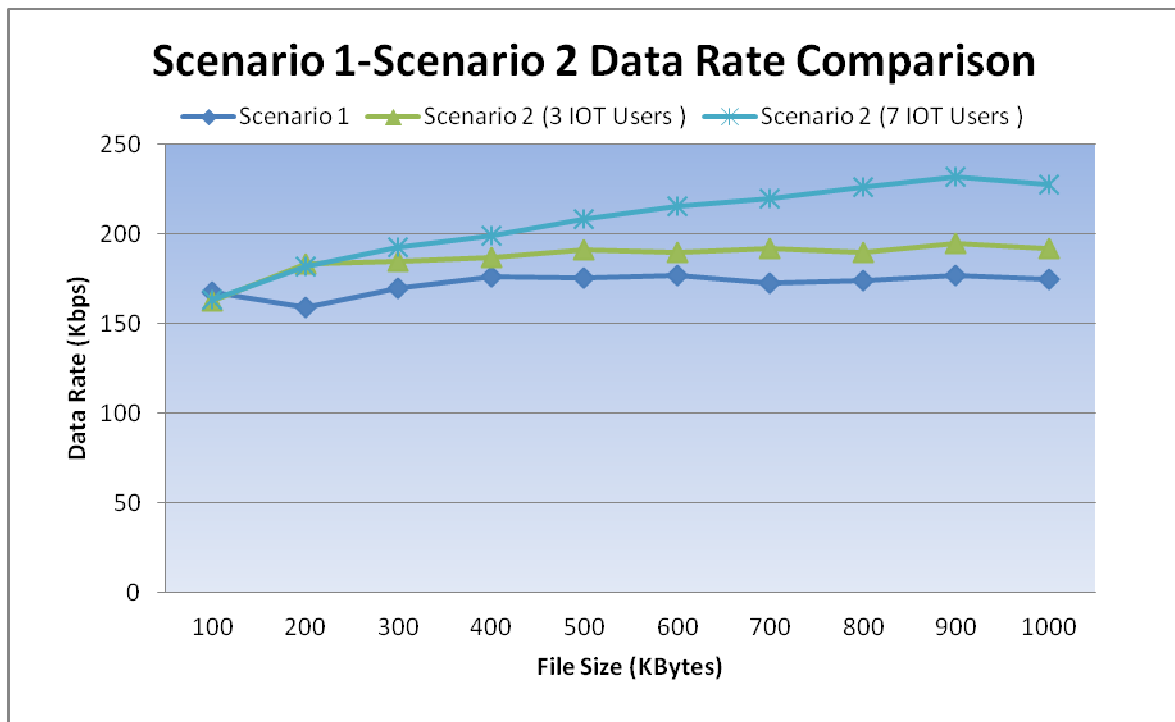
Εικόνα 6.3 - Ενέργεια που καταναλώνεται στο σενάριο μας, συγκριτικά με ένα δίκτυο 3G, σε σχέση με τους συνεργαζόμενους χρήστες

Συμπερασματικά το συγκεκριμένο σενάριο μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμο στο μέλλον, για την εξυπηρέτηση ενός μόνο χρήστη κάθε φορά για το κατέβασμα ενός αρχείου γρηγορότερα και με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης από ένα δίκτυο τρίτης γενιάς χωρίς την κατανάλωση επιπλέον ενέργειας.

6.2.2) Εξάρτηση από το μέγεθος του αρχείου

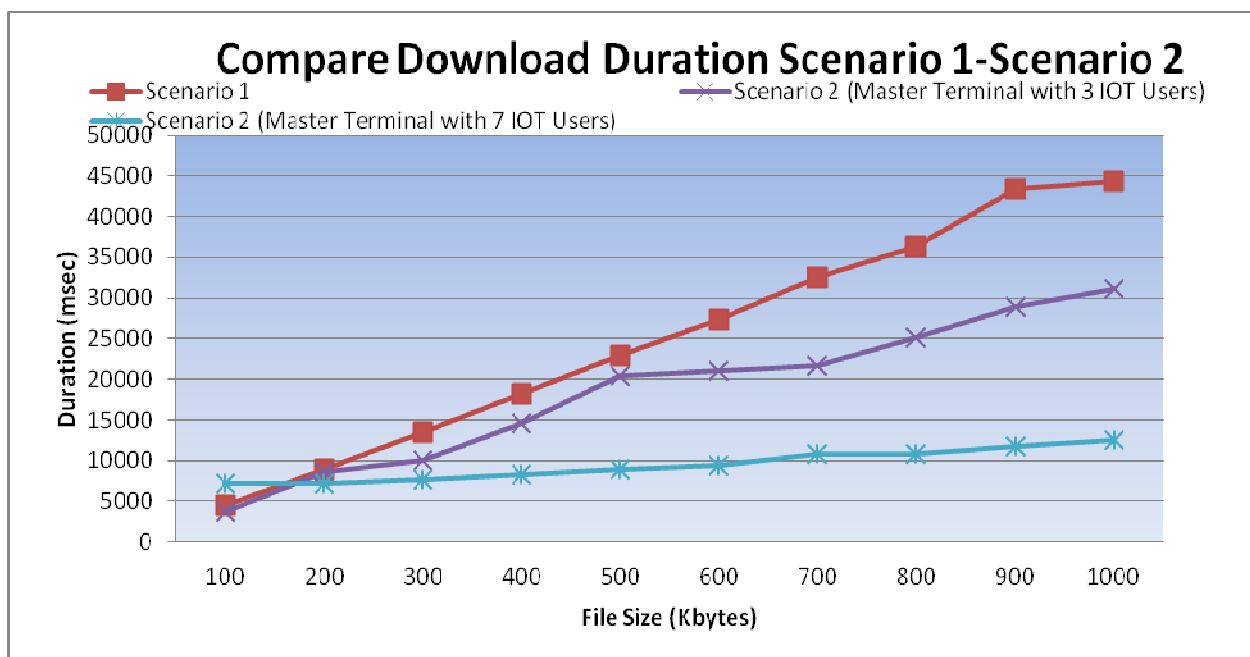
Εκτός από τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών, τα μελετώμενα μεγέθη εξαρτώνται και από το μέγεθος του αρχείου που επιθυμεί ο κυρίαρχος χρήστης και τα υπόλοιπα τερματικά να κατεβάσουν. Στην περίπτωση αυτή το αρχείο μεταβάλλεται από τα 100 KByte μέχρι το 1 MByte ενώ έγιναν προσομοιώσεις για μεταβλητό αριθμό συνεργαζόμενων χρηστών (3 και 7). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όσο μεγαλύτερο είναι το αρχείο, τόσο αναμένεται να υπάρχουν μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης ακόμα και από το απλό UMTS δίκτυο καθώς χρειάζεται κάποιο χρονικό διάστημα για να φθάσει στο μέγιστο του σύμφωνα με την τεχνική συρόμενου παραθύρου.

Συγκεκριμένα, ο ρυθμός μετάδοσης για το κυρίαρχο τερματικό όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.4 έχει μια σημαντική αύξηση. Τόσο στην περίπτωση των 3 όσο και των 7 χρηστών παρατηρείται μια αύξηση στον ρυθμό μετάδοσης ανάλογη με το μέγεθος του πακέτου. Ο ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται έως και 35-40%. Η αύξηση αυτή όπως προαναφέρθηκε οφείλεται στο γεγονός χρειάζεται κάποιο χρονικό διάστημα για να μεγαλώσει το συρόμενο παράθυρο (sliding window) του πρωτοκόλλου TCP και στο γεγονός ότι οι συνεργαζόμενοι χρήστες στέλνουν ακόμα περισσότερα πακέτα μέσα από τις ζεύξεις μικρής κλίμακας προς το κυρίαρχο τερματικό. Η αύξηση αυτή θα μπορούσε να είναι αρκετά μεγαλύτερη, επειδή ωστόσο κάθε συνεργαζόμενος χρήστης στέλνει μόνο ένα 10% του αρχείου η αύξηση αυτή περιορίζεται.



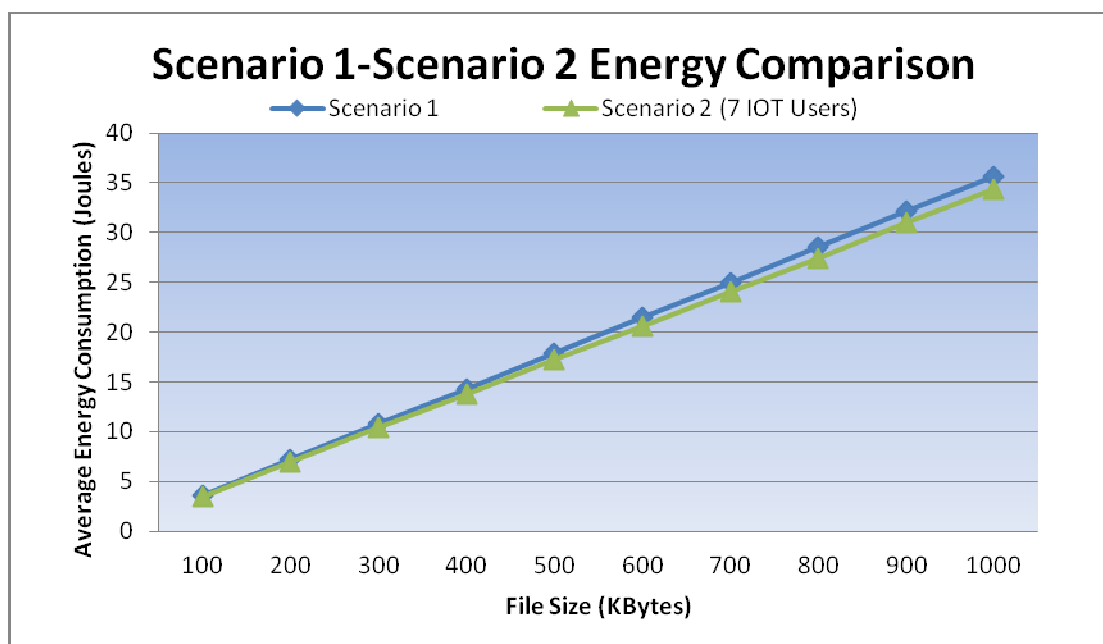
Εικόνα 6.4 - Ρυθμός μετάδοσης των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με το μέγεθος του αρχείου.

Όπως φαίνεται και παραπάνω ο ρυθμός μετάδοσης έχει σταθερά αρκετά μεγαλύτερη τιμή στα συνεργατικά δίκτυα (UMTS-Bluetooth) απ' ότι στα δίκτυα τρίτης γενιάς και το γεγονός αυτό επηρεάζει άμεσα τον χρόνο που χρειάζεται το κυρίαρχο τερματικό για να κατεβάσει ένα αρχείο.



Εικόνα 6.5 - Ο χρόνος που χρειάζεται σε διαφορετικά δίκτυα για το κατέβασμα ενός αρχείου μεταβλητού μεγέθους.

Τέλος όπως είναι λογικό η αύξηση του μεγέθους του αρχείου οδηγεί σε αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας από τα κινητά τερματικά. Όπως και περιγράφεται και στην προηγούμενη παράγραφο, ενώ αναμένεται να υπάρχει ένα ενεργειακό κέρδος το γεγονός ότι το κυρίαρχο τερματικό (master) καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από τα εξαρτώμενα (slaves) ώστε να επιτελεί επιπλέον λειτουργίες οδηγεί σε μία απειροελάχιστη μείωση κατανάλωσης της τάξεως του 1%, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.6, για το συνολικό σύστημα.



Εικόνα 6.6 - Ενεργειακή κατανάλωση σε συνεργατικά δίκτυα με μεταβαλλόμενο μέγεθος αρχείου.

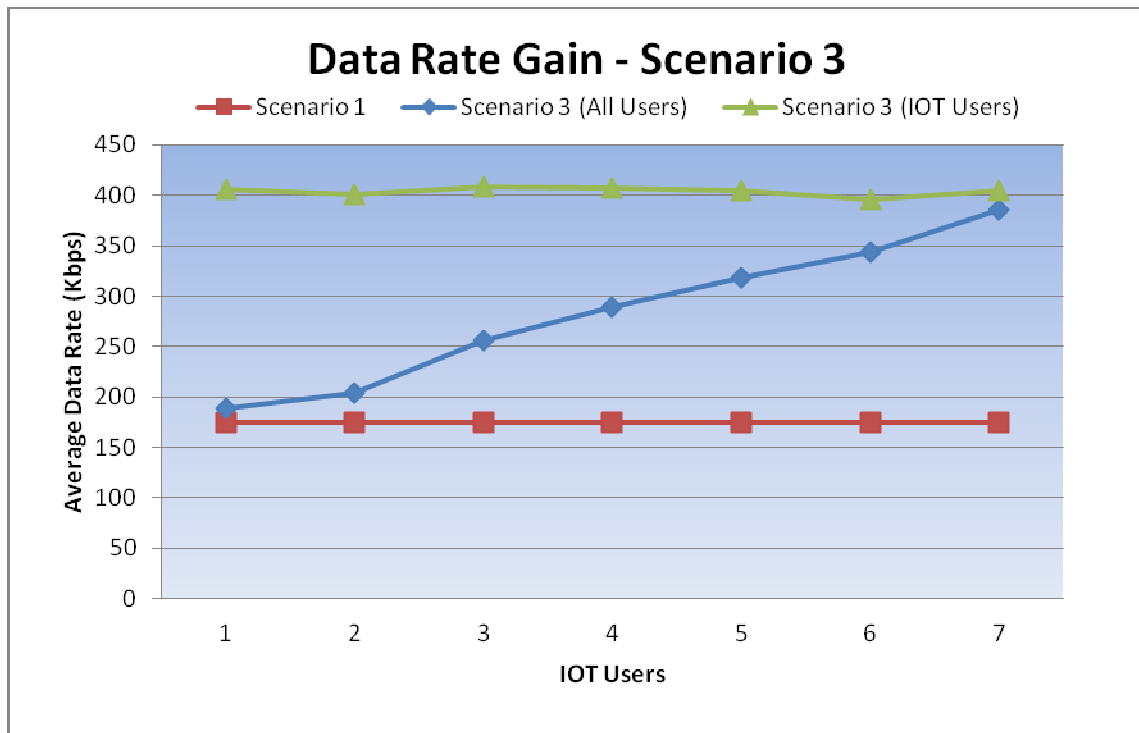
6.3) Τρίτο σενάριο προσομοίωσης

Στο τρίτο προσομοιωμένο σενάριο που υλοποιήθηκε ένας χρήστης (master) που διαθέτει υψηλότερους ρυθμούς βάσης για επικοινωνία με τον σταθμό βάσης σε ένα δίκτυο τρίτης γενιάς (UMTS), λαμβάνει αιτήσεις για συνεργασία από χρήστες (slaves) που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια της ζεύξης μικρής κλίμακας (Bluetooth). Το κυρίαρχο τερματικό λοιπόν, κατεβάζει κομμάτια του αρχείου (pdus) και τα ενσωματώνει σε πακέτα Bluetooth για να τα στείλει στους υπόλοιπους χρήστες. Η μετάδοση πακέτων Bluetooth δεν σταματάει έως ότου ολοκληρωθεί η λήψη του αρχείου από τους χρήστες, δηλαδή δεν είναι σταθερός ο αριθμός των πακέτων που θα λάβει ένας χρήστης από τον master του συστήματος. Επειδή ωστόσο υποθέτουμε ότι οι χρήστες ξεκινούν μαζί τη χρήση της υπηρεσίας FTP το ποσοστό του αρχείου που διαμοιράζεται στους χρήστες είναι της τάξης 35-40% του συνολικού μεγέθους του αρχείου.

