



Πανεπιστήμιο Πειραιά

Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

(Π.Μ.Σ) Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Machine to Machine communications



Λιάσκου Βασιλική

A.M:ME10064

Πειραιάς, 2012

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Αλεξίου Αγγελική

Machine to Machine communications

Λιάσκου Βασιλική

Σημαντικοί όροι: M2M επικοινωνίες, Zigbee σύστημα, data aggregation, throughput, end-end- delay.

Περίληψη

Η εποχή της M2M επικοινωνίας έχει πλέον έρθει και αναφέρεται στην επικοινωνία των συσκευών με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση ή με πλήρη απουσία αυτής. Ο ρόλος του M2M είναι να δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες ώστε μια συσκευή να ανταλλάξει πληροφορίες με μια εφαρμογή μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας. Τα βασικότερα συστήματα M2M επικοινωνιών που έχουν αναπτυχθεί είναι το Bluetooth, το Wi-Fi και το Zigbee.

Κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι να αναπτύξουμε ένα από τα συστήματα και συγκεκριμένα ένα Zigbee δίκτυο γραφείου στο οποίο εφαρμόζουμε tree τοπολογία και να το συγκρίνουμε με ένα παρόμοιο δίκτυο στο οποίο εφαρμόζουμε In-Network data aggregation καθώς και με ένα δίκτυο στο οποίο εφαρμόζεται μια πιο Light έκδοση του data aggregation .

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσα από αυτή την ανάλυση είναι ότι με την εφαρμογή του data aggregation στο δίκτυο καταφέρνουμε να βελτιώσουμε την απόδοση(throughput) του συστήματος ενώ με την απουσία αυτού βελτιώνουμε την καθυστέρηση του συστήματος. Όμως υπάρχουν εφαρμογές που απαιτείται μια πιο Light έκδοση data aggregation στο δίκτυο ώστε να πετύχουμε μικρότερη καθυστέρηση του συστήματος. Επιπλέον η Light data aggregation τεχνική μας δίνει τη δυνατότητα να προσαρμόζουμε τις παραμέτρους του συστήματος ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου.

Επίσης αναλύσαμε τη συμπεριφορά αυτών των δικτύων όταν αυξάνουμε τον αριθμό των τερματικών συσκευών και παρατηρήσαμε ότι αν και η αύξηση αυτή επηρεάζει αρνητικά το δίκτυο από πλευρά καθυστέρησης, η απόδοση του συστήματος βελτιώνεται μιας και μειώνεται ο αριθμός των μεταδόσεων. Ωστόσο τα αποτελέσματα αυτά συμβάλλουν στη περαιτέρω έρευνα ώστε να αναπτυχθεί μια τεχνική του data aggregation η οποία θα είναι ευνοϊκή ως προς την καθυστέρηση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**Σελίδα**

Περίληψη	2
Κεφάλαιο 1°	
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Στάδια M2M επικοινωνίας.....	4
1.3 Προκλήσεις των Wireless M2M.....	7
Κεφάλαιο 2°	
2.1 Αρχιτεκτονική των M2M Επικοινωνιών.....	8
2.2 M2M Communications Support in various Standards.....	10
2.3 M2M Communications Standards.....	12
2.4 Εφαρμογές M2M.....	13
Κεφάλαιο 3°	
3.1 Wi-Fi.....	16
3.2 Bluetooth.....	16
3.3 Zigbee.....	17
Κεφάλαιο 4°	
4.1 M2M τοπολογίες.....	17
4.2 Τεχνικές Data Aggregation.....	22
4.3 Εφαρμογή τεχνικής Data Aggregation.....	30
4.3.1 Σχεδιασμός Δικτύων.....	32
Κεφάλαιο 5°	
5.1 Ανάλυση ενός Zigbee Tree Network με Data Aggregation _ No Data Aggregation.....	35
5.2 Ανάλυση ενός Zigbee Tree Network με Light Data Aggregation _ Heavy Data Aggregation.....	40
5.3 Ανάλυση Δικτύου για διπλάσιους κόμβους.....	43
Κεφάλαιο 6°	
6.1 Συμπεράσματα.....	44
6.2 Μελλοντική Εργασία.....	45
Βιβλιογραφία	46
Κατάσταση Πινάκων	48
Κατάσταση Διαγραμμάτων-Εικόνων	49

Κεφάλαιο 1°

1.1 Εισαγωγή

Φανταστείτε μια κατάσταση όπου ο κόσμος γύρω μας είναι ευφυής. Υπάρχουν παντού αισθητήρες και ενεργοποιητές, οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με τον server για την ορθή διαχείριση και λειτουργία των μηχανημάτων. Τα φανάρια θα ρυθμίζουν αυτόματα τη ροή των οχημάτων με τη λήψη των δεδομένων κίνησης της πόλης από τους αισθητήρες που εγκαθίστανται παντού. Οι αυτόματοι πωλητές θα στέλνουν αυτόματα αίτημα για αναπλήρωση των προϊόντων όταν χρειάζεται. Οι ηλικιωμένοι θα είναι υπό συνεχή παρακολούθηση από γιατρούς, οι οποίοι θα ενημερώνονται τακτικά για την κατάσταση τους. Τα αυτοκίνητα θα είναι αρκετά ευφυή ώστε να αποφεύγονται συγκρούσεις με τα άλλα αυτοκίνητα. Αυτός ο κόσμος είναι ο κόσμος των M2M[1].

Το machine-to-machine (M2M) αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών, ενσωματωμένων επεξεργαστών, έξυπνων αισθητήρων, ενεργοποιητών και φορητών συσκευών με περιορισμένη ανθρώπινη παρέμβαση ή με πλήρη απουσία αυτής [2].

Η βασική του ιδέα είναι ότι τα μηχανήματα είναι πιο πολύτιμα όταν είναι δικτυωμένα και το δίκτυο γίνεται πιο πολύτιμο με την προσθήκη περισσότερων μηχανημάτων σε αυτό. Η κύρια χρήση της τεχνολογίας M2M είναι η αλληλεπίδραση με ένα μεγάλο αριθμό απομακρυσμένων κινητών, συσκευών, που συνήθως ενεργούν ως διεπαφή με τον τελικό χρήστη[1].

Σήμερα, όλο και περισσότερες συσκευές συνδέονται στο δίκτυο επικοινωνίας και αναμένεται η machine-to-machine (M2M) επικοινωνία να γίνει μια τυπική μορφή επικοινωνίας της πέμπτης γενιάς ασύρματων επικοινωνιών [3].

Οι επιπτώσεις της M2M επικοινωνίας θα αυξάνονται συνεχώς σε αυτή τη δεκαετία, σύμφωνα με τις προηγούμενες προβλέψεις. Για παράδειγμα, οι ερευνητές προβλέπουν ότι μέχρι το 2014, χωρίς την απαίτηση της ανθρώπινης παρέμβασης, θα υπάρχουν 1,5 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες ασύρματες συσκευές εξαιρώντας τα κινητά τηλέφωνα, με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε μια άνευ προηγουμένου αύξηση των δεδομένων M2M. Επί του παρόντος, οι διάφορες εφαρμογές του M2M έχουν ήδη αρχίσει να εμφανίζονται σε διάφορους τομείς, όπως είναι η υγειονομική περίθαλψη, τα έξυπνα ρομπότ, τα κυβερνο-συστήματα μεταφοράς (CTS), τα συστήματα παραγωγής, οι έξυπνες τεχνολογίες στο σπίτι, και τα ευφυή δίκτυα[2].

1.2 Στάδια M2M επικοινωνίας

Η M2M επικοινωνία χαρακτηρίζεται από χαμηλή ισχύ, χαμηλό κόστος και χαμηλή ανθρώπινη παρέμβαση[4].

Το M2M είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση της ροής των δεδομένων μεταξύ μηχανών και μηχανημάτων και, τελικά, μηχανών και ανθρώπων. Ανεξάρτητα από τον τύπο του μηχανήματος ή τα δεδομένα, οι πληροφορίες ρέουν συνήθως με τον ίδιο τρόπο, από ένα μηχανήμα μέσω ενός δικτύου, και στη συνέχεια μέσω της πύλης του συστήματος όπου θα μπορούν να αναθεωρηθούν και να εφαρμοστούν.

Μέσα σε αυτό το βασικό πλαίσιο, υπάρχουν πολλές διαφορετικές επιλογές για το πώς η συσκευή είναι συνδεδεμένη, το είδος της επικοινωνίας που χρησιμοποιείται, και πώς τα δεδομένα χρησιμοποιούνται. Ακόμα κι αν αυτή η διαδικασία φαίνεται περίπλοκη, όταν μια εταιρεία γνωρίζει τι θέλει να κάνει με τα δεδομένα, οι επιλογές για την εγκατάσταση της εφαρμογής είναι συνήθως απλή.

Όταν πρόκειται για λεπτά σημεία η M2M επικοινωνία, και η εγκατάσταση αυτής είναι μοναδική. Ωστόσο, υπάρχουν τέσσερα βασικά στάδια που είναι κοινά σχεδόν σε κάθε εφαρμογή M2M. Τα στάδια είναι τα εξής:

- 1) Συλλογή των δεδομένων
- 2) Η μετάδοση επιλεγμένων δεδομένων μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας
- 3) Αξιολόγηση των δεδομένων
- 4) Ανταπόκριση στη διαθέσιμη πληροφορία

1) Συλλογή δεδομένων:

Η συλλογή της πληροφορίας από ένα ελεγχόμενο μηχάνημα μπορεί να είναι τόσο απλή διαδικασία όπως είναι η παρακολούθηση ενός αισθητήρα θερμοκρασίας, το επίπεδο του δείκτη, το κλείσιμο μιας επαφής, ή ένα βιομηχανικό υπολογιστικό σύστημα με μία θύρα επικοινωνίας.

