



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Βέλτιστη Κατανομή Ισχύος και Φάσματος Ζεύξης Ανόδου Ασύρματων Δικτύων για Μηχανής προς Μηχανή Επικοινωνίες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΚΟΥΤΣΑΦΤΗ Γ. ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

Επιβλέπων : Συμεών Χ. Παπαβασιλείου
Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Βέλτιστη Κατανομή Ισχύος και Φάσματος Ζεύξης Ανόδου Ασύρματων Δικτύων για Μηχανής προς Μηχανή Επικοινωνίες

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΚΟΥΤΣΑΦΤΗ Γ. ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ**

Επιβλέπων : Συμεών Χ. Παπαβασιλείου
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....
Συμεών Παπαβασιλείου

.....
Θεοδώρα Βαρβαρίγου

.....
Ιωάννα Ρουσσάκη

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

.....

Κουτσάφτης Αθανάσιος-Παναγιώτης

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

Copyright © Κουτσάφτης Αθανάσιος-Παναγιώτης, 2015.

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.

Περίληψη

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη και ανάλυση της βέλτιστης κατανομής ισχύος και φάσματος στη ζεύξη ανόδου ασύρματων κυψελωτών δικτύων με υποστήριξη Μηχανής προς Μηχανή (Machine-to-Machine - M2M) Επικοινωνίας και χρήση τεχνολογίας ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access - OFDMA). Τα δίκτυα αυτά, εκτός από την επικοινωνία μεταξύ μηχανών, υποστηρίζουν κυψελωτούς χρήστες, οι οποίοι αιτούνται υπηρεσίες πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου. Οι M2M επικοινωνίες ασχολούνται με τη σύνδεση συσκευών/μηχανών με τρόπο τέτοιο ώστε να επιτρέπουν μερικώς την πραγματοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT). Με τις M2M επικοινωνίες, οι μηχανές "μιλούν" μεταξύ τους μέσω ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων και μοιράζονται δεδομένα χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση. Προβλέπεται από πολλές ερευνητικές εργασίες, ότι οι επικοινωνίες αυτές θα διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην εξέλιξη των υπάρχοντων ασύρματων δικτύων. Γίνεται, επομένως, εύκολα αντιληπτή η ανάγκη ανάπτυξης τρόπων βέλτιστης κατανομής πόρων στα δίκτυα με γνώμονα την ομαλή συνύπαρξη των ήδη υπάρχουσών ανθρώπινων (Human to Human - H2H) επικοινωνιών με τις M2M επικοινωνίες.

Η αποδοτική κατανομή των πόρων στις μηχανές προϋποθέτει την ύπαρξη των συντονιστών. Οι συντονιστές είναι μηχανές που αναλαμβάνουν τη μετάδοση των δεδομένων από τις υπόλοιπες μηχανές της ομάδας τους προς το σταθμό βάσης του κυψελωτού δικτύου. Συνεπώς, ένα ζωτικής σημασίας ζήτημα είναι η επιλογή των συντονιστών ομάδων και η ομαδοποίηση των μηχανών. Στη διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη η χρήση της έννοιας του κέρδους διαδρομής, η οποία είναι μία ποσότητα που φθίνει, καθώς αυξάνεται η απόσταση από το επιλεγμένο σημείο αναφοράς. Αρχικά, συντονιστές διορίζονται οι μηχανές που έχουν το μεγαλύτερο κέρδος διαδρομής ως προς το σταθμό βάσης. Στη συνέχεια, κάθε μηχανή ανατίθεται στο συντονιστή ως προς τον οποίο παρουσιάζει μέγιστο κέρδος διαδρομής. Έτσι, οι μηχανές του δικτύου στέλνουν πλέον τα δεδομένα στον υπεύθυνο συντονιστή, ο οποίος με τη σειρά του, τα αποστέλλει στο Σταθμό Βάσης.

Μετά την ομαδοποίηση των μηχανών, πραγματοποιείται η κατανομή πόρων στο δίκτυο, δηλαδή η κατανομή ισχύος και υποφέρουσων. Για την κατανομή υποφέρουσων, έχει ιδιαίτερη σημασία το είδος διαλείψεων που αντιμετωπίζει ο δίαυλος. Διακρίνουμε δύο βασικές περιπτώσεις, τις επίπεδες διαλείψεις και τις επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις. Σε κάθε περίπτωση, η ανάθεση των υποφέρουσων πετυχαίνεται μέσω της μεγιστοποίησης της συνάρτησης ευχαρίστησης του κάθε χρήστη. Η συνάρτηση αυτή, χρησιμοποιείται κυρίως στην Οικονομική Επιστήμη, αλλά είναι αρκετά δημοφιλής και σε τηλεπικοινωνιακής φύσης εφαρμογές, καθώς αντικατοπτρίζει το βαθμό ικανοποίησης των χρηστών ανάλογα με τη χρήση των πόρων του δικτύου και την ποιότητα των υπηρεσιών που τους παρέχονται. Ανάλογα, λοιπόν, με το ποιες υποφέρουσες ανατίθενται σε ποιο χρήστη, υπολογίζεται και η ισχύς εκπομπής κάθε χρήστη, καθώς και ο ρυθμός μετάδοσης. Παράλληλα με τη θεωρητική μοντελοποίηση των παραπάνω, πραγματοποιείται ένα σύνολο προσομοιώσεων, όπου παρατηρείται η συμπεριφορά των χρηστών του συστήματος ανάλογα με τη μεταβολή κρίσιμων παραμέτρων, όπως ο αριθμός των συντονιστών ομάδας και ο αριθμός των χρηστών με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου.

Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται μια επέκταση του παραπάνω αλγορίθμου, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η διαθέσιμη ενέργεια κάθε μηχανής του συστήματος. Μελετάται η εξέλιξη του συστήματος στο χρόνο, και πως η ελάττωση της διαθέσιμης ενέργειας επηρεάζει αρνητικά το σύστημα. Προτείνεται ένας αλγόριθμος δυναμικού διορισμού συντονιστών, ο οποίος πετυχαίνει την αύξηση του χρόνου λειτουργίας των μηχανών του δικτύου μέσω εναλλαγής των μηχανών που δρουν ως συντονιστές.

Λέξεις Κλειδιά: M2M, χρήστης-μηχανή, συντονιστής ομάδας μηχανών, κατανομή πόρων, συνάρτηση ευχαρίστησης.

Abstract

The main objective of this thesis is the study and analysis of the optimal resource allocation (i.e. power and resource blocks) in the uplink of cellular OFDMA next generation wireless networks in Machine-to-Machine (Machine-To-Machine or simply M2M) Communications. These networks, in addition to communication between machines, support real and non-real time services. The M2M communications deal with the connection of devices in such a way as to partially allow the Internet of Things (IoT). With the M2M communications, devices "talk" to each other through wired or wireless connections and share data without direct human intervention. It is believed that these communications will play an important role in the evolution of existing wireless networks. It is therefore easy to understand the need to develop ways of optimal resource allocation in networks with a view to smooth coexistence of already existing H2H (Human-To-Human) communications with M2M communications.

Towards achieving an efficient resource allocation in M2M wireless networks, the concept of coordinators is introduced. Coordinators are machines that undertake the transmission of data from other machines of their group to the Base Station's cellular network. Therefore, a critical issue is the machine grouping and the coordinators selection. In this process, it is necessary to present the concept of path gain, which is a quantity that decreases as the user's distance from a reference point increases. To begin with, coordinators are appointed the machines which have the highest path gain with reference to the base station. Then each machine is assigned to the coordinator as to which has a maximum path gain. Thus, the network's machines send data to the responsible coordinator, who in turn, sends them to the Base Station.

After grouping the machines, the allocation of resources in the network, i.e. power and resource blocks, is accomplished. The fading type of our channel is particularly important in order to study the subcarriers' allocation. We distinguish two main cases, the flat fading channel and the frequency selective fading channel. In any case, the subcarrier allocation is achieved by maximizing the utility function of each user. This function is mainly used in Economics, but it is also quite popular in telecommunications' nature applications, as it reflects the users' satisfaction according to the use of network resources and the quality of services provided to them. Knowing which subcarrier is allocated to which user, we are able to calculate each user's transmission power and his corresponding transmission rate.

Alongside the theoretical modeling of the above, the performance of the proposed approach is evaluated via modeling and simulation, where we observe the behavior of the system's users when critical parameters alter, such as number of group coordinators and the number of users requesting real and non-real time services.

In addition to the above, an extension of the algorithm is presented in order to take into consideration the available energy of each machine of the system. We contemplate by the evolution of the system over time, and we observe that the reduction of the available energy adversely affects the system. A dynamic coordinator appointment algorithm is proposed, in which we achieve increased operating time of the M2M system through continuous coordinator alternation.

Keywords: "M2M, machine-user, machine group coordinator, resource allocation, utility function, efficiency "

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Συμεών Παπαβασιλείου, ο οποίος εμπιστεύθηκε στο πρόσωπό μου την ανάθεση ενός ιδιαίτερα ενδιαφέροντος επιστημονικού ζητήματος, παρέχοντας μου τη δυνατότητα να διευρύνω τους πνευματικούς μου ορίζοντες και να έρθω σε επαφή με άγνωστες προς εμένα πλευρές της επιστήμης των Δικτύων Επικοινωνίας.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη διδάκτορα Ε.Μ.Π. κ. Ειρήνη- Ελένη Τσιροπούλου, η οποία υπήρξε πολύτιμη συνεργάτης καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, παρέχοντάς μου τις γνώσεις και την υποστήριξή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία, όντας στο πλευρό μου, έχει στηρίξει την προσπάθειά μου όλα αυτά τα χρόνια .

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	16
1.1 Ιστορική Εξέλιξη Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών	17
1.2 Προς τα συστήματα 5G	18
1.3 Οι M2M επικοινωνίες στα 5G συστήματα	19
1.4 Σκοπός	21
1.5 Δομή του κειμένου	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	22
2.1 Διάκριση Υπηρεσιών για χρήστες στη Η2Η επικοινωνία	23
2.1.1 Υπηρεσίες Πραγματικού Χρόνου	23
2.1.2 Υπηρεσίες Μη Πραγματικού Χρόνου	23
2.2 Διαλείψεις (Fading)	24
2.3 Σχήματα Πολλαπλής Πρόσβασης	25
2.3.1 Εισαγωγή	25
2.3.2 Η τεχνική OFDM	26
2.3.3 Πολλαπλή Πρόσβαση με OFDM	26
2.4 Πολλαπλή Πρόσβαση με Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access- OFDMA)	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	30
3.1 Εισαγωγή στις M2M επικοινωνίες	31
3.2 M2M υπηρεσίες	33
3.2.1 Έξυπνη Μέτρηση – Smart Metering	33
3.2.2 Ιχνηλασία	34
3.2.3 Ασύρματα Συστήματα Πληρωμής	35
3.2.4 Υπηρεσίες ασφάλειας και απομακρυσμένου ελέγχου	36
3.2.5 Υπηρεσίες Υγείας	36
3.2.6 Δημόσια Ασφάλεια	37
3.2.7 Τομέας Καταναλωτών	37
3.3 Προκλήσεις	37
3.3.1 Προκλήσεις για την αγορά	37
3.3.2 Προκλήσεις για το δίκτυο	38
3.4 Δομή ενός M2M συστήματος	39
3.5 Αρχιτεκτονική Δικτύων στις M2M επικοινωνίες	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	46
	12

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.1 Κατανομή Πόρων σε M2M δίκτυα	47
4.1.1 Επιλογή Συντονιστή Ομάδας αποτελούμενη από MTCDs	47
4.2 Αλγόριθμοι Κατανομής Πόρων στο M2M δίκτυο	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	53
5.1 Συνύπαρξη Ανθρώπων και Μηχανών στο Δίκτυο	54
5.2 Χαρακτηριστικές Παράμετροι Δικτύου	54
5.2.1 Χαρακτηριστικά Μεγέθη των Χρηστών Δικτύου	55
5.3 Επιλογή Συντονιστών-Ομαδοποίηση Μηχανών	57
5.4 Κατανομή Πόρων στο Δίκτυο	57
5.4.1 Προτεραιότητα στην Ανάθεση Υποφέρουσων	58
5.4.2 Κατανομή Πόρων για χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου	58
5.4.3 Κατανομή Πόρων για χρήστες-μηχανές	60
5.5 Αλγόριθμος Κατανομής Πόρων	61
5.6 Κατανομή πόρων λαμβάνοντας υπόψη και την καταναλισκόμενη ενέργεια	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	65
6.1 Σενάριο Προσομοίωσης	66
6.2 Αριθμητικά Αποτελέσματα	69
6.2.1 Αποτελέσματα για σταθερό πλήθος χρηστών σε μία χρονοθυρίδα	69
6.2.2 Αποτελέσματα για μεταβλητό πλήθος συντονιστών σε μία χρονοθυρίδα	72
6.2.3 Αποτελέσματα για μεταβλητό πλήθος χρηστών με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού/μη πραγματικού χρόνου σε μία χρονοθυρίδα	74
6.2.4 Βέλτιστος αριθμός Συντονιστών	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	77
7.1 Επίλογος	78
Βιβλιογραφία	80

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ετερογενές 5G κυψελωτό δίκτυο Πολλαπλών βαθμίδων	20
Σχήμα 2: Χαρακτηριστικά διαύλου επίπεδων διαλείψεων	20
Σχήμα 3: Χαρακτηριστικά διαύλου διαλείψεων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα.....	20
Σχήμα 4 : Μορφή OFDM σήματος στο χρόνο και συχνότητα.....	26
Σχήμα 5 :Μορφή ενός OFDM-TDMA σήματος στο χρόνο και τη συχνότητα.....	27
Σχήμα 6 : Μορφή ενός OFDMA σήματος στο χρόνο και τη συχνότητα.....	28
Σχήμα 7 : Διαφορά στην κατανομή υποφέρουσων μεταξύ OFDM και OFDMA.....	28
Σχήμα 8: Υψηλού Επιπέδου Αρχιτεκτονική ενός M2M συστήματος	41
Σχήμα 9 : Δομή Cellular και Capillary M2M	42
Σχήμα 10 : Τρόποι δικτύωσης σε Κυψελωτό M2M δίκτυο (a) MTCD - eNB (b) MTCD – MTCG και MTCG-eNB (c) P2P μεταξύ των MTCDs	44
Σχήμα 11: Γνωστική MTCG που συνδέει κυψελωτές και τριχοειδείς επικοινωνίες.....	45
Σχήμα 12 : Κυψελωτό Δίκτυο με H2H και M2M χρήστες.....	55
Σχήμα 13: Οι χρήστες με απαίτηση RT(μπλε)/NRT(κόκκινο) υπηρεσιών.....	66
Σχήμα 14 : Οι χρήστες με απαίτηση RT(μπλε)/NRT(κόκκινο) υπηρεσιών και οι χρήστες-μηχανές (πράσινο)	67
Σχήμα 15 : Οι χρήστες με απαίτηση RT(μπλε)/NRT(κόκκινο) υπηρεσιών , οι χρήστες-μηχανές (πράσινο) και οι συντονιστές αυτών (μωβ).....	68
Σχήμα 16 : Οι χρήστες με απαίτηση RT(μπλε)/NRT(κόκκινο) υπηρεσιών , οι χρήστες-μηχανές (πράσινο) και οι συντονιστές αυτών (μωβ). Κυκλωμένοι (γαλάζιο) είναι οι χρήστες-μηχανές και ο συντονιστής που ανήκουν στην ίδια ομάδα	69
Σχήμα 17 : Μέσος αριθμός υποφέρουσων για κάθε είδος χρήστη	70
Σχήμα 18 : Μέση απόδοση για κάθε είδος χρήστη σε δίαυλο που υπόκειται σε επίπεδες διαλείψεις.....	71
Σχήμα 19 : Μέση απόδοση για κάθε είδος χρήστη σε δίαυλο που υπόκειται σε επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις.....	72
Σχήμα 20 : Μέση απόδοση για χρήστες-μηχανές συναρτήσει του πλήθους των συντονιστών σε δίαυλο που υπόκειται σε επίπεδες διαλείψεις	72
Σχήμα 21 : Μέση απόδοση για χρήστες-μηχανές συναρτήσει του πλήθους των συντονιστών σε δίαυλο που υπόκειται σε επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις	73

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σχήμα 22 : Μέση απόδοση για όλους τους χρήστες του συστήματός μας συναρτήσει του πλήθους των Η2Η χρηστών σε διάυλο που υπόκειται σε επίπεδες διαλείψεις.....	74
Σχήμα 23 : Μέση απόδοση για όλους τους χρήστες του συστήματός μας συναρτήσει του πλήθους των Η2Η χρηστών σε διάυλο που υπόκειται σε επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις.....	75
Σχήμα 24 : Διαθεσιμότητα χρηστών-μηχανών σε υποφέρουσες συναρτήσει του αριθμού χρηστών.....	76
Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά και τάσεις των M2M επικοινωνιών	19
Πίνακας 2 : Τύποι υπηρεσιών και αντίστοιχες MTC εφαρμογές	33
Πίνακας 3 : Χαρακτηριστικά μεγέθη των χρηστών του δικτύου μας.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Ιστορική Εξέλιξη Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών

Ο σύγχρονος κόσμος συρρικνώνεται λόγω της ανάπτυξης της επιστήμης και της τεχνολογίας. Κατά τη διάρκεια των ετών, η ασύρματη τηλεπικοινωνιακή αγορά έχει από καιρό αναγνωριστεί ως ένας από τους πιο δυναμικούς και ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς του παγκόσμιου κλάδου των τηλεπικοινωνιών.

Το ασύρματο σύστημα κινητής επικοινωνίας πρώτη γενιάς (1G) δεν είναι ψηφιακή τεχνολογία, αλλά αναλογικό κυψελοειδές σύστημα τηλεφωνίας το οποίο χρησιμοποιείται για την υπηρεσία φωνής μόνο κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980. Αυτό το Προηγμένου Κινητού Τηλεφώνου Σύστημα (Advanced Mobile Phone System-AMPS) ήταν διαμορφωμένης συχνότητας αναλογικό ραδιο-σύστημα κινητής επικοινωνίας χρησιμοποιώντας τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας (FDMA) με κανάλια των 30kHz καταλαμβάνοντας την 824MHz - 894MHz ζώνη συχνοτήτων. Το πρώτο εμπορικό κυψελοειδές σύστημα αναπτύχθηκε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990.

Τα δεύτερης γενιάς (2G) ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα. Συγκρίνοντας με την πρώτη γενιά, το ασύρματο σύστημα δεύτερης γενιάς χρησιμοποίησε ψηφιακό σύστημα διαμόρφωσης, όπως η τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access - TDMA) και πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access - CDMA). Με βάση τις δύο αυτές τεχνικές, υπήρχαν τρία κύρια κινητά 2G συστήματα επικοινωνίας. Είναι τα TDMA (IS-136), CDMA (IS-95), και GSM. Το TDMA (IS-136), ως ένα ψηφιακό σύστημα, αναπτύχθηκε στη Βόρεια Αμερική το 1993, αλλά λειτούργησε στη AMPS ζώνη συχνοτήτων των 824MHz - 894MHz. Τα CDMA (IS-95) όντας εξολοκλήρου ψηφιακά συστήματα, που χρησιμοποιούν Ευθείας Ακολουθίας Διαχωρισμό Φάσματος (Direct Sequence Spread Spectrum- DSSS) λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 1850-1990 MHz

Τα Τρίτης γενιάς (3G) ασύρματα συστήματα αποτελούν μια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός διεθνούς προτύπου για 3G κινητά, η οποία ελέγχεται μέσω της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecom Union - ITU), υπό την αιγίδα του προγράμματος IMT-2000. Παρουσίασε μεγάλη άνθηση στα τέλη του 2000 και παρέχει ταχύτητα μετάδοσης έως και 2Mbps. Οι Τρίτης γενιάς (3G) υπηρεσίες συνδυάζουν υψηλής ταχύτητας κινητή πρόσβαση με υπηρεσίες βασισμένες στο πρωτόκολλο του Διαδικτύου (Internet Protocol - IP). Εκτός από την ταχύτητα μετάδοσης, καινοτόμος βελτίωση έγινε και στην ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Services - QoS). Επιπλέον υπηρεσίες, όπως η περιαγωγή σε παγκόσμιο επίπεδο, η καλύτερη ποιότητα φωνής, και η μεγάλη κάλυψη κατέστησε τη 3G ως μια πολύ σημαντική γενιά ασύρματων συστημάτων.

Το 4G -σύντημηση για την τέταρτης γενιάς ασύρματη δικτύωση- είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επόμενη πλήρη εξέλιξη στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών. Τα 4G κινητά συστήματα επικοινωνιών αναμένεται να λύσουν τα εναπομείναντα προβλήματα των 3G συστημάτων και να παρέχουν ένα ευρύ φάσμα νέων υπηρεσιών, οι οποίες θα κυμαίνονται από υψηλής ποιότητας φωνής σε βίντεο υψηλής ευκρίνειας και σε υψηλής ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων. Ο όρος 4G χρησιμοποιείται ευρέως για να συμπεριλάβει διάφορους τύπους ευρυζωνικής πρόσβασης (broadband) συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας και όχι μόνο κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα. Ένας από τους όρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν το 4G είναι "MAGIC -

Mobile Multimedia Anytime Anywhere, Global mobility support, integrated wireless solution, and customized personal service”, δηλαδή «Κινητά πολυμέσα, οποτεδήποτε, οπουδήποτε, παγκόσμια υποστήριξη της κινητικότητας, ενσωματωμένη ασύρματη λύση, και προσαρμοσμένη προσωπική εξυπηρέτηση».

Το σχέδιο Μακροχρόνιας Εξέλιξης (Long Term Evolution – LTE), παρουσιάστηκε στο Εταιρισμικό Έργο 3ης Γενιάς κινητών επικοινωνιών (3rd generation partnership project – 3GPP) [1] και επικεντρώθηκε στην ενίσχυση της παγκόσμιας επίγειας ραδιοπρόσβασης (Universal Terrestrial Radio Access - UTRA) και τη βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής ραδιοπρόσβασης. Έτσι δικαιολογείται η επιπρόσθετη ονομασία Δίκτυο Παγκόσμιας Επίγειας Ραδιοπρόσβασης (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network - E-UTRAN). Οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη του LTE ήταν ποικίλοι [2] : 1) η ανάγκη για συνέχεια της ανταγωνιστικότητας του 3G συστήματος στο μέλλον, 2) η απαίτηση των χρηστών για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καλύτερης ποιότητας υπηρεσιών (Quality-of-Service), 3) συνεχόμενη ζήτηση για μείωση του κόστους των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και 4) χαμηλότερη πολυπλοκότητα και 5) επίτρεψη για λογική κατανάλωση ισχύος στα τερματικά.

1.2 Προς τα συστήματα 5G

Από την αναλογική μέχρι και το 4G-LTE, κάθε γενιά κινητής τεχνολογίας έχει κινητοποιηθεί από την ανάγκη να ικανοποιήσει μία απαίτηση που εντοπίζεται μεταξύ κάθε τεχνολογίας και της προκατόχου της. Για παράδειγμα, η μετάβαση από 2G σε 3G αναμενόταν να επιτρέψει πρόσβαση στο Διαδίκτυο από τις κινητές συσκευές των καταναλωτών, αλλά ενώ πράγματι πρόσθεσε συνδεσιμότητα δεδομένων, έπρεπε να έρθει το 3.5G ώστε να πραγματοποιηθεί ένα γιγαντιαίο άλμα όσον αφορά την εμπειρία των καταναλωτών, καθώς ο συνδυασμός των ευρυζωνικών δικτύων και των έξυπνων συσκευών (smartphones) επέφερε μία σημαντικά αναβαθμισμένη εμπειρία του χρήστη όσον αφορά την πλοήγηση στο Διαδίκτυο μέσω κινητού τηλεφώνου, κάτι που έχει τελικά οδηγήσει στην πραγματικότητα που βλέπουμε σήμερα.

Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, η μουσική και το βίντεο συνεχούς ροής, ο έλεγχος των οικιακών συσκευών από οπουδήποτε στον κόσμο είναι μερικά από τα τεράστια οφέλη που έχει επιφέρει η κινητή ευρυζωνική επικοινωνία και που έχουν αλλάξει ριζικά τις ζωές πολλών ανθρώπων.

Η μετάβαση από 3.5G στις υπηρεσίες 4G έχει προσφέρει στους χρήστες πρόσβαση σε σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων και χαμηλότερα ποσοστά λαθών, και ως εκ τούτου ο τρόπος που οι άνθρωποι έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο από κινητές συσκευές συνεχίζει να αλλάζει δραματικά. Η εκθετική ανάπτυξη των ασύρματων υπηρεσιών δεδομένων και των έξυπνων συσκευών έχει προκαλέσει την έρευνα για τα πέμπτης γενιάς (5G) κυψελωτά δίκτυα. Τα 5G κυψελωτά δίκτυα αναμένεται να παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, σημαντικά καλύτερη εμπειρία χρήστη και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Συνεπώς, θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξουν εφαρμογές πολυμέσων με ποικίλες απαιτήσεις.

Οι κύριες τεχνολογίες και προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων για τα συστήματα 5G μπορεί να ταξινομηθούν ως εξής :

- 1) πύκνωση των υπαρχόντων κυψελοειδών δικτύων με τη μαζική προσθήκη μικροκυψελών (microcells) και πρόβλεψη για διομότιμες επικοινωνίες

(Peer-to-Peer - P2P) π.χ. συσκευής προς συσκευή (Device-to-Device – D2D) και μηχανής προς μηχανή (Machine-to-Machine - M2M) επικοινωνία

- 2) ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη (π.χ., full-duplex - FD επικοινωνία)
- 3) μαζικές τεχνολογίες επικοινωνιών πολλαπλών εισόδων πολλαπλών-εξόδων (multiple input multiple output -MIMO) και χιλιοστών κύματος (mmwave)
- 4) βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιώντας ενεργειακά αποδοτικές επικοινωνίες βασισμένες σε cloud δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (C-RAN) και
- 5) εικονικοποίηση των ασύρματων πόρων

Στον πίνακα 1 φαίνονται συνοπτικά τα προβλεπόμενα χαρακτηριστικά και οι αντίστοιχες προτεινόμενες λύσεις για την ικανοποίηση των χαρακτηριστικών αυτών.

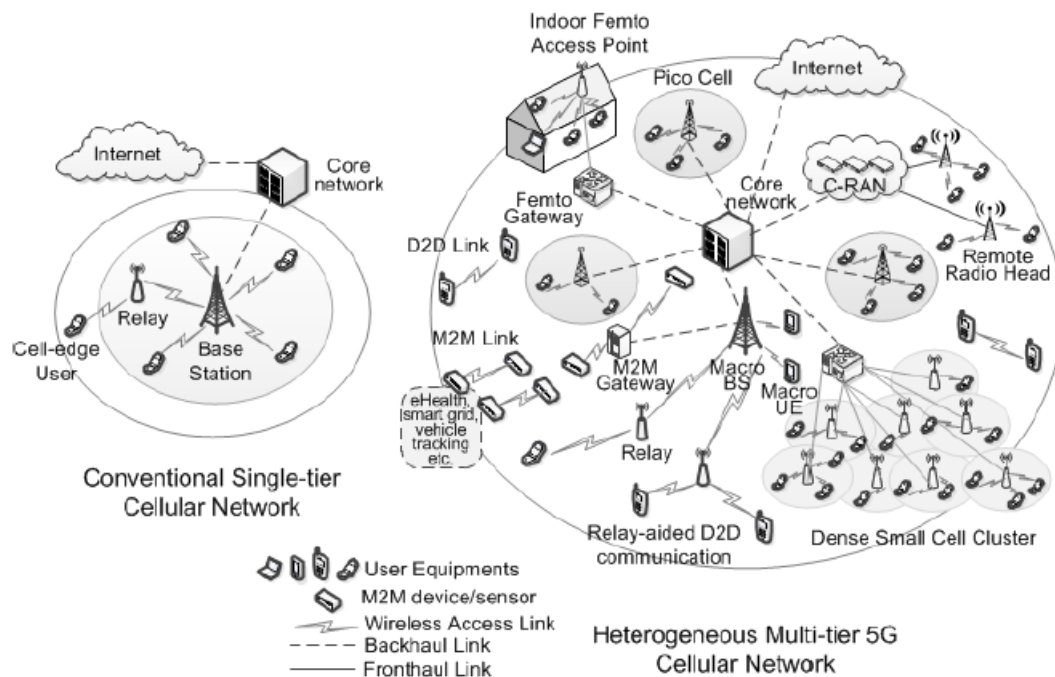
Προσδοκίες και Χαρακτηριστικά των 5G	Τάσεις/Προτεινόμενες λύσεις
Βελτίωση της χωρητικότητας και της απόδοσης, υψηλός ρυθμός δεδομένων (1000 φορές βελτίωση στην απόδοση σε σχέση με τα 4G δίκτυα)	Επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και χρήση διαφορετικού εύρους, πολυεπίπεδο δίκτυο, επικοινωνία από συσκευή προς συσκευή (Device-to-Device – D2D)
Μειωμένος λανθάνων χρόνος(2~5 msec)	Διπλής Όψης επικοινωνία(Full-Duplex communication), D2D επικοινωνία
Πυκνοποίηση δικτύου (x1000 περισσότερα κινητά δεδομένα, 100~10000x υψηλότερος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών)	Ετερογενές και Πολυεπίπεδο δίκτυο
Προηγμένες υπηρεσίες και εφαρμογές (π.χ. έξυπνη πόλη-smart city)	Οπτικοποίηση δικτύου,M2M επικοινωνία
Βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση	Ασύρματη φόρτιση, συγκομιδή(harvest) ενέργειας
Αυτόνομες εφαρμογές και διαχείριση δικτύου, Διαδίκτυο των Πραγμάτων	M2M επικοινωνία, αυτο-οργάνωτο και γνωστικό(cognitive) δίκτυο

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά και τάσεις των M2M επικοινωνιών

1.3 Οι M2M επικοινωνίες στα 5G συστήματα

Όπως φαίνεται στο Σχ.1, το 5G κυψελωτό δίκτυο θα είναι ένα ετερογενές δίκτυο πολλαπλών βαθμίδων (multi-tier heterogeneous network) που αποτελείται από μακροκυψέλες μαζί με ένα μεγάλο αριθμό κόμβων χαμηλής ισχύος, (μικρές κυψέλες, ηλεκτρονόμοι, απομακρυσμένες ραδιο-κεφαλές (Remote Radio Heads - RRs)), μαζί με την πρόβλεψη για P2P επικοινωνίες (όπως D2D και M2M). Η ανάπτυξη ετερογενών κόμβων σε συστήματα 5G θα έχουν σημαντικά μεγαλύτερη πυκνότητα από ό,τι τα σημερινά συμβατικά μιας βαθμίδας δίκτυα (π.χ., μακροκυψέλη). Η ετερογένεια των διαφόρων κατηγοριών σταθμών βάσης (Base Stations - BSs) π.χ. μακροκυψέλες και μικροκυψέλες, παρέχει ευέλικτη περιοχή κάλυψης και βελτιώνει τη φασματική απόδοση. Με τη μείωση του μεγέθους του κυττάρου, η αποτελεσματικότητα της φασματικής περιοχής βελτιώνεται μέσω της αυξημένης επαναχρησιμοποίησης φάσματος. Επιπλέον, η κάλυψη μπορεί να βελτιωθεί με την ανάπτυξη μικροκυψέλων σε κλειστούς χώρους, όπως το σπίτι, κτίρια γραφείων, δημόσια οχήματα κλπ.