6.3.1) Εξάρτηση από τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών

Στην περίπτωση αυτή, όπως και προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκε αρχείο σταθερού μεγέθους 500 KByte, ενώ ο αριθμός των χρηστών που συνεργάζονται με το κυρίαρχο τερματικό είναι μεταβλητός. Τα μετρήσιμα μεγέθη είναι και πάλι ο ρυθμός μετάδοσης, ο χρόνος που χρειάζονται οι χρήστες για το κατέβασμα του αρχείου και η ενεργειακή κατανάλωση των τερματικών.

Στο σενάριο αυτό όπως γίνεται κατανοητό, ο «καλύτερος» χρήστης διαθέτει τους πόρους του για το κέρδος των υπόλοιπων χρηστών. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.7 οι χρήστες που συμμετέχουν στο συνεργατικό δίκτυο έχουν ένα σταθερό κέρδος, μεγαλύτερο από 120% σε σχέση με τους χρήστες του πρώτου σεναρίου (απλό UMTS δίκτυο). Το κέρδος αυτό είναι ανεξάρτητο από τον αριθμό των χρηστών που συμμετέχουν στην συνεργατική αυτή υπηρεσία καθώς το κυρίαρχο τερματικό μοιράζει ισόποσα στους slaves το εύρος ζώνης που διαθέτει για την μετάδοση των δεδομένων μέσα από τις ζεύξεις Bluetooth. Με αυτό τον τρόπο, όλοι οι χρήστες που συμμετέχουν έχουν περίπου το ίδιο κέρδος (120-130%) σε σχέση με τους χρήστες του Σεναρίου 1.

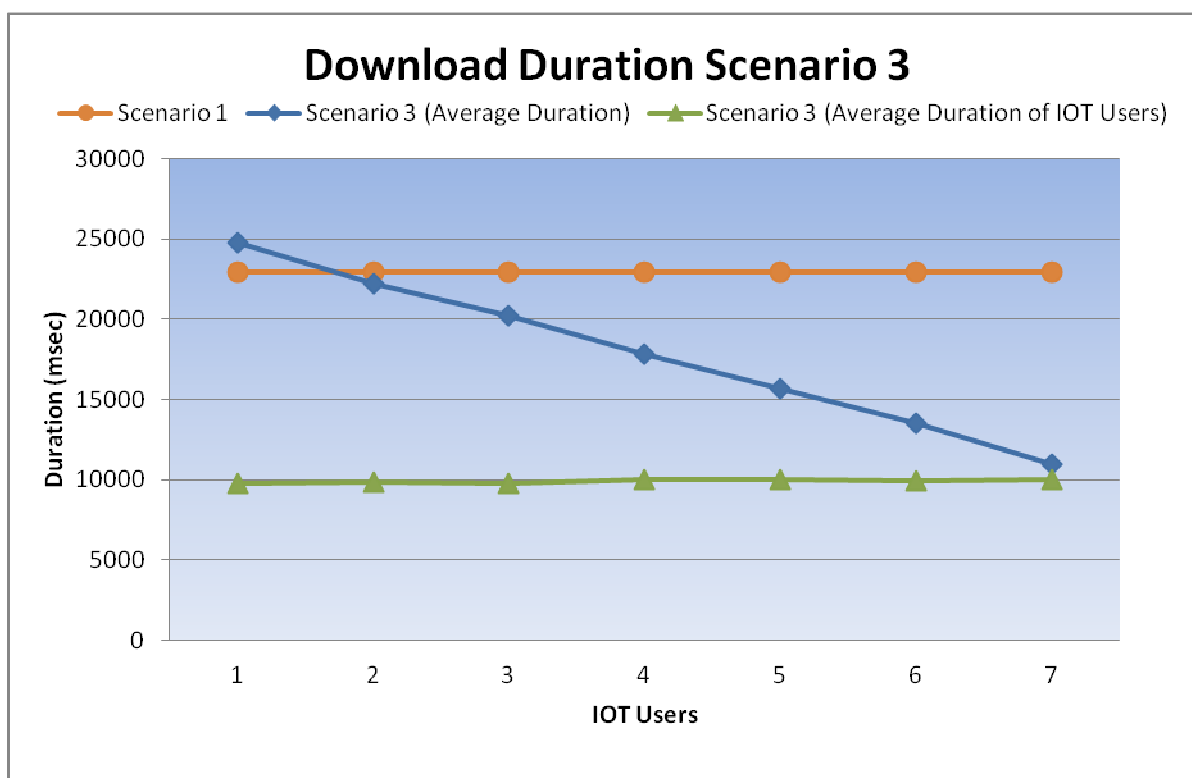


Εικόνα 6.7 - Ρυθμός μετάδοσης των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών.

Οι χρήστες που συμμετέχουν στην συνεργασία λαμβάνουν πακέτα τόσο από τον Σταθμό Βάσης όσο και από το κυρίαρχο τερματικό μέσω Bluetooth. Η αυξημένη ταχύτητα της ζεύξης μικρής κλίμακας έχει το αποτέλεσμα που φαίνεται παραπάνω.

Το μεγάλο αυτό κέρδος στον ρυθμό μετάδοσης έχει ως συνέπεια και ένα μεγάλο κέρδος στον χρόνο που χρειάζεται για να κατέβει το αρχείο μεγέθους 500 Kbytes.

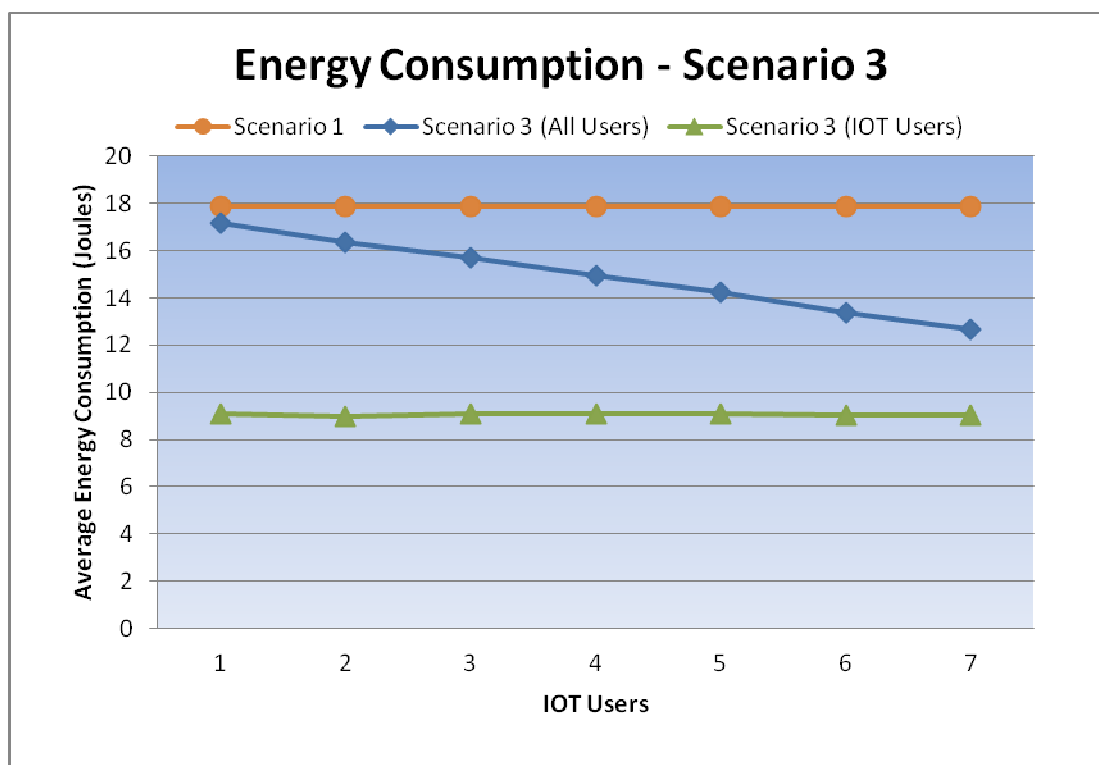
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.8 το κέρδος σε μονάδες χρόνου είναι σταθερό (αφού σταθερό είναι και το κέρδος στον ρυθμό μετάδοσης) και είναι και πάλι μεγαλύτερο κατά 50-60% από τον χρόνο που χρειάζονται οι χρήστες του πρώτου σεναρίου για να κατεβάσουν το αρχείο. Ο χρόνος λοιπόν από τα 23000 περίπου msec που χρειάζεται στο σενάριο 1 πέφτει στα περίπου 10000 msec για ένα αρχείο 500 Kbyte και είναι ανεξάρτητος και πάλι από τον αριθμό των χρηστών που βρίσκονται μέσα στην ακτίνα Bluetooth του κυρίαρχου τερματικού.



Εικόνα 6.8 - Χρόνος μετάδοσης αρχείου 500 KByte των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών.

Στο σενάριο αυτό εμφανίζεται ακόμα ένα θετικό αποτέλεσμα. Επειδή οι slaves έχουν αρκετά μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης και κατεβάζουν το ίδιο αρχείο πολύ ταχύτερα από τους χρήστες που δεν χρησιμοποιούν συνεργατικές υπηρεσίες, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ενεργειακού κόστους συνολικά για τους χρήστες που συνεργάζονται αλλά και για το συνολικό σύστημα.

Όπως και προηγουμένως, το ενεργειακό κέρδος είναι σταθερό για τους συνεργαζόμενους χρήστες και αρκετά μεγάλο σε σχέση με το πρώτο σενάριο. Όπως φαίνεται και από την γραφική παράσταση στην Εικόνα 6.9 το ενεργειακό κέρδος από το συνεργατικό δίκτυο του τρίτου σεναρίου είναι της τάξης του 50%, ενώ αν εξεταστεί το σύνολο των χρηστών, δηλαδή η μέση ενέργεια όλων των χρηστών του συστήματος είτε συμμετέχουν στην συνεργασία είτε όχι, παρατηρείται επίσης ένα πολύ σημαντικό κέρδος κατά 0-50%, το οποίο όμως εξαρτάται ανάλογα από τους χρήστες IOT. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση σημαντικών ενεργειακών πόρων από τα κινητά τερματικά, με συνέπεια την αύξηση της διάρκειας ζωής των μπαταριών των τερματικών και ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού της βλαβερής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τον άνθρωπο.

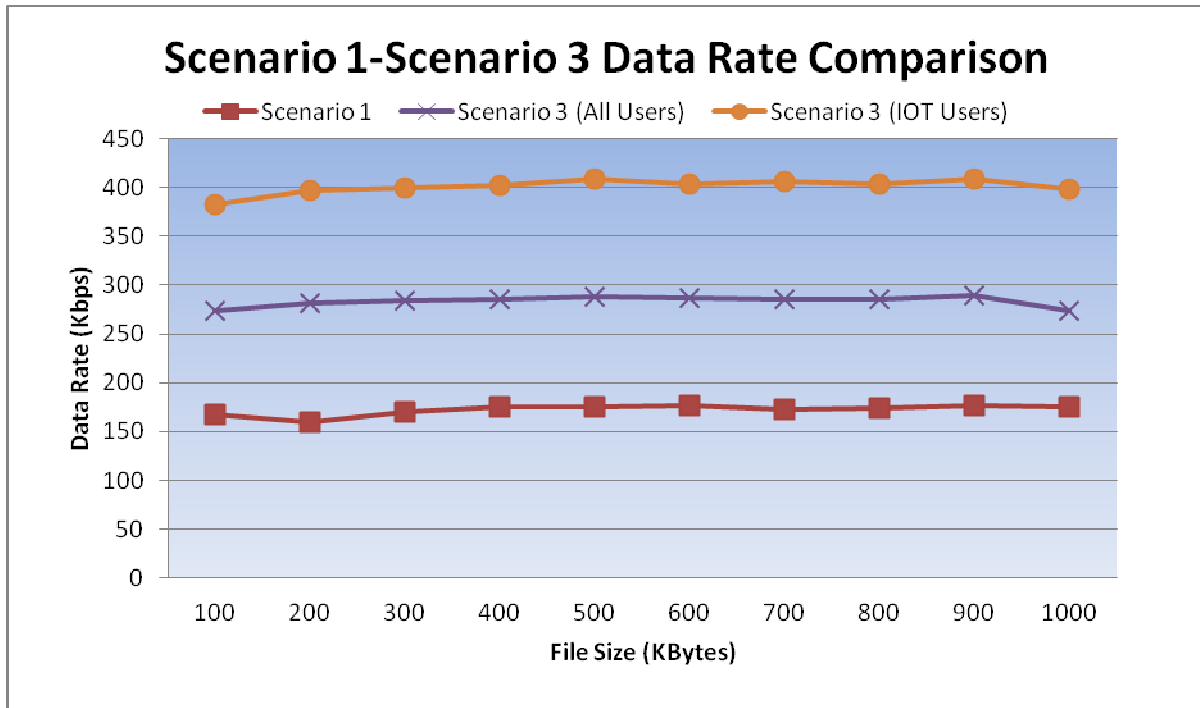


Εικόνα 6.9 - Ενέργεια που καταναλώνεται στο τρίτο σενάριο , συγκριτικά με ένα δίκτυο 3G, σε σχέση με τους συνεργαζόμενους χρήστες