Επομένως η διαδικασία της M2M επικοινωνίας αρχίζει με τη λήψη των δεδομένων από μια μηχανή, έτσι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να αναλυθούν και να αποσταλούν σε ένα δίκτυο. Ο έλεγχος της μηχανής μπορεί να σημαίνει απευθείας σύνδεση με το δίκτυο και έλεγχος ενός ή περισσοτέρων διακοπών, το κλείσιμο μιας επαφής ή αναλογικές εξόδους. Μια έξυπνη ηλεκτρονική συσκευή, μπορεί να συνδεθεί απλά σε μια σειριακή θύρα του εξοπλισμού και να ζητήσει τα δεδομένα.

Ο στόχος του M2M hardware είναι να γεφυρώσει το μηχάνημα με το δίκτυο επικοινωνιών.

Ένα ασύρματο μοντέλο δεδομένων είναι ενσωματωμένο με το ελεγχόμενο μηχάνημα και προγραμματίζεται ώστε να κατανοήσει το πρωτόκολλο του μηχανήματος (ο τρόπος που στέλνει και λαμβάνει τα δεδομένα).

Αν το ελεγχόμενο μηχάνημα έχει ρυθμιστεί ως master συσκευή, μπορεί να διαχειριστεί τη συσκευή M2M ως ένα απλό ασύρματο μόντεμ, φορτώνοντάς του τα δεδομένα και στη συνέχεια αναθέτοντάς σε αυτό να μεταφέρει τα δεδομένα στο δίκτυο. Αν το μηχάνημα είναι απλά μια συλλογή από διακόπτες και αισθητήρες ή είναι μια έξυπνη συσκευή, η συσκευή M2M μπορεί να λειτουργήσει ως master συσκευή. Σε αυτήν την κατάσταση, λαμβάνει την πληροφορία κάνοντας περιοδικούς ελέγχους στη συσκευή ή διαβάζοντας τους αισθητήρες και τους διακόπτες ή με την αποστολή των αιτημάτων των δεδομένων μέσω της σειριακής θύρας.

Σε μια εφαρμογή υψηλής επικινδυνότητας όπως είναι ένας μεγάλος ηλεκτρικός υποσταθμός, είναι απαραίτητο να στέλνετε μια σταθερή ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο περιγράφοντας το μηχάνημα ή τη διαδικασία. Αλλά σε πολλές περιπτώσεις, αυτό δεν είναι αναγκαίο ή δεν αξίζει το κόστος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η συσκευή M2M θα πρέπει να ελαχιστοποιήσει την ποσότητα των δεδομένων που αποστέλλετε με συνεχόμενες ανανεώσεις των δεδομένων, συγκρίνοντας με τα προγραμματιζόμενα όρια ή τις επιθυμητές τιμές, και στη συνέχεια εκπέμπει μόνο την πληροφορία σε πραγματικό χρόνο, όταν η ανάγνωση είναι εκτός ορίων.

Επιπλέον, η εφαρμογή θα είναι τυπικά προγραμματισμένη να στέλνει ενημερώσεις με τα πλήρη στοιχεία σε μια χρονικά προγραμματισμένη βάση ή οποιαδήποτε στιγμή μετά από αίτηση από τον web server.

2) Μετάδοση των δεδομένων μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας:

Υπάρχουν αρκετές καλές εναλλακτικές λύσεις για τη μεταφορά των δεδομένων από ένα απομακρυσμένο εξοπλισμό στο κέντρο της λειτουργίας του δικτύου. Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, οι τηλεφωνικές γραμμές, και οι δορυφόροι επικοινωνίας είναι οι πιο κοινές λύσεις.

Αναλυτικότερα το τηλέφωνο μπορεί να είναι η καλύτερη επιλογή, αν η γραμμή είναι ήδη εγκατεστημένη και το κόστος μπορεί να μοιραστεί με άλλες χρήσεις. Το μειονέκτημά του είναι συνήθως το συνεχόμενο μηνιαίο κόστος και η δυσκολία εγκατάστασης του.

Η δορυφορική επικοινωνία μπορεί να είναι η πιο δαπανηρή λύση, αλλά είναι συχνά η καλύτερη ή η μόνη λύση για τον έλεγχο του εξοπλισμού σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές.

Η ευρεία κάλυψη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι ο κύριος λόγος που η M2M επικοινωνία παίρνει τόση προσοχή αυτές τις μέρες, και είναι συνήθως η μέθοδος που ταιριάζει καλύτερα. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την αποστολή δεδομένων μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Το CDMA και GPRS είναι οι πιο διαδεδομένοι μέθοδοι στη Βόρεια Αμερική σήμερα και οι περιοχές κάλυψης συνεχώς αυξάνονται. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι η ικανότητά τους να στέλνουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων συχνά ενώ οι δαπάνες συνεχίζουν να μειώνονται.

Η σύνδεση με τα κυψελοειδή ή δορυφορικά δίκτυα απαιτεί συνήθως τη χρήση μιας πύλης. Η πύλη λαμβάνει τα δεδομένα από το ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας και τα μετατρέπει σε μορφή τέτοια ώστε να μπορούν να σταλούν στο κέντρο λειτουργίας του δικτύου, μέσω μιας Internet σύνδεσης ή μέσω μιας frame relay(τηλεφωνική γραμμή) σύνδεσης. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ασφάλειας των δεδομένων όπως είναι ο έλεγχος ταυτότητας και ο έλεγχος πρόσβασης μπορούν να αντιμετωπιστούν με την πύλη και το software της εφαρμογής.

Η πύλη παίζει επίσης σημαντικό ρόλο όταν η ροή των δεδομένων αντιστρέφεται, πηγαίνει δηλαδή από το δίκτυο στο μηχάνημα για τα αιτήματα των δεδομένων και τον απομακρυσμένο έλεγχο. Η πύλη εξακολουθεί να λειτουργεί ως μετατροπέας πρωτοκόλλου, αλλά αυτή τη φορά παίρνει υψηλού εύρους ζώνης Internet πρωτόκολλα και τα μετατρέπει σε χαμηλού εύρους ζώνης ασύρματα πρωτόκολλα, ώστε τα δεδομένα να βελτιστοποιηθούν για τη μεταφορά μέσω ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Για τις εταιρείες που αναπτύσσουν μια M2M εφαρμογή, η πύλη, το λογισμικό εφαρμογής, και η αποθήκη δεδομένων μπορούν να στεγάζονται στο εσωτερικό ή μπορεί να φιλοξενηθούν από τρίτους στο Κέντρο Διαχείρισης Δικτύων. Σε πολλές περιπτώσεις, το μοντέλο φιλοξενίας μπορεί να είναι πιο ελκυστικό, λόγω του υψηλού κόστους που συνεπάγεται στη δημιουργία της υποδομής και στη διαχείριση του δικτύου. Δεδομένου ότι το κόστος είναι χαμηλότερο με το μοντέλο φιλοξενίας, η αποπληρωμή μπορεί να είναι ταχύτερη και η λύση μπορεί να αναπτυχθεί σε λιγότερο χρόνο.

3) Αξιολόγηση των δεδομένων:

Τα δεδομένα από τις μηχανές δικτύου μιας επιχείρησης συνήθως εμφανίζονται σε μία από τις δύο θέσεις: στο software μιας εφαρμογής, ή σε ένα αυτόνομο σύστημα που έχει σχεδιαστεί ειδικά για το M2M. Σήμερα επικρατεί η τάση να προτιμούνται τα αυτόνομα συστήματα για εφαρμογές όπως η εξ αποστάσεως παρακολούθηση, διότι οι περισσότεροι φορείς παροχής M2M εφαρμογών ειδικεύονται στην παροχή αυτών των εφαρμογών και αποφεύγουν το πρόσθετο κόστος για την ενσωμάτωση των νέων δεδομένων στα υπάρχοντα συστήματα.

4)Ανταπόκριση στη διαθέσιμη πληροφορία:

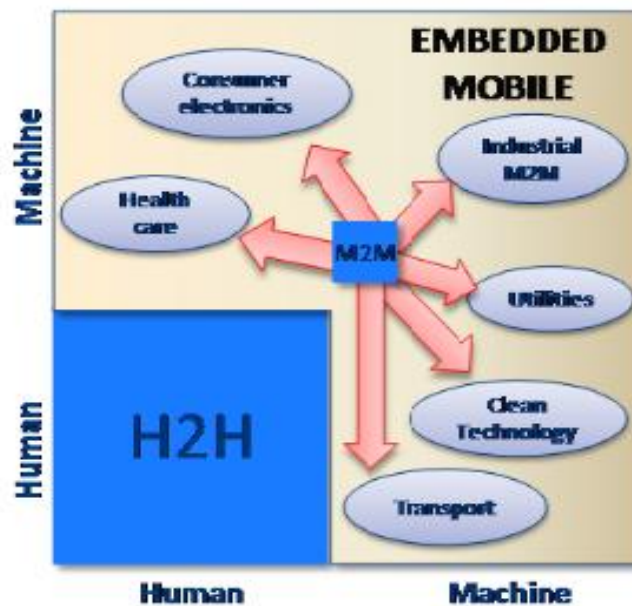
Εάν η εφαρμογή είναι αυτόνομη ή μέρος ενός ευρύτερου συστήματος, κοινός στόχος είναι η αυτοματοποίηση μιας επιχειρηματικής διαδικασίας, αυτοματοποιώντας τη ροή των δεδομένων για τους ανθρώπους και για τα συστήματα. Η τεχνολογία θα πρέπει να είναι ικανή να αποστέλλει τα κατάλληλα δεδομένα στο σωστό μέρος με το σωστό τρόπο ανάλογα με τις

περιστάσεις. Πρέπει επίσης να παρουσιάσει την πληροφορία σε μεμονωμένους χρήστες βασιζόμενη στη συγκεκριμένη τους λειτουργία στην επιχειρηματική διαδικασία[6].