Η ασύρματη P2P επικοινωνία (π.χ. D2D και M2M επικοινωνίες και αυτόνομοι αισθητήρες / ενεργοποιητές) βασισμένη σε κυψελωτή αρχιτεκτονική μπορεί να αυξήσει σημαντικά το συνολικό φάσμα και την ενεργειακή απόδοση του δικτύου. Επιπλέον, οι ελεγχόμενες από το δίκτυο επικοινωνίες σε συστήματα 5G θα επιτρέψει σε άλλους κόμβους, εκτός από την μακροκυψέλη BS, τον έλεγχο των επικοινωνιών μεταξύ των P2P κόμβων. Δεδομένου ότι οι παρεμβολές λαμβάνουν καλή διαχείριση, η υιοθέτηση πολλαπλών βαθμίδων στην κυψελωτή αρχιτεκτονική δικτύου θα παρέχει καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά την κάλυψη, τη χωρητικότητα κυψέλης, τη φασματική αποτελεσματικότητα, και την κατανάλωση ενέργειας.



Σχήμα 1: Ετερογενές 5G κυψελωτό δίκτυο πολλαπλών βαθμίδων

Προβλέπεται ότι το 2020, ο συνολικός αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών θα ανέρχεται περίπου σε 50 δισεκατομμύρια, σχεδόν το διπλάσιο σε σύγκριση με το σημερινό αριθμό [5]. Ένα σημαντικό τμήμα της αύξησης αναμένεται ότι οφείλεται στις επικοινωνίες τύπου μηχανής (Machine Type Communications – MTC). Φυσικά, η ανάπτυξη των 5G τεχνολογιών θα πρέπει να λάβουν αυτό το βασικό παράγοντα υπόψη, εκτός από τις βελτιώσεις που προτείνονται σήμερα για τα προηγμένα LTE (LTE-Advanced / LTE-A) συστήματα. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών Ραδιοεπικοινωνίας Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ITU-R) προετοιμάζει το όραμά της για τους γενικούς στόχους για τα συστήματα πέραν του 2020, και με βάση την αγορά, την κίνηση (traffic) και την εργασία που έχει πραγματοποιηθεί για τις μελλοντικές απαιτήσεις, οι M2M επικοινωνίες διαφαίνεται να είναι ένα βασικό στοιχείο των μελλοντικών συστημάτων.

1.4 Σκοπός

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα του βέλτιστου καταμερισμού ισχύος και φάσματος στη ζεύξη ανόδου ασύρματων OFDMA δικτύων που υποστηρίζουν M2M επικοινωνίες, εξετάζοντας 2 περιπτώσεις διαλείψεων στους διαύλους. Ο καταμερισμός αυτός απαιτεί αρχικά την ομαδοποίηση των μηχανών-χρηστών του δικτύου και την επιλογή συντονιστών, οι οποίοι θα λειτουργούν ως «αρχηγοί» των ομάδων μηχανών. Στη συνέχεια, ανάλογα με τον τύπο του διαύλου, θα πραγματοποιείται ανάθεση των απαιτούμενων υποφερουσών σε κάθε χρήστη του δικτύου και έπειτα οι αυτοί θα εκπέμπουν με τέτοια ισχύ ώστε να μεγιστοποιούν τη συνάρτηση ευχαρίστησής τους. Χρήστες στο σύστημά μας είναι από τη μία H2H χρήστες, με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου, οι οποίοι θα εκπέμπουν απευθείας προς το Σταθμό Βάσης του δικτύου και από την άλλη MTC χρήστες (ή αλλιώς M2M χρήστες) οι οποίοι, όπως αναφέραμε θα οργανώνονται σε ομάδες και θα στέλνουν τα δεδομένα στους συντονιστές ομάδων, οι οποίοι με τη σειρά τους θα αποστέλλουν τα δεδομένα προς το Σταθμό Βάσης. Θα μελετήσουμε τη λαμβανόμενη ικανοποίηση των χρηστών κατά τη διαδικασία αυτή, και τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά των χρηστών μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους του δικτύου.

1.5 Δομή του κειμένου

Το υπόλοιπο του κειμένου έχει οργανωθεί κατά τον ακόλουθο τρόπο :

Κεφάλαιο 2: Αρχικά, θα παρουσιάσουμε κάποιες βασικές έννοιες φαινομένων που εμφανίζονται στα ασύρματα δίκτυα που μελετούμε, όπως είναι το φαινόμενο των διαλείψεων, θα μελετήσουμε τα σήματα του δικτύου μας και τον τρόπο που αυτά είναι διαμορφωμένα.

Κεφάλαιο 3: Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε τη λογική της M2M επικοινωνίας, τη σημασία της, και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να επιδράσει στην ασύρματη επικοινωνία. Θα εξετάσουμε τις υπηρεσίες που είναι συνυφασμένες με τις M2M επικοινωνίες και τις εφαρμογές που μπορούν να ικανοποιήσουν τις υπηρεσίες αυτές. Επίσης, θα εξετάσουμε τη προτεινόμενη δομή των M2M δικτύων, τις δυνατότητες που ανατέλλουν λόγω αυτής, αλλά και τις προκλήσεις που επιβάλλει.

Κεφάλαιο 4: Έπειτα, θα ασχοληθούμε με διάφορες προσεγγίσεις που έχουν γίνει στη βιβλιογραφία σχετικά με την κατανομή πόρων ισχύος και φάσματος στα M2M δίκτυα και θα σχολιάσουμε τα συμπεράσματα που εξάγονται από κάθε τέτοια προτεινόμενη προσέγγιση.

Κεφάλαιο 5: Εδώ, θα παρουσιάσουμε το σχέδιο κατανομής πόρων σε M2M δίκτυα στα πλαίσια της προκειμένης διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, θα παρουσιασθεί ο αλγόριθμος, σύμφωνα με τον οποίο επιτυγχάνεται η ομαδοποίηση των μηχανών, η ανάδειξη των συντονιστών αυτών, η κατανομή υποφερουσών ώστε να ικανοποιούνται οι χρήστες του συστήματος και ο υπολογισμός ισχύος εκπομπής και ρυθμού μετάδοσης.

Κεφάλαιο 6: Τέλος, θα αναλυθεί το σενάριο προσομοίωσης, όπου εκτελείται ο προτεινόμενος αλγόριθμός. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιασθούν τα αριθμητικά, γραφικά και θεωρητικά αποτελέσματα που προκύπτουν και θα σχολιασθεί η σημασία τους, και πως συγκρίνονται με την ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Διάκριση Υπηρεσιών για χρήστες στη Η2Η επικοινωνία

Στα σύγχρονα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών, το βασικότερο χαρακτηριστικό ενός χρήστη, αποτελεί το είδος της υπηρεσίας αυτού ως προς το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων του. Ο διαχωρισμός είναι σε α) Υπηρεσίες Πραγματικού Χρόνου (Real Time – RT), που αφορούν υπηρεσίες φωνής, βίντεο, ζωντανής μετάδοσης (live-streaming) και σε β) Υπηρεσίες Μη Πραγματικού Χρόνου (Non Real Time – NRT), όπως υπηρεσίες του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου κλπ. Ανάλογα, δηλαδή, με το είδος της υπηρεσίας, καθορίζεται ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης, ώστε οι χρήστες να εξυπηρετούνται στο βαθμό που επιθυμούν. Αξίζει να σημειώσουμε ότι στις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου υπάρχει ένα κατώτατο όριο ρυθμού μετάδοσης, καθώς κάτω από ένα ρυθμό μετάδοσης οι χρήστες δε θα εξυπηρετούνται όπως επιθυμούν σε αντίθεση με τις υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου, στις οποίες τα όρια είναι πιο ελαστικά.

2.1.1 Υπηρεσίες Πραγματικού Χρόνου

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου περιλαμβάνουν όλες τις υπηρεσίες στις οποίες η μεταφορά δεδομένων πρέπει να γίνεται τη στιγμή που πραγματοποιείται το αίτημα. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, οι συνομιλίες στο Διαδίκτυο, η μετάδοση εικόνας και βίντεο.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου είναι :

α) Η ύπαρξη κατώτατου ορίου ρυθμού μετάδοσης, καθώς όπως προαναφέρθηκε, αν ο ρυθμός μετάδοσης λάβει τιμές κάτω από το κατώφλι, η υπηρεσία κρίνεται ανεπαρκής να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του χρήστη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η υπηρεσία φωνής, όπου υπάρχει το κατώφλι των 64 Kbps. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατά πολύ υπέρβαση του κατωφλίου δεν είναι επιθυμητή, διότι σε αυτήν την περίπτωση το εύρος ζώνης κατασπαταλάται, χωρίς να παρέχεται επιπλέον ικανοποίηση στο χρήστη.

β) Η διατήρηση του ρυθμού αυτού καθ' όλη την παροχή υπηρεσίας. Δηλαδή είναι αναγκαίο, καθ' όλη τη μετάδοση δεδομένων, να υπάρχει μία σταθερή τιμή ρυθμού, αφού σε διαφορετική περίπτωση, είτε θα έχουμε αλλοίωση του σήματος, είτε εκφυλισμό της υπηρεσίας μέσω καθυστερήσεων.

γ) Η άμεση διόρθωση του ρυθμού μετάδοσης σε περίπτωση που λάβει τιμές κάτω από το κατώτατο επιτρεπτό όριο, από κάποιο χρονοδρομολογητή, ο οποίος θα διορθώνει κάθε μορφή αστοχίας που υποβαθμίζει την παρεχόμενη υπηρεσία.

2.1.2 Υπηρεσίες Μη Πραγματικού Χρόνου

Οι υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου στα ασύρματα δίκτυα παρουσιάζουν όλο και μεγαλύτερη ζήτηση τα τελευταία χρόνια. Το πιο κλασικό παράδειγμα τέτοιων υπηρεσιών είναι η μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων μεταξύ των χρηστών και του παρόχου μιας υπηρεσίας.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου είναι :

α) Η ανοχή του χρήστη σε διακυμάνσεις του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και σε εμφάνιση καθυστερήσεων, καθώς αυτό που απασχολεί το χρήστη πρωτίστως είναι η λήψη του αρχείου.

β) Η δυνατότητα λειτουργίας ακόμα και σε χαμηλό ρυθμό μετάδοσης.

γ) Η ικανοποίηση του χρήστη είναι ανάλογη του ρυθμού μετάδοσης.

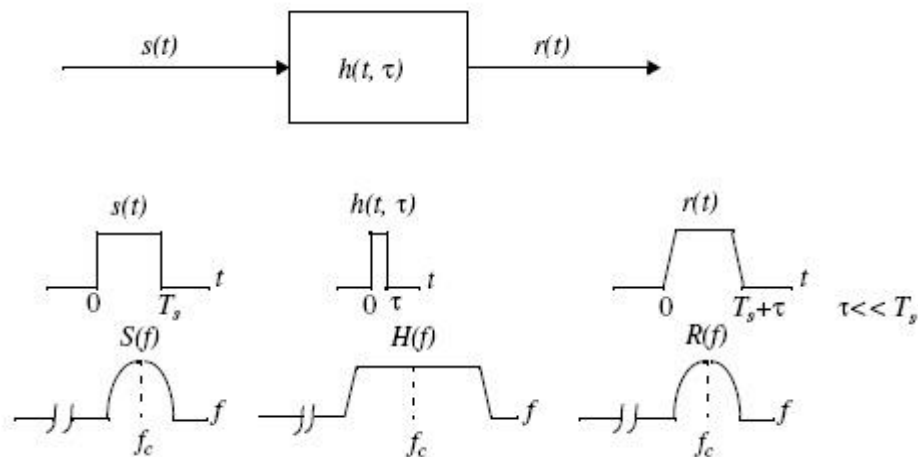
2.2 Διαλείψεις (Fading)

Στις ασύρματες επικοινωνίες, οι διαλείψεις αποτελούν γενικό όρο που περιγράφουν τις τυχαίες μεταβολές που παρατηρούνται σε ένα σήμα σε ορισμένα μέσα διάδοσης [13]. Οι διαλείψεις μπορεί να μεταβάλλονται με το χρόνο, τη γεωγραφική θέση ή το φάσμα συχνοτήτων, και συχνά μοντελοποιούνται ως μια τυχαία διαδικασία.

Οι διαλείψεις που υφίσταται ένα σήμα καθώς διαδίδεται μέσω ασύρματου διαύλου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του σήματος και τις παραμέτρους του διαύλου. Στη συγκεκριμένη εργασία, θα ασχοληθούμε με τις διαλείψεις λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath fading). Διαλείψεις λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης συμβαίνουν σε οποιοδήποτε περιβάλλον στο οποίο υπάρχει πολυδιαδρομική διάδοση και υπάρχει κάποια κίνηση των στοιχείων εντός του συστήματος ραδιοεπικοινωνίας. Σε κάθε επίγειο σύστημα ραδιοεπικοινωνίας, το σήμα θα φτάσει στο δέκτη όχι μόνο μέσω της απευθείας διαδρομής, αλλά και ως αποτέλεσμα των ανακλάσεων από αντικείμενα, όπως κτίρια, λόφους, το έδαφος, το νερό, κλπ που είναι γειτονικά με την κύρια διαδρομή. Το συνολικό σήμα στο δέκτη ραδιοφώνου είναι η υπέρθεση των σημάτων που λαμβάνονται. Καθώς όλα αυτά έχουν διαφορετικά μήκη διαδρομής, τα σήματα θα προστίθενται και θα αφαιρούνται από το σύνολο ανάλογα με τις αντίστοιχες φάσεις τους.

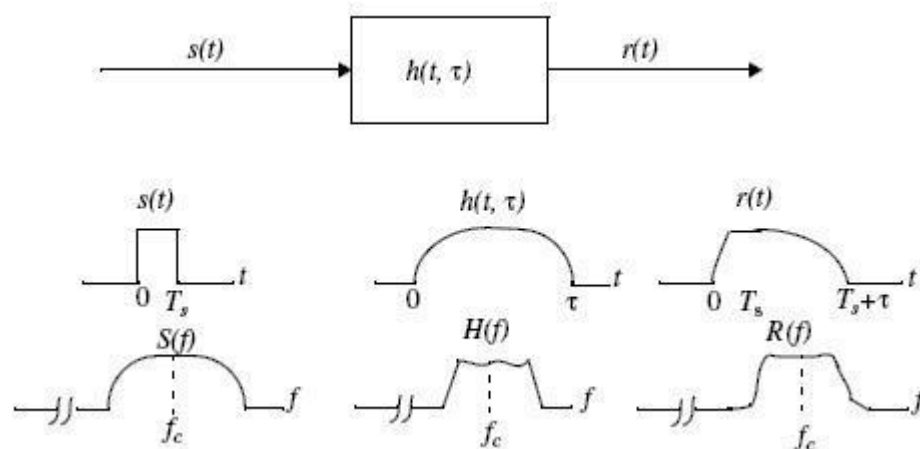
Οι διαλείψεις λόγω πολυδιαδρομικής μετάδοσης μπορούν να επηρεάσουν το δίαυλο με δύο κύριους τρόπους [11]:

1) *Επίπεδες Διαλείψεις ή Μη Επιλεκτικές ως προς τη Συχνότητα (Flat Fading)* : Όταν η απόκριση ενός ασυρμάτου διαύλου διαθέτει σταθερό κέρδος και γραμμική φάση σε εύρος συχνοτήτων που υπερβαίνει το εύρος ζώνης του σήματος, το σήμα λέμε ότι υπόκειται σε επίπεδες διαλείψεις (χρονική διασπορά). Αυτό το είδος διαλείψεων πολυδιαδρομικής διάδοσης επηρεάζει όλες τις φέρουσες συχνότητες ενός διαύλου είτε ισότιμα είτε σχεδόν ισότιμα. Όταν αντιμετωπίζονται επίπεδες διαλείψεις, το σήμα θα μεταβληθεί όσον αφορά το πλάτος του, αλλά θα μείνει αναλλοίωτο ως προς το φάσμα του, εξού και ο χαρακτηρισμός των διαύλων ως (φασματικά) μη επιλεκτικοί.



Σχήμα 2 : Χαρακτηριστικά διαύλου επίπεδων διαλείψεων

2) *Διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα (Frequency Selective Fading)* : Αυτού του είδους οι διαλείψεις εμφανίζονται όταν η απόκριση του ασύρματου διαύλου δεν παρουσιάζει σταθερό κέρδος και γραμμική φάση στο εύρος συχνοτήτων των σημάτων που μεταδίδονται μέσω αυτού. Τότε, ο δίαυλος χαρακτηρίζεται ως επιλεκτικός και το εύρος ζώνης συνοχής του διαύλου είναι μικρότερο από το εύρος ζώνης του σήματος. Οι επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα διαλείψεις οδηγούν σε χρονική διασπορά των συμβόλων που μεταδίδονται προκαλώντας τη λεγόμενη διασυμβολική παρεμβολή (InterSymbol Inteference - ISI). Δηλαδή, οι φασματικές συνιστώσες του σήματος υφίστανται διαφορετική μεταχείριση κατά τη μετάδοσή τους, με αποτέλεσμα την αλλοίωση του σήματος τόσο στο πεδίου του χρόνου, όσο και στο πεδίο της συχνότητας.



Σχήμα 3 : Χαρακτηριστικά διαύλου διαλείψεων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα

2.3 Σχήματα Πολλαπλής Πρόσβασης

2.3.1 Εισαγωγή

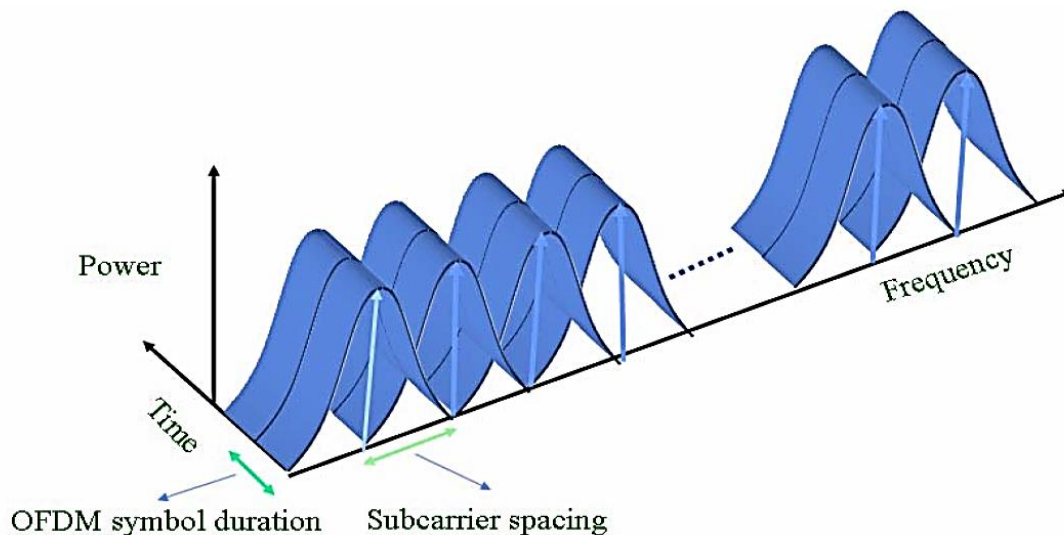
Ένας από τους σημαντικότερους στόχους στις ασύρματες επικοινωνίες είναι η εξυπηρέτηση πολλών χρηστών εντός μίας περιοχής, διατηρώντας παράλληλα ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Ένας τρόπος να το επιτύχουμε είναι η αποδοτική κατανομή των πόρων στο ασύρματο δίκτυό μας. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί είναι άμεσα συνυφασμένη με τη κατεύθυνση ροής κίνησης. Σε περίπτωση που έχουμε καθοδική ροή δεδομένων (downlink), η κατανομή των πόρων πραγματοποιείται με επιλογή κατάλληλου σχήματος πολυπλεξίας. Στη συγκεκριμένη εργασία, εστιάζουμε στην ανοδική ροή δεδομένων (uplink), όπου δηλαδή η πληροφορία αποστέλλεται από τα τερματικά προς το Σταθμό Βάσης. Για δίαυλο κατά τη ζεύξη ανόδου, πρέπει να επιλέξουμε κατάλληλο σχήμα πολλαπλής πρόσβασης. Με τον όρο *πολλαπλή πρόσβαση* εννοούμε την πρόσβαση στους ίδιους πόρους από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατανομής πόρων μεταξύ χρηστών, και οι δύο μεγαλύτερες κατηγορίες είναι αυτές κατά τις οποίες έχουμε ορθογώνια πρόσβαση και αυτές με τυχαία πρόσβαση. Εμείς θα ασχοληθούμε με την ορθογώνια πρόσβαση, όπου δηλαδή οι χρήστες

δεσμεύουν μόνιμα πόρους σε κάποιο από τα πεδία του χρόνου (TDMA), της συχνότητας (FDMA), του κώδικα (CDMA), ή του χώρου (SDMA). Υπάρχουν βέβαια και συνδυασμοί τεχνικών για περισσότερα από ένα πεδία, όπως η ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (OFDMA), η οποία έχει χαρακτηριστικά από την FDMA και TDMA πρόσβαση.

2.3.2 Η τεχνική OFDM

Η τεχνική μετάδοσης OFDM δεν αποτελεί μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης, αλλά γενικότερη κατηγορία διαμόρφωσης. Η OFDM έχει καθιερωθεί ως μία κομψή και δημοφιλή μέθοδος ικανή να ξεπεράσει τις επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις [14]. Ένα από τα βασικά στοιχεία της πρόσβασης OFDM είναι η χρήση ορθογώνιων μεταξύ τους υποφερουσών για αποστολή συμβόλων δεδομένων με παράλληλο τρόπο, οδηγώντας έτσι σε καλύτερες φασματικές αποδόσεις και απλές μεθόδους εξισορρόπησης (equalization) στο δέκτη. Η τρισδιάστατη μορφή ενός OFDM σήματος στο χρόνο και τη συχνότητα φαίνεται στο Σχ.8.



Σχήμα 4: Μορφή OFDM σήματος στο χρόνο και συχνότητα

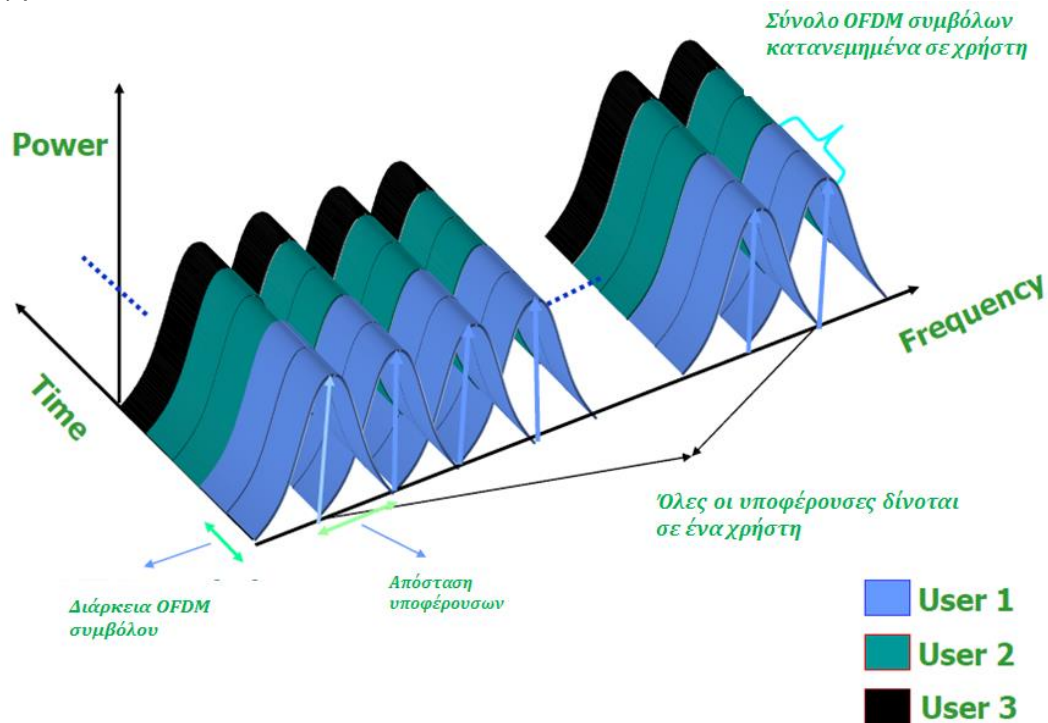
Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, παρά το γεγονός ότι τα σήματα των υποφερουσών παρουσιάζουν επικάλυψη στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας, δεν υπάρχει αμοιβαία παρεμβολή όταν η δειγματοληψία πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένα ειδικά σημεία στο πεδίο της συχνότητας, που ονομάζονται θέσεις υποφερουσών. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ένα από τα σημαντικότερα του OFDM σήματος και οδηγεί σε καλύτερες φασματικές επιδόσεις συγκριτικά με το FDM σύστημα.

2.3.3 Πολλαπλή Πρόσβαση με OFDM

Όπως αναφέρθηκε η OFDM αποτελεί μέθοδο διαμόρφωσης, οπότε η αποδοτική κατανομή των πόρων στο δίκτυο προϋποθέτει το συνδυασμό αυτής με κάποιο σχήμα πολλαπλής πρόσβασης. Οι μέθοδοι που προκύπτουν περιλαμβάνουν ορθογώνια διαίρεση συχνοτήτων με πολυπλεξία χρόνου (OFDM-TDMA), πολλαπλή πρόσβαση OFDMA και πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα για πολλές φέρουσες (MC-CDMA).

Κατά την πρόσβαση OFDM-TDMA, χρονοσχιμές σε πολλαπλά OFDM σύμβολα χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τις μεταδόσεις των διάφορων χρηστών, όπως

φαίνεται στο Σχ.9 για 3 χρήστες. Αυτό συνεπάγεται ότι όλες οι χρησιμοποιούμενες υποφέρουσες κατανομονται σε ένα μόνο χρήστη για ένα πεπερασμένο πλήθος περιόδων OFDM συμβόλων.



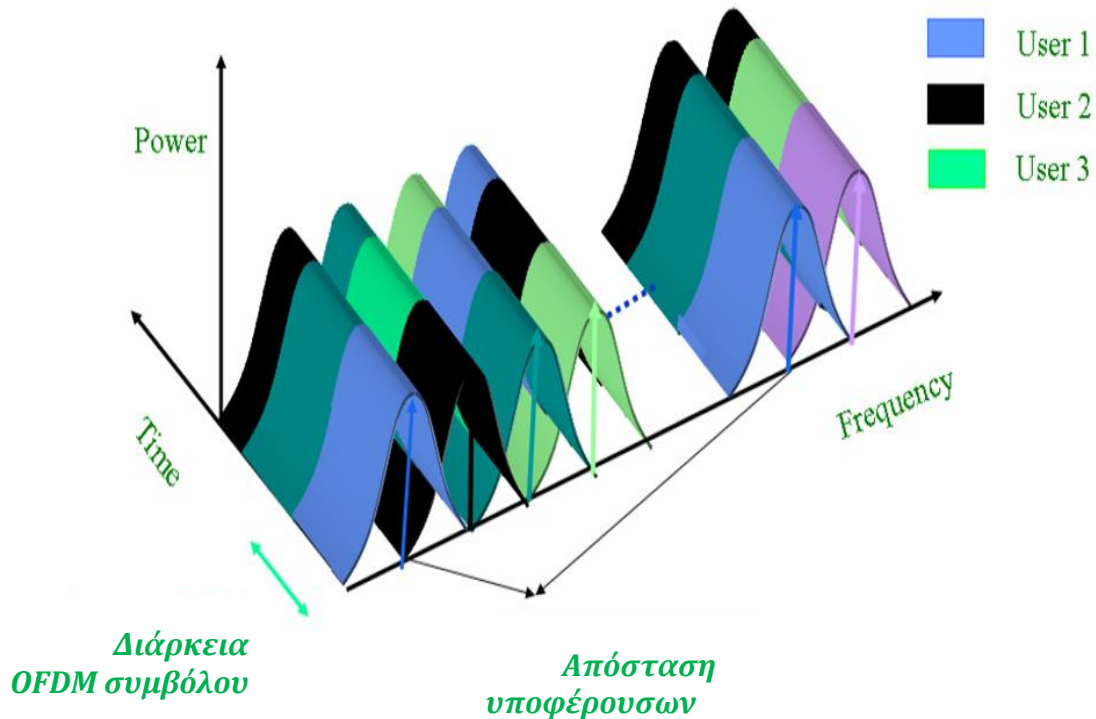
Σχήμα 5: Μορφή ενός OFDM-TDMA σήματος στο χρόνο και τη συχνότητα

Στα OFDMA συστήματα, χρησιμοποιούνται πόροι χρόνου και συχνότητας για να διαχωρίσουν τα σήματα των πολλαπλών χρηστών [14]. Ομάδες των OFDM συμβόλων και/η ομάδες υποφερουσών είναι οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τις μεταδόσεις από ή και προς χρήστες. Στο Σχ. 10 παρουσιάζεται η μορφή ενός OFDMA σήματος στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας για 3 χρήστες. Παρατηρώντας το σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι τα σήματα των χρηστών διαχωρίζονται είτε στο πεδίο του χρόνου, είτε της συχνότητας.

2.4 Πολλαπλή Πρόσβαση με Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access- OFDMA)

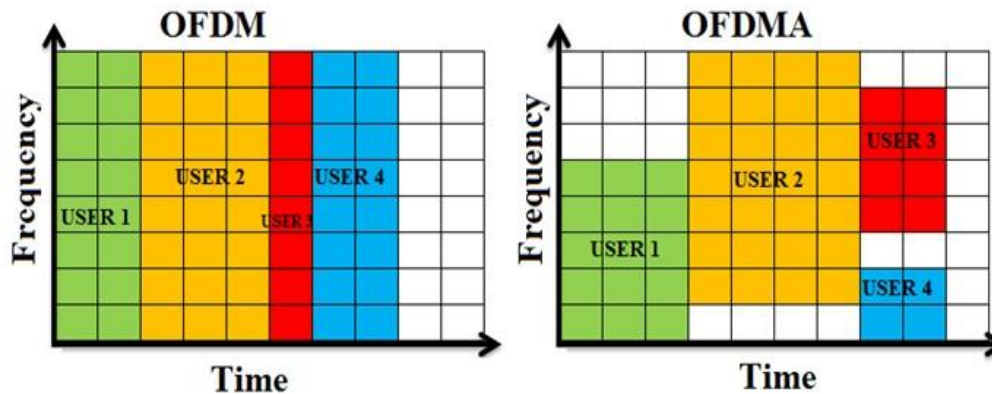
Στο σύστημα που θα μοντελοποιήσουμε θα χρησιμοποιήσουμε μέθοδο πρόσβασης OFDMA. Στα συστήματα OFDMA, τα σήματα των πολλαπλών χρηστών διαχωρίζονται στο πεδίο του χρόνου και/ή στο πεδίο της συχνότητας. Ένα σήμα στο OFDMA σύστημα αποτελείται από σύμβολα διαμορφωμένα κατά OFDM. Οι υποφέρουσες και η περίοδος ενός OFDM συμβόλου είναι οι καλύτερες μονάδες καταμερισμού στα πεδία της συχνότητας και του χρόνου αντίστοιχα. Έτσι, πολλαπλοί χρήστες έχουν στη διάθεσή τους διαφορετικές σχισμές στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας, δηλαδή διαφορετικές ομάδες από υποφέρουσες και OFDM σύμβολα χρησιμοποιούνται για μετάδοση σημάτων

από και/ή προς τους χρήστες του συστήματος. Στο σχήμα 7 φαίνεται η διαφορά μεταξύ του καταμερισμού των πόρων για OFDM και OFDMA τεχνολογία.



Σχήμα 6 : Μορφή ενός OFDMA σήματος στο χρόνο και τη συχνότητα

Η OFDMA τεχνολογία επιτρέπει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από πολλούς χρήστες και έχει βραχύτερη και σταθερή καθυστέρηση [12]. Επίσης, έχει ευελιξία στην εγκατάσταση σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων λόγω ανάγκης μικρής τροποποίησης στη διεπαφή αέρα. Η επίδραση των διαλείψεων λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης μειώνεται με τη χρήση OFDMA τεχνολογίας επειδή τα δεδομένα κάθε χρήστη διαμορφώνονται επί πολλών ορθογώνιων μεταξύ τους συχνοτήτων και όχι επί μίας σταθερής συχνότητας για ολόκληρη την περίοδο διασύνδεσης.