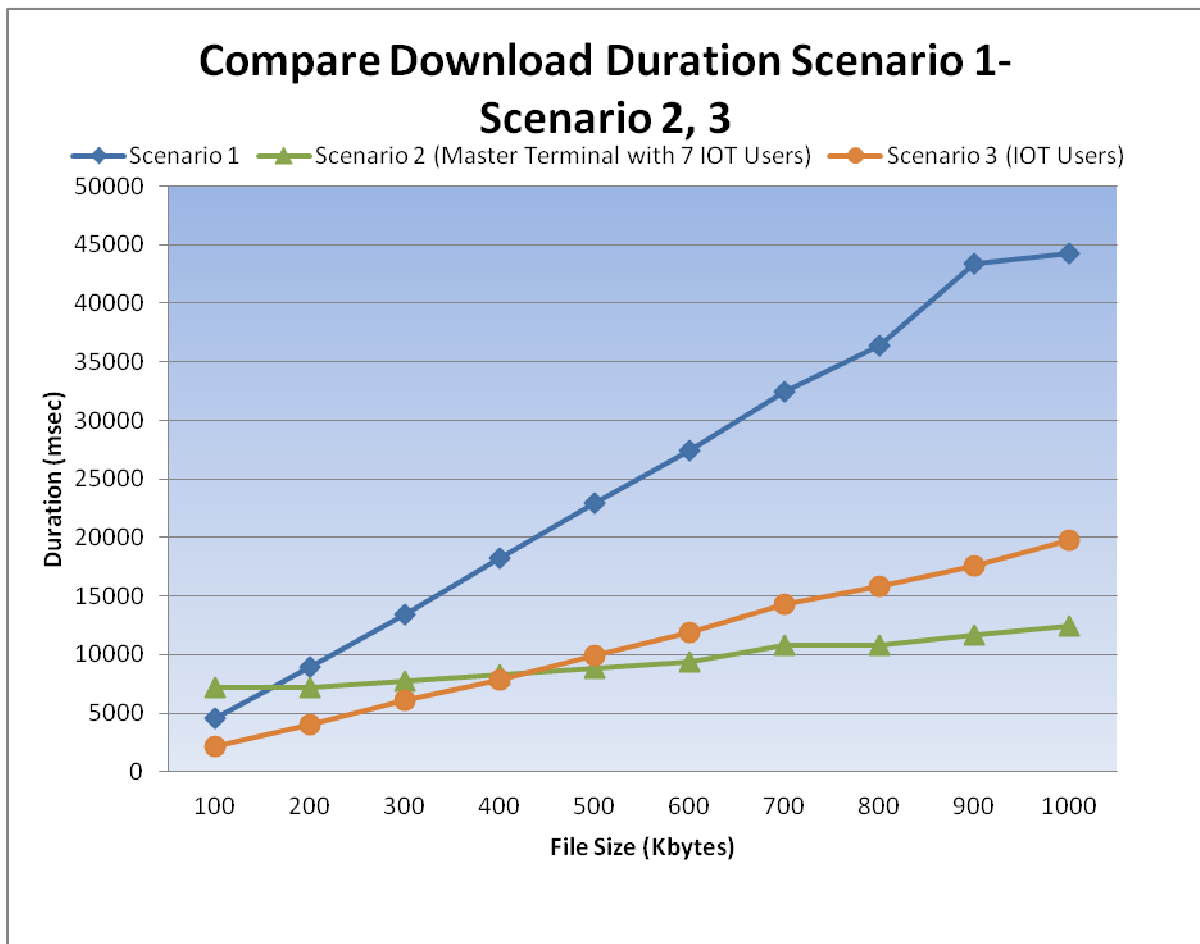
6.3.2) Εξάρτηση από το μέγεθος του αρχείου

Επιπλέον, εξετάζεται η εξάρτηση που έχουν ο ρυθμός μετάδοσης, ο χρόνος για το κατέβασμα του αρχείου, καθώς και η ενέργεια που απαιτείται, σε σχέση με το μέγεθος του αρχείου που θέλουν να κατεβάσουν οι χρήστες. Στα αποτελέσματα των μετρήσεων λήφθηκε υπόψη ο μέσος όρος των συνεργαζόμενων χρηστών (εφόσον όλοι έχουν περίπου το ίδιο κέρδος σε ρυθμό μετάδοσης και ενέργειας) και των συνολικών χρηστών. Όπως παρουσιάζεται και στην προηγούμενη παράγραφο ο αριθμός των συνεργαζόμενων χρηστών δεν διαδραματίζει ιδιαίτερο ρόλο στην προσομοίωση του τρίτου σεναρίου και υποτίθεται σταθερός και ίσος με 4.

Σύμφωνα και με την Εικόνα 6.10 ο ρυθμός μετάδοσης στην περίπτωση του σεναρίου 3, δεν εξαρτάται σημαντικά ούτε από το μέγεθος του αρχείου. Υπάρχει και πάλι ένα κέρδος περίπου 120-130%, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης εμφανίζει μια μικρή άνοδο, σχεδόν 30 kbps από την πρώτη ως την τελευταία μέτρηση. Αυτό οφείλεται στην μεγάλη ταχύτητα του κυρίαρχου τερματικού. Ακόμα και σε μικρά αρχεία οι συνεργαζόμενοι χρήστες λαμβάνουν πακέτα Bluetooth από τον κυρίαρχο αμέσως μόλις αρχίσει η μετάδοση και έτσι επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μεγάλο κέρδος και σε μονάδες χρόνου (Εικόνα 6.11).

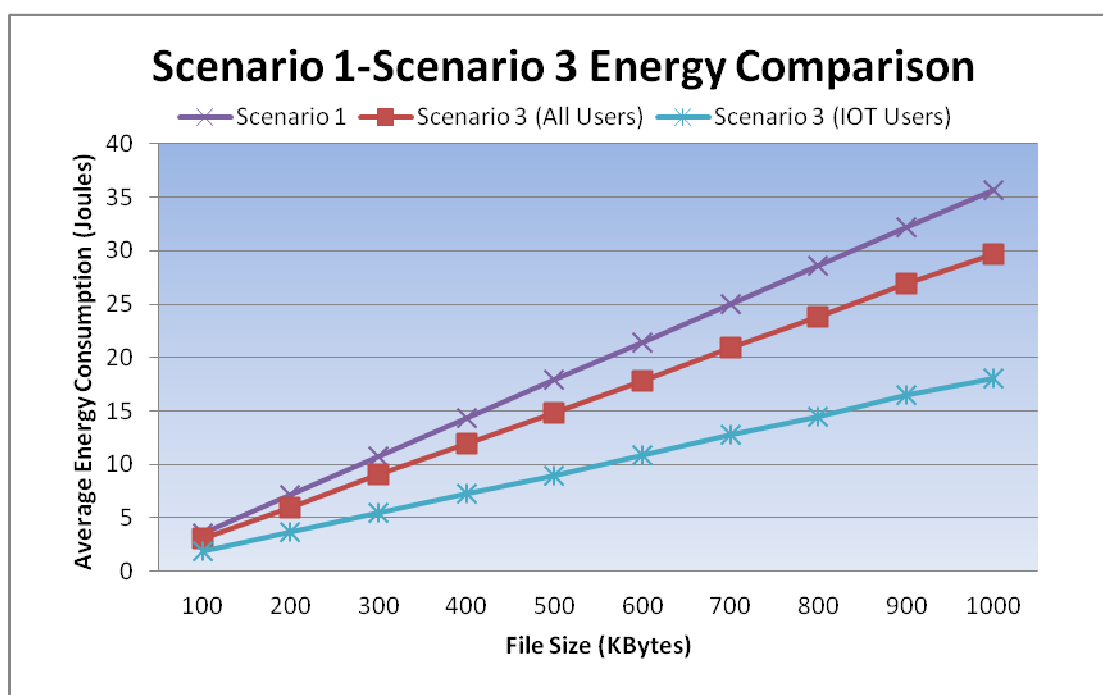


Εικόνα 6.10 - Ρυθμός μετάδοσης των συνεργατικών δικτύων σε σχέση με το μέγεθος του αρχείου.



Εικόνα 6.11 - Ο χρόνος που χρειάζεται σε διαφορετικά δίκτυα για το κατέβασμα ενός αρχείου μεταβλητού μεγέθους.

Τέλος, όσον αφορά την ενέργεια παρατηρείται (Εικόνα 6.12) ένα αυξανόμενο κέρδος ανάλογο με την αύξηση του μεγέθους του αρχείου. Η ενεργειακή κατανάλωση στο σενάριο 1 αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς απ’ ότι στο σενάριο 3. Έτσι στην προσομοίωση που γίνεται, παρατηρείται ένα κέρδος από 0% έως 50% για τους χρήστες ΙΟΤ, ενώ σε μεγαλύτερα αρχεία αναμένεται ακόμα μεγαλύτερο κέρδος. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κυρίαρχο τερματικό όσο μεγαλώνουν τα αρχεία στέλνει μεγαλύτερο ποσοστό πακέτων Bluetooth στους υπόλοιπους χρήστες που είναι ενεργειακά καλύτερα, από τα πακέτα που στέλνει ο Σταθμός Βάσης (pds του UMTS).



Εικόνα 6.12: Ενεργειακή κατανάλωση σε συνεργατικά δίκτυα με μεταβαλλόμενο μέγεθος αρχείου.

6.4) Συμπεράσματα

Από τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους είναι εμφανές ότι το δεύτερο και το τρίτο σενάριο που υλοποιήθηκαν και αφορούν τα συνεργατικά δίκτυα 4th γενιάς υπερτερούν σε όλα τα μεγέθη που ερευνήθηκαν από το δίκτυο του πρώτου σεναρίου (UMTS).

Ειδικότερα το δεύτερο σενάριο υπερτερεί στον ρυθμό μετάδοσης και στον χρόνο κατεβάσματος του αρχείου αλλά δεν προσφέρει κανένα κέρδος στο τομέα της ενέργειας. Τα αποτελέσματα βέβαια που αφορούν το ρυθμό μετάδοσης και το χρόνο που χρειάζεται για το κατέβασμα του στην περίπτωση που υπάρχουν πολλοί συνεργαζόμενοι χρήστες είναι εντυπωσιακά και ξεπερνούν σε κέρδος και το τρίτο σενάριο (Εικόνα 6.11), αλλά εξαρτώνται άμεσα από τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών και σα συνέπεια επωφελείται μόνο ένας χρήστης.

Αναφορικά με το τρίτο σενάριο παρατηρείται ένα σταθερό κέρδος σε όλους τους τομείς και στην ενέργεια, ενώ το ενεργειακό κέρδος μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και το προς κατέβασμα αρχείο. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι επωφελούνται περισσότεροι κατά τεκμήριο χρήστες απ' ό,τι στο δεύτερο σενάριο και δεν υπάρχει εξάρτηση από τον αριθμό των συνεργαζόμενων χρηστών. Η εξάρτηση που υπάρχει είναι από το κυρίαρχο τερματικό. Όσο πιο γρήγορα κατεβάσει τα πακέτα από τον Σταθμό Βάσης, τόσο πιο γρήγορα θα τα διαμοιράσει. Με λίγα λόγια η ταχύτητα του Bluetooth περιορίζεται από την ταχύτητα του UMTS, αφού για να στείλει τα αρχεία στους χρήστες πρέπει πρώτα να τα κατεβάσει. Αν το μεγαλύτερο μέρος των αρχείων σταλεί μέσω Bluetooth, δηλαδή αν ξεκινήσουν οι slaves το κατέβασμα λίγο αργότερα από τον master, οι ταχύτητες πλησιάζουν το θεωρητικό μέγιστο των 723 kbps, αφού πλησιάζουν τα 600-650 kbps. Παρόλα αυτά τα κέρδη που παρουσιάζονται από το σενάριο αυτό είναι πολύ σημαντικά.

Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα αυτά δίνουν την δυνατότητα για ταχύτερη και οικονομικότερη χρήση της υπηρεσίας FTP μέσα από την συνεργασία των χρηστών. Εφόσον ξεπεραστούν συγκεκριμένα εμπόδια, η εφαρμογή των σεναρίων αυτών μπορεί να οδηγήσει στην 4^η γενιά δικτύων που θα πλησιάζουν το 1 Mbps σε ταχύτητα και θα συμφέρουν περισσότερο ενεργειακά.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

7.1) Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η δομή και η αρχιτεκτονική που ακολουθήθηκε για την μελέτη ενός δικτύου στο Διαδίκτυο των αντικειμένων και για την υλοποίηση της προσομοίωσης βασίστηκε στη βιβλιογραφία ώστε να προσομοιωθεί όσο το δυνατόν ένα περιβάλλον όπου μπορούν τα κινητά να συνεργάζονται. Τα αποτελέσματα από τη συγκεκριμένη προσομοίωση είναι πέρα για πέρα ενθαρρυντικά για περαιτέρω μελέτη και πραγματική υλοποίηση ενός πραγματικού δικτύου συνεργαζόμενων οντοτήτων. Οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αποτελούν τα κατάλληλα εχέγγυα για την βελτίωση της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών.

Πρακτικά η υλοποίηση ενός τέτοιου δικτύου μπορεί να είναι δύσκολη, ίσως και ουτοπική, με την υπάρχουσα λογική του προσωπικού οφέλους σε όλα τα επίπεδα, δηλαδή και για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, αλλά και για τους χρήστες. Επομένως, το ζήτημα που προκύπτει είναι ο βαθμός χρησιμότητας μίας τέτοιας υλοποίησης στη καθημερινότητα, δηλαδή η διεισδυτικότητα της λογικής της συνεργασίας στο περιβάλλον ενός σπιτιού ή απλά ενός χρήστη κινητού τερματικού. Σημαντικό κομμάτι για την υλοποίηση της συνεργασίας είναι η σωστή ρύθμιση και τα κατάλληλα κίνητρα ώστε τα κινητά τερματικά να θέλουν να συνεργαστούν, δηλαδή να θέλουν να παρέχουν τους πόρους τους (ενέργεια, εύρος ζώνης).

Επιπλέον ένα μεγάλο κομμάτι έρευνας αποτελεί και η δημιουργία του κατάλληλου λογισμικού για τα κινητά τερματικά ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν συνεργατικές υπηρεσίες. Η σωστή ρύθμιση των πρωτοκόλλων και η χωρίς παρεμβολή επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων είναι ζωτικής σημασίας για την βελτίωση ακόμα περισσότερο των ρυθμών μετάδοσης, αλλά και της μικρότερης ενεργειακής κατανάλωσης.

Αν και η παρούσα προσομοίωση έγινε για την μελέτη του κατεβάσματος ενός αρχείου από το Διαδίκτυο, περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να γίνει για τη βελτίωση και άλλων υπηρεσιών, ακόμα πιο απαιτητικών σε εύρος ζώνης και ρυθμών μετάδοσης όπως είναι η εφαρμογή video. Η ροή από πακέτα video ίσως είναι μία από τις δυσκολότερες εφαρμογές που υπάρχουν αυτή τη στιγμή καθώς σε περίπτωση καθυστέρησης καταστρέφεται η ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Τέλος, ως γενικότερη πρόκληση στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων παραμένει η δημιουργία ενός περιβάλλοντος όπου όλοι οι χρήστες και όλα τα αντικείμενα, να είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους, αλληλεπιδρώντας το ένα με το άλλο. Δηλαδή η δημιουργία «έξυπνων» οντοτήτων σε ένα έξυπνο περιβάλλον αλληλοσυνεργαζόμενων οντοτήτων. Υλοποίηση ενός τέτοιου περιβάλλοντος μπορεί να αποδείξει στη πραγματικότητα, την αξία της συνεργασίας των διαφορετικών δικτύων αλλά και της ποιότητας υπηρεσιών που μπορεί να προσφερθεί.