1.3 Προκλήσεις των Wireless M2M δικτύων

Ακριβώς όπως στα H2H δίκτυα, έτσι και τα M2M δίκτυα πρέπει να είναι αξιόπιστα, ασφαλή και εύχρηστα. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες προκλήσεις, οι οποίες πρέπει να επιλυθούν από τους ασύρματους φορείς τυποποίησης. Συγκεκριμένα πρέπει[5]:

- Ένας πολύ μεγάλος αριθμός συσκευών να υποστηρίζεται στο πλαίσιο ενός δικτύου M2M σε σχέση με ένα H2H δίκτυο. Επομένως, πρέπει να επιτευχθούν βελτιστοποιήσεις, προκειμένου να αποφευχθεί η συμφόρηση του δικτύου και η υπερφόρτωση του συστήματος.
- Μοντέλα κυκλοφορίας των συσκευών M2M να είναι διαφορετικά από εκείνα των H2H δικτύων. Οι M2M συσκευές συχνά έχουν πρόσβαση στο δίκτυο, ακόμη και όταν χρειάζεται να μεταδώσουν μικρές ποσότητες δεδομένων.
- Πολλοί τύποι συσκευών M2M, να εκτελούν διάφορες εφαρμογές M2M με διαφορετικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις.
- Οι M2M συσκευές να είναι καθορισμένες, η διαχείριση των πόρων και η κατανομή για χαμηλής κινητικότητας συσκευές πρέπει να επιδέχονται βελτιστοποιήσεις.
- Οι M2M συσκευές να μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς την ανθρώπινη επίβλεψη, και να μπορούν να υποστηρίξουν προηγμένους μηχανισμούς για την ασφάλεια.
- Οι χειριστές των δικτύων να είναι σε θέση να προσφέρουν M2M υπηρεσίες και συσκευές σε χαμηλό κόστος ώστε να υπάρχει μαζική αποδοχή από την αγορά.
- Να γίνουν βελτιώσεις για την ελαχιστοποίηση της χρησιμοποίησης της μπαταρίας ώστε να έχουμε χαμηλής ισχύος M2M συσκευές.
- Τα M2M δίκτυα να αντιμετωπίσουν, τη διαχείριση των συνδρομητών και τη χρέωση τους[5].



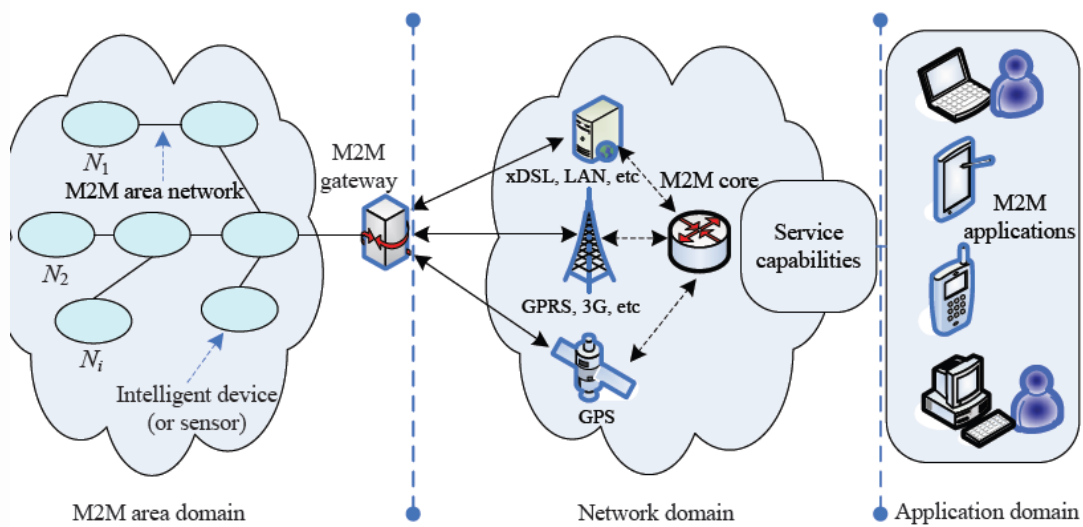
Εικόνα1. M2M δυνατότητες επέκτασης στην αγορά
(Source: Ventura Team Analysis)

Κεφάλαιο 2°

2.1 Αρχιτεκτονική των M2M Επικοινωνιών

Το M2M είναι ένας συνδυασμός από διάφορες ετερογενείς τεχνολογίες επικοινωνίας και λογισμικού. Ένα τυπικό σύστημα M2M περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά εξαρτήματα[35]:

Έξυπνα μοντέλα επικοινωνίας και συσκευές: Αυτές οι συσκευές περιλαμβάνουν ενσωματωμένους αισθητήρες, ενεργοποιητές, ετικέτες RFID, PLCs, μοντέλα I/O ή οποιοδήποτε άλλο μηχάνημα, συσκευή ή εφαρμογή που ενσωματώνει ένα μοντέλο επικοινωνίας. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές για παράδειγμα μπορούν να γίνουν έξυπνες και να κατασκευάσουν συσκευές όπως είναι τα βιομηχανικά ρομπότ που μπορούν να αισθανθούν την πληροφορία και να εκτελέσουν ορισμένα καθήκοντα σύμφωνα με την ανθρώπινη παρέμβαση ή με απουσία αυτής. Οι αισθητήρες μπορούν επίσης να κατασκευάσουν βιομηχανικά PLC (Programmable Logic Control) ή GSM μηχανήματα για την ασύρματη λειτουργία. Μπορούν επίσης τα Smart Phones και PDA να επικοινωνήσουν μέσω του Bluetooth ή Wi-Fi [1]. Τα ασύρματα μοντέλα επικοινωνίας μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα ή να ενσωματωθούν ως ένα πρόσθετο εξάρτημα. Αυτές οι συσκευές είναι προγραμματισμένες να διαβάζουν και μερικές φορές να αντιδρούν σε δράσεις και συνθήκες όπως είναι η κίνηση, η πίεση και η θερμοκρασία[35].



Εικόνα2.Αρχιτεκτονική M2M

M2M Δίκτυο: Το δίκτυο παρέχει συνδεσιμότητα μεταξύ έξυπνων συσκευών και M2M πύλης. Τα M2M δίκτυα περιλαμβάνουν τοπικά δίκτυα όπως είναι τα M-BUS και τα Wireless M-BUS, τα Personal Area Network (PAN), και τεχνολογίες όπως το IEEE802.15, SRD(ShortRangeDevice),UWB,Bluetooth, Zigbee, δίκτυα αισθητήρων κ.λ.π[35]. Η συνδεσιμότητα είναι το πιο ουσιαστικό μέρος της M2M επικοινωνίας. Η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να επωφεληθεί από τα ήδη υπάρχοντα πρωτοκόλλα

επικοινωνίας TCP / IP που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τις υπηρεσίες του διαδικτύου. Ένα άλλο πλεονέκτημα της χρήσης των πρωτοκόλλων TCP / IP είναι ότι οι υπηρεσίες φωνής και οι υπηρεσίες δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία[1].

Πίνακας1. M2M Τεχνολογίες

Standard	Area	Rate (Mbit/s)	Energy-constrained	Typical applications
SRD	Personal area	<0.02	No	Wireless audio, RFID
UWB	Personal area	>100	No	Video, files sharing
Zigbee	Personal area	<0.25	Yes	Sensors, monitoring
Bluetooth	Personal area	3.00 (V2.0)	Yes	Music sharing
PLC	Local area	>4.5	No	Smart power grid
M-BUS	Local area	<0.0096	No	Consumption meters
Wi-Fi	Local area	108 (802.11g+)	No	Water metering
Femtocell	Local area	>7.2	No	Cellular phones

M2M πύλη: Η πύλη είναι υπεύθυνη για την εξαγωγή των δεδομένων από μια έξυπνη συσκευή και προετοιμασία αυτών των δεδομένων για το δίκτυο. Η πύλη χρησιμοποιεί το κατάλληλο πρωτόκολλο ή οδηγό συσκευής για να αλληλεπιδρά με την έξυπνη συσκευή και να μεταφράζει τα δεδομένα σε μορφή όπου θα είναι κατανοητή από μια άλλη συσκευή, εφαρμογή ή άνθρωπο. Επομένως μια M2M πύλη διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ διαφόρων συσκευών και παρέχει μια σύνδεση σε ένα backhaul που φτάνει στο δίκτυο[35].