Σχήμα 7: Διαφορά στην κατανομή υποφερουσών μεταξύ OFDM και OFDMA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Επιπλέον, η OFDMA τεχνολογία όχι μόνο διευκολύνει την ικανότητα διαμοιρασμού του διαθέσιμου εύρους ζώνης, αλλά βελτιώνει επίσης τη χωρητικότητα (capacity) για κάθε χρήστη, λόγω της χρήσης διάφορων συχνοτήτων.

Το κύριο πλεονέκτημα της πρόσβασης OFDMA σε σχέση με συστήματα μίας φέρουσας είναι η ικανότητά της να αντιμετωπίσει δυσχερείς συνθήκες διαύλου χωρίς να χρειάζεται πολύπλοκα φίλτρα ισοστάθμισης. Επίσης, η εξισορρόπηση των καναλιών απλοποιείται επειδή η OFDMA τεχνολογία μπορεί να θεωρηθεί ως χρησιμοποίηση πολλών αργά-διαμορφωμένων στενής ζώνης σημάτων αντί ενός ταχέως διαμορφωμένου ευρυζωνικού σήματος. Συν τοις άλλοις, ο χαμηλός ρυθμός συμβόλων καθιστά προσιτή τη χρήση ενός διαστήματος προστασίας μεταξύ συμβόλων, επιτρέποντας την εξάλειψη των διασυμβολικών παρεμβολών (ISI).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Εισαγωγή στις M2M επικοινωνίες

Σύμφωνα με το Εταιρισμικό Έργο 3^{ης} Γενιάς (3rd Generation Partnership Project-3GPP), η επικοινωνία τύπου μηχανής (Machine Type Communication - MTC) ορίζεται ως μια μορφή επικοινωνίας δεδομένων που περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους φορείς που δεν απαιτούν την ανθρώπινη παρέμβαση. Η έννοια μηχανή προς μηχανή, δεν είναι κάτι καινούργιο, αλλά οι εφαρμογές και ιδιαίτερα αυτές που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι εξελισσόμενες, με αποτέλεσμα να κατακτά όλο και περισσότερη δημοτικότητα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Τεχνικές βελτιώσεις επιτρέπουν επίσης εφαρμογές που επιτελούν πιο σύνθετες λειτουργίες, με λιγότερη προσπάθεια και φθηνότερες τιμές από ό, τι στο παρελθόν.

Οι M2M επικοινωνίες αναμένεται να παρέχουν πανταχού συνδεσιμότητα μεταξύ μηχανών χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Οι M2M επικοινωνίες ασχολούνται με τη σύνδεση μηχανών με πρωτοφανή τρόπο, έτσι που να επιτρέπει μερικώς το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT). Η ιδέα του IoT είναι ότι κάθε αντικείμενο ή πράγμα που επωφελείται από τη σύνδεση με το δίκτυο, έχει τη δική του συνδεσιμότητα και ευφυΐα για να επικοινωνεί με όλα τα άλλα αντικείμενα. Το IoT είναι στην ουσία ένα όραμα, και η M2M επικοινωνία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κομμάτι αυτού του οράματος. Πιο συγκεκριμένα, η M2M επικοινωνία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα βήμα προς την επίτευξη του IoT.

Με τις M2M επικοινωνίες, μηχανές "μιλούν" μεταξύ τους μέσω ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων και μοιράζονται δεδομένα χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση. Η χρήση των M2M επικοινωνιών είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για αποδοτική αλληλεπίδραση χρηστών (interact), με ένα μεγάλο αριθμό απομακρυσμένων συσκευών να ενεργεί ως διεπαφή με τους τελικούς πελάτες, υπηρεσίες, κλπ. Με τον τρόπο αυτό, συσκευές όπως οι έξυπνοι μετρητές, πινακίδες, κάμερες, απομακρυσμένοι αισθητήρες, laptops και οικιακές συσκευές μπορούν να διασυνδεθούν για να υποστηριχθεί μια ποικιλία νέων εφαρμογών, μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Είναι δύσκολο σε αρκετές περιπτώσεις να αποφανθούμε εάν μια εφαρμογή είναι βασισμένη σε M2M ή H2H. Η διαχωριστική γραμμή γίνεται πολλές φορές θαμπή, ειδικά όταν η εφαρμογή κρίνεται αποκλειστικά από δικτυακή χρήση (bottom-up). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές από τις συσκευές κατασκευάζονται έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξυπηρέτηση αναγκών M2M αλλά και H2H. Αυτή ειδικά είναι η περίπτωση για τις συσκευές που στοχεύουν στον καταναλωτή. Για παράδειγμα, ένας κανονικός υπολογιστής μπορεί να εκτελεί ένα είδος M2M εφαρμογής, αλλά εάν χρησιμοποιεί ένα τυπικό ολοκληρωμένο ή κυψελωτό μόντεμ συνδεδεμένο με USB, κανονική συνδρομή και δημόσια ονομασία σημείου πρόσβασης (APN), μπορεί να αναγνωριστεί αξιόπιστα ως M2M μόνο μετά από τη λήψη λεπτομερών πακέτων και την ανάλυση αυτών.

Με την ταχεία ανάπτυξη των τρίτης γενιάς (3G) μακροπρόθεσμα εξελισσόμενων δικτύων κινητής τηλεφωνίας και την εξέλιξη αυτών (LTE-Advanced), οι επικοινωνίες M2M μέσω LTE-Advanced κινητών δικτύων ευρείας κάλυψης αναμένεται να αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του IoT. Για τους φορείς εκμετάλλευσης κινητών υπηρεσιών, οι υπηρεσίες μέσω M2M επικοινωνιών έχουν πολλά υποσχόμενες και στρατηγικές αξίες. Για παράδειγμα, ένας μεγάλος αριθμός των M2M υπηρεσιών είναι μη-πραγματικού χρόνου (NRT) και συνήθως καταναλώνουν μικρό εύρος ζώνης, με ελάχιστες επιπτώσεις στην

ικανότητα των δικτύων ραδιο-πρόσβασης (Radio Access Networks - RANs). Οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να επεκτείνουν τις ολοκληρωμένες (end-to-end) λύσεις σε ζητήματα πληροφορίας σε κλάδους πέρα από τους σύγχρονα υποστηριζόμενους, χρησιμοποιώντας τις M2M υπηρεσίες, καθώς αυτές υποστηρίζονται από τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών (ICT).

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές ανθρώπου σε άνθρωπο (H2H) υπηρεσίες, όπως η φωνή και η διαδικτυακή μετάδοση (web streaming), οι M2M υπηρεσίες συχνά έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις σε ένα σύστημα επικοινωνίας λόγω των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τους [10]. Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στα κυψελωτά δίκτυα με επικοινωνία M2M είναι η μεγάλη αύξηση του αριθμού των MTC συσκευών (Machine Type Communication Devices - MTCs). Και τα δύο από αυτά τα χαρακτηριστικά φέρουν στο προσκήνιο νέες προκλήσεις για τα LTE-advanced κινητά δίκτυα, απαιτώντας σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα της αξιοποίησης των ραδιο-πόρων. Εν τω μεταξύ, οι νέες M2M υπηρεσίες πρέπει να έχουν ελάχιστο ή και καθόλου αντίκτυπο στις υφιστάμενες υπηρεσίες H2H σε κυψελοειδή δίκτυα. Οι προκαταρκτικές μελέτες σχετικά με τις M2M επικοινωνίες έχουν επομένως, επικεντρωθεί κατά κύριο λόγο στις απαιτήσεις των υπηρεσιών, στη λειτουργική αρχιτεκτονική και στις εφαρμογές.

Όσον αφορά τις ανάγκες των υπηρεσιών, οι M2M εφαρμογές έχουν αρκετά διαφορετικές από τις αντίστοιχες H2H, δεδομένου ότι οι υπηρεσίες M2M έχουν τα δικά τους μοναδικά χαρακτηριστικά [3]. Επιπλέον, οι απαιτήσεις στην Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) των διαφόρων τύπων υπηρεσιών M2M ποικίλουν ευρέως και αντανακλώνται στα χαρακτηριστικά των MTC υπηρεσιών: βασισμένες σε ομάδες (group based) επικοινωνίες, χαμηλή ή καθόλου κινητικότητα, χρονοελεγχόμενες, χρονοανεκτικές, μετάδοση μικρών δεδομένων (small data), ασφαλή σύνδεση, MTC παρακολούθηση, μηνυμάτα συναγερμού βασισμένα σε προτεραιότητα (priority alarm messages) πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος, κ.λπ.

Τύπος Υπηρεσίας	MTC Εφαρμογές
Ασφάλεια	Συστήματα Παρακολούθησης Δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας για σταθερό τηλέφωνο Έλεγχος φυσικής πρόσβασης (π.χ. κτίρια) Ασφάλεια οδηγού/αυτοκινήτου
Πληρωμή	Σημεία Εκπτώσεων Αυτόματες μηχανές πώλησης Μηχανές παιχνιδιών
Υγεία	Παρακολούθηση ζωτικών σημείων Στήριξη ανθρώπων με κινησιακές δυσκολίες Στήριξη Ηλικιωμένων Σημεία πρόσβασης Διαδικτύου για Τηλεϊατρική Απομακρυσμένη διάγνωση
Απομακρυσμένος Έλεγχος/Απομακρυσμένη Συντήρηση	Αισθητήρες Φωτισμός Αντλίες Βαλβίδες Έλεγχος ανελκυστήρα Διαγνωστικά Οχημάτων
Μέτρηση	Ηλεκτρική Ισχύς Αέριο Νερό Θέρμανση Έλεγχος δικτύου

	Βιομηχανική μέτρηση
Καταναλωτικές Συσκευές	Ψηφιακή Κορνίζα Ψηφιακή Κάμερα Ηλεκτρονικό Βιβλίο - eBook
Ιχνηλασία	Διαχείριση Στόλου Διαχείριση Παραγγελιών Πληρωμή κατά την οδήγηση (payasyoudrive) Παρακολούθηση τραπεζικών λογαριασμών Πλοήγηση Πληροφορίες Κίνησης στους δρόμους Διόδια Δρόμων

Πίνακας 2 : Τύποι υπηρεσιών και αντίστοιχες MTC εφαρμογές

3.2 M2M υπηρεσίες

3.2.1 Έξυπνη Μέτρηση – Smart Metering

Η έξυπνη μέτρηση των διαφόρων αγαθών, όπως του νερού, θέρμανσης, φυσικού αερίου και ειδικά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι σήμερα μία από τις πιο ευρέως υιοθετημένες M2M εφαρμογές. Υψηλό ποσοστό προσαρμογής βασίζεται σε ρυθμιστικούς οδηγούς και τα οφέλη, π.χ. στην εξοικονόμηση κόστους, που προσφέρει για τις εταιρείες και τους πελάτες αυτών. Το μεγαλύτερο όφελος της έξυπνης μέτρησης είναι να συλλέξει με μεγάλη ταχύτητα πληροφορίες για τη χρήση και τη διακοπή της υπηρεσίας. Για τον πελάτη, η έξυπνη μέτρηση του παρέχει τη δυνατότητα να γίνει γνώστης της χρήσης που αυτός κάνει και να στοχεύσει στην εξοικονόμηση μέσω πραγματικού χρόνου χρήσης και την παρακολούθηση του κόστους. Για παράδειγμα, εταιρείες ενέργειας έχουν, μέσω του smart metering, δυνατότητα για τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής γραμμής, απαλλαγή από τη βασισμένη σε εκτιμήσεις τιμολόγηση, και την εισαγωγή νέων τιμών και προϊόντων. Αν ωριαία βάση τιμολόγησης εφαρμοστεί, καθίσταται επίσης δυνατόν να μειωθεί η χρήση κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής που θα μειώσει τον κίνδυνο της εξάντλησης των πόρων και την ανάγκη για περιορισμούς στη χρήση.

Για να επωφεληθούν πλήρως από όλες τις νέες προσφορές, η πλατφόρμα του τελικού χρήστη έχει ένα μεγάλο ρόλο, καθώς θα πρέπει να παρέχει προσιτές και εύκολα αντιληπτές αναφορές των δεδομένων. Για το χειριστή του κυψελωτού δικτύου, λύση έξυπνης μέτρησης συνήθως σημαίνει πολλούς πελάτες με σχετικά χαμηλές απαιτήσεις μετάδοσης, διότι οι μετρητές στέλνουν μία μικρή ποσότητα των δεδομένων.

Ωστόσο, η συμπεριφορά μετάδοσης δεδομένων ποικίλλει καθώς οι συσκευές μπορούν να είναι είτε περισσότερο είτε λιγότερο έξυπνες, και θα μπορούν να έχουν, για παράδειγμα δυνατότητες απομακρυσμένης διαχείρισης. Τυπικές προκλήσεις για το δίκτυο είναι η κακή κάλυψη δικτύου, καθώς οι μετρητές τοποθετούνται συνήθως σε υπόγεια για πρακτικούς και λόγους ασφαλείας. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το πρόβλημα που υφίσταται. Μία τυπική λύση για να ξεπεραστεί η πρόκληση είναι να χρησιμοποιηθεί εξωτερική κεραία. Ανάλογα με το μέγεθος της διάταξης και το περιβάλλον, είναι επίσης δυνατό να παρέχουν εσωτερική κάλυψη μέσω της εισαγωγής ενός αναμεταδότη ή ενός νέου σταθμού βάσης σε κοντινούς χώρους. Το αρχικό κόστος για αυτού του είδους τη λύση είναι υψηλότερο, αλλά η αυξημένη κάλυψη είναι στη συνέχεια διαθέσιμη και για άλλους χρήστες της έξυπνης μέτρησης.

3.2.2 Ιχνηλασία

Η λειτουργία παρακολούθησης αντικειμένου μπορεί να βασίζεται είτε στο Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας (Global Positioning System – GPS), ή στην εκτίμηση της θέσης του αποκτώντας πληροφορίες κυψέλης. Ο εντοπισμός θέσης με GPS είναι πιο ακριβής, αλλά απαιτεί επιπρόσθετα GPS σύνολα από chips, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μέρη όπου το GPS σήμα μπορεί να ληφθεί. Τα προβλήματα ανακύπτουν ειδικά σε ένα πυκνοκατοικημένο αστικό περιβάλλον και σε εσωτερικούς χώρους.

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης GPS που βασίζεται στη βοήθεια του κυψελωτού δικτύου θεωρείται ότι είναι η κύρια μέθοδος εντοπισμού θέσης σε LTE. Η βοήθεια στο κυψελωτό δίκτυο σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιείται μόνο για τη μείωση του χρόνου να αποκτήσει στίγμα GPS, δίνοντας τις αρχικές πληροφορίες από το κυψελωτό δίκτυο αντί να χρησιμοποιεί τη σύζευξη GPS. Αυτό το είδος της μεθόδου τοποθέτησης ονομάζεται Υποβοηθούμενη Πλοήγηση Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος (Assisted Global Navigation Satellite System - A-GNSS). Λόγω των προαναφερόμενων προβλημάτων του GPS, η τοποθέτηση με βάση την κυψελωτή πληροφορία αποτελεί μια ελκυστική επιλογή για περαιτέρω ανάπτυξη. Η κυψελωτή πληροφορία είναι πιο περίπλοκη να χρησιμοποιηθεί με ακρίβεια για την τοποθέτηση σε σχέση με το GPS, και καθώς η τοποθέτηση βασίζεται στην τοπολογία του δικτύου, η συνεργασία με το λειτουργό του δικτύου είναι απαραίτητη για να αντιστοιχήσει ταυτότητες κυψέλης (Cell Identity - CID) με τις πραγματικές τοποθεσίες. Ωστόσο, αυτό δεν είναι το είδος των πληροφοριών, που όλοι οι φορείς είναι εύκολα διατεθειμένοι να μοιράζονται, γεγονός το οποίο περιορίζει τη χρήση της CID πληροφορίας. Επίσης, όταν η θέση χρειάζεται να καθοριστεί με ακρίβεια, ο υπολογισμός της θέσης του χρήστη μέσα στην περιοχή του κυψελωτού δικτύου που εξυπηρετείται πρέπει να πραγματοποιηθεί. Δυστυχώς, αυτό δεν επιτυγχάνεται εύκολα, ιδίως στις περιοχές όπου δεν είναι δυνατή η λήψη σήματος από πολλαπλούς σταθμούς βάσης συγχρόνως.

Από την προοπτική της βελτίωσης του δικτύου και του προγραμματισμού, οι ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη θέση του χρήστη είναι εξαιρετικά πολύτιμες. Για παράδειγμα, από την άποψη της χωρητικότητας θα ήταν καλό να αναπτύσσονται κυψέλες με βάση την τοποθεσία των χρηστών, και ιδιαίτερα με βάση τους χρήστες που έχουν αυξημένη απαίτηση σε ποιότητα της υπηρεσίας [34]. Με τον τρόπο αυτό, για παράδειγμα οι χρήστες M2M με μεγάλο φορτίο π.χ. επιτήρησης μέσω βίντεο, θα μπορούσαν να είναι εφοδιασμένοι με μία δική τους μικρή κυψέλη.

Ακόμα κι έτσι, πληροφορίες τοποθεσίας που αντιστοιχίζονται με ένα συγκεκριμένο πελάτη είναι άκρως εμπιστευτικές, και χωρίς την κατάλληλη άδεια τα δικαιώματα χρήσης είναι περιορισμένα. Μία εξαίρεση στο παραπάνω μπορεί να γίνει σε περίπτωση αστυνομικής έρευνας ή άλλης έκτακτης ανάγκης.

Αυτή τη στιγμή, οι υπηρεσίες εντοπισμού χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρακολούθηση των οχημάτων και άλλων περιουσιακών στοιχείων με υψηλή χρηματική αξία, αλλά υπάρχουν, για παράδειγμα, ήδη λύσεις στην εμπορική αγορά για τον εντοπισμό σκύλων και τις αθλητικές δραστηριότητες. Ο εντοπισμός των αντικειμένων είναι μια περιοχή των M2M συστημάτων που έχει μεγάλη πιθανότητα για μελλοντική άνθιση από την άποψη της διαφορετικότητας στις δυνατότητες χρήσης και τον αριθμό των συσκευών.

Οι πληροφορίες από παρακολούθηση οχήματος και περιουσιακών στοιχείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη νέων πιο προηγμένων εφαρμογών. Μία

δυνατότητα, για παράδειγμα, είναι να βελτιώσει την πλοήγηση όσον αφορά την ασφάλεια και την καθοδήγηση. Αυτό σημαίνει ενημέρωση των οδηγών για την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα ατυχήματα και τις προτιμότερες διαδρομές. Καταγεγραμμένες πληροφορίες πραγματικής διαδρομής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση τη χρήση αναγνώρισης προτύπων για τις επερχόμενες συστάσεις διαδρομής πέραν των άλλων παραμέτρων. Ο εντοπισμός των οχημάτων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη προηγμένων χρονοδιαγραμμάτων για μέσα μαζικής μεταφοράς και υπηρεσιών για συμβουλές διαδρομής. Ήδη τώρα, είναι δυνατό για όλους να ακολουθήσουν κάποια δημόσια οχήματα μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο μέσω διαδικτυακής επαφής, (π.χ. τα τραμ του Ελσίνκι και το τρένο κυκλοφορίας στη Φινλανδία) και να λάβουν εκτιμήσεις με βάση την τρέχουσα θέση για την ώρα άφιξης σε ορισμένες από τις στάσεις τραμ και στάσεις λεωφορείων. Τα δεδομένα για το σύστημα δημόσιων μεταφορών του Ελσίνκι διατίθενται στο κοινό με σκοπό να ενθαρρύνει τους προγραμματιστές εφαρμογών για νέες καινοτόμες εφαρμογές.

Οι M2M εφαρμογές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ιεράρχηση των οχημάτων μαζικής μεταφοράς σε φανάρια, είτε από αιτήματα οδηγών, είτε άμεσα με βάση πληροφορίες γεωγραφικής θέσης. Μία από τις δημοφιλέστερες περιπτώσεις χρήσης οχήματος εντοπισμού είναι οι πληροφορίες τοποθεσίας που αποστέλλονται από τα ταξί. Μπορεί να γίνει περιοδικά, συνήθως 5-6 φορές σε ένα λεπτό ή μετά από αίτηση. Έχει ήδη διαπιστωθεί ότι αυτό το είδος της συμπεριφοράς προκάλεσε υπερφόρτωση Καναλιού Τυχαίας Πρόσβασης (Random Access Channel - RACH), σε μέρη όπως αεροδρόμια, όπου πολλά ταξί εξυπηρετούνται από τον ίδιο σταθμό βάσης. Επί του παρόντος, φαίνεται ότι η μεγαλύτερη βιομηχανία που θα αναπτύξει τις πρώτες υπηρεσίες που βασίζονται σε τοποθέτηση σε μεγάλη κλίμακα είναι η βιομηχανία μεταφορών και διακινήσεων. Για τον τύπο των συσκευών εντοπισμού M2M, η πιο σημαντική απαίτηση από την πλευρά του δικτύου είναι να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία ακόμα και στην περίπτωση αυξημένης κινητικότητας.

3.2.3 Ασύρματα Συστήματα Πληρωμής

Όπως είναι προφανές, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των ασύρματων τερματικών, σε σύγκριση με τα ενσύρματα, είναι το γεγονός ότι καθιστούν δυνατή την πληρωμή με κάρτα σε μέρη όπου ενσύρματα δίκτυα δεν είναι διαθέσιμα. Αυτή είναι μια πολύ σημαντική προϋπόθεση για τα μετακινούμενα σημεία πώλησης, όπως εταιρείες ταξί και προσωρινά περίπτερα πώλησης, αλλά προσθέτει επιπλέον αξία σε επιχειρήσεις όπως π.χ. εστιατόρια, επειδή επιτρέπει στους πελάτες να χρησιμοποιούν το τερματικό πληρωμής σε έναν πίνακα. Για άλλη μια φορά, μία σημαντική προϋπόθεση για την εφαρμογή των M2M είναι η ύπαρξη μιας αρκετά καλής κάλυψης δικτύου, ασφάλειας και διαθεσιμότητας υπηρεσιών, ειδικά επειδή η πληρωμή συσχετίζει τη ροή χρήματος της εταιρείας και την εμπειρία των πελατών της. Καθώς οι απαιτήσεις σε ποιότητα της υπηρεσίας είναι σχετικά αυστηρές, η λειτουργία αυτού του είδους των υπηρεσιών μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, π.χ. σε μαζικής προσέλευσης δημόσιες εκδηλώσεις, όπου ο αριθμός των χρηστών είναι μεγάλος και παραμετροποιήσεις χρησιμοποιούνται ήδη για την εξασφάλιση μίας τυπικής λειτουργικότητας άλλων σημαντικών υπηρεσιών, ιδίως φωνής. Για την υπηρεσία πληρωμών, ένας αρκετά χαμηλός λανθάνων χρόνος (latency) και η αξιοπιστία λειτουργίας είναι θεμελιώδεις απαιτήσεις. Επειδή οι συσκευές χρησιμοποιούν κυρίως μπαταρίες για την τροφοδοσία τους, και προσπαθούν να τις χρησιμοποιούν όσο το δυνατόν πιο

αποδοτικά, μπορούν να προκαλέσουν σχετικά μεγάλη σηματοδοσία, καθώς σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να αρχίσουν οι διαδικασίες μετάδοσης από την κατάσταση αναμονής.

3.2.4 Υπηρεσίες ασφάλειας και απομακρυσμένου ελέγχου

Στον τομέα των υπηρεσιών ασφαλείας και απομακρυσμένης συντήρησης, η ποικιλία διαφορετικών τύπων εφαρμογών για διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης είναι μεγάλη, και έτσι η ποικιλομορφία των αναγκαίων απαιτήσεων του δικτύου είναι υψηλή. Οι εφαρμογές αυτής της περιοχής μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για παράδειγμα, για παρακολούθηση βίντεο, συντήρηση κτιρίων, την ανίχνευση καπνού, κλπ. Από τη μεριά του δικτύου, κοινός παρονομαστής για όλα αυτά τα είδη των υπηρεσιών είναι ότι είναι ένα από τα πιο απαιτητικά είδη υπηρεσιών της περιοχής των M2M επικοινωνιών σε κυψελωτά δίκτυα. Η υψηλή αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα της υπηρεσίας είναι ζωτικής σημασίας για αυτά τα είδη των υπηρεσιών, διότι συμπληρώνουν ή και αντικαθιστούν την ανάγκη για τη φυσική ανθρώπινη παρουσία.

Λόγω των υψηλών απαιτήσεων για την αξιοπιστία και την ικανότητα του δικτύου, μπορεί να είναι μια μεγάλη πρόκληση να καλυφθεί το απαιτούμενο επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών χωρίς να πραγματοποιηθούν προσαρμογές στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Μία προσαρμογή, για παράδειγμα, θα μπορούσε να είναι η παροχή κάλυψης και μίας αρκετά μεγάλης ταχύτητας δικτύου ή να εξασφαλιστεί η λειτουργία σε περίπτωση διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος. Το να πληρούνται οι αναγκαίες προϋποθέσεις μπορεί να γίνει δυνατό και από διαφορετικές κατευθύνσεις, για παράδειγμα στον τομέα της επιτήρησης μέσω βίντεο, είναι δυνατό να αποθηκευτεί το καταγραφόμενο υλικό σε έναν διακομιστή κοντά στην κάμερα για να διαβεβαιωθεί ότι το βίντεο δεν έχει χαθεί. Το υλικό μπορεί στη συνέχεια να επεξεργαστεί εξ' αποστάσεως, ή μπορεί να υπάρξει πρόσβαση στη ζωντανή ροή σε πραγματικό χρόνο με μια εφικτή ποιότητα για συνδέσεις δικτύου.

Εκτός από τα αιτήματα των χρηστών, η μετάδοση της συσκευής μπορεί να ξεκινήσει από αυτόματους ενεργοποιητές (triggers), όπως αισθητήρες κίνησης ή τεχνικές επεξεργασίας σήματος, όπως αόρατα τείχη ή αναγνώριση προτύπων. Εάν πολλαπλές συσκευές ενεργοποιούνται σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα, μπορεί να προκύψει το πρόβλημα υπερφόρτωσης, το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη. Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό των υπηρεσιών ασφαλείας είναι ότι αποτελούν μια περιοχή εφαρμογής των MTC, η οποία αν και βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο, έχει προσαρμοστεί από πελάτες - καταναλωτές, εκτός από τους πελάτες - εταιρείες. Οι μεγάλες αυξήσεις του ποσού της ροής (streaming) των χρηστών και τον τύπο πολυμέσων των υπηρεσιών ασφαλείας είναι πάντως σχετικά δαπανηρές για τον φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου, από την άποψη των αυξανόμενων αναγκών χωρητικότητας και υλικού που προκαλούνται από τις υψηλές απαιτήσεις QoS.

3.2.5 Υπηρεσίες Υγείας

Ο τομέας των υπηρεσιών υγείας, που ονομάζεται επίσης ως mHealth (Mobile Health-Κινητή Υγεία), αποτελείται από ποικίλους τύπους υπηρεσιών και εφαρμογών που υποστηρίζουν την υγειονομική περίθαλψη και την ευημερία. Αυτό το είδος των υπηρεσιών που μπορεί να είναι για παράδειγμα απομακρυσμένη παρακολούθηση και υποστήριξη των ασθενών, αλλά επίσης ένα είδος εφαρμογών που χρησιμοποιούνται σε περίπτωση προσωπικής έκτακτης ανάγκης. Οι υπηρεσίες υγείας M2M έχουν αρχίσει να θεωρούνται, από όλο και περισσότερους, ικανές να περιορίσουν το αυξανόμενο κόστος της

υγειονομικής περίθαλψης που προκαλείται από τη γήρανση και την αύξηση του πληθυσμού. Κατά την εξέταση της ιεράρχησης των διαφόρων τύπων κίνησης, οι αιτήσεις για την υγεία θα πρέπει να είναι μεταξύ των κορυφαίων σε προτεραιότητα για χρήση, δεδομένου ότι μπορεί να υποδεικνύουν ότι η ανθρώπινη ζωή είναι σε κίνδυνο. Αυτό σημαίνει ότι η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών και λανθάνοντα χρόνου (latency) είναι οι πιο σημαντικές απαιτήσεις του δικτύου για τις προσωπικές υπηρεσίες υγείας

3.2.6 Δημόσια Ασφάλεια

Η κορυφαία σε ιεράρχηση μεταξύ όλων των M2M εφαρμογών είναι αναμφισβήτητη η κυκλοφορία των αιτημάτων έκτακτης ανάγκης και των συστημάτων έκτακτης ανάγκης προειδοποίησης. Για να εξασφαλίσουν τις ανάγκες επικοινωνίας των δημοσίων αρχών, πολλές χώρες έχουν αναπτύξει εντελώς νέες ξεχωριστές τεχνικές, όπως τις Επίγειες Συγκαναλικές Ραδιοεπικοινωνίες (Terrestrial Trunked Radio – TETRA) για αυτό το είδος χρήσης. Αυτό σημαίνει ότι τα πιο κρίσιμα συστήματα έκτακτης ανάγκης και έκτακτης ανάγκης προειδοποίησης δεν είναι χτισμένα πάνω σε δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Η προσαρμογή των M2M επικοινωνιών επιτρέπει διάφορες δυνατότητες ενίσχυσης στον τομέα των εφαρμογών έκτακτης ανάγκης, επιτρέποντας την προηγμένη απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον εντοπισμό των κρίσιμων οντοτήτων, και εντοπίζοντας νέους τρόπους για την αξιοποίηση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Για παράδειγμα, στη Σουηδία υπήρξε ένα πιλοτικό πρόγραμμα, όπου οι πληροφορίες τοποθεσίας των ειδικευμένων εθελοντών στις πρώτες βοήθειες χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των καρδιακών ανακοπών ώστε να τους καλούν μέσω SMS.

3.2.7 Τομέας Καταναλωτών

Ο ρόλος των M2M επικοινωνιών στον καταναλωτικό τομέα υποδεικνύεται από όλα τα παραπάνω είδη των εφαρμογών με έμφαση στην καταναλωτική χρήση. Η αυξανόμενη δημοτικότητα των διασυνδεδεμένων καταναλωτικών συσκευών είναι εύκολο να θεωρηθεί ως ένα βήμα προς το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Υπάρχουν ήδη πολλά προϊόντα για καταναλωτές, αλλά η πραγματική επανάσταση δεν έχει ακόμη συμβεί καθώς ακόμα αναμένονται κάποιες φιλικές προς το χρήστη εφαρμογές και αντίστοιχη μείωση των τιμών. Ανάλογα με τον τύπο των εφαρμογών που θα δημιουργηθούν κατά τα επόμενα χρόνια και τη δημοτικότητά τους, ο αντίκτυπος τους στα σύγχρονα δίκτυα μπορεί να κυμανθεί από μέτριος σε υψηλός.

3.3 Προκλήσεις

3.3.1 Προκλήσεις για την αγορά

Η ανάπτυξη των M2M θα φέρει νέες ευκαιρίες και προκλήσεις για όλους τους συμμετέχοντες στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Για ένα φορέα εκμετάλλευσης δικτύου κινητής τηλεφωνίας, αυτό συνεπάγεται μια νέα ελκυστική αυξανόμενη πηγή εσόδων, αλλά και προκλήσεις, δεδομένου ότι πρέπει να είναι προετοιμασμένος για μία ραγδαία αύξηση στον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών και των πελατών. Επίσης, οι πελάτες και οι συσκευές των M2M δικτύων ενεργούν με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τους παραδοσιακούς πελάτες και συσκευές των φορέων εκμετάλλευσης δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία εντελώς νέων ζητημάτων σε διάφορους τομείς, όπως για παράδειγμα στον τομέα της διαχείρισης πελατειακών σχέσεων (Customer Relationship Management - CRM).