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Γ.0) Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του κώδικα που δημιουργήθηκε για την υλοποίηση της προσομοίωσης. Παρακάτω ακολουθεί ο κώδικας ξεχωριστά για κάθε κλάση, με τη σειρά που αυτές περιγράφονται στο κεφάλαιο 5. Για πληρότητα παρατίθεται η σειρά των 12 κλάσεων παρακάτω:

- Simulation
- BaseStation
- User
- Link
- linkTimer
- File
- Packet
- RLC_PDUs
- Bluetooth_Packet
- Rat
- Utils
- Statistics

Στη συνέχεια ακολουθεί το κομμάτι του κώδικα που υλοποιείται στη κάθε κλάση.

Γ.1) Κλάση Simulation

```

import static java.lang.Math.pow;
import static java.lang.Math.sqrt;
import java.util.Date;
import java.util.Random;
import java.util.LinkedList;

public class Simulation {
    public static int pi=0,pj=0,pk=0;
    public static int link_number=8;
        //o arithmos tw n zey3ewn
    public static Rat r1=new Rat("3G",384,10);
        //Rat gia wlan
    public static Rat r2=new Rat("bluetooth",720,50);
        //Rat gia bluetooth
    public static int TTI=1;
        //To TTI exei diarkeia 10 millisecond..
    public static int bytes_in_tti=(r1.kbps*10)/8;
        //posa bytes se kathe TTI
    public static File f=new File(900000,0);
        //to arxeio kai posa bytes periexei
    public static Packet[][] pl=new
Packet[link_number][f.Lpacketnumber];        //neos pinakas me ta
paketa
    public static RLC_PDUs[][][] pdu=new
RLC_PDUs[link_number][f.Lpacketnumber][ (int)((f.Lpacketnumber/RLC_PD
Us.pdusize)*1500)+1];        //neos pinakas me ta PDU's...h prwth
sthlh einai gia th zey3h,h deyterh gia to paketo pou anhkoun,kai h
3h id
    public static BaseStation bs1= new BaseStation(0);        //neo
thread gia ton BS me id 0
    public static User[] u=new User[link_number];
        //o pinakas me toys xrhstes
    public static Link[] l=new Link[link_number];
        //o pinakas me tis zey3eis me ton BS
    public static Link[][] srl=new
Link[link_number][link_number];
        //o pinakas me tis zey3eis tw n users short-range-links
    public static boolean IOT=true;
        //ean einai TRUE exoume synergatika diktya

    public static int scenario=0;
        //senario=0 oloi stelnoun ston xrhsth 0, scenario=1 katevazei
arxeia o user 0 kai ta stelnei se olous
    public static int total_no_of_pdus;
        //o synolikos arithmos tw n pdus apolous tous xrhstes
    public static double bluetooth_connections=0;
        //o arithmos tw n bluetooth links
    public static Date time;
    public static int[] blth_ids=new int[link_number];        //gia na
apothikeyw ta ids gia ta bluetooth links
    public static void main (String args[]){
        int i,j,k;
        bs1.start();
        for (i=0; i<link_number; i++){
            u[i]= new User("thread"+i);
            //ftiaxoume ton neo user kai taytoxrona neo
thread
            u[i].Uid= i;
            l[i]=new Link(bs1,u[i],bs1.Lid,u[i].Uid,r1);
        //oi zey3eis me ton BS
        }
        setPositions();
        if(IOT==false){
            int w=0;
            for (i=0; i<link_number; i++){
                for (j=0; j<f.Lpacketnumber; j++){
                    pl[i][j]=new
Packet(u[i],1500,j,i*f.Lpacketnumber+j,f,"data");        //ftiaxnw ta
paketa gia kathe zey3h,me megethos 1500
                    u[i].packetpool.add(pl[i][j]);

                    //kai ta vazw se mia syndedemenh lista
                    u[i].no_of_packets++;
                    //System.out.println("Packet
id="+pl[i][j].Uid);
                    for (k=0;
                    pdu[i][j][k]=new
RLC_PDUs(u[i],l[i],pl[i][j],k,w);
                    //to kathe paketo to xwrizw se PDU's tw n 40bytes
                    w++;
                    u[i].dupool.add(dpu[i][j][k]);
                    //kai ta vazw se mia syndedemenh lista

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

        u[i].no_of_pdus++;

//ta pdus tou kathe xrhsth

        total_no_of_pdus++;

//ta synolika pdus olwn tw n xrhstwn

u[i].pdupool2.add(pdu[i][j][k]);
    }
    u[i].fileSize = u[i].no_of_pdus;
    System.out.println("dhmiourghthike to
thread "+u[i].getName()+" toy xrhsth " +i);
    System.out.println("NUMBER OF IP
PACKETS="+u[0].no_of_packets);
    System.out.println("TOTAL NUMBER OF
PDUS = "+ total_no_of_pdus);
    u[i].no_of_acks=u[i].no_of_pdus;
    u[i].start();
}
}
if(IOT==true && scenario==0){
    int w=0;
    checkBluetoothAvailability();
    //koitazw poi oi xrhstes einai
mesa sto bluetooth
    double h=1.0-bluetooth_connections/10.0;
    //kathe xrhsths pou einai sto bluetooth tha katevasei to 10%
    tou arxeiou gia ton user 0
    if(bluetooth_connections>0){
        for(j=0;j<h*f.Lpacketnumber;j++){
            //arxika ftiaxnw tou user 0...den ftiaxnei ola ta arxeia,mono
            osa xreiazetai..ta alla tha ta parei apo to bluetooth
            pl[0][j]=new
            Packet(u[0],1500,j,+j,f,"data"); //ftiaxnw ta paketa gia kathe
            zey3h,me megethos 1500
            u[0].packetpool.add(pl[0][j]);

            //kai ta vazw se mia syndedemenh lista
            u[0].no_of_packets++;
            //System.out.println("Packet
id="+pl[0][j].Uid);
            for (k=0;
k<pl[0][j].pdunumber;k++){

```

```

        pdu[0][j][k]=new
RLC_PDUs(u[0],l[0],pl[0][j],k,w);
        //to kathe paketo to xwrizw se PDUs tw n 40bytes
        w++;

u[0].pdupool.add(pdu[0][j][k]);
        //kai ta vazw se mia syndedemenh lista
        u[0].no_of_pdus++;

//ta pdus tou kathe xrhsth

        total_no_of_pdus++;

//ta synolika pdus olwn tw n xrhstwn

u[0].pdupool2.add(pdu[0][j][k]);
    }
    }
    for (i=1;i<link_number;i++){
        if(blth_connection_exists(i)==true ){

            for(j=0;j<(h*f.Lpacketnumber);j++){
                pl[i][j]=new
                Packet(u[i],1500,j,i*f.Lpacketnumber+j,f,"data"); //ftiaxnw ta
                paketa gia kathe zey3h,me megethos 1500

                u[i].packetpool.add(pl[i][j]);
                //kai ta vazw se mia
                syndedemenh lista
                u[i].no_of_packets++;

                //System.out.println("Packet id="+pl[i][j].Uid);
                for (k=0;
k<pl[i][j].pdunumber;k++){
                    pdu[i][j][k]=new
                    RLC_PDUs(u[i],l[i],pl[i][j],k,w);
                    //to kathe paketo to xwrizw se PDUs tw n 40bytes

                    //System.out.println("pdu with id "+pdu[i][j][k].Uid);
                    w++;

                    u[i].pdupool.add(pdu[i][j][k]);
                    //kai ta vazw se mia syndedemenh lista

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```

u[i].no_of_pdus++;
//ta pdus tou kathe xrhsth

total_no_of_pdus++;
//ta synolika pdus olwn twn
xrhstwn

u[i].pdupool2.add(pdu[i][j][k]);
}
//System.out.println("-----
-----1-----");
//waiting(3000);
for(j=(int)(h*f.Lpacketnumber);j++){
j<(h+0.1)*f.Lpacketnumber;j++){
p1[i][j]=new
Packet(u[i],1500,j,i*f.Lpacketnumber+j,f,"data"); //ftiaxnw ta
paketa gia kathe zey3h,me megethos 1500

u[i].packetpool.add(p1[i][j]);
//kai ta vazw se mia
syndedemenh lista
u[i].no_of_packets++;

//System.out.println("Packet id="+p1[i][j].Uid);
for(k=0;
k<p1[i][j].pdunumber;k++){
pdu[i][j][k]=new
RLC_PDUs(u[i],l[i],p1[i][j],k,w);
//to kathe paketo to xwrizw se PDUs tw 40bytes

//System.out.println("pdu with id "+pdu[i][j][k].Uid);
w++;

pdu[i][j][k].iot_pdu=true;
//markarw ayta ta pdus pou einai gia iot

u[i].bluetooth_priority_list.add(pdu[i][j][k]);
//vazw kapoia paketa se aythn thn lista gia na katevoun prwta

u[i].no_of_pdus_IOT++;
}
}

//System.out.println("-----
-----2-----");
//waiting(3000);

for(j=(int)((h+0.1)*f.Lpacketnumber)+1;
j<f.Lpacketnumber;j++){
p1[i][j]=new
Packet(u[i],1500,j,i*f.Lpacketnumber+j,f,"data"); //ftiaxnw ta
paketa gia kathe zey3h,me megethos 1500

u[i].packetpool.add(p1[i][j]);
//kai ta vazw se mia
syndedemenh lista
u[i].no_of_packets++;

//System.out.println("Packet id="+p1[i][j].Uid);
for(k=0;
k<p1[i][j].pdunumber;k++){
pdu[i][j][k]=new
RLC_PDUs(u[i],l[i],p1[i][j],k,w);
//to kathe paketo to xwrizw se PDUs tw 40bytes

//System.out.println("pdu with id "+pdu[i][j][k].Uid);
w++;

u[i].pdupool.add(pdu[i][j][k]);
//kai ta vazw se mia syndedemenh lista

u[i].no_of_pdus++;
//ta pdus tou kathe xrhsth

total_no_of_pdus++;
//ta synolika pdus olwn twn
xrhstwn

u[i].pdupool2.add(pdu[i][j][k]);
}
//System.out.println("-----
-----END-----");
//waiting(3000);
h=h+0.1;
}
else
if(blth_connection_exists(i)==false){

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

                for (j=0; j<f.Lpacketnumber;
j++){
                    pl[i][j]=new
Packet(u[i],1500,j,i*f.Lpacketnumber+j,f,"data"); //ftiaxnw ta
paketa gia kathe zey3h,me megethos 1500

                    u[i].packetpool.add(pl[i][j]);
//kai ta vazw se mia
syndedemenh lista
                    u[i].no_of_packets++;

                    //System.out.println("Packet id="+pl[i][j].Uid);
                    for (k=0;
k<pl[i][j].pdunumber;k++){
                        pdu[i][j][k]=new
RLC_PDUs(u[i],l[i],pl[i][j],k,w);
//to kathe paketo to xwrizw se PDUs tw 40bytes
w++;

                    u[i].pdupool.add(pdu[i][j][k]);
//kai ta vazw se mia syndedemenh lista

                    u[i].no_of_pdus++;
//ta pdus tou kathe xrhsth

                    total_no_of_pdus++;
//ta synolika pdus olwn tw
xrhstwn

                    u[i].pdupool2.add(pdu[i][j][k]);
}
}
                    u[i].fileSize = u[i].no_of_pdus;
                    System.out.println("dhmiourghthike to
thread "+u[i].getName()+" toy xrhsth " +i);
                    System.out.println("NUMBER OF IP
PACKETS="+u[i].no_of_packets);
                    System.out.println("TOTAL NUMBER OF
PDUS = "+ total_no_of_pdus);
                    u[i].no_of_acks=u[i].no_of_pdus;
                    u[i].start();
}
u[0].bluetooth_type="master";
u[0].no_of_pdus=u[1].no_of_pdus;

```

```

u[0].fileSize = u[1].no_of_pdus;
u[0].no_of_acks=u[1].no_of_pdus;
for(i=1;i<link_number;i++){
    if(blth_connection_exists(i)==true){
        u[i].bluetooth_type="slave";
    }
}
}
if(IOT==true && scenario==1){
    int w=0;
    int s=0;
    checkBluetoothAvailability();
//koitazw poi oi xrhstes einai
mesa sto bluetooth
    for (i=0; i<link_number; i++){
        for (j=0; j<f.Lpacketnumber; j++){
            pl[i][j]=new
Packet(u[i],1500,j,i*f.Lpacketnumber+j,f,"data"); //ftiaxnw ta
paketa gia kathe zey3h,me megethos 1500
            u[i].packetpool.add(pl[i][j]);

//kai ta vazw se mia syndedemenh lista
            u[i].no_of_packets++;
//System.out.println("Packet
id="+pl[i][j].Uid);
            for (k=0;
k<pl[i][j].pdunumber;k++){
                pdu[i][j][k]=new
RLC_PDUs(u[i],l[i],pl[i][j],k,w);
//to kathe paketo to xwrizw se PDUs tw 40bytes
w++;

            u[i].pdupool.add(pdu[i][j][k]);
//kai ta vazw se mia syndedemenh lista
            u[i].no_of_pdus++;

//ta pdus tou kathe xrhsth
            total_no_of_pdus++;

//ta synolika pdus olwn tw xrhstwn

            u[i].pdupool2.add(pdu[i][j][k]);
}
}
}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```

        u[i].fileSize = u[i].no_of_pdus;
        System.out.println("dhmiourghthike to
thread "+u[i].getName()+" toy xrhsth " +i);
        System.out.println("NUMBER OF IP
PACKETS="+u[0].no_of_packets);
        System.out.println("TOTAL NUMBER OF
PDUS = "+ total_no_of_pdus);
        u[i].no_of_acks=u[i].no_of_pdus;
        u[i].start();
    }
    u[0].bluetooth_type="master";
    for(i=1;i<link_number;i++){
        if(blth_connection_exists(i)==true){
            u[i].bluetooth_type="slave";
            u[0].blth_packet[i][u[i].w]=new
Bluetooth_Packet(u[0],u[i],Simulation.srl[0][i],u[0].t);
            u[0].t++;
        }
        else
        if(blth_connection_exists(i)==false){
            u[i].bluetooth_type="out";
        }
    }
}
if((scenario==0 && IOT==true) || IOT==false){
    for (i=0; i<link_number; i++){
        linkTimer task=new
linkTimer(bs1,u[i],l[i],TTI); //orizontai oi timers,kathe xrhsth
exei diko toy timer
        u[i].startFileTransmissionTime = new
Date();
        waiting(1000);
        //o los 3ekinaei
    }
}
if(scenario==1 && IOT==true){
    for (i=0;i<link_number;i++){
        linkTimer task=new
linkTimer(bs1,u[i],l[i]); //orizontai oi timers,kathe xrhsth
exei diko toy timer
        u[i].startFileTransmissionTime = new
Date();
        //waiting(500);
    }
}
    }
    //Rat r1= new Rat("wlan",4096,5);
    //neo Rat
    //Link l= new Link(100,0,r1);
    //egkatastash zey3hs
    //System.out.println(u[1].toString());
    //System.out.println("distance from BS=" +
u[0].DistancefromBS(bs1,u[0]));
    //System.out.println("distance from Node=" +
u[2].DistancefromNode(u[2],u[1]));
    //bs1.sendnothing(l,u[0]);
}
public static void waiting (int n){
    //synarthsh gia kathysterhsh n milliseconds
    long t0, t1;
    t0 = System.currentTimeMillis();
    do{
        t1 = System.currentTimeMillis();
    }
    while (t1 - t0 < n);
}
public static void endSimulation(){
    System.out.println("Successful transmit..all ACKS
received");
    Statistics s = new Statistics();
    s.showStatistics(link_number);
    System.exit(0);
}
public static void setPositions(){
    int i;
    bs1.Lx=10; bs1.Ly=10; bs1.Lz=10;
    for(i=0;i<link_number;i++){
        u[i].Ux=rand(); u[i].Uy=rand();
    }
}
public static void checkBluetoothAvailability(){
    int j=0;
    for(int i=1;i<link_number;i++){
        if( DistancefromNode(u[0],u[i]) <10.0
){
            srl[0][i]=new
Link(u[0],u[i],u[0].UId,u[i].UId,r2);
            bluetooth_connections++;
            blth_ids[j]=u[i].UId;