Δίκτυο Επικοινωνίας: Το δίκτυο επικοινωνίας σε μια M2M εφαρμογή είναι η κεντρική σύνδεση μεταξύ μιας έξυπνης συσκευής και ενός απομακρυσμένου χρήστη. Παρέχει επικοινωνία μεταξύ της M2M πύλης και των χρηστών(ή εφαρμογές λογισμικού). Παραδείγματα των δικτύων επικοινωνιών περιλαμβάνουν το: xDSL, IEEE802.11, Τοπικά Δίκτυα (LAN), Geran (GSMEDGE Radio Access Network), UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network), W-LAN, WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access), και την κυψελωτή τεχνολογία επικοινωνιών όπως GSM (Global System για Mobile communications), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), 3G,LTE (Long Term Evolution), CDMA, κ.α. Το δίκτυο επικοινωνιών επιτρέπει στο σύστημα να στέλνει την πληροφορία σε έναν back-end server το οποίο επεξεργάζεται τα δεδομένα και τα στέλνει μέσω Internet στην εγκατάσταση που ελέγχει και παρακολουθεί τη μηχανή μέσω των πρωτοκόλλων όπως είναι το TCP/IP και σύντομα μηνύματα Peer-to-Peer-Protocol. [35]

Εφαρμογές ή απομακρυσμένοι χρήστες: Είναι ο προορισμός της πληροφορίας και μπορεί να είναι είτε υλικό είτε λογισμικό που λαμβάνει τα δεδομένα. Πιο αναλυτικά οι χρήστες μπορεί να είναι κινητά τηλέφωνα, web browsers (π.χ.,Internet Explorer, Firefox, ή Google Chrome, κλπ.), email και έξυπνα μηνύματα (SMS). Οι χρήστες χρησιμοποιούν μια εφαρμογή λογισμικού η οποία επιτρέπει στα λαμβανόμενα δεδομένα να αναλυθούν, να αναφερθούν και να δράσουν[35].

Software: Περιλαμβάνει διάφορες εφαρμογές οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές πληροφορίες στους χρήστες σχετικά με το δίκτυο μηχανής. Οι πληροφορίες μπορούν να παρέχονται κατ' αίτηση σε οποιοδήποτε επίπεδο ή μέσω αυτοματοποιημένων υπηρεσιών. Οι εφαρμογές μπορούν να παρέχονται από τους τερματικούς πελάτες, off-the-shelf ή μέσω τρίτων ως μέρος του μοντέλου Application Service Provider (ASP). Η άνοδος των διαφόρων γλωσσών web, όπως είναι η XML, και οι υπηρεσίες web, βοηθούν στην εύκολη ανταλλαγή δεδομένων μέσω του Διαδικτύου και καθιστά ευκολότερο για τις εταιρείες να διαχειρίζονται τα δεδομένα και να κατασκευάζουν εφαρμογές χρήσιμες για το χρήστη που είναι κατάλληλες για αυτούς παράλληλα. Ανεξάρτητες γλώσσες προγραμματισμού όπως είναι η Java μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εφαρμογών που μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα ευρύ φάσμα λειτουργικών συστημάτων όπως είναι τα windows ή τα συστήματα UNIX.

Το Middleware είναι μέρος του τρέχοντος λογισμικού στα απομακρυσμένα μηχανήματα. Παρέχει δρομολόγηση και buffering στα δεδομένα μεταξύ των απομακρυσμένων μηχανών και των κεντρικών συστημάτων πληροφορικής (Central IT). Το M2M περιλαμβάνει τη μεταφορά των δεδομένων ανάμεσα σε πολλά συστήματα που λειτουργούν σε διαφορετικές πλατφόρμες και υπακούουν σε διαφορετικά πρωτόκολλα για τη μεταφορά δεδομένων, το middleware στην M2M επικοινωνία επιτρέπει σε αυτά τα μηχανήματα να εργάζονται με φυσικό τρόπο, γεφυρώνοντας τα πρωτόκολλα μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων και διαχειρίζοντας τη μεταφορά των δεδομένων μεταξύ τους. Το middleware στη M2M παρέχει διάφορες λειτουργίες, όπως το QoS, τη σχεδιασμένη επικοινωνία και την πυροδότηση λειτουργιών συναγερμού. Παρέχει υποστήριξη σε διάφορες εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως είναι η πρόγνωση καιρού, η εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών κλπ.

Εταιρικά συστήματα πληροφοριών, περιλαμβάνουν πακέτα όπως είναι τα ERP, CRM και SCM και επιτρέπουν στις εταιρείες να κλειδώνουν τις επιχειρηματικές διαδικασίες. Αυτά τα πακέτα περιλαμβάνονται επίσης στο λογισμικό που αφορούν M2M[1].

2.2 M2M Communications Support in various Standards

Δεδομένου ότι οι απαιτήσεις και οι εφαρμογές συνεχίζουν να εξελίσσονται, τα περισσότερα πρότυπα παίρνουν μια προσεγγιστική φάση, όπου τα βασικά χαρακτηριστικά των M2M τυποποιούνται και ενεργοποιούνται γρήγορα και έχουν τη δυνατότητα βελτιστοποίησης ώστε να ανταποκρίνονται στις μεταγενέστερες φάσεις, καθώς η αγορά μεγαλώνει.

Για παράδειγμα, σε πρώτη φάση, οι μόνες βελτιώσεις που απαιτούνται είναι οι αλλαγές στο firmware και στο software (π.χ., medium access control [MAC] τροποποιήσεις). Στις επόμενες φάσεις, πιο εκτεταμένες αλλαγές αναμένονται στο PHY και MAC επίπεδο, οι οποίες θα φιλοξενήσουν προηγμένες απαιτήσεις όπως η πύλη M2M, η οποία χρησιμεύει ως γέφυρα μεταξύ πολλαπλών πρωτοκόλλων[7].

Επομένως, σε τεχνικές τυποποίησης για το M2M προχωρούν οι οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων (SDO) όπως το 3GPP, ETSI, IEEE, και οι βιομηχανίες τηλεπικοινωνιών (TIA).

Το **3GPP** καθορίζει τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις για το MTC (Machine Type Communication). Επίσης προσδιορίζει δύο MTC σενάρια, το πρώτο σενάριο αφορά όταν οι MTC συσκευές επικοινωνούν με έναν ή περισσότερους server και το δεύτερο όταν επικοινωνούν με άλλες MTC συσκευές. Συγκεκριμένα οι διαχειριστές των δικτύων παρέχουν συνδεσιμότητα δικτύου στους servers MTC, και οι MTC συσκευές μπορούν να επικοινωνούν απευθείας χωρίς ενδιάμεσους εξυπηρετητές MTC. Ωστόσο, το σενάριο αυτό δεν λαμβάνει υπόψη του τα ισχύοντα πρότυπα (Release

12). Ακόμη το 3GPP εισάγει τα βασικά θέματα και τις λύσεις που πληρούν τις απαιτήσεις των υπηρεσιών MTC. Τα βασικότερα θέματα εστιάζονται κυρίως στην έλλειψη διευθύνσεων IP, στον έλεγχο της συμφόρησης και στα σήματα των δεδομένων για ένα μεγάλο αριθμό συσκευών MTC. Για τη λύση αυτών των βασικών ζητημάτων χρησιμοποιείται η IPv6 διεύθυνση ή διπλής στοίβας διεύθυνση και group-based διαχείριση για τις συσκευές M2M.

Το **ETSI** εστιάζει την προσοχή του στο service middleware στρώμα για να είναι ανεξάρτητο της πρόσβασης και από τις τεχνολογικές μεταδόσεις του δικτύου. Ταξινομεί τις δυνατότητες των υπηρεσιών για να παρέχει κοινή απαιτούμενη λειτουργία από διαφορετικές εφαρμογές M2M. Επιπλέον το ETSI δημιούργησε μια νέα ETSI Technical Committee (**TC M2M**) που έχει ως στόχο την ανάπτυξη προτύπων για M2M επικοινωνίες[21].

Επτά SDOs (**Standards Development Organization**) συνέβαλαν σε αυτή την παγκόσμια πρωτοβουλία για M2M Πρότυπα, σύμφωνα με την ETSI. Αυτή η πρωτοβουλία για τις M2M επικοινωνίες θα επιδιώξει να αναπτύξει end-to-end προδιαγραφές για M2M επικοινωνίες με αρχική επικέντρωση στο στρώμα της υπηρεσίας χρησιμοποιώντας κοινές περιπτώσεις χρήσης και τις βασικές αρχές αρχιτεκτονικής σε πολλαπλές εφαρμογές M2M. Επιπλέον, η πρωτοβουλία θα επικεντρωθεί στις προσπάθειες συνεργασίας με άλλους οργανισμούς προτύπων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που εκπροσωπούν συγκεκριμένες πτυχές στις M2M εφαρμογές.

Αυτή η παγκόσμια πρωτοβουλία θα είναι ανοικτή επιτρέποντας και σε άλλους οργανισμούς να συμμετάσχουν σε διάφορα επίπεδα. Αυτή η πρωτοβουλία αναμένεται να λειτουργήσει στις αρχές του 2012 και έχει συγκεντρώσει εκπροσώπους από το :

- Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) και Telecommunication Technology Committee (TTC) της Ιαπωνίας.
- Alliance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS) το Telecommunications Industry Association (TIA) της ΗΠΑ.
- Communications Standards Association (CCSA) της Κίνας.
- Telecommunications Standards Institute (ETSI) της Ευρώπης.
- Telecommunications Technology Association (TTA) της Κορέας [20].