Καθώς η αγορά, που συνδέεται με τις M2M επικοινωνίες, αποτελείται από πολλές διαφορετικές εφαρμογές και σενάρια επικοινωνίας με διαφορετικές απαιτήσεις και ανάγκες, δεν είναι δυνατόν ο φορέας εκμετάλλευσης δικτύου κινητής τηλεφωνίας να εξυπηρετήσει όλους τους πελάτες παρέχοντας απλά μία μονοδιάστατη λύση. Αντ' αυτού, πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερο προσαρμοσμένες λύσεις για να είναι οι φορείς σε θέση να εξυπηρετήσουν τους πελάτες M2M ατομικά, αλλά και να εξασφαλίσουν ότι θα επωφεληθούν οικονομικά από τους πελάτες στο μέγιστο βαθμό. Αυτό είναι σημαντικό, ειδικά στους τομείς της τμηματοποίησης πελατών και της τιμολόγησης. Λόγω των προσαρμοσμένων λύσεων και της αύξησης του αριθμού των πελατών, η διαχείριση των συνδρομών πρέπει να γίνει με έναν απλό αλλά και αποτελεσματικό τρόπο.

Η αυξανόμενη δημοτικότητα των M2M είναι θετική για όλο το οικοσύστημα των επικοινωνιών, καθώς οδηγεί προς νέες καινοτομίες, και ταυτόχρονα την προσέλκυση νέων εταιρειών που στο παρελθόν δεν ήταν εξοικειωμένες με τα M2M συστήματα. Με αυτόν τον τρόπο, η ιδέα των M2M συστημάτων και των δυνατοτήτων που αυτά παρουσιάζουν, αφομοιώνεται από μεγάλες βιομηχανίες, με συνέπεια τα αρχικά κόστη να μειωθούν. Ένας από τους λόγους είναι ότι θα υπάρχουν όλο και περισσότερες υλοποιημένες λύσεις για την αντιμετώπιση παρεμφερών αναγκών, και δε θα είναι απαραίτητο να χτίσουν τα πάντα από το μηδέν. Για μια εταιρία που υιοθετεί για πρώτη φορά την M2M φιλοσοφία, είναι απαραίτητο το χαμηλό αρχικό κόστος, ειδικά σε περιόδους ύφεσης. Επίσης, εάν το κόστος εγκατάστασης ενός επίγειου κινητού δικτύου με M2M λύσεις είναι πολύ υψηλό, τότε η ελκυστικότητα των ανταγωνιστικών τεχνολογιών θα αυξηθεί. Όσο πιο γενικές και φθηνότερες λύσεις θα παρουσιαστούν, τόσο περισσότερο θα μπορούν αυτές να υιοθετηθούν από τις μικρότερες εταιρείες και τους πελάτες-καταναλωτές τους.

Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια για την ευρεία υιοθέτηση των M2M συστημάτων είναι η τεράστια ποικιλομορφία σε διαφορετικές M2M εφαρμογές και η έλλειψη τυποποίησης των διάφορων μεθόδων υλοποίησης M2M εφαρμογών. Όταν προσαρμοσμένες λύσεις απαιτούνται, δηλαδή λύσεις οι οποίες πρέπει να κατασκευαστούν από το μηδέν, το αρχικό κόστος θα είναι πολύ υψηλό. Η κατάσταση όμως εξελίσσεται συνεχώς, καθώς η M2M φιλοσοφία είναι πλέον αντικείμενο μελέτης και έρευνας για το οικοσύστημα των τηλεπικοινωνιών και η M2M τυποποίηση λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε ομάδες όπως η 3GPP, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE), και το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI). Αυτό σημαίνει ότι τα M2M συστήματα θεωρούνται όλο και περισσότερο χρήσιμα και αποδοτικά στις επερχόμενες κατασκευές, επεκτάσεις αλλά και αναβαθμίσεις δικτύων.

3.3.2 Προκλήσεις για το δίκτυο

Δεδομένου ότι η φύση της κίνησης των πακέτων που θα προκύψει κατά τις M2M επικοινωνίες διαφοροποιείται από την κίνηση που δημιουργείται κατά τις H2H επικοινωνίες, τα ειδικά χαρακτηριστικά των M2M συστημάτων λαμβάνονται όλο και περισσότερο υπόψη κατά την εξέλιξη των κινητών δικτύων. Μία από τις αρχικές εκτιμήσεις της 3GPP είναι η ανάγκη προετοιμασίας για πιθανά σενάρια υπερφόρτωσης οφειλόμενη στο μεγάλο αριθμό συσκευών M2M. Η υπερφόρτωση μπορεί να συμβεί είτε στον πυρήνα δικτύου ή, εναλλακτικά, στο φασματικό δίκτυο και μπορεί να προκληθεί από την συμπεριφορά των συσκευών ή απλώς λόγω του τεράστιου αριθμού των MTCDs.

Το πρόβλημα έχει προσεγγιστεί από δύο κατευθύνσεις : τις προληπτικές λύσεις και τις λύσεις για χειρισμό ήδη υπερφορτωμένου δικτύου. Με άλλα λόγια, γίνεται προσπάθεια βελτίωσης του δικτύου έτσι ώστε η πιθανότητα για υπερφόρτωση να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη, αλλά αν η κατάσταση υπερφόρτωσης συμβεί, να μπορεί να διαχειριστεί με τη χρήση μεθόδων, όπως η φραγή πρόσβασης. Οι βελτιώσεις του δικτύου δεν σκοπεύουν αναγκαστικά μόνο να βοηθήσουν σε καταστάσεις υπερφόρτωσης, αλλά ταυτόχρονα να αυξήσουν την γενική απόδοση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Για παράδειγμα, οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από εξοπλισμούς χρήστη (User Equipment – UE) τύπου M2M μπορούν να είναι ταυτόχρονα όφελος άλλου τύπου UE.

Μια άλλη πρόκληση για το δίκτυο είναι ο χειρισμός του τεράστιου αριθμού των τερματικών σταθμών. Το πιο περιοριστικό αναγνωριστικό είναι η διεθνής ταυτότητα κινητού συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity – IMSI), καθώς υπάρχουν μόνο 9 έως 10 ψηφία διαθέσιμα για ένα δίκτυο που αναγνωρίζεται με κωδικό κινητού δικτύου (Mobile Network Code – MNC). Η βάση διευθύνσεων με πρωτόκολλο διαδικτύου έκδοσης 4 (Internet Protocol Version 4 - IPv4) είναι επίσης ένας περιοριστικός παράγοντας, αλλά μπορεί να αντιμετωπιστεί με το Μεταφραστή Διευθύνσεων Δικτύου (Network Address Translator - NAT) και την υιοθέτηση του πρωτοκόλλου διαδικτύου έκδοσης 6 (Internet Protocol Version 6 – IPv6), καθώς η βάση διευθύνσεων με IPv6 έχει μεγαλύτερο χώρο διευθύνσεων.

Μια βραχυπρόθεσμη πρόκληση για μερικούς από τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων είναι η πιθανότητα ανάγκης ανακατανομής ορισμένων τμημάτων του φάσματος Παγκοσμίου Συστήματος Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile Communication – GSM) για LTE, αλλά καθώς πολλές εφαρμογές M2M εξακολουθούν να χρησιμοποιούν το GSM, η ανακατανομή του φάσματος μπορεί να μην είναι δυνατή, τουλάχιστον όχι σε τόσο μεγάλη κλίμακα, όπως θα ήταν πρόθυμοι να κάνουν.

Για τον εξοπλισμό χρήστη (User Equipment – UE), η πρόκληση είναι άμεσα συνυφασμένη με το είδος της M2M εφαρμογής που σχετίζεται. Για ορισμένες εφαρμογές μπορεί να είναι σημαντική η εξασφάλιση μίας μπαταρίας μεγάλης διάρκειας, που μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες βελτιστοποιήσεις τόσο για το UE όσο και το δίκτυο.

3.4 Δομή ενός M2M συστήματος

Το σκεπτικό πίσω από τις M2M επικοινωνίες είναι βασισμένο σε τρεις παρατηρήσεις [6]:

- α) Ένα δικτυωμένο μηχάνημα είναι πιο πολύτιμο από ένα μεμονωμένο.
 - β) Όταν πολλές μηχανές είναι διασυνδεδεμένες, περισσότερο αυτόνομες εφαρμογές μπορούν να επιτευχθούν.
 - γ) Έξυπνες και πανταχού παρούσες υπηρεσίες μπορούν να ενεργοποιηθούν από συσκευές τύπου μηχανή (Machine Type Communication Devices – MTCs), οι οποίες έξυπνα επικοινωνούν με άλλες συσκευές οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε.
- Ένα σύστημα M2M περιλαμβάνει τρεις τομείς [5], τον τομέα της M2M συσκευής, τον τομέα δικτύου, και τον τομέα των εφαρμογών :

1) Στον τομέα M2M συσκευής, ένας πιθανώς τεράστιος αριθμός ασύρματων συσκευών είναι διαθέσιμος (integrated) για να επιτρέψει αυτοματοποιημένες και ποικίλες υπηρεσίες. Οι M2M συσκευές πρέπει να είναι εφοδιασμένες με διάφορες λειτουργίες, όπως

η απόκτηση δεδομένων, η προεπεξεργασία δεδομένων, αποθήκευση δεδομένων, χαρακτηριστική διεύθυνση IPv4, ασύρματο πομποδέκτη, παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, κ.λπ.

2) Στον τομέα του δικτύου, ένας μεγάλος αριθμός των ετερογενών σημείων πρόσβασης συνυπάρχουν. Έτσι, ο σχεδιασμός του συστήματος, υποστηρίζοντας την σύγκλιση των ετερογενών δικτύων κατά βέλτιστο τρόπο, είναι ένα δύσκολο ζήτημα.

3) Στον τομέα της εφαρμογής, διάφοροι ελεγκτές(monitors), εντολές, υπηρεσίες ελέγχου ή διαχείρισης παρέχονται και μπορεί να καταταχθούν σε διάφορες κατηγορίες, όπως α) περιοχή κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου της κυκλοφορίας, την πλοήγηση κυκλοφορίας, και έξυπνη επιλογή πορείας, β) υλικοτεχνική περιοχή, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης φορτίου και παρακολούθησης μηχανών (machine monitoring), γ) επιχειρηματικό τομέα, συμπεριλαμβανομένων ηλεκτρονικών πληρωμών, της εφοδιαστικής αλυσίδας, δ) οικιακή περιοχή, συμπεριλαμβανομένης της υγειονομικής περίθαλψης (e-health), έξυπνο δίκτυο (smart grid), παρακολούθηση οικίας, και συσκευές τηλεχειρισμού, κλπ.

Ο τομέας δικτύου αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία [6] , τα οποία συνοπτικά απεικονίζονται στο Σχ.5 :

- M2M Δίκτυο Πρόσβασης : Αυτό επιτρέπει στις M2M συσκευές και τις M2M προκαθορισμένες πύλες να επικοινωνήσουν με το Δίκτυο Κορμού (Core Network). Μπορεί να βασίζεται σε οποιαδήποτε από τις ακόλουθες υπάρχουσες λύσεις δικτύου πρόσβασης: ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL), τηλεόραση, GSM Δίκτυο Φασματικής Πρόσβασης (GSM EDGE Radio Access Network - GERAN), Παγκόσμιο Επίγειο Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης (Universal Terrestrial Radio Access Network - UTRAN), εξελιγμένο UTRAN (eUTRAN), Wi-Fi (IEEE 802,11), και Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Πρόσβαση Μικροκυμάτων (Worldwide Interoperability for Microwave Access - WiMAX). Οποιαδήποτε από τις προηγούμενες λύσεις μπορεί να βελτιστοποιηθεί για την M2M επικοινωνία αν χρειαστεί.

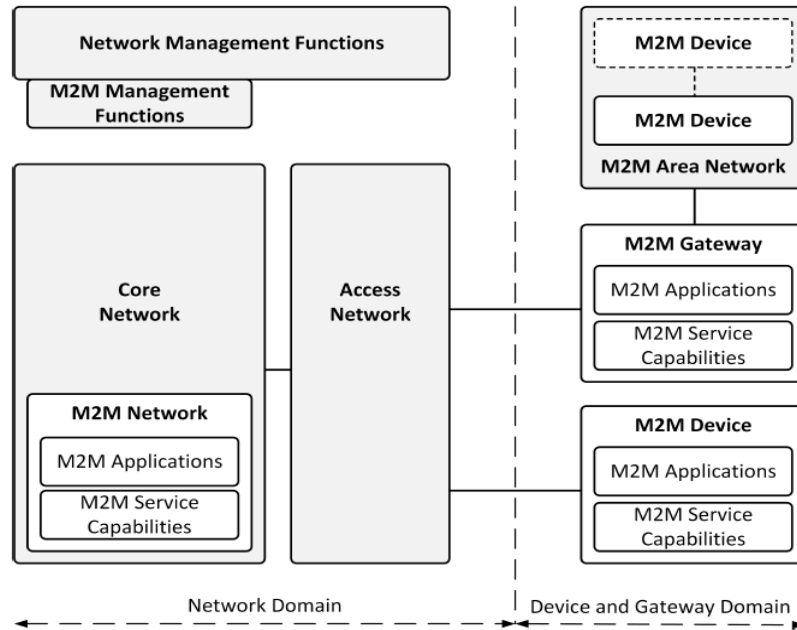
- M2M Δίκτυο Πυρήνα : Επιτρέπει τη διασύνδεση με άλλα δίκτυα, παρέχει IP συνδεσιμότητα ή άλλες επιλογές συνδεσιμότητας, υπηρεσιών και λειτουργιών ελέγχου και περιαγωγής. Παρομοίως με την πρόσβαση στο δίκτυο, μπορεί να βασίζεται σε ποικίλες υπάρχουσες λύσεις για δικτύωση κορμού (Core Networking – CN) : 3GPP CN, Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων & Διαδικτυακές συγκλίνουσες υπηρεσίες & Πρωτόκολλα για προχωρημένα Δίκτυα (ETSI Telecoms & Internetconverged Services & Protocols for Advanced Networks –TISPAN), που θα πρέπει να βελτιστοποιηθούν για συγκεκριμένα είδη M2M επικοινωνίας αν κριθεί απαραίτητο.

- Επίπεδο Δυνατοτήτων M2M Υπηρεσιών Δικτύου – (M2M Network Service Capabilities Layer - NSCL) : παρέχει πληθώρα M2M λειτουργιών που μοιράζονται μεταξύ διάφορων M2M εφαρμογών.

- M2M εφαρμογές : χρησιμοποιούν τις δυνατότητες των διαθέσιμων υπηρεσιών M2M μέσω ανοικτών διεπαφών.

- M2M Λειτουργίες Διαχείρισης Δικτύου : αποτελείται από το σύνολο των λειτουργιών (π.χ. προβλέψεων, εποπτείας και διαχείρισης σφάλματος) που απαιτούνται για τη διαχείριση δικτύων πρόσβασης και πυρήνα.

- M2M Λειτουργίες Διαχείρισης : αποτελείται από το σύνολο των λειτουργιών που απαιτούνται για τη διαχείριση των δυνατοτήτων των M2M υπηρεσιών στον τομέα του δικτύου.

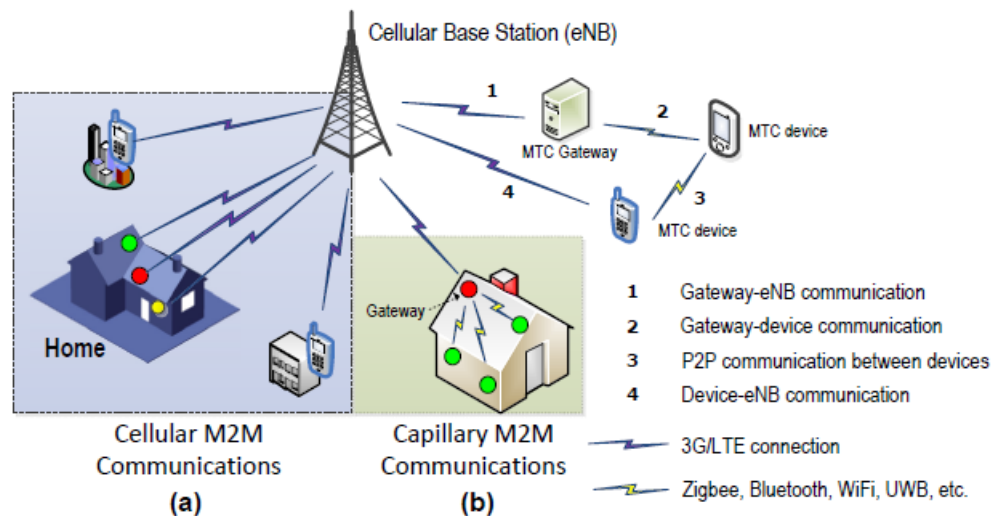


Σχήμα 8 : Υψηλού Επιπέδου Αρχιτεκτονική ενός M2M συστήματος

3.5 Αρχιτεκτονική Δικτύων στις M2M επικοινωνίες

Τα σύγχρονα RAN για LTE-advanced αποτελούνται από ένα μόνο κόμβο, τον εξελιγμένο κόμβο βάσης (evolved Node Base - eNB). Πρόκειται για αρχιτεκτονική πλήρους κατανεμημένου δικτύου πρόσβασης ραδιοσυχνότητας, όπου μπορούν να διασυνδέονται eNBs μεταξύ τους. Το τρέχον 3G LTE δίκτυο κινητής τηλεφωνίας έχει σχεδιαστεί μόνο για την παροχή H2H υπηρεσιών για εξοπλισμό χρήστη (UEs). Ωστόσο, με την εισαγωγή των M2M επικοινωνιών, η αρχιτεκτονική του δικτύου θα πρέπει να τροποποιηθεί, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των M2M υπηρεσιών χωρίς να θυσιάζονται οι ιδιότητες των ήδη υπάρχοντων H2H υπηρεσιών.

Όπως έχει τυποποιηθεί στο 3^{ης} Γενιάς Πρόγραμμα Συνεργασίας (3GPP), οι τρόποι διασύνδεσης μεταξύ των τερματικών και ενός κυψελοειδούς δικτύου μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες [6]: 1) M2M κυψελωτές επικοινωνίες (M2M cellular), όπως φαίνεται στο Σχ. 3(α), όπου κάθε τερματικό M2M συνδέεται απευθείας με ένα 3G ή 4G κυψελωτό δίκτυο και 2) τις τριχοειδή M2M επικοινωνίες (M2M capillary), όπως φαίνεται στο Σχ. 3(β), όπου τα τερματικά σε μια περιοχή (π.χ. ένα ψηλό κτίριο) οργανώνονται σε τριχοειδές, συνήθως ασύρματο, δίκτυο με μία τοπολογία πλέγματος ή δέντρου, συνδεδεμένα μέσω μιας πύλης με το κυψελωτό δίκτυο.



Σχήμα 9 : Δομή M2M Cellular και Capillary δικτύων

Η M2M Cellular προσέγγιση έχει ως στόχο να αξιοποιήσει τα σημαντικά οφέλη των κυψελωτών δικτύων, δηλαδή τη σχεδόν πανταχού κάλυψη, αξιόπιστη παράδοση και την καθυστέρηση των εγγυήσεων, καθώς και ώριμες λύσεις για την ασφάλεια και τη χρέωση. Ωστόσο, τα κυψελωτά δίκτυα αποδίδουν βέλτιστα για ένα μεγάλο αριθμό κινητών συσκευών, αν και μόνο αν ένας μικρός αριθμός από αυτές είναι ενεργός σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, και το μεγαλύτερο κομμάτι από τη ροή της κυκλοφορίας δεδομένων παρουσιάζεται σε κατεύθυνση κατερχόμενης ζεύξης (downlink). Έτσι, η απευθείας σύνδεση των M2M δικτύων με κυψελωτά δίκτυα είναι αναποτελεσματική επειδή ένας μεγάλος αριθμός των -επί το πλείστον- στασίμων τερματικών με κύκλους χαμηλού φορτίου (low duty cycle) θα προκαλέσει κορεσμό στην ανερχόμενη ζεύξη κυκλοφοριακής ροής (uplink). Συγκριτικά, οι έξυπνες συσκευές στις M2M capillary επικοινωνίες οργανώνονται σε ένα δίκτυο τερματικών έχοντας μόνο την προκαθορισμένη πύλη να συνδέεται με το κυψελωτό δίκτυο. Κατά συνέπεια, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα M2M capillary είναι πιο αποτελεσματικά για την ανάπτυξη σε μεγάλη κλίμακα.

α) Κυψελωτές M2M Επικοινωνίες (Cellular M2M Communications)

Στο πλαίσιο της 3GPP Long Term Evolution (LTE), η αρχιτεκτονική για M2M cellular επικοινωνίες αποτελείται από διάφορα στοιχεία του δικτύου: 1) MTC συσκευή (MTC Device – MTCD), που είναι ο εξοπλισμός χρήστη (UE) ειδικά σχεδιασμένος για επικοινωνίες τύπου μηχανή, 2) MTC προκαθορισμένη πύλη (MTC Gateway – MTGG), η οποία διαθέτει το εύρος ζώνης και συντονίζει τη χρήση των πόρων μεταξύ των MTCDs και 3) ένας eNB, ο οποίος είναι συνήθως ειδικά σχεδιασμένος για την έντονη και συχνή διακίνηση πόρων και παρέχει λειτουργίες σε σχέση με το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο χρήστη.

Το σύνολο των διαφορετικών συνδυασμών της μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των τριών προαναφερόμενων στοιχείων οδηγούν σε τέσσερα είδη επικοινωνίας [5], όπως φαίνεται και στο Σχ.4 :

i) MTGG – eNB επικοινωνία : Αυτός ο τύπος μετάδοσης χρησιμοποιεί το επιτρεπόμενο φάσμα. Αμφίδρομες μεταδόσεις λαμβάνουν χώρα σε αυτή τη διαδικασία. Ορθογώνιες και

από κοινού κατανομές πόρων απαιτούνται για να ελαχιστοποιήσουν ή και να αποτρέψουν τις παρεμβολές σε αυτό το στάδιο.

ii) *MTCG – MTC D επικοινωνία* : Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η δομή του πλαισίου των διαφόρων MTC D συνήθως ποικίλλει σημαντικά. Η MTC προκαθορισμένη πύλη παρέχει συνήθως την απαιτούμενη υπολογιστική ικανότητα για την επεξεργασία των δεδομένων που αποστέλλονται από τις MTC συσκευές ώστε να αποτρέψει τη συμφόρηση του eNB. Η MTCG μπορεί να διαθέσει το εύρος ζώνης και τους πόρους ισχύος με ευφυή τρόπο στα MTC Ds με αποτέλεσμα να κάνουν την επικοινωνία πιο αποτελεσματική.

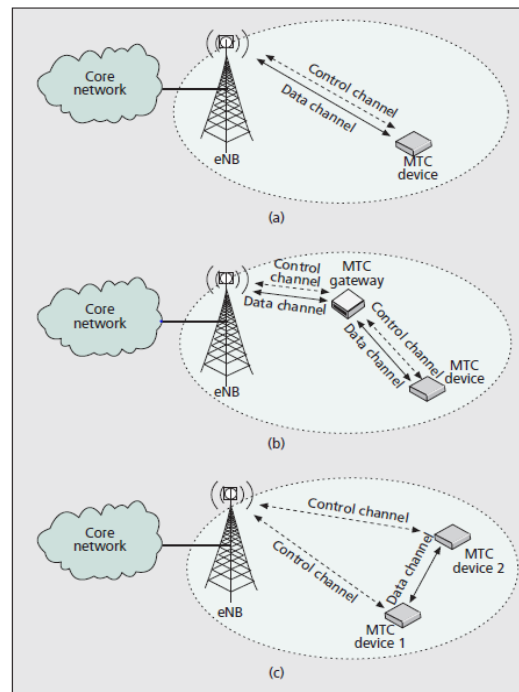
iii) *P2P Επικοινωνία μεταξύ MTC Ds* : Ένα MTC D μπορεί να επικοινωνεί τοπικά με άλλες οντότητες, οι οποίες παρέχουν σε αυτό ακατέργαστα δεδομένα για την επεξεργασία και την επικοινωνία με το νέο MTC server ή/ και άλλα MTC Ds. Σε σύγκριση με άλλες λύσεις τοπικής συνδεσιμότητας, όπως το IEEE 802.11a ή IEEE 802.15.x, η peer-to-peer μετάδοση μεταξύ MTC Ds, που υποστηρίζεται από ένα κυψελωτό δίκτυο, προσφέρει ελκυστικά πλεονεκτήματα. Το κυψελωτό δίκτυο μπορεί να μεταδώσει τις διαθέσιμες τοπικές υπηρεσίες μέσα σε μια πολύ ευρύτερη περιοχή κάλυψης. Έτσι, για αυτοματοποιημένη ανακάλυψη υπηρεσιών, τα MTC Ds δε χρειάζεται να σαρώνουν συνεχώς για διαθέσιμα σημεία τοπικής πρόσβασης (APS) όπως στην περίπτωση του IEEE 802.11a. Αυτό είναι πλεονεκτικό καθώς οδηγεί σε σημαντικά μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για τη σάρωση. Με τη γνώση των κλειδιών κρυπτογράφησης και από τα 2 MTC Ds που εμπλέκονται σε peer-to-peer επικοινωνία, μπορεί να δημιουργηθεί μια ασφαλής σύνδεση χωρίς χειροκίνητη αντιστοίχιση των συσκευών ή εισαγωγή κλειδιών κρυπτογράφησης. Επιπλέον, μέσω του ελέγχου του eNB στις peer-to-peer επικοινωνίες, οι παρεμβολές σε άλλους κυψελωτούς δέκτες μπορεί να περιοριστούν ή να μετριαστούν.

iv) *MTC D – eNB επικοινωνία* : Παρόμοια με ένα κανονικό UE, ένα MTC D έχει τη δυνατότητα να εγκαταστήσει άμεση σχέση με τον eNB του. Ως εκ τούτου, υπάρχουν σημαντικές ομοιότητες μεταξύ των συνδέσεων τύπου eNB προς UE και eNB προς MTC D. Από την άλλη πλευρά, κανονικά MTC Ds εμφανίζονται σε μεγάλες ποσότητες στα M2M δίκτυα και ως εκ τούτου παρουσιάζουν τη λειτουργία υπηρεσιών των βασισμένων-σε-ομάδες (groupbased) επικοινωνιών. Σε ορισμένες χρονικές στιγμές, έντονος ανταγωνισμός για τους ραδιοπόρους, μπορεί να συμβαίνει. Για παράδειγμα, μία ή περισσότερες ομάδες MTC στέλνουν αιτήματα επικοινωνίας σε ένα eNB ταυτόχρονα, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση του δικτύου, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της απόδοσης για τις M2M και H2H υπηρεσιών.

β) *Τριχοειδείς M2M Επικοινωνίες (Capillary M2M Communications)*

Αν και οι κυψελωτές M2M επικοινωνίες παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης κάλυψης και χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης δικτύου με τον ίδιο τρόπο όπως και οι κοινές κυψελωτές και κινητές υπηρεσίες επικοινωνιών, τα υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα δεν είναι ειδικά σχεδιασμένα για το χειρισμό της συνολικής κίνησης που παράγεται από M2M συσκευές.

Σε τριχοειδή M2M δίκτυα, οι ρυθμοί δεδομένων των διαφορετικών ειδών συσκευών μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Έτσι, η αποτελεσματική διαβίβαση πακέτων στον επόμενο κόμβο αναμετάδοσης έχει αρκετές προκλήσεις. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν κάποιες λύσεις που έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση του προαναφερόμενου ζητήματος [6].



Σχήμα 10 : Τρόποι δικτύωσης σε Κυψελωτό M2M δίκτυο (a) MTCD - eNB (b) MTCD – MTCG και MTCG-eNB (c) P2P μεταξύ των MTCDS

- Γνωστική πύλη (cognitive gateway) για να φιλοξενήσει τριχοειδή M2M κυκλοφορία :

Τα τριχοειδή M2M δίκτυα έχουν στόχο να αποτρέψουν ορισμένες από τις δυσκολίες που προκύπτουν σε ένα μεγάλο αριθμό M2M τερματικών, οργανώνοντας τα σε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Access Network - WLAN) ή σε ένα ασύρματο προσωπικό δίκτυο (Wireless Personal Access Network - WPAN) με τοπολογία σχήματος δέντρου ή πλέγματος. Το δίκτυο αυτό στη συνέχεια συνδέεται με τη ραχοκοκκαλιά (backhaul) του κυψελωτού δικτύου. Συνεπώς, μια MTCG θα πρέπει να είναι εξοπλισμένη με WLAN/WPAN διεπαφές, αλλά και διεπαφή για κυψελωτές ραδιοεπικοινωνίες (cellular radio). Μια M2M πύλη θα εμφανιστεί στο M2M μεσολαβητή ως πελάτης που ανταγωνίζεται με μεμονωμένα M2M τερματικά, καθώς και με άλλες M2M πύλες.

Επίσης ο σχεδιασμός μιας νέας M2M πύλης, για να φιλοξενήσει την κίνηση που προέρχεται από τριχοειδή M2M δίκτυα, είναι απαραίτητη. Λόγω του υψηλότερου όγκου κίνησης, μια M2M πύλη θα χρειαστεί μεγαλύτερη προτεραιότητα στην πρόσβαση στο ασύρματο μέσο, σε σχέση με μεμονωμένα M2M τερματικά. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες προσαρμογές στον τρόπο πρόσβασης της M2M πύλης, η οποία θα πρέπει να συγκεντρώνει τα στοιχεία που προέρχονται από τους τερματικούς σταθμούς στην WLAN/WPAN διεπαφή, ενώ ταυτόχρονα θα διατηρεί τη γνώση των ταυτοτήτων τους, έτσι ώστε να επιτρέπει στις εντολές από το M2M server να καταλήγουν στους κατάλληλους παραλήπτες. Η MTCG θα πρέπει επίσης να ιεραρχεί τα δεδομένα λόγω των διαφορών στην ώρα άφιξης τους και λόγω της απαίτησης της ταχύτερης άφιξης δεδομένων ορισμένων εφαρμογών (π.χ. συναγερμοί) στο διακομιστή σε σχέση με άλλα (π.χ. κανονικά δεδομένα μέτρησης).

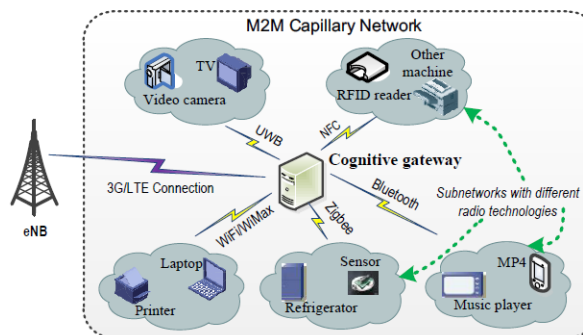
- Προκαθορισμένη πύλη σύνδεσης των τριχοειδών και κυψελωτών M2M επικοινωνιών:

Πολλές M2M εφαρμογές, όπως το έξυπνο δίκτυο (smart grid), απαιτούν την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των τριχοειδών και κυψελωτών M2M δικτύων με τρόπο αποτελεσματικό και αποδοτικό. Αυτά τα ετερογενή δίκτυα έχουν υψηλή απαίτηση για τη σύγκλιση του δικτύου και τη διαλειτουργικότητα των συσκευών. Ωστόσο, οι δομές πλαισίου και τα συστήματα σηματοδότησης των τριχοειδών και των κυψελωτών M2M δικτύων ποικίλλουν σημαντικά, γεγονός που περιπλέκει το σχεδιασμό του δικτύου. Η γνωστική πύλη, η οποία μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλά πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας, είναι σε θέση να δημιουργεί δεσμούς επικοινωνίας αυτομάτως μεταξύ ασυμβίβαστων ραδιοσυχνοτήτων. Ως εκ τούτου, αναμένεται να συνδέει τριχοειδή και κυψελωτά M2M δίκτυα άψογα με ευελιξία και επεκτασιμότητα. Η δομή της πύλης φαίνεται στο Σχ.4. Αυτή η γνωστική πύλη μπορεί να παρέχει έλεγχο πρόσβασης και διαχείρισης Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS), να βελτιώσει την αποδοτικότητα του δικτύου, να επεκτείνει τη σύγκλιση και να προωθήσει τη διαλειτουργικότητα του δικτύου.