```


ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```
System.out.println("blthids"+blth_ids[j]);
                j++;

System.out.println("Dhmiourgithike Bluetooth zey3h meta3u tw
komvwn "+u[0].Uid+" kai "+u[i].Uid);
                if(DistancefromNode(u[0],u[i])
<5.0 ){
                    u[i].srl_type="type 1";
                }
                else if
(5.0<DistancefromNode(u[0],u[i]) && DistancefromNode(u[0],u[i])
<10.0){
                    u[i].srl_type="type 0";
                }
                waiting(500);
            }
        }return;
    }
    public static boolean blth_connection_exists(int j){
//gia na dw an yparxei to bluetooth link
        for(int i=0;i<blth_ids.length;i++){
            if (blth_ids[i]==j){
                return true;
            }
        }return false;
    }
    public static int rand () { //synarthsh gia
thn eyresh pithanothtas
        Random r=new Random();
        int rand=r.nextInt(10);
//dialegei tyxaio aritmo apo to 0 ews to 9999
        return rand;
    }
    public static double DistancefromBS(BaseStation s, User u){
//apostash user apo Basestation
        double distance;
        distance=sqrt(( pow(s.Lx - u.Ux,2))+ pow(s.Ly -
u.Uy,2)+ pow(s.Lz - u.Uz,2) );
        return distance;
    }
    public static double DistancefromNode(User u1, User u2){
//apostash user apo Basestation
        double distance;
```

```
        distance=sqrt(( pow(u1.Ux - u2.Ux,2))+ pow(u1.Uy -
u2.Uy,2)+pow (u1.Uz - u2.Uz,2) );
        return distance;
    }
}
```

Γ.2) Κλάση Basestation

```
import java.util.*;
import java.lang.*;

public class BaseStation extends Thread{
    double Lx,Ly,Lz; //syntetagmenes basestation
    int Lid; //id
    int pdus_to_send; // number of pdus to
send
    int ack_number=0;
    public BaseStation (double x,double y,double z,int id){
        Lx= x;
        Ly= y;
        Lz= z;
        Lid= id;}
    public BaseStation (int i){
        super();
        Lid=i;
    }
    public synchronized void run() { //einai h
synarthsh pou kaleitai otan ksekinaei to thread
        System.out.println ( "Thread" );
        return;
    }
    public static synchronized String dummy(){
//DUMMY methodos gia dokimh
        String msg ="Phra to mhnyma" ;
        User t = (User) Thread.currentThread();
        System.out.println("GONGRATULATIONS:you entered the BS
"+t.getName());
        return msg;
    }
    public void look_for_ack(User u,Link l) {
        RLC_PDUs p2=new RLC_PDUs();
        if(l.uplink.size(>0){
            p2=l.uplink.removeFirst();
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```
        if(p2.type.equals("ack")){
            p2.userbelong.ackpool.add(p2);
            if(l.uplink_queue.size(>0){
                l.uplink.add(l.uplink_queue.removeFirst());
            }
            ack_number++;
            //System.out.println("ACK
received tou xrhsth "+ u.Uid+" no="+p2[i].total_number);
            if (u.cng_wnd<u.cng_thrld){
                //elegxos gia to congestion window
                u.cng_wnd++;
                //an den einai sto threshold to
anevazw
            }

            //System.out.println("ackpool="+ u.ackpool.size()+" tou
xrhsth "+u.Uid+" userbuffer="+u.userbuffer.size());

            //System.out.println("Retransmissions =" + u.retr);
        }
        else if (p2.type.equals("nack")) {
            u.cng_wnd=u.cng_wnd/2;
        }
    }
    return;
}
}
```

Γ.3) Κλάση User

```
import static java.lang.Math.*;
import javax.swing.Timer;
import java.awt.event.*;
import java.util.*;

public class User extends Thread{
    double Ux,Uy,Uz; //syntetagmenes user
    int Uid; //user id
    boolean iot;
    boolean file_ok=false;
```

```
        LinkedList<RLC_PDUs> userbuffer = new LinkedList();
        //gia paketa
        kataythanoun ston xrhsth
        LinkedList<RLC_PDUs> userbuffer2 = new LinkedList();
        //gia paketa
        kataythanoun ston xrhsth..molis fthanoun paketa ta svhnw apo ton
userbuffer2 kai ta vazw ston userbuffer2
        LinkedList<RLC_PDUs> acks = new LinkedList();
        //gia ta acks pou prepei
na stelei
        LinkedList<RLC_PDUs> transmission_buffer = new LinkedList();
        //o transmission buffer.Se ayton apothikeyontai ta paketa pou
erxontai apo to strwma mac sto phy
        LinkedList<Bluetooth_Packet> transmission_buffer2 = new
LinkedList(); //o transmission buffer.Se ayton apothikeyontai ta
paketa tou bluetooth
        LinkedList<Packet> packetpool = new LinkedList();
        //gia ta paketa IP
        LinkedList<RLC_PDUs> pdupool = new LinkedList();
        //gia ta pdus
        LinkedList<RLC_PDUs> pdupool2 = new LinkedList();
        //gia ta pdus pou
diafeygoun
        LinkedList<RLC_PDUs> ackpool = new LinkedList();
        //gia ta acks
        LinkedList<RLC_PDUs> ackpool2 = new LinkedList();
        //gia ta acks
        LinkedList<RLC_PDUs> missedpdus = new LinkedList();
        //gia ta xamena paketa
        LinkedList<RLC_PDUs> bluetooth_priority_list = new
LinkedList(); //edw mpainoun ta pdus
pou prepei na ketevoun prwta
        LinkedList<RLC_PDUs> pool_for_blth = new LinkedList();
        //edw mpainoun ta pdus pou prepei na
ketevoun prwta
        LinkedList<Bluetooth_Packet> blthpool = new LinkedList();
        //gia ta
bluetooth packets
        LinkedList<Bluetooth_Packet> missedpdus2 = new LinkedList();
        //gia ta
xamena paketa
        Bluetooth_Packet[][] blth_packet=new
Bluetooth_Packet[Simulation.link_number][Simulation.f.Lsize/Bluetoot
h_Packet.payload+10000];
        int no_of_packets=0;
```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

    int retr;
    int no_of_pdus=0;
    int no_of_pdus_IOT=0;
    //O arithmos tw n pdus pou prepei na ketvasei o xrhsths
gia na ta steilei me bluetooth
    int no_of_pdus_IOT2=0;
    //O arithmos tw n pdus pou prepei na ketvasei o
xrhsths gia na ta steilei me bluetooth
    double no_of_blth_packets=0;
    //o arithmos tw n pdus pou vazzei se paketa bluetooth o
synergazomenos xrhsths
    int no_of_acks=0;
    int totally_missed_pdus=0;
    int cng_wnd=10;
    //congestion window
    int cng_thrl=96;
    //congestion window threshold
    String bluetooth_type;
    String srl_type;
    int i=0,j=0,k=0,c=0;
    int h=0,w=0,t=0;
    //gia ta paketa bluetooth
    double umts_packets=0;
    //gia ton ypologismo ths energeias
    double blth_packets=0;
    double umts_energy=0;
    double blth_energy=0;
    double master_energy=0;
    double total_energy=0;
    boolean c1=false,c2=false;
    int fileSize;
    Date startFileTransmissionTime;
    Date endFileTransmissionTime;
public User (){
    Ux= 0;
    Uy= 0;
    Uz= 0;
    Uid= 0;
    iot= false;}
public User (String id){
    super(id); //neos constructor.h super paei ston
constructor ths thread kai ftiaxnei neo thread
}
public User (double x,double y,double z,int id,boolean i){
    Ux= x;

```

```

    Uy= y;
    Uz= z;
    Uid= id;
    iot= i;}
    //set methods
    public String toString(){ // gia na
vlepw tis syntetagmenes
        return ( "syntetagmenes " + " x= " +
String.valueOf(Ux)+ " y= " + String.valueOf(Uy)+ " z= " +
String.valueOf(Uz)+ " kai id= " + String.valueOf(Uid) );
    }
    public String getId(){ // gia na
vlepw tis syntetagmenes
        return ( " id= " + String.valueOf(Uid));
    }

    public synchronized void run() { //einai h
synarthsh pou kaleitai otan ksekinaei to thread
        System.out.println ( "Thread" );
        return;
    }
    public void ReadyToSend(User u,Link l){ //erxetai
apo ton timer
        if(u.missedpdus.size(>0){
            addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.missedpdus.removeFirst());
            u.cng_wnd--;
        }
        for(i=0;i<=u.cng_wnd;i++){ //stelnw tosa pdus osa
mou epitrepei to cng_wnd
            if(Simulation.IOT==true &&
Simulation.scenario==0 && (u.Uid==0 ||
Simulation.blth_connection_exists(u.Uid)==false)){
                if(u.pdupool.size(>0) ){
                    u.addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.pdupool.removeFirst());
                }
            }
            else if(Simulation.IOT==true &&
Simulation.scenario==0 &&
Simulation.blth_connection_exists(u.Uid)==true && u.file_ok==false )
            {
                if(u.bluetooth_priority_list.size(>0){
                    u.addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.bluetooth_priority_list.r

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```

removeFirst()); //ston user pou einai gia iot katevazw prwta ta
arxeia pou pou prepei na steilw me bluetooth
        }
        else
if(u.bluetooth_priority_list.size()<=0){
        if(u.pdupool.size() > 0 &&
u.file_ok==false ){
                u.addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.pdupool.removeFirst());
        }
        if(u.pdupool.size() <= 0 &&
u.file_ok==false ){
                //System.out.println("u.pdupool.size() = 0 tou xrhsth "
+u.Uid); //ean den stalei ton vazw
                Utils.checkWhichPDUsAreMissing(u,l);
        }
        }
        else if(Simulation.IOT==false ){
                if(u.pdupool.size() != 0 ){
                        u.addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.pdupool.removeFirst());
                }
                if(u.pdupool.size() <= 0 &&
u.file_ok==false ){
                        //System.out.println("u.pdupool.size() = 0 tou xrhsth "
+u.Uid); //ean den stalei ton vazw
                        Utils.checkWhichPDUsAreMissing(u,l);
                }
        }
        }return;
}
public void addpdutolink (BaseStation b,User u,Link
l,RLC_PDUs pack){ //prosthetw paketo sth zey3h
String msg2 ="Pdu added toy xrhsth " ;
if(l.downlink.size()<1000000){
        //ean den einai
gemath h zey3h vale to paketo
        transmission_buffer.add(pack);
        //to vazw kai

```

```

ston transmission buffer.an erthei ack gia ayto to pdu tha fygei apo
ton tm
        if (prob()<9999) {
                //e3etazw
                thn pithanothta na mhn stalei to paketo
                l.downlink.add(pack);
                //sth
                zey3h==downlink
        }
        else{
                //System.out.println("GOING FOR
RETRANSMISSION");
                //ean den stalei ton vazw
                //Simulation.waiting(5000);
                retr++;
                missedpdus.add(pack);
                //sayton ton buffer gia na to
                3anasteilw kai stelnw NACK ston BS
                RLC_PDUs nack=new
RLC_PDUs(u,pack.packetbelongto,pack.sequence_number,0,"nack");
                //stelnw arnhthikh epivevaiwsh ston BS
                addACKtolink(b,u,l,nack);
                return;
        }
        //System.out.println(msg2 +
String.valueOf(u.Uid)+" me SN="+pack.total_number+" tou packetoy
"+pack.packetbelongto.Uid);
        return;
    }
    else{
        l.downlink_queue.add(pack);
        //alliws valto sthn oura==downlink_queue
        System.out.println("paketo se oura toy xrhsth
"+String.valueOf(u.Uid));
        }return;
}
public void addACKtolink (BaseStation b,User u,Link
l,RLC_PDUs pack){ //prosthetw ack sthn
uplink zey3h
        if(l.uplink.size()<2000){
                //ean den einai gemath h zey3h vale to paketo
                l.uplink.add(pack);
                //sth zey3h==downlink

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

    }
    else{
        l.uplink_queue.add(pack);

        //alliws valto sthn oura==downlink_queue
    }
    return;
}
public void receivepacket(BaseStation b,User u,Link
l,RLC_PDUs p){ //gia lhpsh apo ton BS
    if(p.type.equals("data")){
        l.no_of_pdus--;
        if((Simulation.IOT==true
&&Simulation.scenario==0) || Simulation.IOT==false){
            u.umts_packets++;
            u.userbuffer.add(p);
            //pairnei to paketo kai to vazei sthn packetpool toy xrhsth
            p.packetbelongto.pdunumber2--;
            if(p.packetbelongto.pdunumber2==0 &&
u.Uid==0){
                System.out.println("IP Packet
with Uid="+p.packetbelongto.Uid+" received");
            }
            //if(u.transmission_buffer.size(>0){
                // for
                (j=0;j<u.transmission_buffer.size();j++){
                    //
                    if(p==u.transmission_buffer.get(j)){
                        //
                        u.transmission_buffer.remove(j); //to vgazw kai
apo ton tranmittion buffer
                    }
                }
            }
            RLC_PDUs ack=new
RLC_PDUs(u,p.packetbelongto,p.sequence_number,c,"ack"); //stelnw
epivevaiwsh ston BS
            u.ackpool2.add(ack);
            addACKtolink(b,u,l,ack);
            //vazw thn epivevaiwsh sthn
uplink
            c++;
            if(p.ilot_pdu==true &&
Simulation.scenario==0){