Το **IEEE** 802,16 τυποποιεί το air interface και τις συναφείς λειτουργίες που σχετίζονται με το ασύρματο τοπικό βρόχο. Ορίζει το σημείο που γίνεται το aggregation για non-802.16 ή άλλες 802.16 M2M συσκευές.

Επομένως, προκειμένου να μειωθεί σημαντικά το κόστος ανάπτυξης και να βελτιωθεί η διάρκεια στην αγορά, η συνεργασία μεταξύ των οργανισμών τυποποίησης στους διάφορους κλάδους είναι απαραίτητη. Ευτυχώς, το M2M αρχίζει να αναγνωρίζει αυτή την ανάγκη, και προσαρμόζει τις προσπάθειες και τις συνεργασίες μεταξύ των προτύπων[2]

Πίνακας2. M2M Τεχνικές προτυποποίησης

SDO	M2M development
3GPP	Release 12: Study network improvements for MTC device to MTC device communications via one or more PLMNs (direct-mode communication between devices is out of scope), etc. Align also with ETSI Technical Committee M2M work
ETSI	M2M network architecture: define functional and behavioral requirements of each network element to provide an end-to-end

	view ETSI TR 103 167 V1.1.1: threat analysis and counter-measures to M2M service layer
IEEE	802.16p (WiMAX): optimize air interface for low power, mass device transmission, small bursts, and device authentication; future topics: M2M gateway, co-operative M2M networks, advanced M2M features 802.11 (WiFi): update air interface to enable use of sub-GHz spectrum 802.15.4 (Zigbee): air interface optimization for smart grid networks
TIA	TR50: develop and maintain access to agnostic interface standards for monitoring and bi-directional communication of events and information between smart devices and other devices, applications, or networks
GSMA	GSM operation for M2M: define a set of GSM-based embedded modules that address operational issues, such as module design, radio interface, remote management, UICC provisioning and authentication, and basic element costs; also define use-cases in vertical markets, such as health, utilities, automotive, and consumer devices
WiMAX Forum	Network system architecture specification: define usages, deployment models with low OPEX, functional requirements based on IEEE 802.16 protocols, and performance guidelines for end-to-end M2M system
WFA	Smart grid task group: promote the adoption of Wi-Fi within the smart grid through marketing initiatives, government and industry engagement, and technical/certification programs; Healthcare task group: maintain Wi-Fi as the preferred wireless access technology and increase adoption in the Home and Hospital Healthcare market segment
OMA	Device manageability: define requirements for the gateway-managed object
CCSA NITS	CCSA TC11: focus on promoting application of mobile internet, and drafting the standards for hardware interfaces of smart terminals and location-based services NITS WGSN: focus on sensor network interface and data format, ID and security, and vertical applications including airport and smart buildings

2.3 M2M Communications Standards

Όπως προαναφέραμε πολλά πρότυπα έχουν εφαρμόσει κάποιες τεχνικές προκειμένου να υποστηρίξουν M2M εφαρμογές. Όμως τα πρότυπα που υποστηρίζουν αποκλειστικά τις M2M επικοινωνίες προέρχονται από τους IEEE και IETF οργανισμούς τυποποίησης.

IETF :

Ο οργανισμός IETF έχει δημιουργήσει μια σειρά από δραστηριότητες που σχετίζονται με τεχνολογίες αισθητήρων και έξυπνων αντικειμένων, όπως είναι το 6Lowpan, το Roll (δρομολόγηση με χαμηλή κατανάλωση και απώλειες των δικτύων) και το Core (Constrained RESTful Environments) . Οι προσπάθειες αυτές έχουν ως στόχο να φέρουν το Internet Protocol στους αισθητήρες και τις M2M συσκευές που απαιτούνται για την οικοδόμηση μιας ελεγχόμενης υποδομής για το SG[21]. Το 6Lowpan παρέχει ένα στρώμα προσαρμογής για το IPv6 μέσω του IEEE802.15.4. Η

τεχνική αυτή περιλαμβάνει τον κατακερματισμό των πακέτων, την επανασυναρμολόγηση, τη συμπίεση της κεφαλίδας και τη βέλτιστη ανακάλυψη γειτονιάς για Low power and Lossy Δίκτυα (L2Ns)[24]. Το Working Group ROLL ορίζει τις λύσεις για την δρομολόγηση L2Ns και επικεντρώνεται σε RPL (πρωτόκολλο δρομολόγησης για LLNs) για χαμηλή ισχύ και απώλειες των δικτύων (LLNs), όπου οι κόμβοι των δικτύων είναι ενσωματωμένες συσκευές με περιορισμένη ισχύ, μνήμη, και πόρους επεξεργασίας. Αυτοί οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με διάφορες ασύρματες τεχνολογίες όπως το πρότυπο IEEE 802.15.4, το Bluetooth, χαμηλής ισχύος WiFi, και συνδέσεις επικοινωνίας ρεύματος γραμμής[22]. Το CORE καθορίζει ένα πλαίσιο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των έξυπνων αντικειμένων που προορίζονται να λειτουργούν με L2N[24].

IEEE:

Το IEEE παίζει επίσης κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη προτύπων για τη M2M επικοινωνία. Αναλυτικά η IEEE ενέκρινε το πρότυπο 802.15.4 για το MAC και το φυσικό στρώμα (PHY) για χαμηλού ρυθμού ασύρματα προσωπικά δίκτυα (LR-WPAN). Το IEEE 802.15.4 έχει σχεδιαστεί για τη διασύνδεση ασύρματων αισθητήρων χαμηλού κόστους, ενεργοποιητές, και συσκευές επεξεργασίας, οι οποίοι θα αποτελούν την υποδομή για να αισθανθούν και να επηρεάσουν το φυσικό περιβάλλον[10]. Το IEEE 802.11 είναι το πρότυπο που αναπτύχθηκε για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Στόχος αυτού του προτύπου είναι να προσαρμόσει ένα μοντέλο λειτουργίας με σκοπό την επίλυση των ζητημάτων συμβατότητας μεταξύ των κατασκευαστών του WLAN εξοπλισμού. Μέχρι στιγμής, η επιτροπή των προτύπων IEEE 802.11 αναθεωρεί μια έκδοση για το Media Access Control - φυσικό επίπεδο (PHY-MAC)[23]. Επομένως, λειτουργεί καλά για εφαρμογές υψηλότερου ρυθμού δεδομένων, όπως ήχου και βίντεο συνεχούς ροής[22]. Το IEEE 802.15.1 ανήκει στην οικογένεια των προτύπων για τα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα και είναι κατάλληλο για μικρής εμβέλειας / χαμηλό ποσοστό δεδομένων για peer-to-peer επικοινωνία, όπως είναι η μεταφορά αρχείων και ήχου.

Πίνακας3.M2M Standards

Standard	Families
IEEE	IEEE 802.15.4, e.g., used by Zigbee
	IEEE 802.15.1, e.g., used by Bluetooth
	IEEE 802.11, e.g., used by Wi-Fi
IETF	6LoWPAN (IPv6 over low-power WPAN)
	ROLL (Routing over low-power and lossy networks)
	CoRE (Constrained restful environments)

2.4 Εφαρμογές M2M

Οι M2M εφαρμογές όπως προαναφέραμε περιλαμβάνουν την έξυπνη μεταφορά των δεδομένων, το healthcare, το έξυπνο δίκτυο, την κατασκευή, την προμήθεια και τον εφοδιασμό. Ορισμένες εφαρμογές παρουσιάζονται στο πίνακα 4.

Πίνακας 4. M2M εφαρμογές

Domain	Applications
Security	Surveillance applications, alarms, object/people tracking
Transportation	Fleet management, emission control, toll payment, road safety related to activities in TC ITS
Healthcare	Related to e-health and personal security
Utilities	Measurement, provisioning, and billing of utilities, such as oil, water, electricity, heat, and others
Manufacturing	Production chain monitoring and automation
Supply and Provisioning	Freight supply, distribution monitoring, and vending machines
Facility Management	Home, building, and campus automation