Μια πύλη για την ένταξη των τριχοειδών και κυτταρικών M2M επικοινωνιών πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά για να διασφαλιστεί η επεκτασιμότητα των συστήματος και η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

- Διαχείριση ύπνου για τα M2M τερματικά:

Πολλά M2M τερματικά χρειάζονται διατάξεις διαχείρισης ύπνου που μπορούν να υλοποιηθούν μέσω πιθανοτικού ελέγχου της διάρκειας των ενεργών και ανενεργών (δηλαδή, των υπηρεσιών και του ύπνου) περιόδων. Ένας κόμβος που επιθυμεί να απενεργοποιήσει τη λειτουργία του, ενημερώνει την M2M πύλη με ειδικό πακέτο αίτησης για το μοτίβο της ώρας του ύπνου του. Η διάρκεια του χρόνου ύπνου είναι μια τυχαία μεταβλητή (π.χ. με γεωμετρική κατανομή πιθανότητας), ο μέσος όρος της οποίας υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη συγκρούσεις πλαισίων στον τομέα της M2M πύλης, καθώς και την απαιτούμενη πληροφορία από κάθε συσκευή μέτρησης που πρέπει να φτάσει στη M2M πύλη. Κάθε κοιμισμένος κόμβος ξυπνάει αμέσως για κάθε φάρο και ακούει το πλαίσιο-φάρο. Η M2M πύλη διαφημίζει τη λίστα με τις διευθύνσεις MAC των M2M κόμβων για τους οποίους έχει βάλει στην ουρά πλαισίων κατερχόμενης ζεύξης (command/configuration) στο κάθε πλαίσιο-φάρος. Αν ένας κοιμώμενος κόμβος ακούσει τη δική του MAC διεύθυνση, τότε ξυπνάει και μεταδίδει ένα πλαίσιο αίτηματος δεδομένων, μετά το οποίο η M2M πύλη θα μεταδώσει ένα πλαίσιο κατερχόμενης ζεύξης (downlink).



Σχήμα 11 : Γνωστική MTCG που συνδέει κυψελωτές και τριχοειδείς επικοινωνίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Κατανομή Πόρων σε M2M δίκτυα

Ακόμα κι αν προδιαγραφές της M2M επικοινωνίας είναι ακόμα σε εξέλιξη, οι κυψελωτές M2M επικοινωνίες θεωρούνται μια λύση που εξασφαλίζει την καλύτερη κάλυψη και χαμηλότερου κόστους ανάπτυξη δικτύου. Ωστόσο, τα υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα έχουν σχεδιαστεί για την επικοινωνία μέσω ανθρώπινων συσκευών, όπως κινητών τηλεφώνων, οι οποίες αποσκοπούν στη μετάδοση φωνής και πολυμέσων, σε πραγματικό χρόνο ή με μικρή καθυστέρηση, και υψηλή απόδοση, τα οποία είναι διαφορετικά από τα θέματα που προτείνουν η IEEE 802.16 και η 3GPP.

Οι απαιτήσεις υπηρεσίας των MTC σχετίζονται με την ανεκτική, μη συχνή, και μικρής έκρηξης μετάδοση. Ως εκ τούτου, προτιμάται μια κυψελωτή αρχιτεκτονική, βασισμένη στις M2M επικοινωνίες με λιγότερη πολυπλοκότητα και υψηλότερη απόδοση μετάδοσης.

4.1.1 Επιλογή Συντονιστή Ομάδας αποτελούμενη από MTCDs

Ένα σημαντικό ζήτημα για τις M2M επικοινωνίες είναι το γεγονός ότι η μαζική πρόσβαση από τα MTCDs μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση των Σταθμών Βάσης. Αρχικά, θα παρουσιάσουμε κάποιες γνωστές μεθόδους [7] για την επιλογή συντονιστή στις ομάδες μηχανών, ώστε να επιτυγχάνεται αποδοτικός καταμερισμός των πόρων, εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του φόρτου δικτύου. Υπάρχουν 2 ειδών μέθοδοι για την επιλογή συντονιστή. Στο πρώτο είδος, δε λαμβάνεται υπόψη η κατάσταση του καναλιού μεταξύ του συντονιστή και του Σταθμού Βάσης, ενώ στο δεύτερο είδος λαμβάνεται υπόψη.

α) Μέθοδοι όπου δε λαμβάνεται υπόψη η κατάσταση καναλιού μεταξύ συντονιστή και Σταθμού Βάσης.

i) *Σχέδιο Επιλογής Διαμέσου των Κέρδων Καναλιού* : Επιλέγεται ο συντονιστής, ο χρήστης-μηχανή του οποίου το κέρδος καναλιού ως προς το Σταθμό Βάσης είναι η διάμεσος των κέρδων καναλιού. Αυτό το σχέδιο αναμένεται να οδηγήσει στην ανάδειξη ως συντονιστή ενός χρήστη-μηχανής που βρίσκεται κοντά στο κέντρο της ομάδας. Αυτό έχει ως θετικό, ότι όλοι οι χρήστες-μηχανές της ομάδας θα απέχουν περίπου το ίδιο από το συντονιστή, οπότε το κόστος μετάδοσης των δεδομένων προς το συντονιστή θα είναι σχετικά «δίκαιο» για όλα τα MTCDs της ομάδας.

ii) *Σχέδιο επιλογής του μέγιστου αριθμητικού μέσου σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανές*

iii) *Σχέδιο επιλογής του μέγιστου γεωμετρικού μέσου σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανές*

β) Μέθοδοι όπου λαμβάνεται υπόψη η κατάσταση καναλιού μεταξύ συντονιστή και Σταθμού Βάσης.

i) *Τροποποιημένο Σχέδιο επιλογής του μέγιστου αριθμητικού μέσου σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανές* : Η επιλογή γίνεται όπως και πριν με βάση το μέγιστο αριθμητικό μέσο, αλλά έχοντας προσθέσει ένα παράγοντα βαρύτητας, ώστε να ληφθεί υπόψη το κέρδος καναλιού ως προς το σταθμό βάσης.

ii) *Τροποποιημένο Σχέδιο επιλογής του μέγιστου γεωμετρικού μέσου σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανές* : Η επιλογή γίνεται όπως και πριν με βάση το μέγιστο γεωμετρικό μέσο,

αλλά έχοντας προσθέσει ένα παράγοντα βαρύτητας, ώστε να ληφθεί υπόψη το κέρδος καναλιού ως προς το σταθμό βάσης.

iii) *Σχέδιο Επιλογής με βάση το μέγιστο κέρδος καναλιού* : Σε αυτό το σχέδιο, η επιλογή γίνεται ανάλογα με το ποιος χρήστης-μηχανή έχει το μέγιστο κέρδος καναλιού αναφορικά με το Σταθμό Βάσης.

Όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, στη συγκεκριμένη εργασία, η επιλογή των συντονιστών στο σύστημά μας, γίνεται σύμφωνα με το σχέδιο επιλογής με βάση το μέγιστο κέρδος καναλιού, καθώς υποστηρίζουμε ότι οδηγεί στην πιο αποδοτική κατανομή πόρων στο δίκτυο.

4.2 Αλγόριθμοι Κατανομής Πόρων στο M2M δίκτυο

Για να μπορέσει ένα μεγάλο δίκτυο M2M να υποστηρίξει τη σύνδεση μεταξύ πολλών συσκευών, η κατανομή των πόρων αποτελεσματικά στα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα, διατηρώντας ταυτόχρονα επαρκή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για αξιόπιστη επικοινωνία γίνεται μία βασική και γεμάτη προκλήσεις απαίτηση. Δεδομένου ότι οι περισσότερες από τις MTCs είναι εξοπλισμένες με μπαταρία και ο αριθμός των μηχανών αναμένεται να είναι σημαντικά περισσότερος από τον ανθρώπινο πληθυσμό, υπάρχουν δύο κρίσιμες απαιτήσεις στις M2M επικοινωνίες, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για ανερχόμενη ζεύξη κυκλοφοριακής ροής (uplink) και διαχείριση μαζικής πρόσβασης (Massive Access Management).

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν κάποιες υπάρχουσες μέθοδοι για κατανομή πόρων στα M2M δίκτυα (Resource Allocation – RA) :

1) *Energy-Saving Massive Access Control and Resource Allocation Schemes for M2M communications in OFDMA Cellular Networks – Μαζική Διαχείριση Πρόσβασης και Μέθοδοι Κατανομής Πόρων σε OFDMA Κυψελωτά Δίκτυα [7]*

Στην εργασία αυτή, προτείνονται διαχείριση μαζικής πρόσβασης (Massive Access Management - MAM) και μέθοδος κατανομής πόρων (Resource Allocation Method – RA Method), που ασχολείται με ομαδοποίηση των μηχανών, επιλογή των συντονιστών και φυσικά την κατανομή πόρων, και υπολογίζεται ο αριθμός των ομάδων, με τον οποίο επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας (Total Energy Consumption) για το M2M σύστημα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρουσιάζονται 2 προσεγγίσεις αναφορικά με το κανάλι, δηλαδή, επίπεδα εξασθενούμενο κανάλι (flat fading channel) και επιλεκτικό στη συχνότητα εξασθενούμενο κανάλι (frequency selective fading channel).

Αρχικά, στο επίπεδα εξασθενούμενο κανάλι επιλέγονται τυχαίοι χρήστες-μηχανές ως συντονιστές. Έπειτα, οι μηχανές αναθέτονται στην ομάδα στην οποία αναμένεται να καταναλώσουν τη λιγότερη ενέργεια. Στη συνέχεια, επιλέγονται συντονιστές σε κάθε ομάδα αυτοί οι οποίοι οδηγούν σε χαμηλότερη συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια.

Η προαναφερόμενη διαδικασία γίνεται επαναληπτικά, μέχρις ότου να μην υπάρξει διαφοροποίηση στην ανάδειξη των συντονιστών. Αφού επιλεγούν οι τελικοί συντονιστές, οι υπόλοιπες μηχανές αναθέτονται στην ομάδα, στην οποία συνεισφέρουν το λιγότερο στην κατανάλωση ενέργειας.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο καταμερισμός ισχύος του συστήματος, όπου υπολογίζεται η ισχύς με την οποία θα μεταδίδει κάθε κόμβος-μηχανή με βάση τη σχέση

$$\frac{\text{Αριθμός Μεταδιδόμενων Bit}}{\text{Καταναλισκόμενη Ενέργεια}} = \frac{\text{Ρυθμός Μετάδοσης}}{\text{Ισχύς}}$$

, και την απαίτηση ο αριθμός των bits/joule να ελαχιστοποιείται.

Στη δεύτερη περίπτωση, επιλέγεται επιλεκτικό στη συχνότητα κανάλι από τους συντονιστές στο σταθμό βάσης, με διαφορετικό κέρδος διαδρομής (path gain) ανά κανάλι. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος για εξοικονόμηση ενέργειας και καταμερισμό πόρων είναι συνοπτικά ο εξής : Αρχικά, γίνεται η ομαδοποίηση των μηχανών και η επιλογή των coordinators, όπως προαναφέρθηκε. Στη συνέχεια, για κάθε υποφέρουσα, υπολογίζεται η βέλτιστη μεταδιδόμενη ισχύς και ο επιτευχθείς ρυθμός μετάδοσης για κάθε συντονιστή. Έπειτα αναθέεται η υποφέρουσα και κατανέμεται η μεταδιδόμενη ισχύς στον κατάλληλο συντονιστή. Τέλος, ενημερώνεται στον ανατεθειμένο συντονιστή το σύνολο δεδομένων που έχει αποσταλλεί και υπολογίζεται η συνολική ενέργεια που έχει καταναλωθεί από αυτόν. Ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται αν όλοι οι συντονιστές ολοκληρώσουν τη μετάδοση των δεδομένων τους.

Σχολιασμός

- Εδώ η ομαδοποίηση των μηχανών και η επιλογή του συντονιστή πραγματοποιείται με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, ενώ εμείς δίνουμε έμφαση στη μεγιστοποίηση της συνάρτησης ευχαρίστησης του χρήστη και επιλέγουμε τους συντονιστές ανάλογα με το ποιες μηχανές παρουσιάζουν μεγάλο κέρδος διάυλου αναφορικά με το Σταθμό Βάσης.
- Η κατανομή πόρων γίνεται με στόχο την ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, αλλά δεν αναφέρεται καθόλου ο χρόνος λειτουργίας του συστήματος, δηλαδή η μελέτη πραγματοποιείται μόνο σε μία χρονοθυρίδα.
- Θεωρείται ότι μόνο οι διάυλοι ανάμεσα στους συντονιστές και στο Σταθμό Βάσης παρουσιάζουν διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα (frequency selective fading channel), συνεπώς αναθέτονται υποφέρουσες συχνότητες μόνο στους συντονιστές και όχι στις υπόλοιπες μηχανές.
- Δεν αναφέρεται σε συνύπαρξη με H2H χρήστες.

2) Massive Access Management for QoS Guarantees in 3GPP Machine-to-Machine Communications - Διαχείριση Μαζικής Πρόσβασης για Εγγυήσεις Ποιότητας Υπηρεσιών σε 3GPP Μηχανής προς Μηχανή Επικοινωνίες [8]

Στη δημοσίευση αυτή, παρουσιάζεται αλγόριθμος Διαχείρισης Μαζικής Πρόσβασης σε ένα δίκτυο, όπου πραγματοποιούνται M2M επικοινωνίες, με στόχο την ικανοποίηση τριών παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας σε κάθε ομάδα κόμβων-μηχανή και συντονιστή: α) ρυθμού άφιξης πακέτων, β) μέγιστου επιτρεπτού τρέμουλου φάσης (jitter) και γ) αποδεκτής πιθανότητας ότι το τρέμουλο φάσης θα ξεπεράσει το μέγιστο επιτρεπτό τρέμουλο.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στο σχέδιο Διαχείρισης Μαζικής Πρόσβασης, διαχωρίζονται τα MTCs σε 2 κατηγορίες, αυτά τα οποία έχουν στατιστικές εγγυήσεις Ποιότητας-Υπηρεσίας, όπου υπάρχει ελαστικότητα σε σχέση με το χρόνο εξυπηρέτησης και αυτά τα οποία έχουν ντετερμινιστικές εγγυήσεις Ποιότητας Υπηρεσίας, όπου εμφανίζεται σοβαρό πρόβλημα σε περίπτωση που υπάρχει παράβαση του χρονικού περιθωρίου μετάδοσης. Στην πρώτη περίπτωση, για να ικανοποιήσει τους εξοπλισμούς χρηστών (User Equipment)

για LTE-Advanced, ο σταθμός βάσης φέρεται καιροσκοπικά, απασχολώντας κάποια πακέτα συχνοτήτων για τα οποία είχαν αρχικά ανατεθεί σε ομάδες αποτελούμενες από MTCDs. Στη δεύτερη περίπτωση, ο σταθμός βάσης εξασφαλίζει κάποια πακέτα συχνοτήτων για τους ντετερμινιστικούς κόμβους-μηχανές προκειμένου να ελαχιστοποιήσει την αποδεκτή πιθανότητα υπέρβασης επιτρεπτού jitter.

Κατά την παρούσα Διαχείριση Μαζικής Πρόσβασης, ο Σταθμός Βάσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα παρέχει σε μία ομάδα μηχανών ένα χρονικό διάστημα κατανομημένης επίτρεπούμενης πρόσβασης (Allocated Access Grant Time). Σε αυτό το διάστημα, ανατίθεται μία μονάδα κατανομής σε κάθε MTCD της ομάδας που έχει πρόσβαση. Μέσω της μονάδας αυτής, παρέχεται στον κόμβο-μηχανή ο απαιτούμενος αριθμός πακέτων συχνοτήτων, ώστε να πραγματοποιηθεί η μετάδοση του πακέτου.

Αποδεικνύεται ότι αν η πιθανότητα μία μονάδα κατανομής να χρησιμοποιηθεί τελικά από το Σταθμό Βάσης και όχι από το MTCD είναι μικρότερη από μία τιμή, τότε εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας παράβασης της Ποιότητας Υπηρεσίας.

Σχολιασμός

- Ο Σταθμός Βάσης δε δίνει υποφέρουσες συχνότητες σε κάθε χρονοθυρίδα, αλλά ανά χρονικά διαστήματα που καθορίζονται με βάση την προτεραιότητα
- Ο Σταθμός Βάσης μπορεί να χρησιμοποιεί πακέτα συχνοτήτων που αντιστοιχούν σε κόμβους-μηχανές οδηγώντας σε παραβίαση της ποιότητας-υπηρεσιών
- Δεν αναφέρονται στην ύπαρξη χρηστών με απάιτηση υπηρεσιών πραγματικού/ μη πραγματικού χρόνου . Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς οι Η2Η χρήστες είναι πιο απαιτητικοί στην αξιοποίηση των πακέτων συχνοτήτων και συνεπώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη Διαχείριση Μαζικής Πρόσβασης του δικτύου.
- Δεν αναφέρουν τη χρήση συντονιστών, η οποία έχει κριθεί από πολλούς μείζωνης σημασίας για τις M2M επικοινωνίες .

3) A User-Pairing based Resource Allocation Scheme for a Large Number of Devices in M2M Communications - Ένα σχέδιο Κατανομής Πόρων βασισμένο σε Ταίριασμα Χρηστών για ένα μεγάλο αριθμό συσκευών σε M2M επικοινωνίες [9].

Στην εργασία αυτή, προτείνεται ένα σχέδιο Κατανομής Πόρων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων Πακέτων Συχνοτήτων, βασισμένο στην τεχνική ταιριάσματος χρηστών. Κατά το ταίριασμα χρηστών (στην παρούσα εργασία προτείνεται ταίριασμα μέχρι και 2 χρηστών, ώστε να αποφευχθεί η αυξημένη πολυπλοκότητα), οι χρήστες μοιράζονται τους ίδιους πόρους, υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούν το ίδιο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

Αρχικά, συγκρίνεται ο συνολικός αριθμός απαιτούμενων πακέτων συχνοτήτων για 2 χρήστες, μεταξύ σχήματος ορθογώνιας και μη ορθογώνιας κατανομής. Παρατηρείται ότι το σχήμα ορθογώνιας κατανομής πόρων υπερέχει όταν η διαφορά μεταξύ των σηματοθορυβικών λόγων των 2 χρηστών αυξάνεται, κάτι το οποίο είναι λογικό να συμβαίνει για 2 χρήστες-μηχανές που βρίσκονται σε τυχαίες, μεταξύ τους, θέσεις στο κυψελωτό δίκτυο. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το πρόβλημα καταμερισμού πόρων για περισσότερους από 2 χρήστες στο δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, μελετάται ποια είναι η πιο αποδοτική ομαδοποίηση των χρηστών στο δίκτυο ώστε να χρησιμοποιούνται τα λιγότερα πακέτα συχνοτήτων. Λαμβάνονται

αποτελέσματα για περισσότερα από ένα σχέδια καταμερισμού πόρων και στο πιο αποδοτικό επιτυγάνεται αναλογία συνολικού αριθμού πακέτων συχνοτήτων προς συνολικού αριθμού συσκευών ίση με 1:1.

4) Resource Allocation for M2M Communication in Heterogeneous Network: Coalitional Game Theory Approach – Κατανομή Πόρων για M2M επικοινωνίες σε Ετερογενή Δίκτυα : Μία Προσέγγιση βασισμένη σε θεωρία παιγνίων συνασπισμού

Στην εργασία αυτή, μοντελοποιείται μία μέθοδος ανάλυσης της κατανομής πόρων στις M2M επικοινωνίες σε ετερογενή δίκτυα, με χρήση της Θεωρίας Παιγνίων Συνασπισμού. Πιο συγκεκριμένα, πολλοί χρήστες-μηχανές βρίσκονται υπό την κάλυψη πολλαπλών Σταθμών Βάσης και επιθυμούν να συνδεθούν με κάποιον από αυτούς, δηλαδή να συμμετάσχει στο συνασπισμό κάποιου Σταθμού Βάσης. Συνασπισμός ορίζεται η ομάδα των μηχανών που συνδέονται στον ίδιο Σταθμό Βάσης. Κάθε μηχανή έχει τη δυνατότητα να φύγει από ένα συνασπισμό και να συμμετάσχει σε κάποιο διαφορετικό, σε περίπτωση που μπορεί να πετύχει καλύτερο σηματοθορυβικό λόγο.

Πιο συγκεκριμένα, οι μηχανές αρχικά υπολογίζουν το σηματοθορυβικό λόγο ως προς κάθε Σταθμό Βάσης, ώστε να επιλέξουν το βέλτιστο, για αυτές, συνασπισμό. Αφού όλοι οι χρήστες-μηχανές ανατεθούν σε κάποιο συνασπισμό, στη συνέχεια υπολογίζεται η προσωπική αξία κάθε συνασπισμού, η οποία εξαρτάται από τους διαθέσιμους πόρους, δηλαδή από το κέρδος διαύλου και τη διαθέσιμη ισχύ και μεταβάλλεται ανάλογα με το πλήθος των μηχανών του συνασπισμού. Κάθε μηχανή δηλώνει πόσους πόρους επιθυμεί και δε μπορεί να αναλάβει περισσότερους από αυτούς ή λιγότερους από αυτούς που οδηγούν στον ελάχιστο απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης δικτύου. Στη συνέχεια, αποφασίζεται ο ρυθμός μετάδοσης κάθε μηχανής σε κάθε δίκτυο με βάση μία συγκεκριμένη τιμή που ονομάζεται τιμή Shapley, που εξασφαλίζει ότι οι πόροι διανέμονται δίκαια μεταξύ των μηχανών. Έτσι, κάθε μηχανή θα πάρει το μερίδιο που της αναλογεί, με βάση τις απαιτήσεις που έχει δηλώσει και τους διαθέσιμους πόρους. Ο υπολογισμός συνεχίζεται καθώς νέες μηχανές φεύγουν ή συμμετέχουν σε διαφορετικούς συνασπισμούς, κάτι το οποίο επηρεάζει την προσωπική τιμή κάθε συνασπισμού.

Τα αποτελέσματα της δημοσίευσης επικεντρώνονται στον ρυθμό που επιτυγχάνεται από τις μηχανές ανάλογα με το αν επιδεικνύουν συνεργάσιμη ή μη συνεργάσιμη συμπεριφορά. Στη δεύτερη περίπτωση, οι μηχανές προσπαθούσαν να μεγιστοποιήσουν το δικό τους ρυθμό μετάδοσης, χωρίς να τις απασχολούν οι άλλοι χρήστες του δικτύου, με αποτέλεσμα να μεγιστοποιείται ο ρυθμός αυτών που απέχουν λιγότερο από Σταθμό Βάσης, ενώ των υπόλοιπων ο ρυθμός είναι συγκριτικά πολύ μικρός.

5) On Resource Allocation for Machine-To-Machine Communications in Cellular Networks – Κατανομή Πόρων για Μηχανής προς Μηχανή Επικοινωνίες σε Κυψελωτά Δίκτυα [15]

Στην εργασία αυτή, έχει μελετηθεί το πρόβλημα της κατανομής ισχύος στη ζεύξη ανόδου για FDMA και TDMA κυψελωτά δίκτυα που υποστηρίζουν M2M επικοινωνίες. Στα TDMA δίκτυα μοιράζεται η χρονοσχισμή σε μικρότερα κομμάτια για κάθε χρήστη, ενώ στα FDMA δίκτυα, το εύρος ζώνης κατακερματίζεται σε μέρη, αλλά και στις 2 περιπτώσεις ο κατακερματισμός γίνεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνολική ισχύς εκπομπής. Αποδεικνύεται με θεωρητικό-αναλυτικό τρόπο ότι τα FDMA δίκτυα υποστηρίζουν μεγαλύτερη κίνηση σε σχέση με τα TDMA και ότι δεν είναι απαραίτητη η επακριβής κατανομή πόρων στα M2M δίκτυα, καθώς απλές στρατηγικές ισοκαταμερισμού των πόρων οδηγούν σε ικανοποιητική απόδοση του συστήματος.

6) *Energy Efficient Uplink Resource Allocation in LTE Networks with M2M/H2H Co-existence under Statistical QoS Guarantees - Ενεργειακώς Αποδοτική Κατανομή Πόρων σε Ανερχόμενη Ζεύξη Κυκλοφοριακής Ροής σε LTE Δίκτυα με συνύπαρξη M2M και H2H χρηστών κάτω από Επιβεβαιώσεις Στατιστικής Ποιότητας-Υπηρεσίας*

Στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται μία ενεργειακώς αποδοτική κατανομή πόρων σε ζεύξη ανόδου LTE δικτύων προβλέποντας την ικανοποίηση της Ποιότητας-Υπηρεσίας των χρηστών. Το πρόβλημα κατανομής πόρων επιλύεται με χρήση της Θεωρίας της Κανονικής Δυαδικότητας (Canonical Duality Theory - CDT). Αρχικά, διαμορφώνεται ένα πρόβλημα προγραμματισμού αναμειγμένων ακέραιων (Mixed Integer Programming), το οποίο στη συνέχεια μετασχηματίζεται σε ένα κανονικό δυαδικό πρόβλημα. Για την επίλυση, τελικά, του κανονικού δυαδικού προβλήματος εφαρμόζεται ο αλγόριθμος IWO (Invasive Weed Algorithm) και αποδεικνύεται ότι ο σχεδιασμός αυτός είναι πολύ κοντά στην ενεργειακά βέλτιστη λύση αποδοτικής κατανομής πόρων στο δίκτυο για M2M επικοινωνίες.

7) *Energy-Efficiency of LTE for Small Data Machine-To-Machine Communications - Ενεργειακή Απόδοση των LTE για Μηχανής προς Μηχανή Επικοινωνίες Μικρών Δεδομένων*

Στην εργασία αυτή, μελετάται η ενεργειακή απόδοση των LTE δικτύων για M2M επικοινωνίες με μετάδοση μικρού μεγέθους δεδομένων. Διαπιστώνεται ότι το μέγεθος ενός πακέτου δεδομένων για τη κατανομή των ελάχιστων δυνατών πόρων είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με τα μικρά M2M πακέτα, κάτι το οποίο οφείλεται στο «επιθετικό» σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (MCS) που χρησιμοποιείται στα LTE. Το προαναφερόμενο πρόβλημα οδηγεί σε χαμηλή ενεργειακή απόδοση, με αποτέλεσμα να αναζητηθεί αλγόριθμος που θα κατευθύνει στην επιλογή διαφορετικού σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης με στόχο την καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Το νέο αυτό σχήμα, σε συνδυασμό με τη χρήση φυσικών πακέτων πόρων (Physical Resource Block), οδηγεί στη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος αναφορικά με την ενέργεια και σε αύξηση του χρόνου ζωής της μπαταρίας των μηχανών.

8) *Joint Access Control and Resource Allocation for Concurrent and Massive Access of M2M Devices - Από Κοινού Έλεγχος Πρόσβασης και Κατανομή Πόρων για Συντρέχουσα και Μαζική Πρόσβαση των M2M συσκευών*

Στη συγκεκριμένη εργασία, προτείνεται ένας τρόπος για να βελτιωθεί η απόδοση πρόσβασης χρηστών για τις M2M επικοινωνίες στα LTE-Advanced συστήματα και ταυτόχρονα παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος κατανομής πόρων. Κατασκευάζεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση τυχαίας πρόσβασης με περιορισμό καθυστέρησης. Στη συνέχεια, προτείνεται ένας αλγόριθμος για έλεγχο δυναμικής πρόσβασης και κατανομής πόρων σε δίαυλο τυχαίας πρόσβασης, βασισμένος σε μία προσεγγιστική μέθοδο και παρουσιάζεται ένα αναλυτικό μοντέλο βασισμένο σε μαρκοβιανή αλυσίδα για εξερεύνηση του μηχανισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Συνύπαρξη Ανθρώπων και Μηχανών στο Δίκτυο

Η ομαλή συνύπαρξη του πραγματικού και του εικονικού κόσμου της Τεχνολογίας Πληροφορικής και Επικοινωνιών δεν έχει επιτευχθεί ακόμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι άνθρωποι εξακολουθούν να διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στο χειρισμό και τη μετατροπή των δεδομένων και σημάτων, αλλά υπάρχει μια τάση, σύμφωνα με την οποία οι υπολογιστές γίνονται μικρότεροι σε μέγεθος, ανέξοδοι και πιο διαθέσιμοι να ενσωματωθούν σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης. Αυτοί οι υπολογιστές είναι επιπρόσθετα εξοπλισμένοι με αισθητήρες και ικανότητες ασύρματης επικοινωνίας, έτσι ώστε κάθε αντικείμενο που είναι ενσωματωμένο σε αυτούς έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί στο διαδίκτυο οδηγώντας στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet Of Things).

Συνειδητοποιούμε λοιπόν, λαμβάνοντας υπόψη την αλματώδη αύξηση του αριθμού των μηχανών, ότι τα δίκτυα επικοινωνιών θα αποτελούνται τόσο από ανθρώπινους χρήστες, όσο και από MTC χρήστες. Γίνεται λοιπόν εμφανής η ανάγκη για μελέτη της αποδοτικής συνύπαρξης των ανθρώπινων επικοινωνιών και των M2M επικοινωνιών και πιο συγκεκριμένα η αρμονική ενσωμάτωση των M2M επικοινωνιών πάνω στις ήδη υπάρχουσες H2H επικοινωνίες. Στην εργασία αυτή, θα παρουσιάσουμε ένα σχέδιο αποδοτικής κατανομής πόρων σε κυψελωτό δίκτυο, όπου συνυπάρχουν H2H και M2M επικοινωνίες, παράδειγμα του οποίου φαίνεται στο Σχ. 5.