```

```

                //ean einai apo ta markarismena paketa valto se mia
allh lista na ta valw se paketa bluetooth
                //System.out.println("blth pdu
received");
                u.pool_for_blth.add(p);
                u.no_of_pdus_IOT--;

                //System.out.println("no_of_pdus_IOT"+u.no_of_pdus_IOT+" tou
xrhsth"+u.Uid);
                if(Simulation.IOT==true &&
Simulation.scenario==0 && u.no_of_pdus_IOT==0 && u.Uid !=0 &&
Simulation.blth_connection_exists(u.Uid)==true){ //ean exei
katevasei ola ta paketa o xrhsth ta vazei se paketa bluetooth gia
na ta steilei ston xrhsth 0
                    System.out.println("...Arxizei to Bluetooth apo ton xrhsth
"+u.Uid);
                    int k=0;
                    int i=0;
                    while
                    (u.pool_for_blth.size()!=0){
                        blth_packet[u.Uid][i]=new
Bluetooth_Packet(u,Simulation.srl[0][u.Uid],k);
                        u.blth_packets++;
                        k++;
                        for(j=0;j<blth_packet[u.Uid][i].no_of_pdus;j++){
                            if(u.pool_for_blth.size(>0){
                                blth_packet[u.Uid][i].pdus[j]=u.pool_for_blth.removeFirst();
                            }
                        }
                        u.blthpool.add(blth_packet[u.Uid][i]);
                        //vazw to paketo sthn bluetooth pool tou
xrhsth
                        i++;

                        //System.out.println("Bluetooth Packet "+i+" tou
xrhsth"+u.Uid);
                    }

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```

linkTimer task1=new linkTimer(Simulation.u[0],u,Simulation.srl[0][u.Uid],4);
//neos timer gia to bluetooth
}
if
(u.userbuffer.size()>=u.fileSize && u.file_ok == false ){
//edw mpainei an iot =false kai teleiwsei kapoios xrhsths
u.endFileTransmissionTime = new
Date();
u.file_ok = true;
System.out.println("FILE OK tou xrhsths
"+u.Uid);
// Utils.checkUsersAcks(u,l);
if ( Utils.checkFiles()==true &&
c1==false ){ //an exoun teleiwsei oloi oi xrhstes
Utils.checkfiles=true
c1=true;
Simulation.endSimulation(); //an ftasei edw teleiwse swsta
}
}
}
else if(Simulation.scenario==1 &&
Simulation.IOT==true){
if(u.bluetooth_type.equals("master")){
u.umts_packets++;
u.userbuffer.add(p);
p.packetbelongto.pdunumber2--;
if(p.packetbelongto.pdunumber2==0){
System.out.println("IP
Packet with Uid="+p.packetbelongto.Uid+" received");
}
//if(u.transmission_buffer.size()>0){
// for
(j=0;j<u.transmission_buffer.size();j++){
//
if(p==u.transmission_buffer.get(j)){
//
u.transmission_buffer.remove(j); //to vgazw kai
apo ton tranmittion buffer
//
}
//
}
}
}
}
RLC_PDU ack=new
RLC_PDU(u,p.packetbelongto,p.sequence_number,c,"ack"); //stelnw
epivevaiwsh ston BS
u.ackpool2.add(ack);
addACKtolink(b,u,l,ack);
//vazw thn epivevaiwsh
c++;
u.pool_for_blth.add(p);
for(int
i=1;i<Simulation.link_number;i++){
if
(Simulation.blth_connection_exists(i)==true){
blth_packet[i][Simulation.u[i].w].pdus[Simulation.u[i].h]=p;
Simulation.u[i].h++;
}
}
for(int
i=1;i<Simulation.link_number;i++){
if
(Simulation.blth_connection_exists(i)==true){
if(Simulation.u[i].h>(Bluetooth_Packet.payload/RLC_PDU.pdusi
ze-1)){
Simulation.u[i].h=0;
//System.out.println("Dhmiourgithike to bluetooth paketo
blth_packet["+i+"]"+"["+Simulation.u[i].w+"]");
Simulation.u[i].blthpool.add(blth_packet[i][Simulation.u[i].w
]);
//vazw to paketo sthn
bluetooth pool tou xrhsths
Simulation.u[i].w++;
u.blth_packet[i][Simulation.u[i].w]=new
Bluetooth_Packet(u,Simulation.u[i],Simulation.srl[u.Uid][i],u.t);
u.t++;
}
}
}
}

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

        for(int
j=1;j<Simulation.link_number;j++){
        if
(Simulation.blth_connection_exists(j)==true ){
            if(Simulation.u[j].w>0 && Simulation.u[j].c2==false){
                linkTimer
task1=new linkTimer(u,Simulation.u[j],Simulation.srl[u.Uid][j],4);
                //neos timer gia to bluetooth

                //Simulation.u[j].startFileTransmissionTime = new Date();;

                Simulation.u[j].c2=true;
            }
        }

        //System.out.println("Bluetooth Packet "+i+" tou
xrhsth"+u.Uid);
    }
    else
if(u.bluetooth_type.equals("slave") ||
u.bluetooth_type.equals("out") ){
        u.umts_packets++;
        u.userbuffer.add(p);
        //pairnei to paketo kai to vazei sthn packetpool toy xrhsth
        p.packetbelongto.pdunumber2--;

        if(p.packetbelongto.pdunumber2==0){
            System.out.println("IP
Packet with Uid="+p.packetbelongto.Uid+" received");
        }

        //if(u.transmission_buffer.size())>0){
            // for
(j=0;j<u.transmission_buffer.size();j++){
            //
            if(p==u.transmission_buffer.get(j)){
            //
                u.transmission_buffer.remove(j); //το vgazw kai
apo ton tranmittion buffer
            }
        }
    }
}

```

```

        RLC_PDUs ack=new
RLC_PDUs(u,p.packetbelongto,p.sequence_number,c,"ack"); //stelnw
epivevaihsh ston BS

        u.ackpool2.add(ack);
        addACKtolink(b,u,l,ack);
        //vazw thn epivevaihsh

        sthn uplink
        c++;
    }
}
// check if all packets of the file have been
received
//System.out.println(u.userbuffer.size() + " "
+u.fileSize);
if (u.userbuffer.size())>=u.fileSize &&
u.file_ok == false ){ //edw mpainei an iot =false kai
teleiwsei kapoios xrhsths
    u.endFileTransmissionTime = new Date();
    u.file_ok = true;
    System.out.println("FILE OK tou xrhsth "+u.Uid);
    System.out.println("Bluetooth pool
"+Simulation.u[0].blthpool.size());
    System.out.println("u0
"+Simulation.u[0].userbuffer.size()+ "
filesize"+Simulation.u[0].fileSize+"
pdupool"+Simulation.u[0].pdupool.size());
    // Utils.checkUsersAcks(u,l);
    if ( Utils.checkFiles()==true && c1==false ){
        //an exoun teleiwsei oloi oi xrhstes Utils.checkfiles=true
        c1=true;
        Simulation.endSimulation(); //an
ftasei edw teleiwse swsta
    }
}
else if(p.type.equals("missed_data")){
    l.no_of_pdus--;
    totally_missed_pdus++;
    userbuffer.add(p);
    // check if all packets of the file
have been received

    //System.out.println(u.userbuffer.size() + " " +u.fileSize);
    if (u.userbuffer.size())==u.fileSize &&
u.file_ok == false){

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```

        u.endFileTransmissionTime = new Date();
        u.file_ok = true;
        System.out.println("FILE OK tou xrhsth
"+u.Uid);
        //Utils.checkUsersAcks(u,l);
        if ( Utils.checkFiles()==true && c1==false ){
            c1=true;
            Simulation.endSimulation();
        }
    }
}
return;
}
}
//-----IOT=TRUE-----
public void ReadyToSend2(User u2,User u1,Link l){
//erxetai apo ton timer gia ta paketa bluetooth
if(u2.missedpdus2.size(>0){
addPacToBluetoothLink(u2,u1,l,u2.missedpdus2.removeFirst());
}
if(u2.blthpool.size() != 0 ){
addPacToBluetoothLink(u2,u1,l,u2.blthpool.removeFirst());
//System.out.println("Bluetooth packet added
to link");
}
return;
}
public void addPacToBluetoothLink (User u2,User u1,Link
l,Bluetooth_Packet pack){ //prosthetw paketo sth zey3h
if(l.blth_downlink.size(<10000){
//ean den einai gemath h zey3h vale to paketo
u2.transmission_buffer2.add(pack);
//to vazw kai ston transmission
buffer.an erthei ack gia ayto to pdu tha fygei apo ton tm
if (prob(<9999){
//e3etazw thn pithanothta na
mhn stalei to paketo
l.blth_downlink.add(pack);
//sth zey3h==downlink

```

```

}
else{
//System.out.println("GOING FOR
//ean den stalei ton vazw
//Simulation.waiting(5000);
retr++;
u2.missedpdus2.add(pack);
//sayton ton buffer gia
na to 3anasteilw kai stelnw NACK ston BS
Bluetooth_Packet nack=new
Bluetooth_Packet(u2,pack.sequence_number,"nack"); //stelnw arnhtikh
epivevaiwsh ston BS
addACKtoBluetoothLink(u2,u1,l,nack);
return;
}
}
else{
l.blth_downlink_queue.add(pack);
//alliws valto sthn oura==downlink_queue
System.out.println("paketo se oura toy xrhsth
"+String.valueOf(u2.Uid));
}
return;
}
public void addACKtoBluetoothLink (User u2,User u1,Link
l,Bluetooth_Packet pack){ //prosthetw ack sthn uplink zey3h
if(l.blth_uplink.size(<2000){
//ean den einai gemath h zey3h vale to paketo
l.blth_uplink.add(pack);
//sth zey3h==downlink
}
else{
l.blth_uplink_queue.add(pack);
//alliws valto sthn oura==downlink_queue
}
return;
}
public void receivepacket2 (User u2,User u1,Link
l,Bluetooth_Packet p){ //gia lhps h apo ton BS
int j;
if(p.type.equals("data")){

```


ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

        if(Simulation.scenario==0){
            u1.blth_packets++;
            System.out.println("Bluetooth packet
with SN=" + p.sequence_number+" received by user "+ u1.Uid+" apo ton
xrhsth"+u2.Uid);
                for(i=0;i<p.pdus.length;i++){
                    u1.userbuffer.add(p.pdus[i]);
                    //ta pdus pou periexei to
paketo bluetooth ta vazw ston userbuffer.
                    u1.no_of_blth_packets++;
                }
                if(u2.transmission_buffer2.size(>0){
                    for
(j=0;j<u2.transmission_buffer2.size();j++){
                        if(p==u2.transmission_buffer2.get(j)){
                            u2.transmission_buffer2.remove(j);
                            //to vgazw kai apo ton tranmittion buffer
                                }
                            }
                            Bluetooth_Packet ack=new
Bluetooth_Packet(u1,p.sequence_number,"ack"); //stelnw epivevaiwsh
ston BS
                            addACKtoBluetoothLink(u2,u1,l,ack);
                            if (u1.userbuffer.size()>=u1.fileSize
&& u1.file_ok == false ){
                                u1.endFileTransmissionTime = new Date();
                                u1.file_ok = true;
                                System.out.println("FILE OK tou xrhsth
"+u1.Uid);
                                // Utils.checkUsersAcks(u,l);
                                if ( Utils.checkFiles()==true && c1==false ){
                                    c1=true;
                                    Simulation.endSimulation();
                                }
                                //an ftasei edw teleiwise swsta
                                }
                                }
                            }
                            else if(Simulation.scenario==1){

```

```

                System.out.println("Bluetooth packet
with SN=" + p.sequence_number+" received by user "+ u2.Uid+" apo ton
xrhsth"+u1.Uid);
                    u2.blth_packets++;
                    for(i=0;i<p.pdus.length;i++){
                        //if(p.pdus[i]!=null &&
i<p.pdus.length){
                            u2.userbuffer.add(p.pdus[i]);
                            //ta pdus pou periexei to paketo bluetooth ta vazw ston
userbuffer.
                                u2.no_of_blth_packets++;
                            //}
                        }
                        if(u2.transmission_buffer2.size(>0){
                            for
(j=0;j<u2.transmission_buffer2.size();j++){
                                if(p==u2.transmission_buffer2.get(j)){
                                    u2.transmission_buffer2.remove(j);
                                    //to vgazw kai apo ton tranmittion buffer
                                        }
                                    }
                                    Bluetooth_Packet ack=new
Bluetooth_Packet(u1,p.sequence_number,"ack"); //stelnw epivevaiwsh
ston BS
                                    addACKtoBluetoothLink(u2,u1,l,ack);
                                    // check if all packets of the file have been
received
                                    //System.out.println(u.userbuffer.size() + " "
+u.fileSize);
                                    if (u2.userbuffer.size()>=u2.fileSize &&
u2.file_ok == false ){
                                        u2.endFileTransmissionTime = new Date();
                                        u2.file_ok = true;
                                        System.out.println("FILE OK tou xrhsth "+u1.Uid);
                                        if ( Utils.checkFiles()==true && c1==false ){
                                            c1=true;
                                            Simulation.endSimulation(); //an ftasei
edw teleiwise swsta
                                                }
                                            }
                                        }
                                    }
                                }
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```
    }
    }
    return;
}

//-----
scenario=1-----

public void ReadyToSend3(User u,Link l){ //erxetai
apo ton timer
    if(u.missedpdus.size()>0){

        addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.missedpdus.removeFirst());
        u.cng_wnd--;
    }
    for(i=0;i<=u.cng_wnd;i++){ //stelnw tosa pdus osa
        mou epitrepei to cng_wnd
        if(Simulation.IOT==true &&
Simulation.scenario==1 && u.bluetooth_type.equals("master") &&
u.file_ok==false) {
            if(u.pdupool.size() != 0 &&
u.file_ok==false ){

                u.addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.pdupool.removeLast());
                //ston user pou einai master katevazw prwta apo to telos
            }
            else if(u.pdupool.size() <= 0 &&
u.file_ok==false ){

                //System.out.println("u.pdupool.size() = 0 tou xrhsth "
+u.Uid); //ean den stalei ton vazw

                Utils.checkWhichPDUsAreMissing(u,l);
            }
            else if(Simulation.IOT==true &&
Simulation.scenario==1 && u.file_ok==false &&
(u.bluetooth_type.equals("slave") ||
u.bluetooth_type.equals("out"))){
                if(u.pdupool.size() != 0 &&
u.file_ok==false){

                    u.addpdutolink(Simulation.bs1,u,l,u.pdupool.removeFirst());
                }
            }
        }
    }
}
```

```
        else if(u.pdupool.size() <= 0 &&
u.file_ok==false ){

            //System.out.println("u.pdupool.size() = 0 tou xrhsth "
+u.Uid); //ean den stalei ton vazw

            Utils.checkWhichPDUsAreMissing(u,l);
        }
    }
    return;
}
public int prob () { //synarthsh gia thn
eyresh pithanothtas
    Random r=new Random();
    int rand=r.nextInt(10000);
    //dialegei tyxaio aritmo apo to 0 ews to 9999
    return rand;
}
}
```

Γ.4) Κλάση Link

```
import java.util.LinkedList;

public class Link {
    int transmitterid;
    int receiverid;
    int i=0;
    Frame[] frame=new Frame[72];
    Rat rat;
    int no_of_pdus=0;
    int no_of_packets2=0;
    RLC_PDUs p=new RLC_PDUs();