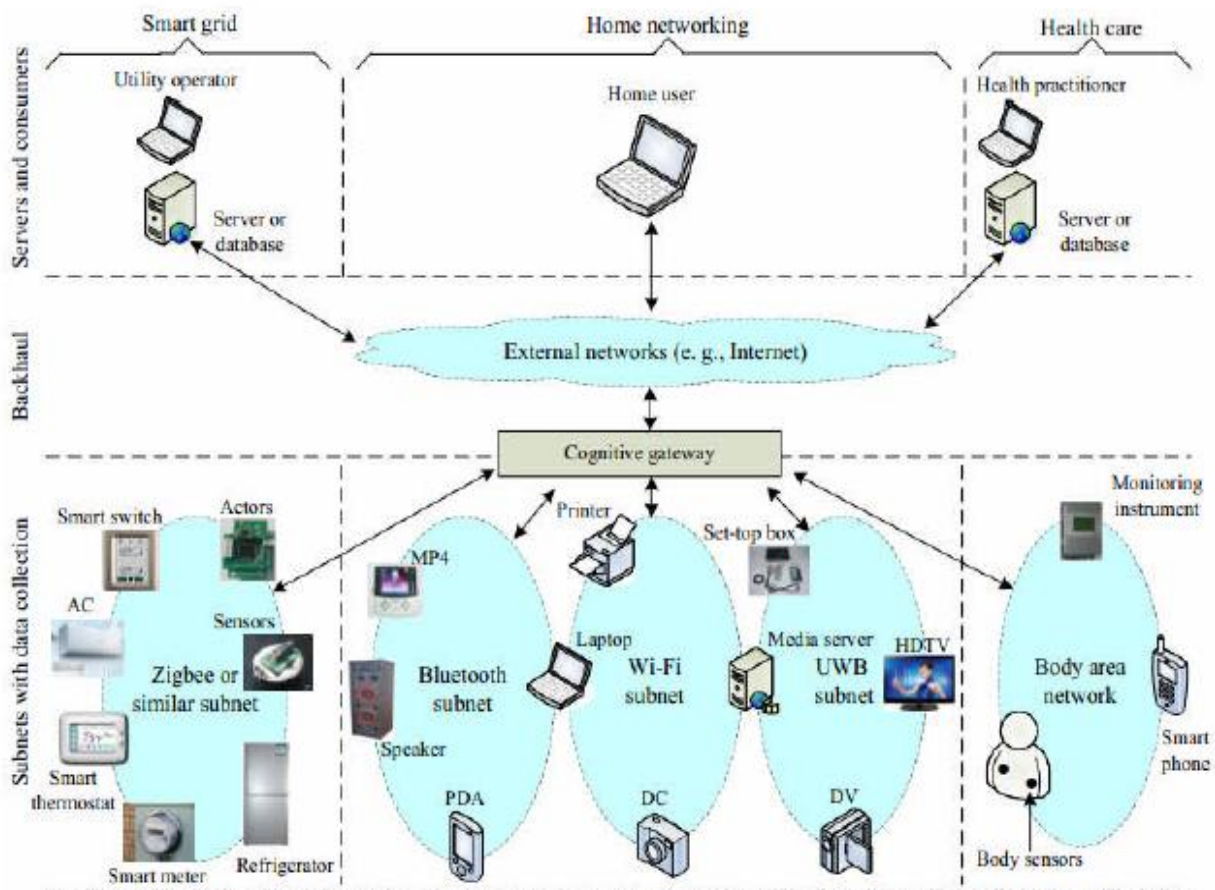
Από πλευρά αρχιτεκτονικής των δικτύων M2M διασπάται σε τρεις συμπληρωματικές κατασκευές: home networking, health care και smart grid.

- home networking
Ο κύριος σκοπός του home networking είναι η διανομή των μέσων, όμως η συγκεκριμένη δικτύωση μπορεί επίσης να περιλαμβάνει στοιχεία του smart grid. Τα συστήματα μέσης διανομής περιλαμβάνουν τα μέσα αποθήκευσης (media server), τα μέσα μεταφοράς (Wi-Fi, Bluetooth, UWB) και την μέση κατανάλωση (τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV), έξυπνα τηλέφωνα, υπολογιστές tablet, επιτραπέζιους υπολογιστές).
- health care
Τα Health care M2M δίκτυα είναι υποδίκτυα μέσα στα home networks. Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υγείας των ανθρώπων ώστε να ενημερώνουν εκείνους που παρακολουθούνται, καθώς και, τους γιατρούς τους, εάν προκύψουν μη φυσιολογικές συνθήκες. Οι συλλέκτες δεδομένων στο health care δίκτυο είναι αισθητήρες σώματος για την παρακολούθηση των διαφόρων μετρήσεων όπως είναι η αρτηριακή πίεση, η θερμοκρασία, οι παλμοί της καρδιάς και η χοληστερόλη. Οι αισθητήρες σώματος συνδέονται με μια πύλη, όπως ένα το smart phone, η οποία λειτουργεί σαν συλλέκτης δεδομένων. Οι αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα στο smart phone το οποίο με τη σειρά του στέλνει τα δεδομένα μέσω του Διαδικτύου στο server παρακολούθησης της υγείας.

- smart grid

Στα smart grid δίκτυα η ισχύς παρέχεται από το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής στους τελικούς χρήστες μέσω δύο στοιχείων (π.χ., ο υποσταθμός μεταφοράς που βρίσκεται κοντά στο εργοστάσιο, και ένας αριθμός υποσταθμών διανομής). Η τοπολογία επικοινωνίας του smart grid χωρίζεται σε έναν αριθμό δικτύων όπου διαθέτουν ρυθμίσεις της πραγματικής ζωής μιας πόλης ή μιας μητροπολιτικής περιοχής. Σε γενικές γραμμές, μια πόλη έχει πολλές γειτονιές. Κάθε γειτονιά έχει πολλά κτίρια και κάθε κτίριο μπορεί να έχει μια σειρά από διαμερίσματα.

Η αρχιτεκτονική επικοινωνίας προέρχεται από αυτό το μητροπολιτικό πλάνο. Συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική επικοινωνίας για το χαμηλότερο δίκτυο διανομής χωρίζεται σε έναν αριθμό ιεραρχικών δικτύων (hierarchical networks), δηλαδή, γειτονικά δίκτυα (NAN), Building area network (BAN), και home area network (HAN)[2]



Εικόνα3.Home- health care- smart grid(Networks)

Κεφάλαιο 3^ο

M2M Τεχνολογίες

Ένας αριθμός τεχνολογιών χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους έχουν εξελιχθεί προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες της M2M επικοινωνίας. Μεταξύ αυτών, είναι το Bluetooth, το WiFi και το ZigBee[26].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι M2M τεχνολογίες με τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους:

Πίνακας 5. M2M ασύρματες τεχνολογίες

	802.15.4 (ZigBee / 6LoWPAN)	Bluetooth Low Energy	Bluetooth	802.11 (Wi-Fi)
Max Data Rate	250 kb/s	1 Mb/s	3 Mb/s (Enhanced) 1 Mb/s (Basic)	22 Mb/s (802.11g) 144 Mb/s (802.11n)
Indoor Range	10 m – 20 m (Extended via multi-hop routing)	5 to 15m	1 m, 10 m and 100 m classes	45 m (802.11g) 70 m (802.11n)
Power	Low	Low	Medium	High
Battery Life	Years	Years	Days	Hours
Frequency Band	2.4 GHz, 868 MHz, and 915MHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz, 3.6 GHz, and 5 GHz
Applications	Smart Appliances Smart Meters Lighting Control Home Security	Health / Sports Monitors Watches Keyboard	Voice Data Transfers Keyboard Game Control	Networking Digital Audio Voice Digital Video

3.1 Wifi

IEEE 802.11 - WiFi: Το πρωτόκολλο IEEE 802.11, κοινώς αναφέρεται στο WiFi, είναι κατάλληλο για υψηλού ρυθμού δεδομένων εφαρμογές σε ευρύτερες περιοχές. Το WiFi είναι, μακράν, το πιο αποδεκτό πρωτόκολλο για ασύρματες επικοινωνίες εσωτερικού χώρου. Διαθέτει μια τεράστια υποδομή για τους κατοίκους και υποστηρίζει την διευθυνσιοδότηση IPv6[26].

Αν και το Wi-Fi συνήθως απαιτεί περισσότερη ενέργεια από ό, τι το Bluetooth ή οποιοδήποτε άλλο σύστημα που βασίζεται στο πρωτόκολλο 802.15.4, υπάρχουν προϊόντα που θεωρούνται «χαμηλής ισχύος» Wi-Fi και εξυπηρετούν κάποιες εφαρμογές οι οποίες βασίζονται στο πρωτόκολλο 802.15.4. Αυτά τα προϊόντα είναι επί το πλείστον συμβατά πρότυπα με κατάλληλες λύσεις που επιτυγχάνουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας με χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων και μειώνουν το ποσοστό του χρόνου που επιτρέπουν να ακούνε το ασύρματο κανάλι.

Όταν η επικοινωνία δεν είναι απαραίτητη, τα chip τίθενται σε κατάσταση αναμονής, τα υψηλής ταχύτητας ρολόγια απενεργοποιούνται, και μια πηγή χαμηλής συχνότητας ρολογιού χρησιμοποιείται συνήθως για να κρατά το χρόνο, όταν η συσκευή πρέπει να ενεργοποιηθεί. Ωστόσο η χαμηλής ισχύος λύσεις του Wi-Fi δεν είναι τόσο χαμηλής ισχύος, όπως οι λύσεις που βασίζονται στο 802.15.4, τα προϊόντα αυτά μπορεί να λειτουργήσουν καλά σε περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η χρήση της μπαταρίας, με χαμηλό ρυθμό δεδομένων, και μια ήδη υπάρχουσα σύνδεση Wi-Fi[24]. Επομένως το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η υψηλή απαίτηση για την ισχύ των συσκευών με WiFi[26].

3.2 Bluetooth

IEEE 802.15.1 – Bluetooth: Η Bluetooth τεχνολογία έχει γίνει δημοφιλής για ασύρματες συνδέσεις φωνής, δεδομένων και εφαρμογές ήχου μικρής εμβέλειας. Το Bluetooth ταιριάζει καλύτερα σε χαμηλής ισχύος / χαμηλού ρυθμού εφαρμογές μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο, λειτουργεί καλύτερα σε peer-to-peer επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις. Επιπλέον, τα Bluetooth δίκτυα ή "piconets" δίκτυα μπορούν να στηρίξουν μέχρι 8 συσκευές επικοινωνίας ταυτόχρονα. Προκειμένου να παρέχει επεκτασιμότητα μεταξύ των συσκευών M2M μέσω Bluetooth, θα χρειαστεί μια σειρά από piconets(το καθένα αποτελείται από 8 συσκευές M2M). Κάθε piconet έχει μια master M2M συσκευή και τα piconets είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των master συσκευών. Αυτό, όμως, έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνει τη καθυστέρηση της επικοινωνίας. Ένα άλλο μειονέκτημα της τεχνολογίας Bluetooth συνίσταται στην περιοδική ενεργοποίηση μέχρι να συγχρονιστεί με τη master συσκευή του piconet. Μια συσκευή Bluetooth μπορεί να καταναλώσει περίπου 3 δευτερόλεπτα πριν από το συγχρονισμό για να ενεργοποιηθεί [26].