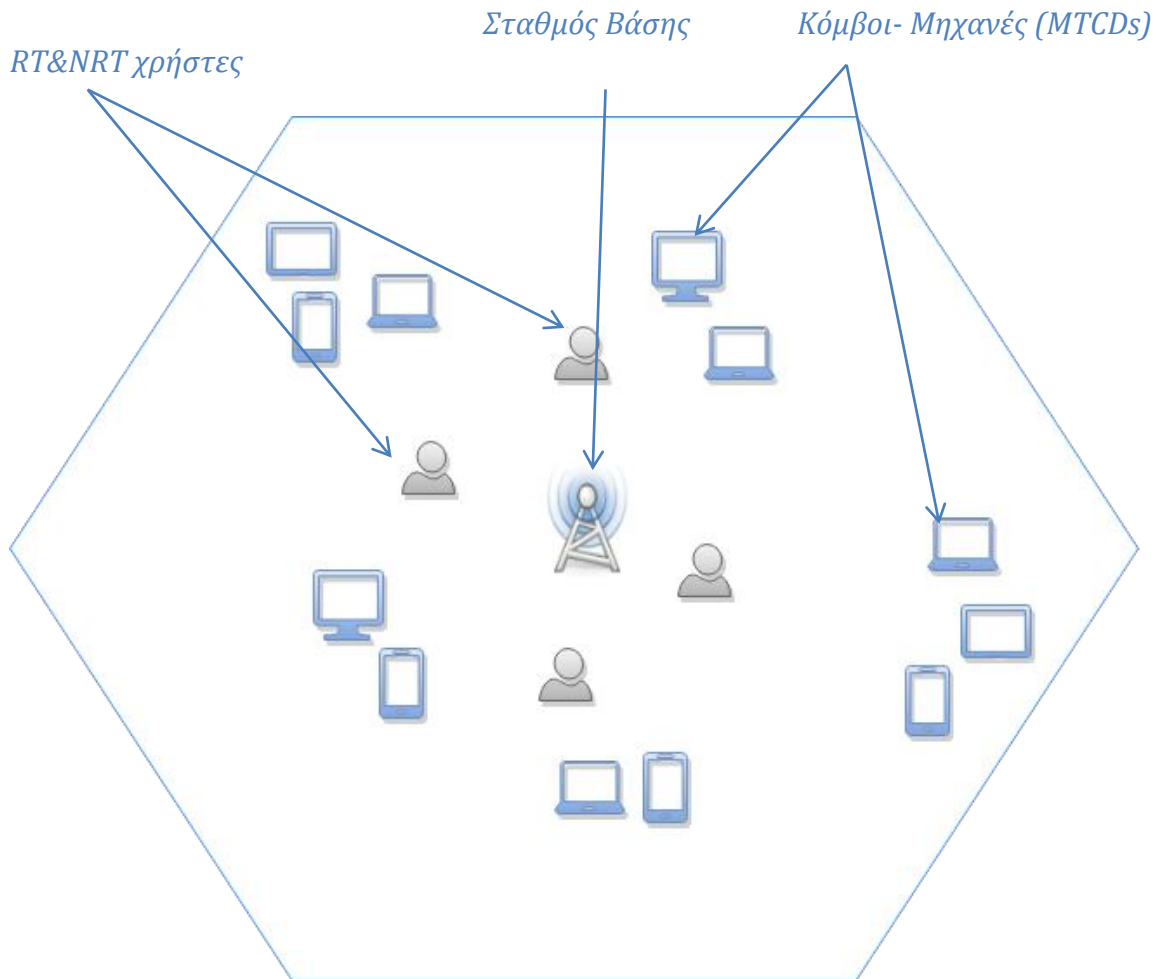
5.2 Χαρακτηριστικές Παράμετροι Δικτύου

Αρχικά, αναφέρουμε ότι μελετάμε την κίνηση μόνο στην ανερχόμενη ζεύξη κυκλοφοριακής ροής (uplink) ενός ασύρματου CDMA δικτύου, το οποίο αποτελείται από μία κυψέλη εντός της οποίας, τοποθετείται κεντρικά ένας Σταθμός Βάσης και γύρω της ένα πλήθος χρηστών σε τυχαίες θέσεις. Υποθέτουμε *ορθογώνια* κανάλια.

Ορίζουμε ακόμα ως *χρονοσχισμή* t (timeslot) ένα σταθερό χρονικό διάστημα 1.67 ms εντός του οποίου είναι δυνατή η αποστολή ενός ή περισσότερων πακέτων πληροφορίας από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη που θα αναφέρουμε, διατηρούν σταθερή την τιμή τους στο πολύ μικρό χρονικό διάστημα μίας χρονοσχισμής.

Έστω $\mathcal{M}(t) = \{m_1, m_2, \dots, m_M\}$, με πλήθος στοιχείων $M(t) = |\mathcal{M}(t)|$, το σύνολο των χρηστών-μηχανή στο δίκτυο τη χρονική στιγμή t , οι οποίοι τοποθετούνται και αυτοί σε τυχαίες θέσεις εντός της κυψέλης. Οι μηχανές αυτές επικοινωνούν με το Σταθμό Βάσης στέλνοντας τα δεδομένα στους συντονιστές. Ως *συντονιστή* (coordinator) μίας ομάδας μηχανών ορίζουμε μία μηχανή του δικτύου, η οποία αναλαμβάνει να μεταφέρει τα δεδομένα των υπόλοιπων μηχανών της ομάδας του, προς το Σταθμό Βάσης. Πιο συγκεκριμένα, ορίζουμε εδώ το σύνολο των συντονιστών να είναι το $\mathcal{C}(t) = \{c_1, c_2, \dots, c_C\}$, με πλήθος στοιχείων $C(t) = |\mathcal{C}(t)|$ τη χρονική στιγμή t . Προφανώς ισχύει $\mathcal{C}(t) \subset \mathcal{M}(t)$.

Τέλος, όλη η κίνηση, τόσο H2H όσο και M2M, καταλήγει στο Σταθμό Βάσης, ο οποίος είναι με τη σειρά του υπεύθυνος να μεταφέρει την εισερχόμενη κίνηση εκτός δικτύου.



Σχήμα 12 : Κυψελωτό Δίκτυο με H2H και M2M χρήστες

5.2.1 Χαρακτηριστικά Μεγέθη των Χρηστών Δικτύου

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό κάθε χρήστη στο παρόν πρόβλημα είναι αναμφίβολα η ισχύς εκπομπής $p_i(t)$. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι εξαιτίας των φυσικών περιορισμών στους οποίους υπόκεινται οι χρήστες, η ισχύς εκπομπής είναι άνω φραγμένη από μία μέγιστη οριακή τιμή, δηλαδή για το χρήστη i θα ισχύει :

$$p_i(t) \leq p_i(t)^{max} \quad (5.1)$$

Ένα, επίσης, πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το κέρδος του καναλιού κάθε χρήστη i ως προς ένα σημείο αναφοράς j

$$h_i^j = \frac{K}{d_i^a} \quad (5.2)$$

, όπου K είναι μία κατανομημένη τυχαία μεταβλητή, η οποία ακολουθεί λογαριθμική κατανομή με μέση τιμή 0 και διακύμανση $\sigma^2 = 8dB$, η οποία αντιπροσωπεύει το

φαινόμενο σκίασης, d_i^a είναι η απόσταση κάθε κόμβου i από το σημείο αναφοράς j , και α ο εκθετικός παράγοντας εξασθένισης.

Χρησιμοποιώντας την ισχύ εκπομπής και το κέρδος καναλιού, μπορούμε να ορίσουμε το

$$\gamma_i = \frac{h_i \cdot p_i}{N_o \cdot B_c} \quad (5.3)$$

Τώρα θα ορίσουμε το *ρυθμό μετάδοσης* δεδομένων για κάθε χρηστή, μόνο που εδώ πρέπει διαφοροποιήσουμε τον ορισμό, ανάλογα με το είδος χρήστη. Συγκεκριμένα :

$$r_i = \begin{cases} B_c \cdot (1 - \exp(-a \cdot \gamma_i))^M, & \text{αν } i \in \mathcal{U} \\ B_c \cdot \log_2(1 + \gamma_i \cdot h_i), & \text{αν } i \in \mathcal{M} \end{cases} \quad (5.4)$$

, όπου M σταθερά.

Τέλος, θα ορίσουμε τη *συνάρτηση ευχαρίστησης* (utility function) για κάθε είδος χρήστη. Η συνάρτηση ευχαρίστησης έχει καθοριστική σημασία για την παρούσα εργασία, καθώς οι τιμές που λαμβάνει εκφράζουν την ικανοποίηση των χρηστών σε σχέση με την Ποιότητα των Υπηρεσιών (Quality-of-Service) που λαμβάνουν, με κύρια κριτήρια την καταναλισκόμενη ισχύ αλλά και το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Συγκεκριμένα επιδιώκεται υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και χαμηλή ισχύς εκπομπής.

$$U_i = \begin{cases} \frac{r_i}{p_i}, & \text{αν } i \in \mathcal{U} \text{ και } RT(i) = 1 \\ \frac{r_i}{p_i} - c_{NRT} \cdot [\exp(p_i) - 1], & \text{αν } i \in \mathcal{U} \text{ και } RT(i) = 0 \\ \frac{r_i}{p_i} - c_m \cdot [\exp(p_i) - 1], & \text{αν } i \in \mathcal{M} \end{cases} \quad (5.5)$$

, όπου c_{NRT} και c_m είναι σταθερές, που επιλέγονται κοινές για κάθε είδος χρήστη.

Αναφορικά με τη συνάρτηση ευχαρίστησης, θα σχολιάσουμε τα παρακάτω :

Για χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου (RT users), η συνάρτηση ευχαρίστησης είναι της μορφής $U(p) = \frac{T(p)}{p}$, όπου

$$T(p) = Bc \cdot (1 - \exp(-a \cdot \gamma))^M = Bc \cdot \left(1 - \exp\left(-a \cdot \frac{h \cdot p}{N_o \cdot Bc}\right)\right)^M$$

είναι μία σιγμοειδής συνάρτηση με μοναδικό σημείο καμπής P_{Infl} και η U είναι μία οιωνεί κοίλη συνάρτηση (quasiconcave) η οποία έχει μοναδικό σημείο μεγίστου P^* τέτοιο ώστε $P_{\text{Infl}} < P^*$

Για χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου (RT users), η συνάρτηση ευχαρίστησης είναι της μορφής $U(p) = \frac{T(p)}{p} - c(p)$, όπου η $c(p)$ αποτελεί μία συνάρτηση κοστολόγησης, η οποία είναι μία καλώς ορισμένη κυρτή συνάρτηση (εδώ είναι $c(p) = c \cdot (e^p - 1)$). Αυτού του είδους η συνάρτηση ευχαρίστησης αποδεικνύεται ότι έχει μία κρίσιμη τιμή ισχύος μετάδοσης P_{crit} , όπου

$$P_{\text{Infl}} \leq P_{\text{crit}} < P^* \quad (5.6)$$

, μετά την οποία η $U(p)$ είναι γνησίως φθίνουσα.

Για τους χρήστες-μηχανές, η συνάρτηση ευχαρίστησης τους περιλαμβάνει και αυτή έναν όρο κοστολόγησης και παρουσιάζει μέγιστη τιμή σε μία ισχύ P^* .

5.3 Επιλογή Συντονιστών-Ομαδοποίηση Μηχανών

Στο μοντέλο μας, η επιλογή των συντονιστών του συστήματος γίνεται μέσω του μέγιστου κέρδους διαδρομής που παρουσιάζουν οι μηχανές. Η μέθοδος αυτή εντοπίζεται στη βιβλιογραφία με τον όρο Maximal Channel Gain Sceme (Max-CG). Δηλαδή, υπολογίζουμε το κέρδος διαδρομής κάθε χρήστη-μηχανής ως προς το Σταθμό Βάσης (υπολογίζοντας αρχικά την απόσταση των κόμβων αυτών από το Σταθμό Βάσης (Base Station - BS)). Στη συνέχεια, επιλέγουμε τις C μηχανές με το μεγαλύτερο κέρδος h_i^{BS} να αποτελούν τους συντονιστές του M2M συστήματός μας.

Από τη στιγμή που επιλέγονται οι συντονιστές του συστήματός μας, μπορούμε πλέον να πετύχουμε την ομαδοποίηση των μηχανών, δηλαδή τον ορισμό C ομάδων που θα περιλαμβάνουν χρήστες-μηχανές, οι οποίοι θα στέλνουν τα δεδομένα τους στον συντονιστή που είναι υπεύθυνος για αυτούς.

Η ομαδοποίηση πραγματοποιείται και αυτή με βάση το κέρδος διαδρομής. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζουμε για κάθε μηχανή το κέρδος διαδρομής της ως προς κάθε έναν από τους C συντονιστές. Έπειτα, εντοπίζουμε για ποιο συντονιστή επιτυγχάνεται μέγιστο κέρδος και διορίζουμε τον κόμβο-μηχανή στην ομάδα του προαναφερόμενου συντονιστή.

Για λόγους ευκολίας, ορίζουμε την εξής λογική συνάρτηση, η οποία έχει σαν ορίσματα το δείκτη j του συντονιστή C_j και το δείκτη i ενός κόμβου - μηχανής m_i που δεν αποτελεί συντονιστή και παίρνει την τιμή 1 αν ο κόμβος αυτός ανήκει στην ομάδα του συντονιστή j και 0 διαφορετικά :

$$CM(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{αν } i = \underset{j}{\operatorname{argmax}} h_{m_i}^{c_j} \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (5.7)$$

Αφού ολοκληρωθεί η προηγούμενη διαδικασία, το αρχικό πλήθος των M μηχανών έχει χωριστεί σε C ομάδες. Ορίζουμε τώρα το σύνολο G_j που περιγράφει τις ομάδες μηχανών του M2M συστήματός μας :

$$G_j = \{m_i \in \mathcal{M} \mid CM(i, j) = 1\} \forall j \quad (5.8)$$

5.4 Κατανομή Πόρων στο Δίκτυο

Έστω $\mathcal{S} = \{s_1, s_2, \dots, s_S\}$, $S = |\mathcal{S}|$, το σύνολο των υποφέρουσων συχνοτήτων, οι οποίες θα μοιραστούν σε όλους τους χρήστες του M2M συστήματός μας, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη.

Εδώ θα ήταν χρήσιμο να διαχωρίσουμε τους 2 τύπους διαλείψεων στο δίκτυο που έχουμε λάβει υπ'όψη, καθώς αυτό είναι αμέσως συνυφασμένο με την κατανομή των πακέτων συχνοτήτων μας. Ο δίκτυος μας μπορεί να χαρακτηρίζεται είτε *επίπεδος* (ή μη επιλεκτικός) *ως προς τη συχνότητα*, είτε *επιλεκτικός ως προς τη συχνότητα*.

5.4.1 Προτεραιότητα στην Ανάθεση Υποφέρουσων

Προτού προχωρήσουμε στη διαχείριση μαζικής πρόσβασης (Massive Access Management) θα πρέπει να σημειώσουμε ότι κατά τη διαδικασία κατανομής υποφέρουσων εισάγουμε *προτεραιότητα* στο είδος των χρηστών που εξυπηρετούνται. Συγκεκριμένα, τη μεγαλύτερη προτεραιότητα δίνουμε στους χρήστες με απαίτηση πραγματικού χρόνου, και έπειτα στους χρήστες με απαίτηση μη πραγματικού χρόνου. Αμέσως χαμηλότερη προτεραιότητα δίνουμε στους συντονιστές των ομάδων του M2M συστήματός μας και τέλος έχουμε τις υπόλοιπες μηχανές.

Το σκεπτικό πίσω από αυτή την ιεράρχηση στην προτεραιότητα κατανομής συχνοτήτων συνδέεται με το γεγονός, ότι οι χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου είναι οι πιο απαιτητικοί καθώς πρόκειται για H2H χρήστες και είναι βιωτικής σημασίας να εξασφαλισθεί η ικανοποίηση αυτών. Τώρα, όσον αναφορά τους χρήστες-μηχανές, στο συντονιστή μίας ομάδας πρέπει να έχει ανατεθεί τουλάχιστον μία υποφέρουσα, ώστε να είναι σε θέση να μεταδώσει την εισερχόμενη κίνηση προς το Σταθμό Βάσης. Η ανάγκη αυτού γίνεται πιο σαφής, αν λάβουμε υπόψη μας την περίπτωση να έχουν ανατεθεί υποφέρουσες στους κόμβους-μηχανές μίας ομάδας στο M2M σύστημα και όχι στο συντονιστή αυτής της ομάδας. Η προηγούμενη περίπτωση θα έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα μετάδοσης μέχρι ένα σημείο (συντονιστή ομάδας) και την αδυναμία ολοκλήρωσης της μεταφοράς δεδομένων (από το συντονιστή προς το Σταθμό Βάσης), λόγω ανικανότητας του συντονιστή. Γίνεται λοιπόν φανερή η ανάγκη ύπαρξης προτεραιότητας κατά τον καταμερισμό πακέτων συχνοτήτων.

5.4.2 Κατανομή Πόρων για χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου

Η κατανομή των υποφέρουσων συχνοτήτων στους χρήστες γίνεται με βάση τη μεγιστοποίηση της συνάρτησης ευχαρίστησής τους. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχουμε αναφέρει, επειδή οι υποφέρουσες του σήματος υφίστανται διαφορετική μεταχείριση κατά τη μετάδοση τους στο δίκτυο, το κέρδος διαδρομής για κάθε χρήστη μεταβάλλεται ανάλογα με το ποια υποφέρουσα χρησιμοποιεί. Συνεπώς, προκειμένου ο καταμερισμός των πόρων να είναι αποδοτικός ακολουθούμε την εξής διαδικασία :

Για κάθε χρήστη αναζητούμε την ισχύ p^* για την οποία μεγιστοποιείται η συνάρτηση ευχαρίστησης σε κάθε υποφέρουσα. Για λόγους ευκολίας ορίζουμε την ισχύ ενός χρήστη i για μία υποφέρουσα s_k ως $p_i(k)$. Υπολογίζουμε δηλαδή :

$$p_i^*(k) = \arg \max_{p_i(k)} U(p_i(k)) \quad \forall k \in \mathcal{S} \quad (5.9)$$

Το παραπάνω αποτελεί ένα διάνυσμα που περιλαμβάνει όλες τις τιμές ισχύος για τις οποίες ο χρήστης i θα μεταδώσει δεδομένα μεγιστοποιώντας τη συνάρτηση ευχαρίστησής του για κάποια υποφέρουσα s_k .

Τονίζουμε ότι η διαφοροποίηση του είδους διαύλου ανάλογα με την επιλεκτικότητα ως προς τη συχνότητα εντοπίζεται στην εισαγωγή ενός διαφορετικού παράγοντα τυχαιότητας στο κέρδος διαδρομής h_i^j για κάθε υποφέρουσα s_k .

Θα παράξουμε το παραπάνω διάνυσμα ισχύος για όλους τους χρήστες πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου. Συνεπώς έχουμε τον πίνακα

$$\mathbf{P}_{\text{total}}(i, k) = \{p_i^*(k)\}, \quad i = 1, 2, \dots, U \text{ και } k = 1, 2, \dots, S \quad (5.10)$$

Με βάση τον προηγούμενο πίνακα είμαστε σε θέση να δημιουργήσουμε τον πίνακα που περιλαμβάνει τις τιμές της συνάρτησης ευχαρίστησης για τις υπολογισμένες βέλτιστες τιμές ισχύος, δηλαδή κατασκευάζουμε τον πίνακα

$$\mathbf{U}_{\text{total}}(i, k) = \{U(p_i^*(k))\}, \quad i = 1, 2, \dots, U \text{ και } k = 1, 2, \dots, S \quad (5.11)$$

Στη συνέχεια, διατηρώντας την προαναφερόμενη μορφή προτεραιότητας, θα κατανήσουμε τις υποφέρουσες με την ακόλουθη μέθοδο :

Εντοπίζουμε το μέγιστο στοιχείο (i^*, k^*) των U πρώτων γραμμών του πίνακα $\mathbf{U}_{\text{total}}$. Αναθέτουμε την υποφέρουσα s_{k^*} στο χρήστη u_{i^*} και διαγράφουμε τη στήλη k^* των πινάκων $\mathbf{U}_{\text{total}}$ και $\mathbf{P}_{\text{total}}$, δείχνοντας έτσι ότι η υποφέρουσα s_{k^*} δεν είναι πλέον διαθέσιμη για τους χρήστες του M2M συστήματός μας.

Η ανάθεση μίας υποφέρουσας σε ένα χρήστη μπορεί να διατυπωθεί με την εισαγωγή του πίνακα Sub_Alloc , όπου οι γραμμές του αποτελούνται από τους χρήστες του συνολικού συστήματος και οι στήλες από τις υποφέρουσες

$$Sub_Alloc(i, j) = k^*$$

Αυτό που πρέπει να τονίσουμε εδώ είναι ότι η ανάθεση μίας υποφέρουσας σε ένα χρήστη του συστήματος και η διαγραφή της από το σύνολο των διαθέσιμων φέρουσων δε συνεπάγεται αναγκαστικά και την ικανοποίηση του χρήστη, καθώς είναι πολύ πιθανό οι απαιτήσεις υπηρεσίας του να μην έχουν καλυφθεί με μία μόνο υποφέρουσα. Η συνθήκη σύμφωνα με την οποία ένας χρήστης θα έχει καλύψει τις απαιτήσεις του θα δοθεί στη συνέχεια. Από τη στιγμή που έχει υπολογισθεί η ισχύς εκπομπής ενός χρήστη $i | u_i \in \mathcal{U}$ για μία υποφέρουσα $k | s_k \in \mathcal{S}$, υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού του ρυθμού μετάδοσης για το χρήστη στο συγκεκριμένο κανάλι με τη βοήθεια των σχέσεων (4.4) και (4.5) :

$$r_i(k) = B_c \cdot (1 - \exp(-a \cdot \gamma_i(k)))^M = B_c \cdot \left(1 - \exp\left(-a \cdot \frac{h_i \cdot p_i(k)}{N_o \cdot B_c}\right)\right)^M \quad (5.12)$$

Αν στο χρήστη i ανατεθεί και άλλη υποφέρουσα, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του θα αυξηθεί κατά την τιμή r_i υπολογισμένη για την υποφέρουσα αυτή. Ωστόσο, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός χρήστη δεν είναι φυσικώς δυνατό να αυξάνεται απεριόριστα. Πιο συγκεκριμένα, κάθε είδος χρήστη έχει ως απαίτηση την επίτευξη ενός ζητούμενου ρυθμού μετάδοσης $R_{\text{target}}(i)$:

$$R_{\text{target}}(i) = \begin{cases} R_{\text{target}_{RT}}, & u_i \in \mathcal{U} \text{ και } RT(u_i) = 1 \\ R_{\text{target}_{NRT}}, & u_i \in \mathcal{U} \text{ και } RT(u_i) = 0 \end{cases} \quad (5.13)$$

, όπου $i = 1, 2, \dots, U$

Συνεπώς, ο χρήστης με το δείκτη i παρουσιάζει συνολικό ρυθμό μετάδοσης

$$R_{\text{total}}(i) = \sum_k r_i(k), \quad k = Sub_Alloc(i, j) \quad \forall j$$

Ο χρήστης αυτός θα συνεχίσει να διεκδικεί υποφέρουσες μέχρις ότου, είτε να επιτευχθεί ο ζητούμενος ρυθμός μετάδοσης $R_{\text{target}}(i)$, είτε να καταλήξει να εκπέμπει με μέγιστη ισχύ εκπομπής p_i^{max} . Τονίζουμε ότι κάθε φορά που αναθέτεται μία υποφέρουσα με δείκτη k στο χρήστη i , η συνολική ισχύς εκπομπής του χρήστη αυξάνεται κατά την ήδη υπολογισμένη τιμή $p_i^*(k)$. Συνοπτικά απαιτούμε

$$\sum_k r_i(k) \leq R_{\text{target}}(i) \quad (5.14)$$

$$\sum_k p_i^*(k) \leq p_i^{\text{max}}$$

, όπου k είναι οι δείκτες των υποφέρουσων που έχουν ανατεθεί στο χρήστη με δείκτη i .

Στην περίπτωση που μία από τις 2 προαναφερόμενες συνθήκες σταματήσει να ισχύει, ο χρήστης αφαιρείται από τη διαδικασία δικεδίκησης υποφέρουσων, και διαγράφεται η γραμμή που του αντιστοιχεί από τους πίνακες $\mathbf{U}_{\text{total}}$ και $\mathbf{P}_{\text{total}}$.

5.4.3 Κατανομή Πόρων για χρήστες-μηχανές

Τώρα θα επεκτείνουμε το σχέδιο κατανομής πόρων, ώστε να περιλαμβάνει τους κοινούς χρήστες-μηχανές, αλλά και τους συντονιστές αυτών. Όπως προαναφέρθηκε, ακολουθούμε και εδώ ιεραρχία στην κατανομή υποφέρουσων, δίνοντας προτεραιότητα στους συντονιστές των M2M ομάδων καθώς διαδραματίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο για την επίτευξη μίας αποδοτικής M2M επικοινωνίας.

Η κατανομή των υποφέρουσων έπεται της κατανομής των χρηστών με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου. Συνεπώς, αν υποθέσουμε ότι οι χρήστες $u_i \in \mathcal{U}$ καταλαμβάνουν S_u υποφέρουσες, περισσεύουν $S_m = S - S_u$ υποφέρουσες για κατανομή στους χρήστες - μηχανές. Τώρα, ωστόσο, η κατανομή θα πραγματοποιηθεί διαφορετικά σε σχέση με αυτήν στην ενότητα 4.5.1. Αρχικά, ένα πλήθος των υποφέρουσων θα μπορούσε να μοιραστεί σε όλους τους συντονιστές των ομάδων και ύστερα οι υπόλοιπες υποφέρουσες να αποδωθούν στους εναπομείναντες χρήστες-μηχανές. Η λογική αυτή θα ήταν αποδοτική και βιώσιμη στην περίπτωση όπου οι υποφέρουσες επαρκούσαν για την ικανοποίηση των απαιτήσεων υπηρεσίας όλων των χρηστών του δικτύου. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη την ακραία περίπτωση όπου οι συντονιστές έχουν στη διάθεση τους υποφέρουσες, αλλά δεν περισσεύουν για τις μηχανές των ομάδων τους, συνειδητοποιούμε ότι οι συντονιστές δεν θα έχουν διαθέσιμα για μεταφορά M2M δεδομένα προς το Σταθμό Βάσης, κάτι το οποίο είναι προφανώς μη αποδοτικό και ανεπιθύμητο.

Μία λύση στο παραπάνω ζήτημα, είναι η μη συνεχόμενη κατανομή υποφέρουσων στους συντονιστές. Συγκεκριμένα, αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατανομής πόρων στους H2H χρήστες, θα επαναλάβουμε την διαδικασία που προαναφέρθηκε για την παραγωγή των σχέσεων (4.10), (4.11), (4.12) αυτή τη φορά για όλους τους χρήστες - μηχανές του συστήματος μας, άρα τώρα οι πίνακες $\mathbf{P}_{\text{total}}$, $\mathbf{U}_{\text{total}}$ επεκτείνονται κατά τον εξής τρόπο :

$$\mathbf{P}_{\text{total}}(i, k) = \{p_i^*(k)\}, \quad i = U + 1, U + 2, \dots, U + M \text{ και } k = 1, 2, \dots, S \quad (5.15)$$

$$\mathbf{U}_{\text{total}}(i, k) = \{U(p_i^*(k))\}, \quad i = U + 1, U + 2, \dots, U + M \text{ και } k = 1, 2, \dots, S$$

Τώρα θα εξηγήσουμε τη διαφοροποίηση στον αλγόριθμό μας. Αρχικά, εντοπίζουμε το συντονιστή c_i ο οποίος παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή συνάρτησης ευχαρίστησης $\mathbf{U}_{\text{total}}(i', k') = \max \mathbf{U}_{\text{total}}(i, k) \quad i = U + 1, \dots, U + C, \quad \mathbf{U}_{\text{total}}$ και αυξάνουμε το ρυθμό μετάδοσης και τη συνολική ισχύ εκπομπής του συντονιστή αυτού κατά τις ποσότητες $r_i(k')$ και $p_i(k')$ αντίστοιχα. Προφανώς, ελέγχουμε αν έχουν ικανοποιηθεί οι απαιτήσεις

υπηρεσίας του συντονιστή και αν έχει συμβεί αυτό, διαγράφουμε από τους πίνακες \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} τη γραμμή που αντιστοιχεί στο συντονιστή c_i , δηλαδή με δείκτη i' .

Στη συνέχεια, εντοπίζουμε το χρήστη-μηχανή m_j που ανήκει στην ομάδα του συντονιστή c_i και παρουσιάζει μέγιστη τιμή συνάρτησης ευχαρίστησης σε σχέση με τα υπόλοιπα MTCDS της ίδιας ομάδας

$$U_{total}(j', k'') = \max U_{total}(i, k), \quad i | m_i \in G_i'$$

Τέλος, αναθέτουμε την υποφέρουσα k'' στο MTCD j' , διαγράφουμε τη στήλη με δείκτη k'' από τους πίνακες \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} και ανανεώνουμε το ρυθμό μετάδοσης και τη συνολική ισχύ εκπομπής του χρήστη-μηχανής κατά τις ποσότητες $r_j(k'')$ και $p_j(k'')$ αντίστοιχα. Ελέγχουμε αν έχουν ικανοποιηθεί οι απαιτήσεις υπηρεσίας του MTCD m_j και αν έχει συμβεί αυτό, διαγράφουμε από τους πίνακες \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} τη γραμμή που αντιστοιχεί σε αυτό, δηλαδή τη γραμμή με δείκτη j' .

Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου εξαντληθεί το πλήθος των υποφέρουσων, δηλαδή συνεχώς προσφέρονται υποφέρουσες εν'αλλάξ σε συντονιστή ομάδας και χρήστη-μηχανή της αντίστοιχης ομάδας.

5.5 Αλγόριθμος Κατανομής Πόρων

Στη συνέχεια, θα παραθέσουμε συνοπτικά τον αλγόριθμο που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα για την κατανομή πόρων σε M2M δίκτυο με κατεύθυνση ανοδικής ζεύξης και κωδικοποίηση OFDMA.

Ομαδοποίηση Μηχανών- Επιλογή Συντονιστών

Βήμα 1 : Εύρεση των C μηχανών με μεγαλύτερο κέρδος διαδρομής ως προς το Σταθμό Βάσης και διορισμός αυτών ως συντονιστές.

Βήμα 2 : Κάθε μηχανή ανατίθεται στην ομάδα ως προς της οποίας το συντονιστή έχει μεγαλύτερο κέρδος διαδρομής

Κατανομή Πόρων για χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου

Βήμα 3 : Υπολογίζεται η ισχύς εκπομπής $p_i^*(k)$ του χρήστη με δείκτη i κατά την οποία πετυχαίνεται μέγιστη τιμή συνάρτησης ευχαρίστησης του για κάθε φέρουσα με δείκτη k και δημιουργούμε τους πίνακες \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} σύμφωνα με τις (4.11) και (4.12).

Βήμα 4 : Βρίσκουμε το στοιχείο (i^*, k^*) με τη μέγιστη τιμή των U πρώτων γραμμών του πίνακα \mathbf{U}_{total} , αναθέτουμε την υποφέρουσα k^* στο χρήστη i^* και διαγράφουμε τη στήλη k^* από τους πίνακες \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} .

Βήμα 5: Ανανέωση των τιμών συνολικού ρυθμού μετάδοσης και συνολικής ισχύος εκπομπής.

Βήμα 6: Έλεγχος των συνθηκών (4.14). Αν δεν ισχύουν οι συνθήκες αυτές, διαγράφεται η γραμμή i από τους πίνακες \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} . Αν διαγραφούν όλες οι γραμμές των πινάκων \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} , πηγαίνει στο βήμα 7. Αλλιώς πηγαίνει στο βήμα 4.

Κατανομή Πόρων για χρήστες-μηχανές

Βήμα 7 : Υπολογισμός της ισχύος εκπομπής $p_i^*(k)$ του χρήστη με δείκτη i κατά την οποία πετυχαίνεται μέγιστη τιμή συνάρτησης ευχαρίστησης του για κάθε φέρουσα k και επεκτείνουμε τους πίνακες \mathbf{P}_{total} , \mathbf{U}_{total} σύμφωνα με την (4.15).

Βήμα 8 : Εύρεση του στοιχείου (i^*, k^*) με τη μέγιστη τιμή μεταξύ των γραμμών του πίνακα U_{total} , αναθέτουμε την υποφέρουσα k^* στο χρήστη-συντονιστή με ένδειξη i^* και διαγράφουμε τη στήλη k^* από τους πίνακες P_{total}, U_{total} .

Βήμα 9 : Εύρεση του στοιχείου (i^{**}, k^{**}) με τη μέγιστη τιμή των γραμμών του πίνακα U_{total} που αντιστοιχούν σε μηχανές της ίδιας ομάδας με τον συντονιστή i^* , αναθέτουμε την υποφέρουσα k^{**} στο χρήστη-μηχανή με ένδειξη i^{**} και διαγράφουμε τη στήλη k^{**} από τους πίνακες P_{total}, U_{total} .