    //pinakas pou periexei ta paketa ths kathe zey3hs
    Bluetooth_Packet p2=new Bluetooth_Packet();
    LinkedList<RLC_PDUs> downlink = new LinkedList();
    //gia paketa pou
    vriskontai mesa sta links me ton BS
}
```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

        LinkedList<RLC_PDUs> downlink_queue = new LinkedList();
        //lista anamohns gia
        paketa sta links me ton BS(paketa pou den xwroun sthn zey3h)
        LinkedList<RLC_PDUs> uplink = new LinkedList();
        //gia paketa
        kataythanoun ston xrhsth
        LinkedList<RLC_PDUs> uplink_queue = new LinkedList();
        //gia paketa
        kataythanoun ston xrhsth
        LinkedList<Bluetooth_Packet> blth_downlink = new
        LinkedList(); //gia paketa pou
        vriskontai mesa sta bluetooth links
        LinkedList<Bluetooth_Packet> blth_downlink_queue = new
        LinkedList(); //gia paketa pou vriskontai mesa sta
        bluetooth links
        LinkedList<Bluetooth_Packet> blth_uplink = new LinkedList();
        //gia paketa pou vriskontai
        mesa sta links
        LinkedList<Bluetooth_Packet> blth_uplink_queue = new
        LinkedList(); //gia paketa pou vriskontai
        mesa sta links
        public Link (BaseStation b,User u,int tid, int rid, Rat r){
            transmitterid= tid;
            receiverid= rid;
            rat= r;
        }
        public Link (User u1,User u2,int tid, int rid, Rat r){
            transmitterid= tid;
            receiverid= rid;
            rat= r;
        }
        public void removepacket1(BaseStation b,User u,Link
        l,RLC_PDUs pack){
            u.receivepacket(b,u,l,pack); //pare to
            paketo kai valto sthn packetpool toy user
            //System.out.println("pdu "+ i+" removed tou xrhsth"+
            u.Uid);
            return;
        }
        public void removepacket2(User u2,User u1,Link
        l,Bluetooth_Packet pack){
            u1.receivepacket2(u2,u1,l,pack);
            //pare to paketo kai valto sthn packetpool toy user
            //System.out.println("pdu "+ i+" removed tou xrhsth"+
            u.Uid);
    
```

```

        return;
    }
    public synchronized void decrease_ttl(BaseStation b,User
    u,Link l){ //kaleitai apo ton timer gia na meiwsei to ttl
        twn paketwn
        RLC_PDUs p2=new RLC_PDUs();
        if (l.downlink.size())>0 ){
            p2=l.downlink.getFirst();
            if(p2.userbelong.equals(u) ){
                removepacket1(b,p2.userbelong,l,p2);
                l.downlink.removeFirst();
            }
        }
        return;
    }
    public synchronized void decrease_ttl2(User u1,User u2,Link
    l){ //kaleitai apo ton timer gia na meiwsei to ttl twn
        paketwn bluetooth
        if(Simulation.scenario==0){
            if (l.blth_downlink.size())>0){
                if(l.blth_downlink.getFirst().userbelong.equals(u2)){
                    removepacket2(u2,u1,l,l.blth_downlink.removeFirst());
                }
            }
        }
        if(Simulation.scenario==1){
            if (l.blth_downlink.size())>0){
                removepacket2(l.blth_downlink.getFirst().usertosend,u1,l,l.bl
                th_downlink.removeFirst());
            }
        }
        return;
    }
}
    
```

Γ.5) Κλάση linkTimer

```

import java.awt.Toolkit;
import java.util.Timer;
import java.util.TimerTask;

/**
 * Simple demo that uses java.util.Timer to schedule a task to
 * execute once 5
 * seconds have passed.
 */
public class linkTimer {                               //h class gia tous
timers
    Toolkit toolkit;
    User user;
    User user2;
    BaseStation basestation;
    Link link;
    Timer[] user_timer=new Timer [Simulation.link_number];
        //gia to 3g na stelnei paketa
    Timer[] bs_timer=new Timer [Simulation.link_number];
        //gia to 3g na koitaei o bs gia ACK
    Timer[] ttl_timer=new Timer [Simulation.link_number];
        //gia to 3g na meiwnetai to ttl
    Timer[] ttl_timer3=new Timer [Simulation.link_number];
        //gia to 3g na meiwnetai to ttl
    Timer[] bluetooth_timer=new Timer [Simulation.link_number];
        //gia to bluetooth na stelnei paketa
    Timer[] ttl2_timer=new Timer [Simulation.link_number];
        //gia to bluetooth na meiwnei to ttl
    Timer[] ttl4_timer=new Timer [Simulation.link_number];
        //gia to bluetooth na meiwnei to ttl
    public linkTimer(){
    }
    public linkTimer(User u,Link l){
        user =u;
        link=l;
    }
    public linkTimer(BaseStation b,User u,Link l){
        user_timer[u.Uid] = new Timer();
        //neoi timer enas gia na eidopoiei tous users
        kai enas gia na meiwnei to ttl stis zey3eis
        bs_timer[u.Uid]=new Timer();
        ttl_timer[u.Uid]=new Timer();
        ttl_timer3[u.Uid]=new Timer();
        ttl_timer3[u.Uid]=new Timer();
        if(u.bluetooth_type.equals("master")){
            user_timer[u.Uid].schedule(new NotifyUser2(u,l), u.Uid
,10); //primodotw ton master me ligo ypsiloterh taxytha apo
tous upoloipous
            bs_timer[u.Uid].schedule(new NotifyBS(b,u,l), u.Uid
,2);
            ttl_timer[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l), u.Uid
,2);
            ttl_timer3[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l),
u.Uid+10 ,3); //aytos arxizei meta apo timeslot sec kai meiwnei to
ttl tw n paketwn kathe timslot..idios gia olous)
        }
        else if(u.bluetooth_type.equals("slave")){
            user_timer[u.Uid].scheduleAtFixedRate(new
NotifyUser2(u,l), u.Uid*1 ,10);
            bs_timer[u.Uid].schedule(new NotifyBS(b,u,l), u.Uid
,3);
            ttl_timer[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l),
u.Uid ,4);
            ttl_timer3[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l),
u.Uid+10 ,4); //aytos arxizei meta apo timeslot sec kai meiwnei to
ttl tw n paketwn kathe timslot..idios gia olous)
        }
        else if(u.bluetooth_type.equals("out")){
            user_timer[u.Uid].scheduleAtFixedRate(new
NotifyUser2(u,l), u.Uid*1 ,10);
            bs_timer[u.Uid].schedule(new NotifyBS(b,u,l), u.Uid
,3);
            ttl_timer[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l),
u.Uid ,4);
            ttl_timer3[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l),
u.Uid+10 ,5); //aytos arxizei meta apo timeslot sec kai meiwnei to
ttl tw n paketwn kathe timslot..idios gia olous)
        }
    }
    public linkTimer(BaseStation b,User u,Link l,int timeslot) {
        user_timer[u.Uid] = new Timer();
        //neoi timer enas gia na eidopoiei tous users
        kai enas gia na meiwnei to ttl stis zey3eis
        bs_timer[u.Uid]=new Timer();
        ttl_timer[u.Uid]=new Timer();
        ttl_timer3[u.Uid]=new Timer();
    }
}

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

        user_timer[u.Uid].schedule(new NotifyUser(u,l), 0
,10*timeslot); //ean einai o prwtos arxizei meta apo
10*timeslot kai epanalamvenetai kathe 10*timeslot
        bs_timer[u.Uid].schedule(new NotifyBS(b,u,l), u.Uid+5
,5*timeslot); //aytos arxizei meta apo 10*timeslot sec kai eidopoeiei
ton BS kathe 10*timeslot
        ttl_timer[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l), u.Uid+5
,4*timeslot); //aytos arxizei meta apo timeslot sec kai meiwnei to
ttl tw n paketwn kathe timslot..idios gia olous)
        ttl_timer3[u.Uid].schedule(new DecreaseTTL(u,l), u.Uid+10
,3*timeslot); //aytos arxizei meta apo timeslot sec kai meiwnei to
ttl tw n paketwn kathe timslot..idios gia olous)
    }
    public linkTimer(User u1,User u2,Link l,int timeslot) {
        bluetooth_timer[u2.Uid]= new Timer();
        ttl2_timer[u2.Uid]=new Timer();
        ttl4_timer[u2.Uid]=new Timer();
        bluetooth_timer[u2.Uid].schedule(new
NotifyUserForBluetooth(u1,u2,l), 0, timeslot-1); //gia na stelnei
arxeia bluetooth kathe 4 msec
        ttl2_timer[u2.Uid].schedule(new DecreaseTTL2(u1,u2,l), 0
,1);
        ttl4_timer[u2.Uid].schedule(new DecreaseTTL2(u1,u2,l), 0
,1);
    }
    class NotifyUser extends TimerTask {
        NotifyUser(User u,Link l){
            user=u;
            link=l;
        }
        public void run() {
            user.ReadyToSend(user,link);
            //eidopoeiei ton user
            if (user.file_ok==true){
                user_timer[user.Uid].cancel();
                ttl_timer[user.Uid].cancel();
                ttl_timer3[user.Uid].cancel();
            }
        }
    }
    class NotifyUser2 extends TimerTask {
        NotifyUser2(User u,Link l){
            user=u;
            link=l;
        }
    }

```

```

        public void run() {
            if (user.file_ok==true){
                user_timer[user.Uid].cancel();
                ttl_timer[user.Uid].cancel();
                ttl_timer3[user.Uid].cancel();
            }
            user.ReadyToSend3(user,link);
            //eidopoeiei ton user
        }
    }
    class NotifyUserForBluetooth extends TimerTask {
        NotifyUserForBluetooth(User u1,User u2,Link l){
            user=u1;
            user2=u2;
            link=l;
        }
        public void run() {
            if(user2.file_ok==true){
                bluetooth_timer[user2.Uid].cancel();
            }
            user.ReadyToSend2(user2,user,link);
            //eidopoeiei ton user
        }
    }
    class NotifyBS extends TimerTask {
        NotifyBS(BaseStation b,User u,Link l){
            basestation=b;
            user=u;
            link=l;
        }
        public void run() {
            if(link.uplink.size(>0){
                basestation.look_for_ack(user,link);
            }
        }
    }
    class DecreaseTTL extends TimerTask { //meiwnei
to ttl
        DecreaseTTL(User u,Link l){
            user=u;
            link=l;
        }
        public void run(){
            if(link.downlink.size(>0){

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```
        link.decrease_ttl(Simulation.bs1, user, link);
        //meiwnei to ttl
    }
}
class DecreaseTTL2 extends TimerTask {           //antistoixh gia
to bluetooth
    DecreaseTTL2(User u1,User u2,Link l){
        user=u1;
        user2=u2;
        link=l;
    }
    public void run(){
        if(link.blth_downlink.size()>0){
            link.decrease_ttl2(user, user2, link);
        }
        //meiwnei to ttl
    }
}
}
```

Γ.6) Κλάση File

```
public class File {
    int Lsize;
    int Lpacketnumber;
    int fileid;
    boolean completed=false;

    public File (int s,int id){
        Lsize= s;
        Lpacketnumber=(int) s/1500 + 1;           //to
megethos wn paketwn einai 1500 bytes
        fileid=id;
    }
}
```

Γ.7) Κλάση Packet

```
public class Packet {
    int Lpacketsize;
    int Lpacketid;
    int filebelong;
    int pdunumber;
    int sequence_number;
    int pdunumber2;
    int i;
    String Uid;                               //unique id
    String tpe;
    public Packet (){
        Lpacketsize= 0;
        Lpacketid= 0;
        filebelong= 0;
    }
    public Packet (User u,int s,int k,File f,String tpe){
        Lpacketsize= s;
        sequence_number=k;
        filebelong= f.fileid;
        pdunumber=(int) ((s/RLC_PDUs.pdusize)+1);
        pdunumber2=pdunumber;
        tpe=tpe;
    }
    public Packet (User u,int s,int id,int k,File f,String tpe){
        Lpacketsize= s;
        Lpacketid= id;
        sequence_number=k;
        filebelong= f.fileid;
        pdunumber=(int) ((s/RLC_PDUs.pdusize)+1);
        pdunumber2=pdunumber;
        Uid="U"+u.Uid+"P"+id;
        tpe=tpe;
    }
    public Packet (int s,int id,int fid,String tpe){
        Lpacketsize= s;
        Lpacketid= id;
        pdunumber=(int) ((s/RLC_PDUs.pdusize)+1);
        filebelong= fid;
        tpe=tpe;
    }
}
```

Γ.8) Κλάση RLC_PDUs

```

public class RLC_PDUs {
    User userbelong;
    Link linkbelong;
    Packet packetbelongto;
    int sequence_number;

    //ο αριθμος του pdu στο
    idio paketo IP
    int total_number;

    //ο αριθμος του
    paketou...akoulithiaka anevainei
    static int pduSize=40;

    //to megethos twv PDUs
    se bytes
    int timetolive=2;
    String Uid;
    String type;
    boolean iot_pdu=false;
    public RLC_PDUs(){

    }
    public RLC_PDUs(String a){
        type=a;
    }
    public RLC_PDUs(User u,Link l,Packet k,int num){
        userbelong=u;
        linkbelong=l;
        packetbelongto=k;
        total_number=num;
        type="data";
    }
    public RLC_PDUs(User u,Link l,Packet k,int id,int num){
        userbelong=u;
        linkbelong=l;
        packetbelongto=k;
        sequence_number=id;
        total_number=num;
        Uid="U"+u.Uid+"P"+k.Lpacketid+"_"+id;
        type="data";
    }
    public RLC_PDUs(User u,Packet k,int id,int num,String a){
        userbelong=u;
        packetbelongto=k;

```

```

        sequence_number=id;
        total_number=num;
        type=a;
    }
}

```

Γ.9) Κλάση Bluetooth_Packet

```

public class Bluetooth_Packet {
    User userbelong;
    User usertosend;
    Link linkbelong;
    int sequence_number;
    static int packetsize=359;
    //9 bytes(72 bits) access code,54 bits baseband/link
    header,0-2745 bits payload,359bytes synolo
    static int payload=343;
    //343 bytes ofelimo fortio
    static int no_of_pdus=payload/RLC_PDUs.pduSize;
    int no_of_pdus2=0;
    int pointer=0;
    int DH5=5;
    //katalamvanoun 5 slots
    int timetolive=3;
    RLC_PDUs[] pdus=new RLC_PDUs[no_of_pdus];
    String Uid;
    String type;
    public Bluetooth_Packet(){

    }
    public Bluetooth_Packet(String a){
        type=a;
    }
    public Bluetooth_Packet(User u,Link l,int id){
        userbelong=u;
        linkbelong=l;
        sequence_number=id;
        type="data";
    }
    public Bluetooth_Packet(User u1,User u2,Link l,int id){
        userbelong=u1;
        usertosend=u2;
        linkbelong=l;

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```
        sequence_number=id;
        type="data";
    }
    public Bluetooth_Packet(User u,int id,String a){
        userbelong=u;
        sequence_number=id;
        type=a;
    }
}
```