3.3 ZigBee

IEEE 802.15.4 – ZigBee: Το ZigBee αναπτύχθηκε ιδιαίτερα για τη διασφάλιση των ασύρματων συσκευών χαμηλής ισχύος και μεγάλης διάρκειας ζωής. Επιπλέον, οι ZigBee συσκευές ενδέχεται να χρειαστούν μόνο χιλιοστά του δευτερολέπτου για να βγούνε από την κατάσταση ύπνου σε σχέση με τις Bluetooth ή Wi-Fi συσκευές. Επιπλέον, μια συσκευή ZigBee χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA) δεν απαιτεί να προγραμματίσει ειδικές καταστάσεις αφύπνισης, προκειμένου να επικοινωνήσουν και να διατηρήσουν το συγχρονισμό με τη HAN GW[26]. Επιπλέον η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας από μήνες έως χρόνια επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των μεγάλων κύκλων και της δρομολόγησης πολλαπλών αλμάτων. Η multihop δρομολόγηση επιτρέπει σε κάθε πακέτο να ταξιδέψει σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις, ενώ κάθε επιμέρους συσκευή χρειάζεται να μεταφερθεί σε μικρές αποστάσεις. Το στρώμα δικτύου του ZigBee εκμεταλλεύεται την ευελιξία που παρέχεται από το πρότυπο 802.15.4 και επιτρέπει τις τοπολογίες δικτύου star, cluster tree, ή self-healing mesh [25].

Κεφάλαιο 4^ο

4.1 M2M τοπολογίες

Στα διάφορα σενάρια εφαρμογής, οι κόμβοι αισθητήρων είναι υπεύθυνοι για το selforganizing σε μια λογική δομή ενός δικτύου επικοινωνίας μέσω της οποίας τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν, hop by hop, από τις πηγές στον τελικό προορισμό. Σε γενικές γραμμές, ο προορισμός των δεδομένων είναι ένας

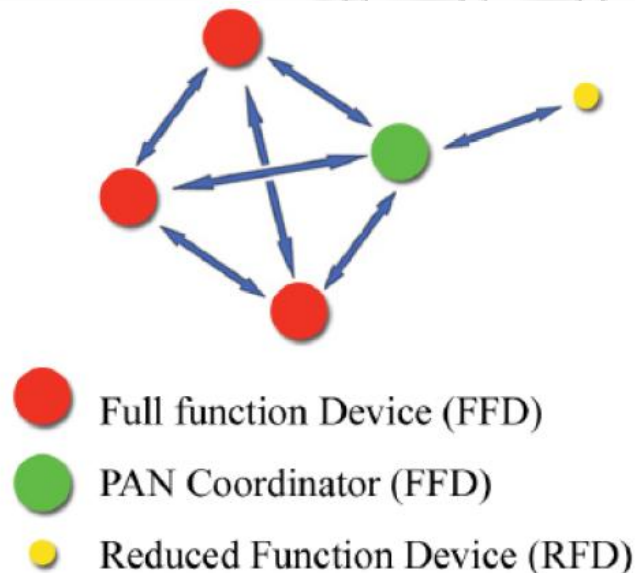
συγκεκριμένος κόμβος (κοινώς ονομάζεται sink), ο οποίος έχει το ρόλο του συλλέκτη των δεδομένων που μετρώνται από όλους τους αισθητήρες του δικτύου[10].

Οι βασικές τοπολογίες που υποστηρίζουν τα M2M δίκτυα είναι οι εξής:

- peer-to-peer topology
- point-to-multipoint topology / Star topology
- mesh topology
- Rooted multipoint / **Tree topology**
- cluster tree topology

Αναλυτικά έχουμε:

Την **peer-to-peer** τοπολογία όπου υπάρχει ένας συντονιστής PAN. Σε αντίθεση με τοπολογία αστέρα, οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει με οποιαδήποτε άλλη συσκευή για όσο διάστημα βρίσκονται εντός εμβέλειας ο ένας από τον άλλο. Επίσης, επιτρέπει με πολλαπλά hops να δρομολογεί μηνύματα από οποιαδήποτε συσκευή σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή στο δίκτυο. Μπορεί να προσφέρει αξιοπιστία από τη multipath δρομολόγηση[11]. Παρακάτω απεικονίζεται η peer-to-peer τοπολογία:



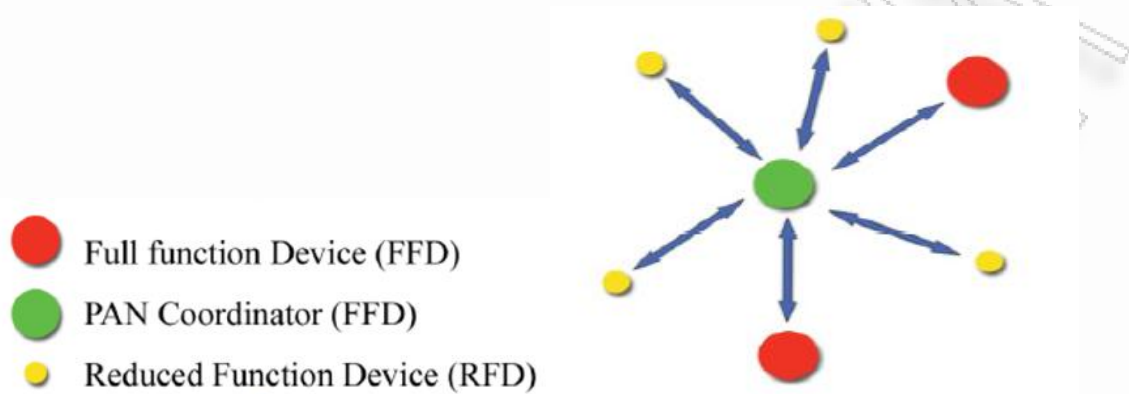
Εικόνα4. Peer-to-Peer Topology

Η Peer-to-Peer τοπολογία επιτρέπει πιο πολύπλοκες διαμορφώσεις δικτύου να εφαρμοστούν.

Τη **point-to-multipoint** τοπολογία που είναι γνωστή και ως **Star** τοπολογία, είναι η επικοινωνία μεταξύ συσκευών και ενός ελεγκτή που ονομάζεται συντονιστής PAN. Οι τερματικοί κόμβοι(συσκευές) που επικοινωνούν με τον συντονιστή είναι FFD ή RFD συσκευές. Η πληροφορία που ανταλλάσσεται μέσω των συσκευών πρέπει να περάσει από τον συντονιστή. Όταν μια συσκευή ενεργοποιείται για πρώτη φορά, αυτή μπορεί να εγκαταστήσει το δικό της δίκτυο και να γίνει ο συντονιστής PAN. Κάθε δίκτυο αστέρα επιλέγει το αναγνωριστικό PAN το οποίο δεν χρησιμοποιείται από κανένα άλλο δίκτυο μέσα στη ραδιο-κάλυψη. Αυτό επιτρέπει σε κάθε δίκτυο αστέρα να λειτουργεί ανεξάρτητα[11]. Το μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι η λειτουργία του δικτύου εξαρτάται από τον συντονιστή του δικτύου, και επειδή όλα τα πακέτα μεταξύ των συσκευών πρέπει να περάσουν από τον συντονιστή, στο συντονιστή μπορεί να προκληθεί συμφόρηση. Επίσης, δεν υπάρχει εναλλακτική

διαδρομή από την πηγή στον προορισμό. Όμως το πλεονέκτημα της τοπολογίας αστέρα είναι ότι είναι απλή και τα πακέτα περνούν το πολύ δύο hops για να φθάσουν στον προορισμό τους[12].

Παρακάτω απεικονίζεται ένα παράδειγμα τοπολογίας αστέρα.



Εικόνα5.point-to-multipoint topology

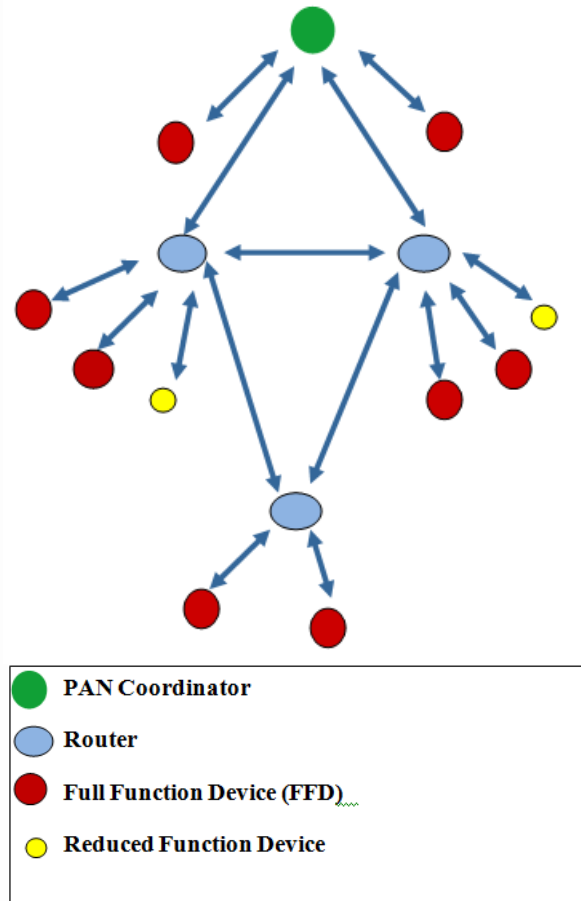
Η **Mesh** τοπολογία βασίζονται στη multipoint-to-multipoint (m2m) δικτύωση.