Βήμα 10 : Ανανέωση των τιμών συνολικού ρυθμού μετάδοσης και συνολικής ισχύος εκπομπής για τους χρήστες-μηχανές.

Βήμα 11: Έλεγχος των συνθηκών (4.14). Αν δεν ισχύουν οι συνθήκες αυτές, διαγράφεται η γραμμή i από τους πίνακες P_{total}, U_{total} . Αν διαγραφούν όλες οι γραμμές των πινάκων P_{total}, U_{total} , ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται. Αλλιώς πήγαινε στο βήμα 8.

5.6 Κατανομή πόρων λαμβάνοντας υπόψη και την καταναλισκόμενη ενέργεια

Ο προαναφερόμενος αλγόριθμος εκτελείται σε μία χρονοσχισμή t . Αν θέλουμε να μελετήσουμε την εξέλιξη του συστήματος στο χρόνο, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και την διαθέσιμη ενέργεια κάθε μηχανής. Αυτό είναι απαραίτητο, καθώς εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, οι χρήστες-μηχανές θα έχουν ξοδέψει όλη την ενέργεια τους και δε θα μπορούν να μεταδώσουν άλλα δεδομένα. Αυτό που θα επιχειρήσουμε είναι η άυξηση του «χρόνου ζωής» των μηχανών, ώστε το σύστημά μας να είναι αποδοτικό όχι μόνο ως προς την ικανοποίηση των χρηστών, αλλά και ως προς τη δαπανώμενη ενέργεια.

Αρχικά θα ορίσουμε την ενέργεια που δαπανά ο χρήστης i σε διάστημα μιας χρονοσχισμής διάρκειας t :

$$E_i = p_i * t \quad (4.16)$$

Παρατηρώντας τη σχέση (4.16), αντιλαμβανόμαστε ότι, η ενέργεια που καταναλώνει ένας χρήστης είναι άμεσα συνυφασμένη με την τιμή της ισχύος εκπομπής στη χρονοσχισμή t . Συνεπώς, η διαθέσιμη ενέργεια ενός χρήστη - μηχανή που εκπέμπει με μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με κάποια άλλη μηχανή θα μειώνεται πιο γρήγορα σε σχέση με τον άλλο χρήστη. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο συντονιστής ομάδας.

Ο ρυθμός που πρέπει να πετύχει ο συντονιστής ομάδας για να σταματήσει τη διεκδίκηση άλλων υποφέρουσων, ισούται με το άθροισμα των ρυθμών που πρέπει να πετύχουν οι χρήστες - μηχανές της ομάδας του. Συνεπώς, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι θα χρειαστεί περισσότερες υποφέρουσες σε σχέση με τις μηχανές των οποίων είναι υπεύθυνος. Αυτό συνεπάγεται ότι ο συντονιστής θα έχει και αυξημένη συνολική ισχύ εκπομπής (το άθροισμα της ισχύος κάθε καναλιού), οπότε θα καταναλώνει και σημαντικά περισσότερη ενέργεια απ'ότι οι μηχανές της ομάδας του. Αυτό έχει άμεση συνέπεια την ταχεία εξάντληση των αποθεμάτων ενέργειας των συντονιστών του M2M συστήματός, με συνέπεια τη διακοπή μετάδοσης M2M δεδομένων, καθώς οι υπόλοιπες μηχανές, αν και έχουν διαθέσιμη ενέργεια, στέλνουν τα δεδομένα τους σε ανενεργούς, πλέον, συντονιστές, οπότε δε συνεχίζεται η μετάδοση περαιτέρω προς το Σταθμό Βάσης.

Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε το προαναφερόμενο πρόβλημα, εισάγουμε μία τροποποίηση στον αλγόριθμο που περιγράψαμε στην ενότητα 4.5.3. Συγκεκριμένα, θα μεταβάλλουμε τον τρόπο επιλογής συντονιστών ομάδας, ώστε να μην επιλέγονται μόνο

συντονιστές που παρουσιάζουν μέγιστο κέρδος διαδρομής ως προς το σταθμό βάσης, αλλά και με βάση τη διαθέσιμη ενέργεια που διαθέτει κάθε χρήστης-μηχανή. Προτείνουμε, δηλαδή, ένα σχέδιο κατανομής πόρων σε M2M δίκτυα, όπου ο διορισμός συντονιστών θα είναι δυναμικός, ανάλογα με την εξέλιξη των χαρακτηριστικών των χρηστών του δικτύου στο χρόνο.

Έστω $E_{0,i}$ η αρχική ενέργεια που διαθέτει ο χρήστης - μηχανή i τη χρονοσχισμή t_0 . Στο χρονικό διάστημα της πρώτης χρονοσχισμής Δt_0 , ο κάθε χρήστης εκπέμπει με ισχύ $p_i(t)$, οπότε ξοδεύει ενέργεια ίση με $p_i(t) * \Delta t_0$, άρα μπορούμε να ορίσουμε τη διαθέσιμη ενέργεια του κάθε χρήστη στο τέλος της πρώτης χρονοσχισμής ως

$$E_i^{avail}(t) = E_{0,i} - p_i(t) * \Delta t_0 \quad (5.17)$$

Εντελώς ανάλογα, ορίζουμε τη διαθέσιμη ενέργεια ενός χρήστη i , στο τέλος της χρονοσχισμής t_n , ως εξής :

$$E_i^{avail}(t_n) = E_{0,i} - \sum_{\tau=0}^n p_i(\tau) * \Delta t_{\tau} \quad (5.18)$$

Δηλαδή, μπορούμε επίσης να χρησιμοποιούμε τη σχέση :

$$E_i^{avail}(t_n) = E_i^{avail}(t_{n-1}) - p_i(t_{n-1}) * \Delta t_{n-1} \quad (5.19)$$

Έχοντας στη διάθεσή μας τον προηγούμενο ορισμό, μπορούμε πλέον να διατυπώσουμε τη νέα μέθοδο επιλογής των συντονιστών :

Έστω $C(t)$ το πλήθος των συντονιστών που θα επιλεγούν στο M2M σύστημά μας, τη χρονοσχισμή t . Συντονιστές των $C(t)$ ομάδων θα επιλεγούν οι $C(t)$ χρήστες - μηχανές που έχουν τη μέγιστη τιμή γινομένου κανονικοποιημένου κέρδους διαδρομής ως προς το Σταθμό Βάσης $\hat{h}_i^{BS}(t)$ επί της κανονικοποιημένης διαθέσιμης ενέργειας του κάθε χρήστη-μηχανή $\hat{E}_i^{avail}(t)$. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η κανονικοποιημένη τιμή $\hat{a}(i)$ ενός μεγέθους $a(i)$ υπολογίζεται ως το πηλίκο της τιμής $a(i)$ προς τη μέγιστη τιμή των στοιχείων του διανύσματος $\alpha(\cdot)$.

Στη συνέχεια, θα εξηγήσουμε πως εφαρμόζουμε τα παραπάνω για την εύρεση των συντονιστών. Κατά την έναρξη λειτουργίας ($t = t_{start}$) του M2M συστήματος μας, οι διαθέσιμες ενέργειες κάθε χρήστη-μηχανής είναι προφανώς ίσες με την αρχική ενέργεια που έχουν. Δηλαδή

$$E_i^{avail}(t_{start}) = E_{0,i}$$

Αν υποθέσουμε ότι όλοι οι χρήστες - μηχανές διαθέτουν ίδια αρχική ενέργεια, εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι κατά την έναρξη της μετάδοσης, οι κανονικοποιημένες τιμές όλων των $E_i^{avail}(t_{start})$ είναι ίσες με 1. Συνεπώς, στην αρχή μετάδοσης, ο διορισμός των συντονιστών γίνεται με βάση το κέρδος διαδρομής, άρα για $t = t_{start}$, εκτελείται ο αλγόριθμος της ενότητας 4.5.3.

Ωστόσο, από την επόμενη χρονοσχισμή και μετά, κάθε φορά θα υπολογίζεται η διαθέσιμη ενέργεια για κάθε χρήστη - μηχανή με τη βοήθεια της σχέσης (4.19), στη συνέχεια θα διαιρούνται οι διαθέσιμες ενέργειες με τη μέγιστη τιμή αυτών και έτσι θα έχουμε υπολογίσει τις $\hat{E}_i^{avail}(t)$. Έπειτα θα υπολογίζουμε τις κανονικοποιημένες τιμές των κέρδων διαδρομής ως προς το Σταθμό Βάσης $\hat{h}_i^{BS}(t)$ και θα παράγουμε τα γινόμενα

$$CP_i = \hat{E}_i^{avail}(t) \cdot \hat{h}_i^{BS}(t)$$

Τέλος ταξινομούμε τα γινόμενα CP_i , και οι χρήστες οι οποίοι βρίσκονται στις $C(t)$ πρώτες γραμμές του ταξινομημένου διανύσματος CP_i διορίζονται συντονιστές. Συνεπώς, ο αλγόριθμος πλέον είναι ο εξής :

Τα παρακάτω ισχύουν για μία τυχαία χρονοσχισμή t

Κατανομή Πόρων για χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου

Βήμα 1: Υπολογίζεται η ισχύς εκπομπής $p_i^*(k)$ του χρήστη με δείκτη i κατά την οποία πετυχαίνεται μέγιστη τιμή συνάρτησης ευχαρίστησης του για κάθε φέρουσα k και δημιουργούμε τους πίνακες P_{total} , U_{total} σύμφωνα με τις (4.11) και (4.12).

Βήμα 2: Βρίσκουμε το στοιχείο (i^*, k^*) με τη μέγιστη τιμή των U πρώτων γραμμών του πίνακα U_{total} , αναθέτουμε την υποφέρουσα k^* στο χρήστη i^* και διαγράφουμε τη στήλη k^* από τους πίνακες P_{total} , U_{total}

Βήμα 3: Ανανέωση των τιμών συνολικού ρυθμού μετάδοσης, συνολικής ισχύος εκπομπής και διαθέσιμης ενέργειας

Βήμα 4: Έλεγχος των συνθηκών (4.14). Αν δεν ισχύουν οι συνθήκες αυτές, διαγράφεται η γραμμή i από τους πίνακες P_{total} , U_{total} . Αν διαγραφούν όλες οι γραμμές των πινάκων P_{total} , U_{total} , πήγαινε στο βήμα 7. Αλλιώς πήγαινε στο βήμα 4.

Ομαδοποίηση Μηχανών- Επιλογή Συντονιστών

Βήμα 5: Εύρεση των C μηχανών με μεγαλύτερο $CP_i = \hat{E}_i^{avail}(t) \cdot \hat{h}_i^{BS}(t)$ και διορισμός αυτών ως συντονιστές.

Βήμα 6: Κάθε μηχανή αναθέτεται στην ομάδα ως προς της οποίας το συντονιστή έχει μεγαλύτερο κέρδος διαδρομής

Κατανομή Πόρων για χρήστες-μηχανές

Βήμα 7: Υπολογισμός της ισχύος εκπομπής $p_i^*(k)$ του χρήστη με δείκτη i κατά την οποία πετυχαίνεται μέγιστη τιμή συνάρτησης ευχαρίστησης του για κάθε φέρουσα k και επεκτείνουμε τους πίνακες P_{total} , U_{total} σύμφωνα με την (4.15).

Βήμα 8: Εύρεση του στοιχείου (i^*, k^*) με τη μέγιστη τιμή μεταξύ των γραμμών του πίνακα U_{total} , αναθέτουμε την υποφέρουσα k^* στο χρήστη-συντονιστή με ένδειξη i^* και διαγράφουμε τη στήλη k^* από τους πίνακες P_{total} , U_{total} .

Βήμα 9: Εύρεση του στοιχείου (i^{**}, k^{**}) με τη μέγιστη τιμή των γραμμών του πίνακα U_{total} που αντιστοιχούν σε μηχανές της ίδιας ομάδας με τον συντονιστή i^* , αναθέτουμε την υποφέρουσα k^{**} στο χρήστη-μηχανή με ένδειξη i^{**} και διαγράφουμε τη στήλη k^* από τους πίνακες P_{total} , U_{total} .

Βήμα 10 : Ανανέωση των τιμών συνολικού ρυθμού μετάδοσης, συνολικής ισχύος εκπομπής και διαθέσιμης ενέργειας για τους χρήστες-μηχανές.

Βήμα 11: Έλεγχος των συνθηκών (4.14). Αν δεν ισχύουν οι συνθήκες αυτές, διαγράφεται η γραμμή i από τους πίνακες P_{total} , U_{total} . Αν διαγραφούν όλες οι γραμμές των πινάκων P_{total} , U_{total} , πήγαινε στο βήμα 12. Αλλιώς πήγαινε στο βήμα 8.

Βήμα 12 : Αν δεν υπάρχουν χρήστες-μηχανές με διαθέσιμη ενέργεια, τότε το M2M σύστημα σταματά τη μετάδοση δεδομένων. Αλλιώς πήγαινε στο Βήμα 1 για τη χρονοσχισμή $t + 1$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Σενάριο Προσομοίωσης

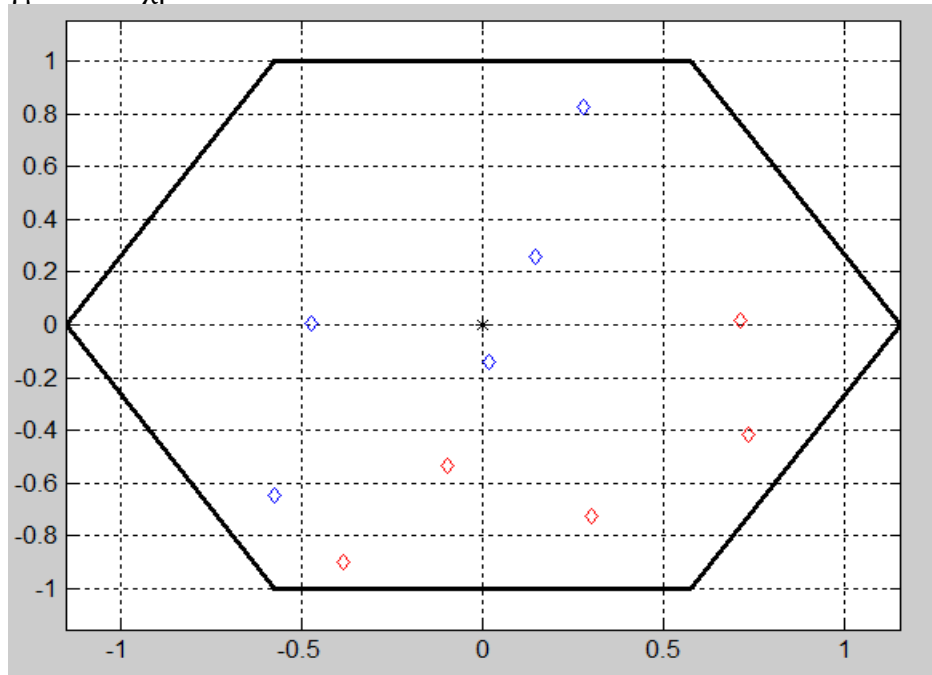
Σε όλη τη διάρκεια της μελέτης, υποθέτουμε την άνω ζεύξη (uplink) ενός ασύρματου δικτύου πρόσβασης OFDMA, το οποίο αποτελείται από μία μοναδική κυψέλη. Στο δίκτυο μας είναι συνδεδεμένοι $U = 10$ χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού/μη πραγματικού χρόνου. Κατά την προσομοίωση υποθέτουμε ότι οι μισοί από αυτούς ($U/2 = 5$) είναι χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου και οι άλλοι μισοί με απαίτηση μη πραγματικού χρόνου. Όσον αφορά τους χρήστες-μηχανές, θεωρούμε πλήθος $M = 80$, από τους οποίους οι $C = 10$ θα επιλέγονται σα συντονιστές. Στον παρακάτω πίνακα, δίνουμε τις τιμές όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιήσαμε κατά την προσομοίωση για κάθε είδος χρήστη :

	RT users	NRT users	Coordinator	Machine
p_i^{max} (Watt)	2	2	1	1
r_i^{target} (kbps)	64	256	$\#m \cdot 32^{(1)}$	32
c	-	10	10^8	10^8
M	100	200	-	-
A	10^{-6}	10^{-7}	-	-

(1) : #m ο αριθμός των μηχανών που ανήκουν στην ομάδα του συντονιστή

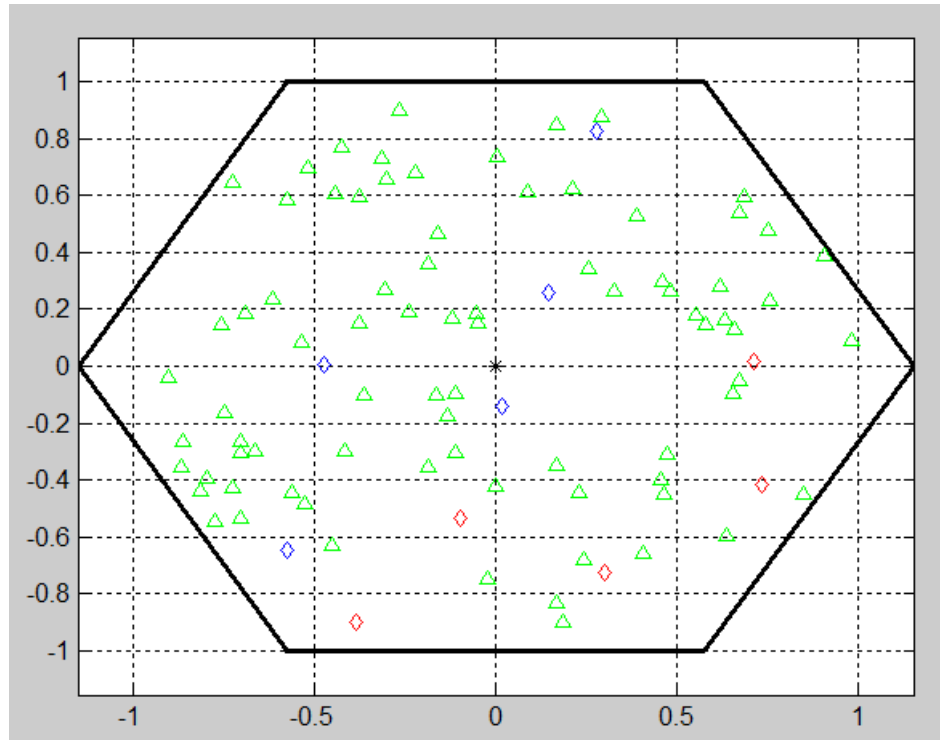
Πίνακας 3 : Χαρακτηριστικά μεγέθη των χρηστών του δικτύου μας

Όλοι οι χρήστες του συστήματος τοποθετούνται σε τυχαία θέση εντός της κυψέλης, στις οποίες το κέντρο έχουμε το Σταθμό Βάσης. Αρχικά, τοποθετούμε τους χρήστες με απαίτηση πραγματικού χρόνου :



Σχήμα 13 : Οι χρήστες με απαίτηση RT(μπλε)/NRT(κόκκινο) υπηρεσιών

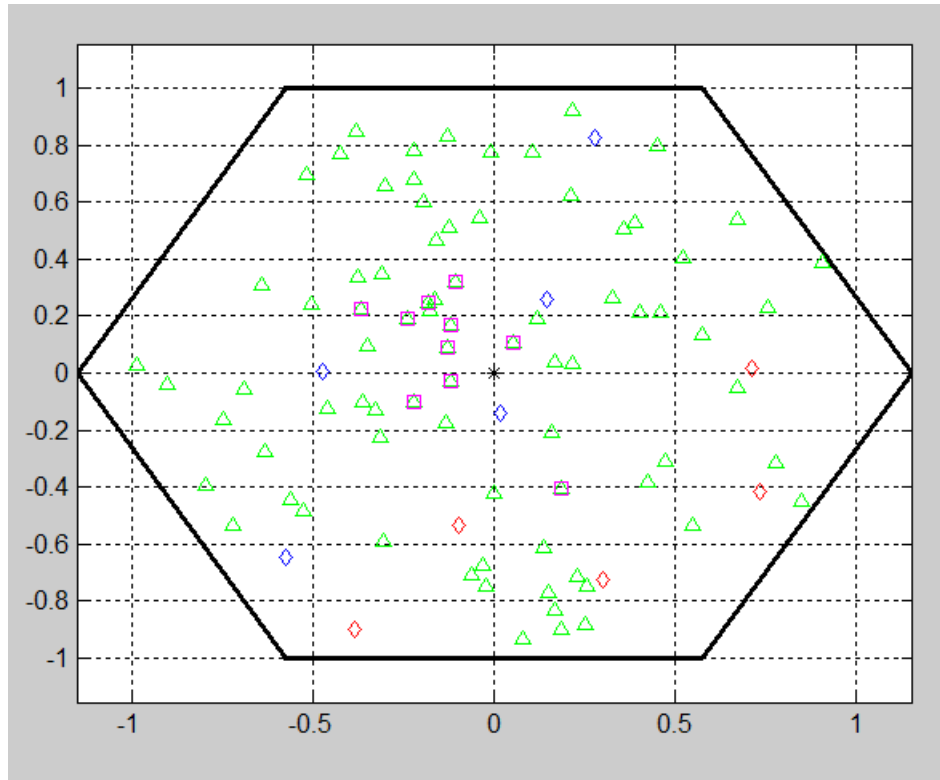
Στη συνέχεια, εισάγουμε τους χρήστες-μηχανές.



Σχήμα 14 : Οι χρήστες με απαίτηση $RT(\mu\text{πλε})/NRT(\text{κόκκινο})$ υπηρεσιών και οι χρήστες-μηχανές (πράσινο)

Έπειτα, σύμφωνα με τον αλγόριθμο που έχουμε παρουσιάσει στο κεφάλαιο 5, επιλέγονται 10 μηχανές να διατελέσουν το ρόλο του συντονιστή ομάδας. Υπενθυμίζουμε ότι οι 10 αυτές μηχανές έχουν το μέγιστο κέρδος διαδρομής ως προς το Σταθμό Βάσης σε σχέση με τις υπόλοιπες 70. Παρατηρούμε, ότι σα συντονιστές έχουν επιλεγεί μηχανές με μικρή σχετικά απόσταση από το Σταθμό Βάσης, το οποίο ήταν αναμενόμενο, καθώς το κέρδος διαδρομής είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης από το Σταθμό Βάσης. Από την άλλη, παρατηρούμε ότι τυχαίνει να επιλεγθούν σα συντονιστές κάποιοι χρήστες - μηχανές, οι οποίοι απέχουν περισσότερο από το Σταθμό Βάσης σε σχέση με κάποιους που δεν επιλέχθηκαν. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον άλλο παράγοντα που επηρεάζει το κέρδος διαδρομής, συγκεκριμένα μία κατανομημένη τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί λογαριθμική κατανομή με μέση τιμή 0 και διακύμανση 8 db , η όποια όπως έχουμε αναφέρει, αντοπροσωπεύει το φαινόμενο της σκίασης και ουσιαστικά εισάγει μία τυχαιότητα στην τιμή του κέρδους διαύλου. Θυμίζουμε ότι

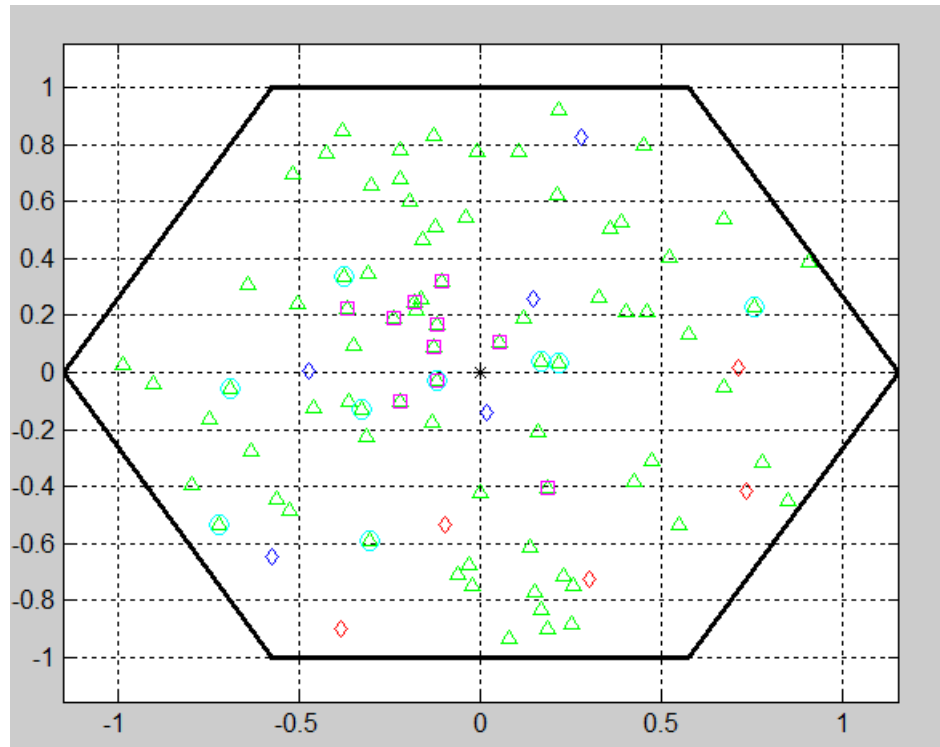
$$h_i^j = \frac{K}{d_i^\alpha}, \text{ όπου } \alpha = 2 \text{ για την προσομοίωσή μας}$$



Σχήμα 15 : Οι χρήστες με απαίτηση $RT(\mu\text{πλε})/NRT(\text{κόκκινο})$ υπηρεσιών , οι χρήστες-μηχανές (πράσινο) και οι συντονιστές αυτών (μωβ)

Τέλος, μπορούμε να δείξουμε στο σχήμα 16, πως γίνεται η ομαδοποίηση των μηχανών σε ομάδες. Για αποφυγή σύγχυσης, θα σημειώσουμε μόνο μία από τις 10 ομάδες που δημιουργούνται. Όπως και πριν, παρατηρούμε ότι οι χρήστες-μηχανές της σημειωμένης ομάδας βρίσκονται σε σχετικά μικρή απόσταση από το συντονιστή, κάτι που είναι λογικό, καθώς όπως έχουμε αναφέρει η ανάθεση μίας μηχανής στην ομάδα ενός συντονιστή πραγματοποιείται αν και μόνο αν η μηχανή αυτή παρουσιάζει μέγιστο κέρδος διαδρομής ως προς αυτό το συντονιστή.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι η τιμή του εύρους ζώνης συνοχής (band with coherence) λαμβάνεται ίση με $B_c = 15\text{kHz}$ και η πυκνότητα θορύβου $N_o = -174\text{ dBm/Hz}$.



Σχήμα 16 : Οι χρήστες με απαίτηση $RT(\mu\text{πλε})/NRT(\text{κόκκινο})$ υπηρεσιών , οι χρήστες-μηχανές (πράσινο) και οι συντονιστές αυτών (μωβ). Κυκλωμένοι (γαλάζιο) είναι οι χρήστες-μηχανές και ο συντονιστής που ανήκουν στην ίδια ομάδα

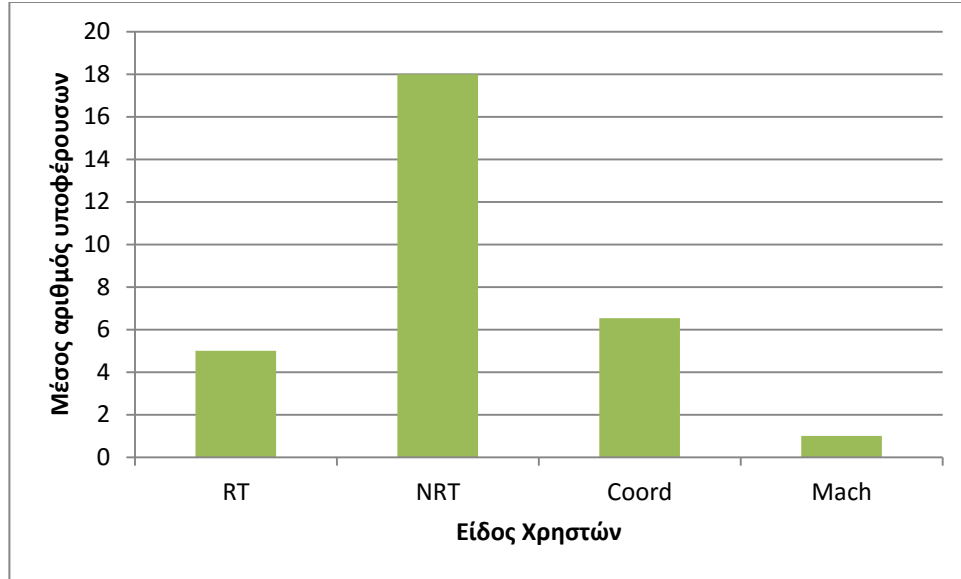
6.2 Αριθμητικά Αποτελέσματα

6.2.1 Αποτελέσματα για σταθερό πλήθος χρηστών σε μία χρονοθυρίδα

Με την εκτέλεση του αλγορίθμου, λαμβάνουμε πληροφορίες για την ομαδοποίηση των μηχανών, την επιλογή των συντονιστών ομάδων και την κατανομή πόρων στο M2M σύστημά μας που αποτελείται τόσο από χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού / μη πραγματικού χρόνου και και από χρήστες-μηχανές. Οι πόροι που κατανέμονται είναι η ισχύς και πακέτα συχνότητας. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε ένα παράδειγμα τέτοιας κατανομής για τα 2 διαφορετικά είδη διαλείψεων στο διάυλο που αναφέραμε, δηλαδή α) *επίπεδο στις διαλείψεις διάυλο* (flat fading channel) και β) *επιλεκτικό στις διαλείψεις διάυλο* (frequency selective fading channel). Σημειώνουμε ότι το πλήθος των υποφέρουσων είναι $S = 256$.

Ο καταμερισμός της ισχύος γίνεται με σκοπό τη μεγιστοποίηση της συνάρτησης ευχαρίστησης κάθε χρήστη και η ανάθεση των πακέτων συχνότητας πραγματοποιείται μέχρις ότου να δοθούν επαρκείς υποφέρουσες για την επίτευξη του επιθυμητού ρυθμού μετάδοσης. Συνεπώς έχει αξία να παρατηρήσουμε πόσες υποφέρουσες απαιτεί το κάθε είδος χρήστη για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του.

Παρατηρώντας τα σχήματα 6.5, 6.6 διαπιστώνουμε ότι το πιο απαιτητικό είδος χρηστών ως προς τον αριθμό των υποφέρουσων είναι με διαφορά οι χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, ακολουθούν οι συντονιστές ομάδας, στη συνέχεια έχουμε τους χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου και τέλος τους υπόλοιπους χρήστες-μηχανές.



Σχήμα 17 : Μέσος αριθμός υποφέρουσων για κάθε είδος χρήστη

Τα αποτελέσματα είναι λογικά, καθώς οι χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου έχουν πολύ υψηλό απαιτούμενο ρυθμό (256 *kbps*) σε σχέση με τους χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου (64 *kbps*). Επιπροσθέτως, ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης για τους συντονιστές ομάδας είναι ανάλογος του αριθμού των μηχανών της ομάδας. Συνεπώς, αν μεταβάλλουμε τον αριθμό των ομάδων θα μεταβάλλουμε με αντιστρόφως ανάλογο τρόπο τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης κάθε συντονιστή. Τέλος, παρατηρούμε ότι οι χρήστες-μηχανές χρειάζονται μία υποφέρουσα, κάτι το οποίο είναι πολύ θετικό για το σύστημά μας, καθώς πετυχαίνουμε ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της M2M επικοινωνίας, που είναι χαμηλού κόστους μετάδοσης.