Γ.10) Κλάση Rat

```
public class Rat {
    //bluetooth h umts
    String name;
    int kbps;
    //rythmos metadoshs se kbps
    int packetlossrate;
    //rythmos lathwn epi tois 100
    int BDP=7200;
    //bandwidth*delay(rtt) product se bytes,meta apo ayto o
    rythmos dedomenwn einai statheros
    int RTT=150;
    //round trip time 150 ms
    public Rat (String n,int m, int p){
        name=n;
        //apla ena onoma p.x. wlan,bluetooth
        kbps= m;
        packetlossrate= p;
    }
}
```

Γ.11) Κλάση Utils

```
import java.awt.List;
import java.util.Iterator;
import java.util.LinkedList;
```

```
public class Utils {
    public Utils(){
    }
    public static void checkWhichPDUsAreMissing(User u,Link l){
        if(Simulation.scenario==0 && Simulation.IOT==true &&
u.Uid==0){
            for(int
i=u.Uid*(Simulation.u[0].no_of_pdus);i<(u.Uid+1)*(Simulation.u[0].no
_of_pdus);i++){
                if (listContainsPacket(u.userbuffer, i)
== false){
                    System.out.println("PDU with id
" +i +" not found for user " +u.Uid);
                    for (int
j=0;j<u.pdupool2.size();j++){
                        if(u.pdupool2.get(j).total_number==i){
                            u.pdupool.add(u.pdupool2.get(j));
                            System.out.println("Resending...");
                        }
                    }
                }
            }
            if(l.downlink.size(>0){
                return;
            }
            for(int
i=u.Uid*(Simulation.u[0].no_of_pdus);i<(u.Uid+1)*(Simulation.u[0].no
_of_pdus);i++){
                if (listContainsPacket(u.userbuffer, i) ==
false){
                    System.out.println("PDU with id " +i +"
not found for user " +u.Uid);
                    for (int j=0;j<u.pdupool2.size();j++){
                        if(u.pdupool2.get(j).total_number==i){
                            u.pdupool.add(u.pdupool2.get(j));
                            System.out.println("Resending...");
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```


ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

        }
    }
    return;
}
public static boolean
listContainsPacket(LinkedList<RLC_PDUs> list, int packetId){
    Iterator<RLC_PDUs> it = list.listIterator();
    RLC_PDUs el;
    while (it.hasNext()){
        el = it.next();
        if (el.total_number == packetId){
            return true;
        }
    }
    return false;
}
public static boolean checkACKs(){ //elegxw
an exei teleiwsei to simulation
    int i,j=0;
    for(i=0;i<Simulation.link_number;i++){
        j+=Simulation.u[i].ackpool.size();
    }
    if(j==Simulation.total_no_of_pdus) return true;
    return false;
}
public static boolean checkFiles(){ //elegxw
an exei teleiwsei to simulation
    int i,j=0;
    if(Simulation.IOT==false){
        for(i=0;i<Simulation.link_number;i++){
            if(Simulation.u[i].file_ok==true){
                j++;
            }
        }
        if(j==Simulation.link_number) return true;
        return false;
    }
    else if(Simulation.IOT==true){
        for(i=0;i<Simulation.link_number;i++){
            if(Simulation.u[i].file_ok==true){
                j++;
            }
        }
        if(j==Simulation.link_number) return true;
        return false;
    }
}

```

```

    }return false;
}
public static void checkUsersAcks(User u,Link l){
//elegxw an exoun ftasei oles oi epivevawseis
    int i;
    //Simulation.waiting(1000);
    for(i=0;i<u.no_of_acks;i++){
        if(listContainsPacket(u.ackpool,i)==false){
            for(int j=0;j<u.ackpool2.size();j++){
                if(u.ackpool2.get(j).total_number==i){
                    u.addACKtolink(Simulation.bs1,u,l,u.ackpool2.remove(j));
                }
            }
        }
    }
}
public boolean checkIfRetransmittedPacketsAreStored(User u){
    boolean allFound = true;
    Iterator<RLC_PDUs> it = u.missedpdus.listIterator();
    RLC_PDUs el;
    while (it.hasNext()){
        el = it.next();
        int packetId = el.total_number;
        //if (listContainsPacket(u.userbuffer,
packetId) == false){
            allFound = false;
        }
    }
    return allFound;
}
public void printIdsOfAllPDUs(User u){
    Iterator<RLC_PDUs> it = u.userbuffer.listIterator();
    RLC_PDUs el;
    while (it.hasNext()){
        el = it.next();
        System.out.println(el.sequence_number);
    }
}
}
}

```

Γ.12) Κλάση Statistics

```

import java.util.Date;

public class Statistics {
    public void showStatistics(int link_number){
        Utils util = new Utils();
        //System.out.println(" UTIL : "
+util.checkIfRetransmittedPacketsAreStored(Simulation.u[0]));

        //util.checkWhichPDUsAreMissing(Simulation.u[0],Simulation.l[
0]);

        //util.printIdsOfAllPDUs(Simulation.u[0]);
        System.out.println("\n\n-----");
        System.out.println("          STATISTICS ");
        System.out.println("-----");
        System.out.println("----- Retransmitted PDUs per user
-----");

        for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){
            System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid
+" : " +Simulation.u[i].retr);
        }
        System.out.println("----- File transmission duration
(in milliseconds)-----");
        for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){

            //System.out.println(Simulation.u[i].endFileTransmissionTime)
;

            //System.out.println(Simulation.u[i].startFileTransmissionTim
e);

            System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid
+" : " +
getDuration(Simulation.u[i].endFileTransmissionTime,Simulation.u[i].
startFileTransmissionTime));
        }
        System.out.println("Average Duration: "
+calculateAverageDuration());
        System.out.println("Average Duration IOT: "
+calculateAverageDurationIOT());
        System.out.println("----- Average net download speed
(kbps) (only file size considered) -----");
        for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){

```

```

            System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid
+" : " +calculateNetSpeed(Simulation.u[i]));
        }
        System.out.println("----- Average download speed
(kbps) (all transmitted info considered) -----");
        for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){
            System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid
+" : " +calculateSpeed(Simulation.u[i]));
        }
        System.out.println("Average speed: "
+calculateAverageSpeed());
        if (Simulation.IOT == false){
            System.out.println("----- Energy (j) (all
transmitted info considered) -----");
            for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){
                System.out.println("User
"+Simulation.u[i].Uid + " : 3G Energy"
+calculateUmtsEnergy(Simulation.u[i]));
            }
            System.out.println("Average Energy: "
+calculateAverageEnergy());
        }
        if (Simulation.IOT == true){
            System.out.println("----- Bluetooth transfer
percentage -----");
            if(Simulation.scenario==0){
                System.out.println("User
"+Simulation.u[0].Uid + " : " + " Packets transfered with 3G "+(10-
Simulation.bluetooth_connections)*10+"% and " + " packets transfered
with Bluetooth "+RoundNum(Simulation.bluetooth_connections*10)+"%");
            }
            if(Simulation.scenario==1){
                for (int i=1; i<Simulation.link_number;
i++){

                    if(Simulation.blth_connection_exists(i)==true){

                        computeBluetoothPerc(Simulation.u[i]);
                    }
                    else{
                        System.out.println("User
"+Simulation.u[i].Uid + " : Packets transfered with 3G 100% and
packets transfered with Bluetooth 0%");
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```
    }
    System.out.println("----- Energy -----");
    if(Simulation.scenario==0){
        for (int i=1; i<Simulation.link_number;
i++){

        if(Simulation.blth_connection_exists(i)==true){
            if
(Simulation.u[i].srl_type.equals("type 1")){
                // distance<5

                System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid +" : Total
Energy="
+(calculateUmtsEnergy(Simulation.u[i])+calculateBluetoothEnergy1(Sim
ulation.u[i]))+"J");
            }
            else
if(Simulation.u[i].srl_type.equals("type 0")){
                // 5<distance<10

                System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid +" : Total
Energy="
+(calculateUmtsEnergy(Simulation.u[i])+calculateBluetoothEnergy2(Sim
ulation.u[i]))+"J");
            }
        }
        else{
            System.out.println("User
"+Simulation.u[i].Uid +" : Total Energy="
+calculateUmtsEnergy(Simulation.u[i])+"J");
        }
    }
    System.out.println("Master:User 0 :
Total Energy="
+(calculateUmtsEnergy(Simulation.u[0])+Simulation.u[0].master_energy
)+"J");
    System.out.println("Average Energy: "
+calculateAverageEnergy());
}
if(Simulation.scenario==1){
    for (int i=1; i<Simulation.link_number;
i++){

        if(Simulation.blth_connection_exists(i)==true){

if
(Simulation.u[i].srl_type.equals("type 1")){
                // distance<5

                System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid +" : Total
Energy="
+(calculateUmtsEnergy(Simulation.u[i])+calculateBluetoothEnergy1(Sim
ulation.u[i]))+"J");
            }
            else
if(Simulation.u[i].srl_type.equals("type 0")){
                // 5<distance<10

                System.out.println("User "+Simulation.u[i].Uid +" : Total
Energy="
+(calculateUmtsEnergy(Simulation.u[i])+calculateBluetoothEnergy2(Sim
ulation.u[i]))+"J");
            }
        }
        else{
            System.out.println("User
"+Simulation.u[i].Uid +" : Total Energy="
+calculateUmtsEnergy(Simulation.u[i]))+"J");
        }
    }
    System.out.println("Master:User 0 :
Total Energy="
+(calculateUmtsEnergy(Simulation.u[0])+RoundNum(Simulation.u[0].mast
er_energy)+"J");
    System.out.println("Average Energy: "
+calculateAverageEnergy());
}
}

public double getDuration(Date date1, Date date2){
    if (date1 == null || date2 == null) return 0;
    return (date1.getTime() - date2.getTime());
}

public double calculateNetSpeed(User u){
    int size = Simulation.f.Lsize;
    double duration =
getDuration(u.endFileTransmissionTime,u.startFileTransmissionTime);
    // size --> bytes
    // duration --> milliseconds
}
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

```

// speed --> kbps
return RoundNum((size * 8) / duration);
}
public double calculateSpeed(User u){
int size = u.no_of_pdus*40;
double duration =
getDuration(u.endFileTransmissionTime,u.startFileTransmissionTime);
// size --> bytes
// duration --> milliseconds
// speed --> kbps
return RoundNum((size * 8) / duration);
}
public double calculateAverageDuration(){
double duration=0;
for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){
duration +=
getDuration(Simulation.u[i].endFileTransmissionTime,Simulation.u[i].
startFileTransmissionTime);
}
return RoundNum(duration/Simulation.link_number);
}
public double calculateAverageDurationIOT(){
double duration=0;
for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){
if(Simulation.blth_connection_exists(i) &&
i!=0){
duration +=
getDuration(Simulation.u[i].endFileTransmissionTime,Simulation.u[i].
startFileTransmissionTime);
}
}
return
RoundNum(duration/Simulation.bluetooth_connections);
}
public double calculateAverageSpeed(){
double j=0;
for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){
j += calculateSpeed(Simulation.u[i]);
}
return RoundNum(j/Simulation.link_number);
}
public double calculateUmtsEnergy(User u){ //Umts
energy=0.0044J/Kbit h 0.001408J/pdu
double energy=0;
if(Simulation.scenario==1 && Simulation.IOT==true ){

```

```

energy=((double)u.no_of_pdus-
u.no_of_blth_packets)*0.001408;
u.total_energy+= energy;
}
else if(Simulation.IOT==false){
energy=(double) (u.no_of_pdus)*0.001408;
u.total_energy+= energy;
}
else if((Simulation.scenario==0 &&
Simulation.IOT==true)){
if(Simulation.blth_connection_exists(u.Uid)==true){
if(u.bluetooth_type.equals("slave")){
energy=(double) (u.no_of_pdus+u.no_of_pdus_IOT2)*0.001408;
u.total_energy+= energy;
}
else
if(u.bluetooth_type.equals("master")){
energy=(double) (u.no_of_pdus-
10)*0.001408;
u.total_energy+= energy;
}
}
else {
energy=(double) (u.no_of_pdus)*0.001408;
u.total_energy+= energy;
}
}
return RoundNum(energy);
}
public double calculateAverageEnergy(){ //Umts
energy=0.0044J/Kbit h 0.001408J/pdu
double j=0;
for (int i=0; i<Simulation.link_number; i++){
j += Simulation.u[i].total_energy;
}
return RoundNum(j/Simulation.link_number);
}
public double calculateBluetoothEnergy1(User u){
double energy=0;
if(u.bluetooth_type.equals("master") ){
//bluetooth energy=0.001J/Kbit h 0.0028J/bluetooth
packet afou packetsize=359 bytes
energy=0.0028*u.blth_packets;

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```

        u.total_energy+= energy;
    }
    else if(u.bluetooth_type.equals("slave")){
        //bluetooth energy=0.0008J/Kbit h 0.00224J/bluetooth
        packet afou packetsize=359 bytes
        energy=0.00224*u.blth_packets;
        u.total_energy+= energy;

        Simulation.u[0].master_energy+=0.0028*u.blth_packets;
        Simulation.u[0].total_energy+=
0.0028*u.blth_packets;
    }
    return RoundNum(energy);
}

public double calculateBluetoothEnergy2(User u){
    double energy=0;
    if(u.bluetooth_type.equals("master")){
        //bluetooth energy=0.00002*Dist+0.0009/Kbit h
(0.00002*Dist+0.0009)*2.805/bluetooth packet

        energy=(0.00002*Simulation.DistancefromNode(Simulation.u[0],
u)+0.0009)*2.805*u.blth_packets;
        u.total_energy+= energy;
    }
    else if(u.bluetooth_type.equals("slave")){
        //bluetooth energy=0.0008J/Kbit h 0.00224J/bluetooth
        packet afou packetsize=359 bytes

        energy=(0.00002*Simulation.DistancefromNode(Simulation.u[0],
u)+0.0007)*2.8054*u.blth_packets;;
        u.total_energy+= energy;

        Simulation.u[0].master_energy+=(0.00002*Simulation.Distancefr
omNode(Simulation.u[0], u)+0.0009)*2.805*u.blth_packets;
        Simulation.u[0].total_energy+=
(0.00002*Simulation.DistancefromNode(Simulation.u[0],
u)+0.0009)*2.805*u.blth_packets;
    }
    return RoundNum(energy);
}

public double RoundNum(double num){
    double ltemp = java.lang.Math.round(1000*num);
    ltemp = ltemp/1000;
    return ltemp;
}

public void computeBluetoothPerc(User u){
    System.out.println("User "+u.Uid+" : " + " Packets
transferred with 3G "+RoundNum(((double)u.no_of_pdus-
u.no_of_blth_packets)/(double)u.no_of_pdus)*100+ "% and " + "
packets transferred with Bluetooth
"+RoundNum((u.no_of_blth_packets/(double)u.no_of_pdus)*100)+"%");
}
}

```