Σημαντικό, επίσης, αποτέλεσμα της προσομοίωσης της μελέτης του συστήματος σε μία χρονοθυρίδα, είναι σχετικό με την απόδοση (*efficiency*) του κάθε είδους χρήστη. Συγκεκριμένα ορίζουμε την απόδοση για κάθε είδος χρήστη ως εξής :

$$Mean_Eff = \frac{1}{N} \sum_i^N Eff_i \quad (6.1)$$

, όπου N είναι το πλήθος των χρηστών ίδιου είδους, και Eff_i είναι η μέση απόδοση που παρουσιάζει κάθε χρήστης για όλες τις υποφέρουσες που διαθέτει, δηλαδή

$$Eff_i = \frac{1}{K} \sum_{k=Sub(i,j)}^K \frac{r_i(k)}{p_i(k)} \quad (6.2)$$

Άρα, μπορούμε να ορίσουμε τώρα την μέση απόδοση για τα 4 διαφορετικά είδη χρηστών του συστήματός μας

$$Mean_Efficiency^{NRT} = \frac{1}{U/2} \sum_i^{U/2} \frac{1}{K} \sum_{k=Sub(i,j)}^K \frac{r_i(k)}{p_i(k)}, \forall i | u_i \in U \text{ and } RT(u_i) = 0, s_j \in \mathcal{S}$$

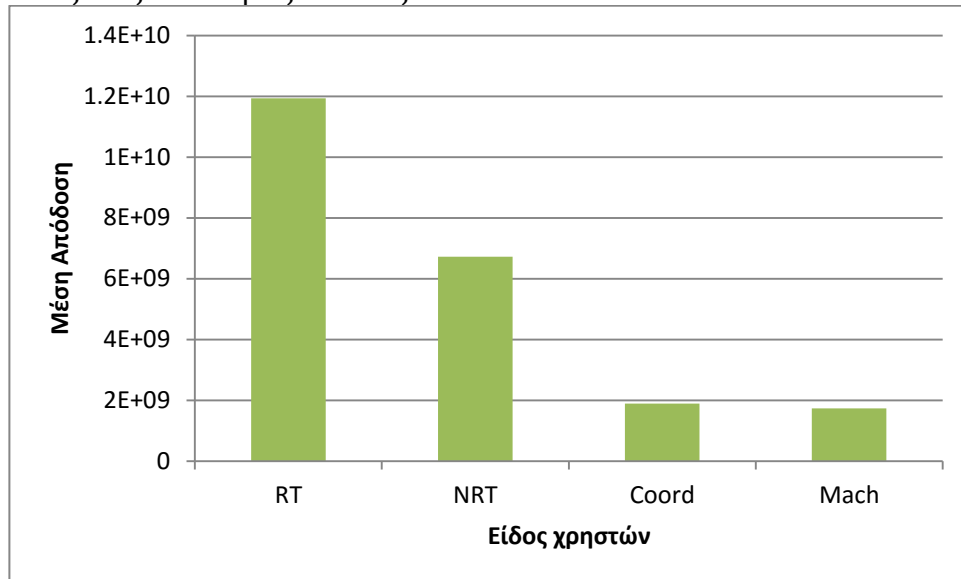
$$Mean_Efficiency^{RT} = \frac{1}{U/2} \sum_i \frac{1}{K} \sum_{k=Sub(i,j)}^K \frac{r_i(k)}{p_i(k)}, \forall i | u_i \in U \text{ and } RT(u_i) = 1, s_j \in \mathcal{S}$$

$$Mean_Efficiency^{Coord} = \frac{1}{C} \sum_i \frac{1}{K} \sum_{k=Sub(i,j)}^K \frac{r_i(k)}{p_i(k)}, \forall i | c_i \in \mathcal{C} \quad (6.3)$$

$$Mean_Efficiency^{Mach} = \frac{1}{M-C} \sum_i \frac{1}{K} \sum_{k=Sub(i,j)}^K \frac{r_i(k)}{p_i(k)} \forall i | m_i \in M \text{ και } m_i \notin C$$

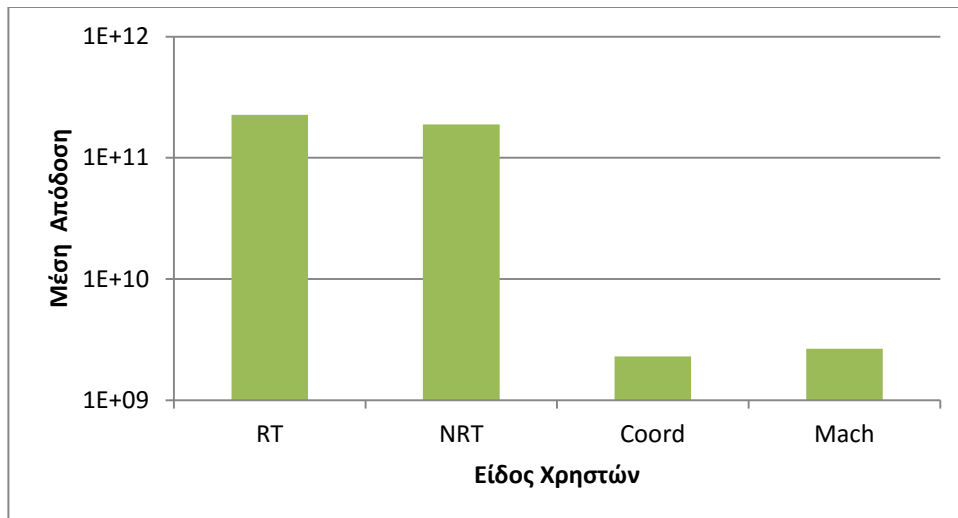
Υπενθυμίζεται ότι στις παραπάνω σχέσεις K είναι ο αριθμός των υποφέρουσων για κάθε χρήστη, δηλαδή $K = K(i)$

α) Επίπεδος στις διαλείψεις διάυλος :



Σχήμα 18 : Μέση απόδοση για κάθε είδος χρήστη σε διάυλο που υπόκειται σε επίπεδες διαλείψεις

β) Επιλεκτικός στη συχνότητα διάυλος

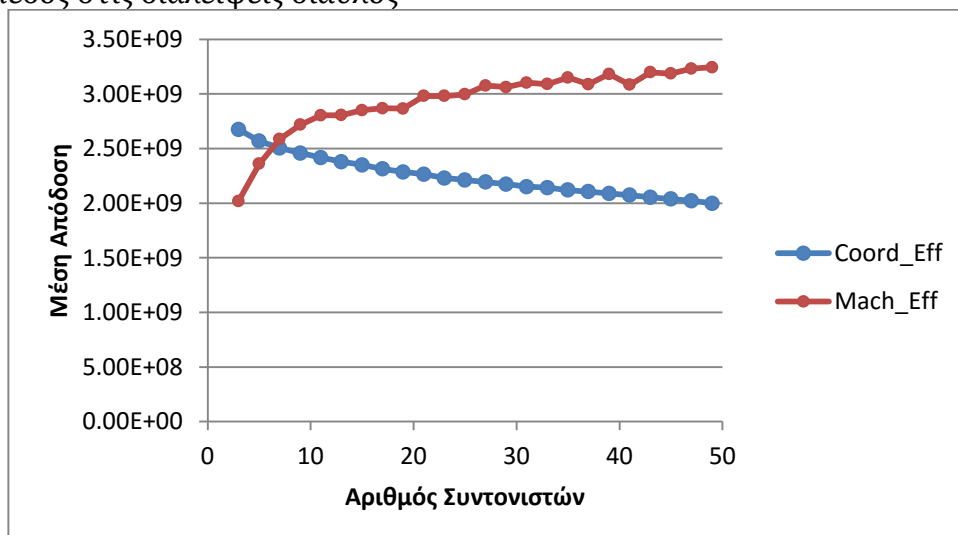


Σχήμα 19 : Μέση απόδοση για κάθε είδος χρήστη σε δίαυλο που υπόκειται σε επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις

6.2.2 Αποτελέσματα για μεταβλητό πλήθος συντονιστών σε μία χρονοθυρίδα

Στη συνέχεια, θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά των χρηστών του συστήματος μεταβάλλοντας τον αριθμό των συντονιστών, δηλαδή μεταβάλλοντας τον αριθμό των ομάδων που υπάρχουν στην κυψέλη ξεκινώντας με αρχικά 3 συντονιστές και καταλήγοντας με 50 συντονιστές σε σύνολο 80 μηχανών. Θα παράξουμε, ξανά, τις γραφικές για τη μέση απόδοση των 4 ειδών χρηστών και για τις 2 περιπτώσεις διαύλου και στη συνέχεια θα σχολιάσουμε τα αποτελέσματα.

α) Επίπεδος στις διαλείψεις δίαυλος



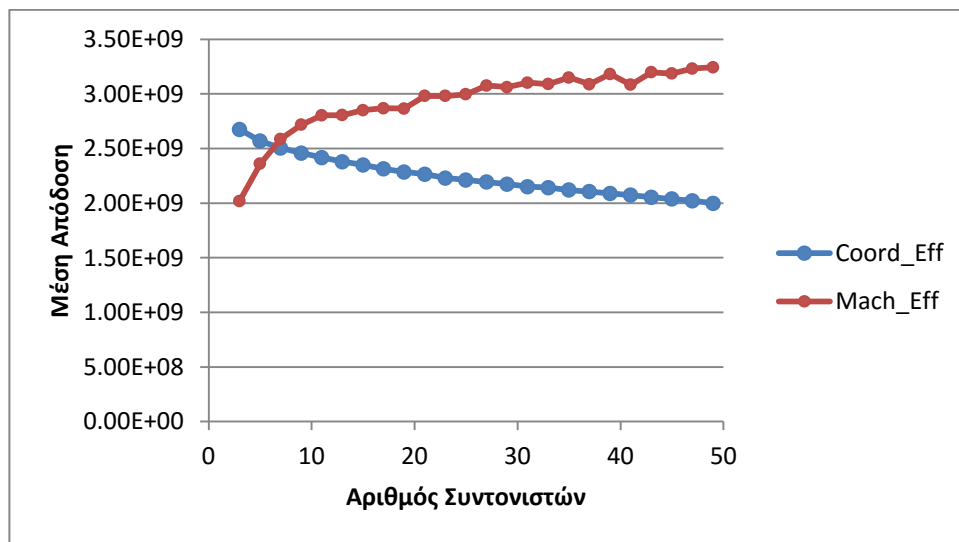
Σχήμα 20 : Μέση απόδοση για χρήστες-μηχανές συναρτήσεσι του πλήθους των συντονιστών σε δίαυλο που υπόκειται σε επίπεδες διαλείψεις

Αρχικά, διαπιστώνουμε ότι η μορφή των καμπυλών είναι παρόμοια και στις 2 περιπτώσεις διαύλου, κάτι το οποίο είναι λογικό, καθώς η μόνη διαφορά εντοπίζεται στις τιμές κέρδους-διαδρομής.

Παρατηρούμε ότι η απόδοση των χρηστών με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου δεν επηρεάζεται από την αύξηση του αριθμού των συντονιστών, πράγμα που είναι λογικό, γιατί οι χρήστες αυτοί έχουν προτεραιότητα στην επιλογή υποφέρουσων. Η αύξηση του αριθμού των συντονιστών δεν έχει, δηλαδή, αντίκτυπο σε χρήστες που επιλέγουν υποφέρουσες πριν τους συντονιστές.

Η απόδοση είναι ο λόγος του ρυθμού μετάδοσης προς την ισχύ εκπομπής. Υποθέτοντας ότι η ισχύς που εκπέμπεται από τα μηχανήματα είναι περίπου η ίδια για όλα τα μηχανήματα, η απόδοση ενός χρήστη-μηχανή βασίζεται στο ρυθμό μετάδοσης κάθε μηχανής ως προς το συντονιστή της, ή ως προς το Σταθμό Βάσης, εάν η μηχανή είναι συντονιστής. Ωστόσο, ο ρυθμός μετάδοσης εξαρτάται από το κέρδος διαδρομής, το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης από το σημείο αναφοράς κάθε κόμβου. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την επιλογή συντονιστών στην ενότητα 6.2, όπου είχαν διορισθεί συντονιστές, οι οποίοι απείχαν σχετικά μικρή απόσταση από το Σταθμό Βάσης, συγκριτικά με τις υπόλοιπες.

β) Δίαυλος με διαλείψεις επιλεκτικές στη Συχνότητα



Σχήμα 21 : Μέση απόδοση για χρήστες-μηχανές συναρτήσει του πλήθους των συντονιστών σε δίαυλο που υπόκειται σε επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις

Με τα παραπάνω κατά νου, μπορεί να εξηγηθεί το προηγούμενο γράφημα για τους χρήστες-μηχανές. Όταν ο αριθμός των συντονιστών αυξάνεται, συντονιστές διορίζονται χρήστες-μηχανές, που είναι όλο πιο μακριά από το Σταθμό Βάσης σε σχέση με τους ήδη υπάρχοντες, οπότε το κέρδος διαδρομής τους μειώνεται, με αποτέλεσμα και ο λόγος απόδοσης να μειώνεται.

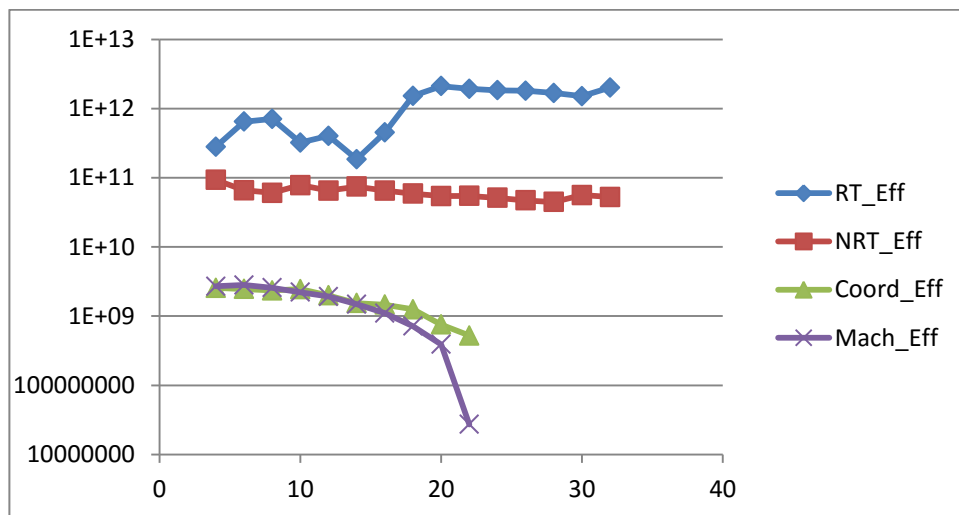
Όταν ο αριθμός των συντονιστών αυξάνεται, οι χρήστες-μηχανές έχουν ολοένα και πιο κοντινό συντονιστή στην ομάδα τους, συνεπώς το κέρδος τους προς την κατεύθυνση αυτή αυξάνεται και το ίδιο κάνει και η απόδοσή τους.

6.2.3 Αποτελέσματα για μεταβλητό πλήθος χρηστών με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού/μη πραγματικού χρόνου σε μία χρονοθυρίδα

Στην παρούσα ενότητα θα μελετήσουμε την μεταβολή της απόδοσης των χρηστών του συστήματος, καθώς μεταβάλλουμε το πλήθος των χρηστών με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου.

Παρατηρώντας τις καμπύλες που χαρακτηρίζουν τους χρήστες με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού/μη πραγματικού χρόνου, διαπιστώνουμε ότι η μεταβολή τους είναι σχετικά τυχαία, κάτι το οποίο είναι λογικό, καθώς αύξηση του αριθμού αυτών των χρηστών σημαίνει εισαγωγή νέων χρηστών στο σύστημα, οι οποίοι παρουσιάζουν τυχαίο κέρδος διαδρομής σε σχέση με τους ήδη υπάρχοντες, συνεπώς δε γνωρίζουμε αν θα συντελέσουν αυξητικά ή επιβαρυντικά στην μέση συνολική απόδοση των χρηστών του είδους τους.

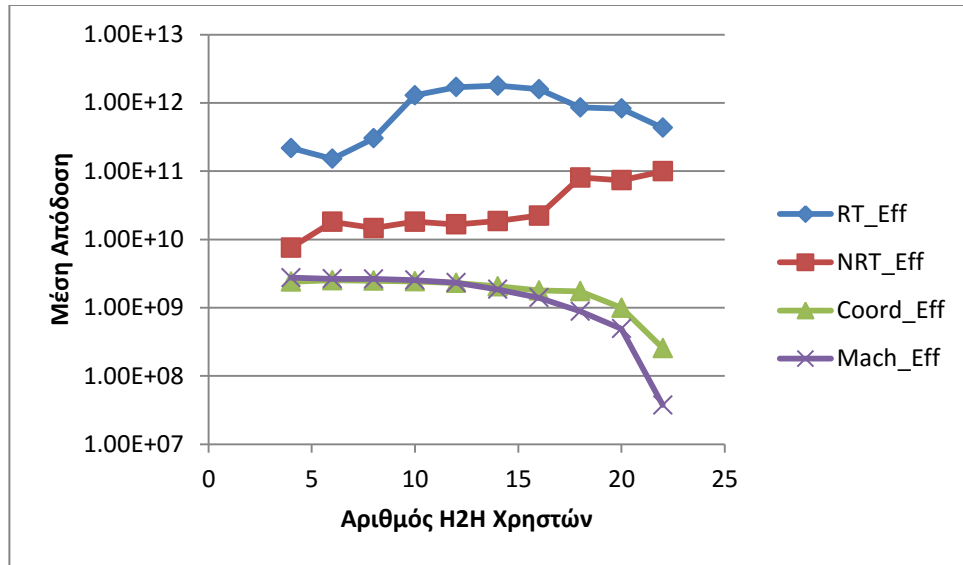
α) Δίαυλος με επίπεδες διαλείψεις



Σχήμα 22 : Μέση απόδοση για όλους τους χρήστες του συστήματός μας συναρτήσει του πλήθους των H2H χρηστών σε δίαυλο που υπόκειται σε επίπεδες διαλείψεις

Γενικά όσον αφορά τους χρήστες-μηχανές, παρατηρούμε ότι όταν ο αριθμός των χρηστών με απαιτήση υπηρεσιών πραγματικού/μη πραγματικού χρόνου αυξάνεται, οι χρήστες-μηχανές έχουν στη διάθεσή τους λιγότερες υποφέρουσες δεδομένου ότι έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα στην επιλογή αυτών. Αναπόφευκτα λοιπόν, θα υπάρξει κάποιο κατώφλι αριθμού χρηστών με απαιτήση υπηρεσιών πραγματικού/μη πραγματικού χρόνου, μετά το οποίο, δε θα αποδίδονται υποφέρουσες σε κάποιους χρήστες-μηχανές.

β) Δίαυλος με διαλείψεις επιλεκτικές στη Συχνότητα

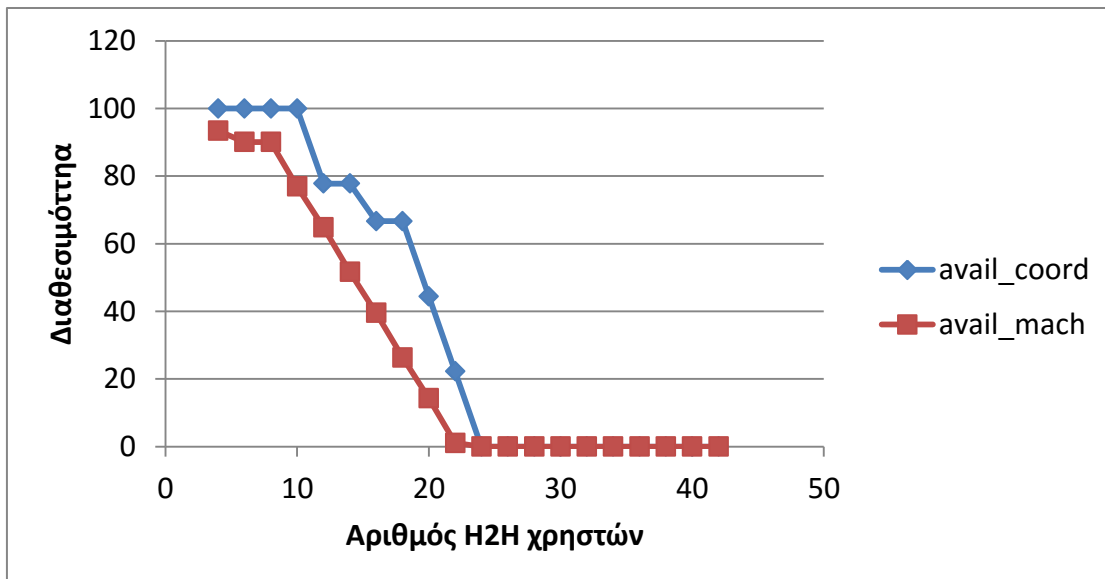


Σχήμα 23 : Μέση απόδοση για όλους τους χρήστες του συστήματός μας συναρτήσει του πλήθους των Η2Η χρηστών σε διάυλο που υπόκειται σε επιλεκτικές στη συχνότητα διαλείψεις

Προς ενίσχυση του προηγούμενου συμπεράσματος, εισάγουμε την έννοια της διαθεσιμότητας χρηστών-μηχανών. Συγκεκριμένα, *διαθεσιμότητα* των απλών μηχανών (*avail_mach*) ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των μηχανών που έχουν διαθέσιμες υποφέρουσες προς το συνολικό αριθμό των MN. *Διαθεσιμότητα συντονιστών* (*avail_coord*) υπολογίζεται ως ο αριθμός των coords που έχουν υποφέρουσες στη διάθεσή τους διαιρεμένος με το συνολικό αριθμό των coords. Δηλαδή,

$$\text{Διαθεσιμότητα \%} = \frac{\text{Αριθμός ενεργών MTCDs}}{\text{Συνολικός Αριθμός MTCDs}} * 100$$

Από το παρακάτω διάγραμμα επιβεβαιώνουμε αυτό που είχαμε παρατηρήσει στο Σχήμα 23, ότι δηλαδή η διαθεσιμότητα των χρηστών-μηχανών μειώνεται όταν ο αριθμός των χρηστών με απαίτηση υπηρεσιών πραγματικού/μη πραγματικού χρόνου αγγίζει το κατώφλι 10. Όταν έχουμε 20 χρήστες, παρατηρούμε ότι καταλήγουμε σε μηδενική διαθεσιμότητα, δηλαδή δεν υπάρχουν πλέον διαθέσιμες υποφέρουσες για τους χρήστες-μηχανές.



Σχήμα 24 : Διαθεσιμότητα χρηστών-μηχανών σε υποφέρουσες συναρτήσεις του αριθμού χρηστών

6.2.4 Βέλτιστος αριθμός Συντονιστών

Έχει γίνει αντιληπτή η μεγάλη σημασία του ρόλου των συντονιστών ομάδας για την αποδοτική M2M επικοινωνία. Αυτό που θα μελετήσουμε στη συγκεκριμένη ενότητα είναι ο βέλτιστος αριθμός συντονιστών για ένα M2M δίκτυο. Στις προηγούμενες περιπτώσεις προσομοίωσης, επιλέγαμε ένα σταθερό αριθμό $C = 10$ για πλήθος συντονιστών με $M = 80$ μηχανές συνολικά. Προφανώς, έχει ιδιαίτερη αξία να είμαστε σε θέση να επιλέγουμε ένα αριθμό συντονιστών, ο οποίος θα δίνει βέλτιστα αποτελέσματα σε σχέση με το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει.

Στην παρούσα εργασία, έχουμε ήδη τονίσει τη σημασία της απόδοσης ενός χρήστη. Αυτό θα είναι το χαρακτηριστικό το οποίο θα προσπαθήσουμε να μεγιστοποιήσουμε. Πιο συγκεκριμένα, θα επιχειρήσουμε τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του συνόλου των μηχανών, συμπεριλαμβανομένων και των συντονιστών. Για να το πετύχουμε αυτό, διατηρώντας ταυτόχρονα ισότιμη την απόδοση τόσο των μηχανών και των συντονιστών, θα εισάγουμε το μέγεθος Eff_norm

$$Eff_norm = Mean_Efficiency^{Coord} \cdot Mean_Efficiency^{Mach}$$

, το οποίο, δηλαδή, ορίζεται ως το γινόμενο των κανονικοποιημένων αποδόσεων μηχανών και συντονιστών.

Ο θεωρητικός υπολογισμός του βέλτιστου αριθμού συντονιστών για μεγιστοποίηση του Eff_norm είναι αρκετά σύνθετος, και για το λόγο αυτό, θα υπολογιστεί με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Η διαδικασία που θα το πετύχει αυτό είναι η ακόλουθη:

Έστω ότι στο δίκτυό μας, υπάρχουν M στο πλήθος, μηχανές. Ο βέλτιστος αριθμός συντονιστών είναι προφανώς $1 \leq C^{opt} \leq M - 1$. Αφού, χρησιμοποιήσουμε κάποιον από τους 2 αλγόριθμους που αναλύθηκαν στις ενότητες 5.5, 5.6 (ανάλογα με το αν θέλουμε να λάβουμε υπόψη μας την ελαχιστοποίηση της ενέργειας του συστήματος), είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε τις αποδόσεις $Mean_Efficiency^{Coord}(i)$, $Mean_Efficiency^{Mach}(i)$, με χρήση των σχέσεων (6.3) για οποιαδήποτε αριθμό συντονιστών i . Στη συνέχεια, θα παράξουμε τις κανονικοποιημένες ποσότητες αυτών $Mean_Efficiency^{Coord}(i)$, $Mean_Efficiency^{Mach}(i)$, και έπειτα θα υπολογίσουμε τα γινόμενα

$$Eff_norm = Mean_Efficiency^{Coord}(i) \cdot Mean_Efficiency^{Mach}(i)$$

Τέλος, είμαστε σε θέση να βρούμε το i^* , δηλαδή τον αριθμό συντονιστών για το οποίο έχουμε $\max_i Eff_norm(i)$. Εκτελώντας αυτόν τον αλγόριθμο, παράγουμε το σχήμα, στο οποίο έχουμε το βέλτιστο αριθμό συντονιστών συναρτήσει του συνολικού αριθμού μηχανών στο σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 Επίλογος

Στοχεύοντας στην κατανομή πόρων ισχύος και φάσματος, σε ένα δίκτυο που υποστηρίζει επικοινωνίες μηχανής-προς-μηχανή (M2M) και ανθρώπου-προς-άνθρωπο (H2H), ώστε να ικανοποιείται η ποιότητα υπηρεσιών των διαφόρων χρηστών του συστήματος, εισάγεται και αναλύεται ένα σχέδιο βασισμένο στη βελτιστοποίηση της απόδοσης των χρηστών. Συγκεκριμένα, προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση μηχανών, επιλέγεται η οργανώση αυτών σε ομάδες, των οποίων οι επικεφαλείς ονομάζονται συντονιστές. Οι συντονιστές αναλαμβάνουν τη μετάδοση των δεδομένων προς το Σταθμό Βάσης. Μελετώνται δύο βασικά προβλήματα, όπου κατά το πρώτο εμφανίζονται στο δίαυλο διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα, ενώ κατά το δεύτερο μη επιλεκτικές. Όλοι οι χρήστες του συστήματος εκπέμπουν με ισχύ τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η συνάρτηση ευχαρίστησης τους και ταυτόχρονα να παράγουν αποδεκτό ρυθμό μετάδοσης. Μέσω μοντελοποίησης του συστήματός μας, παράγονται χρήσιμα συμπεράσματα αναφορικά με την απόδοση του συστήματός μας συναρτήσει του αριθμού συντονιστών αλλά και του αριθμού χρηστών H2H. Συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται το πλήθος των συντονιστών, παρατηρείται ότι η απόδοση των συντονιστών μειώνεται, ενώ η απόδοση των μηχανών, που δεν λειτουργούν ως συντονιστές, αυξάνεται. Επιπροσθέτως, αυξάνοντας το πλήθος των H2H χρηστών, η απόδοση των κόμβων-μηχανών του δικτύου μειώνεται. Συν τοις άλλοις, εισάγεται η έννοια της διαθεσιμότητας των μηχανών, δηλαδή ο λόγος των ενεργών μηχανών προς το σύνολο των μηχανών και εντοπίζεται η τιμή του πλήθους των H2H χρηστών από την οποία και μετά έχουμε μείωση της διαθεσιμότητας. Επιχειρείται, επιπλέον, να υπολογιστεί ο βέλτιστος αριθμός συντονιστών συναρτήσει του συνολικού πλήθους μηχανών στο δίκτυο και τέλος προτείνεται ένα εναλλακτικό σχέδιο κατανομής πόρων, κατά το οποίο, λαμβάνεται υπόψη η διαθέσιμη ενέργεια των μηχανών του συστήματος, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται ο αλγόριθμος υπολογισμού της ισχύος των κόμβων-μηχανών κατά την εξέλιξη του συστήματος στο χρόνο.

Βιβλιογραφία

- [1] Junxian Huang, Feng Qian, Alexandre Gerber, Z. Morley Mao, Subhabrata Sen, Oliver Spatscheck - A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks- University of Michigan, AT&T Labs – Research
- [2] Wikipedia , “ LTE (telecommunication) “, [online]. Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication))
- [3] IvaBojic, JorgeGranjal, EdmundoMonteiro, DamjanKatusic, Pavle Skocir, Mario Kusek, and Gordan Jezic - Communication and Security in Machine-to-Machine Systems
- [4] Jussi Marjamaa - A measurement-based analysis of machine-to-machine communications over a cellular network- Thesis submitted for examination for the degree of Master of Science in Technology
- [5] Kan Zheng, Fanglong Hu, and Wenbo Wang, Wei Xiang, Mischa Dohler - Radio Resource Allocation in LTE-Advanced Cellular Networks with M2M Communications- IEEE Communications Magazine , July 2012
- [6] Min Chen, , Jiafu Wan, Sergio Gonzalez, Xiaofei Liao, and Victor C.M. Leung - A Survey of Recent Developments in Home M2M Networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, No. 1, First Quarter 2014
- [7] Chieh Yuan Ho and Ching-Yao Huang - Energy-Saving Massive Access Control and Resource Allocation Schemes for M2M Communications in OFDMA Cellular Networks- IEEE Communications letters, vol. 1, No. 3, June 2012
- [8] Shao-Yu Lien and Kwang-Cheng Chen - Massive Access Management for QoS Guarantees in 3GPP Machine-to-Machine Communications- IEEE Communications letters, vol. 15, No. 3, March 2011
- [9] Inkyu Bang, Kab Seok Ko, and Dan Keun Sung - A User-Pairing based Resource Allocation Scheme for a Large Number of Devices in M2M Communications - 2013 IEEE 24th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications: MAC and Cross-Layer Design Track
- [10] Kennedy Edemacu – Tonny Bulega -Resource Sharing Between M2M and H2H Traffic under Time-controlled Scheduling Scheme in LTE Networks
- [11] Dr. John M. Shea - Fading- EEL 6509 Wireless Communications
- [12] Alaa Deshar Farhood , Neelesh Agarwal ,A.K. Jaiswal , Navendu Nitin and Maham Kamil Naji - Performance Analysis of OFDMA in LTE - International Journal of Current Engineering and Technology
- [13] Παναγιώτης Γ. Κωττής , Παντελής-Δανιήλ Μ. Αράπογλου , Ασύρματες Επικοινωνίες Σελ.132-133
- [14] Srikanth S., Kumaran V., Manikandan C. , Orthogonal Frequency Division Multiple Access : Is it the Multiple Access System of the Future ?
- [15] Harpreet S. Dhillon, Howard C. Huang, Harish Viswanathan and Reinaldo A. Valenzuela - Communication and Security in Machine-to-Machine Systems - GC'12 Workshop: Second International Workshop on Machine-to-Machine Communications 'Key' to the Future Internet of Things