Η Multipoint-to-multipoint επικοινωνία είναι πιο ιδανική και πιο ικανοποιητική σε σχέση με τη point-to-point ή point-to-multipoint επικοινωνία[9].

Στην τοπολογία **Mesh** υπάρχει μια κεντρική πύλη συντονισμού, η οποία συγκεντρώνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και τα αναλύει εκ των υστέρων. Αυτό το είδος του δικτύου είναι κατάλληλο για το data aggregation και για την ανάλυση των δεδομένων. Οι αισθητήρες μπορούν να λειτουργήσουν και να ανακτήσουν τα δεδομένα κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων, εβδομάδες, μήνες ή ακόμα και περισσότερο από ένα χρόνο, χάρη στην εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση μπαταρίας τους. Μερικοί από αυτούς τους αισθητήρες λειτουργούν επ' αόριστον, εφόσον συνδέονται με μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Οι αισθητήρες αυτοί χρειάζονται την ανθρώπινη αλληλεπίδραση, όταν πρόκειται για την ενεργοποίηση του περιβάλλοντός τους, καθώς η ροή των πληροφοριών πηγαίνει συνήθως από τους αισθητήρες προς το ανθρώπινο περιβάλλον, αλλά όχι το αντίστροφο[13].

Η χρήση των Mesh δικτύων μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις ενέργειας ενός κόμβου. Μπορούν να επιτρέψουν στους κόμβους να επικοινωνούν με άλλους κόμβους επιτρέποντας στα δεδομένα να ταξιδεύουν με μικρά hops για να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις[1]. Η εμβέλεια ενός δικτύου μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη περισσότερων συσκευών στο δίκτυο. Η mesh σύνδεση βελτιώνει σημαντικά τη λειτουργία των δικτύων καθώς περιλαμβάνει ανοχή στα σφάλματα, εξισορρόπηση φορτίου, και ρυθμαπόδοση (throughput)[9].

Οι συσκευές μπορεί να είναι κοντά η μια με την άλλη έτσι ώστε να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Η προσθήκη ή η αφαίρεση της συσκευής είναι εύκολη. Κάθε συσκευή πηγής μπορεί να επικοινωνήσει με οποιαδήποτε συσκευή προορισμού.

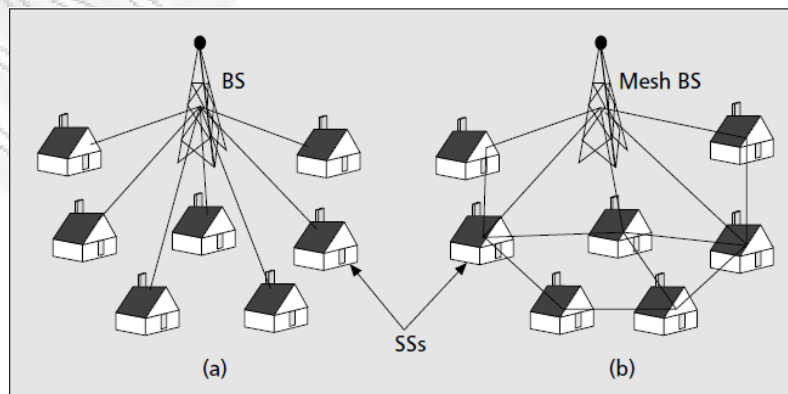


Εικόνα6.Mesh topology

Σε σύγκριση με την τοπολογία αστέρα, η τοπολογία Mesh απαιτεί μεγαλύτερη επιβάρυνση. Η Mesh δρομολόγηση χρησιμοποιεί ένα πιο σύνθετο πρωτόκολλο δρομολόγησης από μια τοπολογία αστέρα[12].

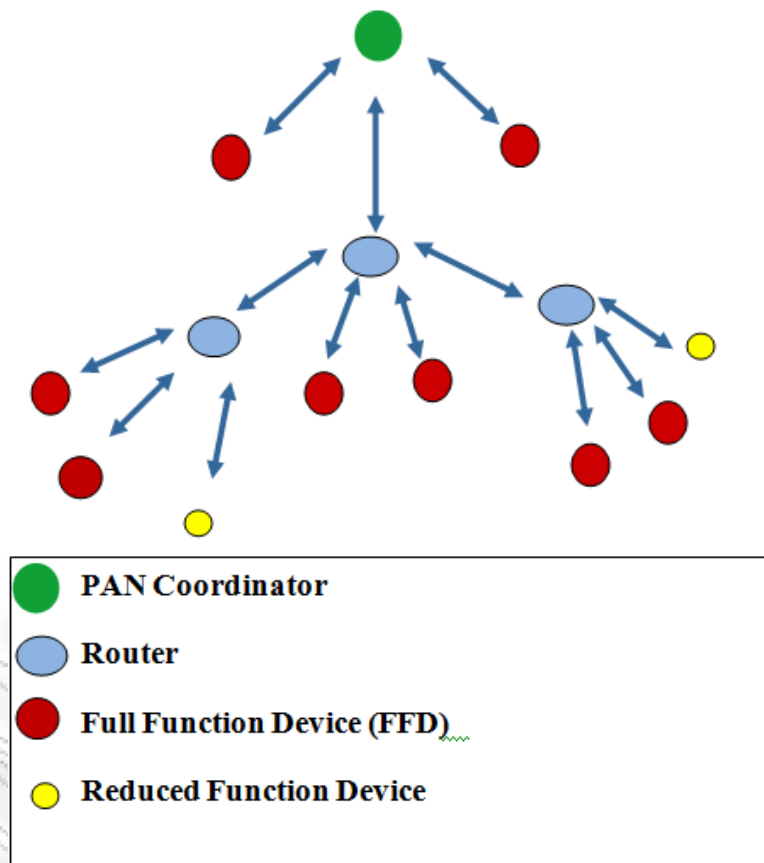
Μια βασική διαφορά μεταξύ της PMP mode και τη mesh mode είναι η ικανότητα του δευτέρου για επικοινωνίες με πολλαπλά άλματα[9].

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα μια PMP mode απαιτεί κάθε SS να είναι συνδεδεμένος με τον BS. Ένα από αυτά τα SS μπορεί να συνδεθεί με ένα SS ενός γειτονικού Mesh δικτύου. Ως εκ τούτου, ένα SS που βρίσκεται σε mesh mode σερβίρεται σαν έναν router relaying traffic μεταξύ των SS που επικοινωνούν, μέχρι να φτάσει στον στοχευμένο BS(καλείται και mesh BS)που συνδέει το mesh σε μια backhaul σύνδεση και με άλλα εξωτερικά δίκτυα[9] .



Εικόνα7. a)point-to-multipoint mode b) mesh mode.

Στην **Tree** τοπολογία, το δίκτυο αποτελείται από έναν κεντρικό κόμβο (root tree), που είναι ένας συντονιστής, για αρκετούς δρομολογητές, συσκευές. Η λειτουργία του δρομολογητή είναι να επεκτείνει την κάλυψη του δικτύου. Οι τερματικοί κόμβοι που συνδέονται με τον συντονιστή ή τους δρομολογητές ονομάζονται παιδιά. Μόνο οι δρομολογητές και ο συντονιστής μπορεί να έχουν παιδιά. Κάθε τερματική συσκευή είναι σε θέση να επικοινωνεί με το router ή συντονιστή (parent). Ο συντονιστής και οι δρομολογητές μπορούν να έχουν παιδιά και, ως εκ τούτου, είναι οι μόνες συσκευές που μπορούν να είναι parent. Η τερματική συσκευή δεν μπορεί να έχει παιδιά και, ως εκ τούτου, δεν μπορεί να είναι γονέας[12]. Σε πρώτο βήμα η τοπολογία **Tree** χρησιμοποιεί data aggregation σε κάθε multihop κόμβο όπου συγκεντρώνει τα λαμβανόμενα πακέτα από κάθε κόμβο γονέα. Δεδομένου ότι ο πυρήνας του κάθε AMI's (Advanced Metering Infrastructures) απαιτεί να μπορεί να αποκτήσει μια ακριβή γνώση από κάθε κόμβο και επίσης να είναι σε θέση να συνδέσει ένα μοναδικό κόμβο στα δεδομένα, χωρίς να υπάρχουν απώλειες συγκέντρωσης. Μεταξύ των πολύ λίγων διαθέσιμων τεχνικών χωρίς απώλειες δεδομένων, η αλληλουχία των πακέτων είναι μια κατάλληλη λύση η οποία δίνει την ευκολία στη χρήση σε αξιοσημείωτη αύξηση των επιδόσεων[14].

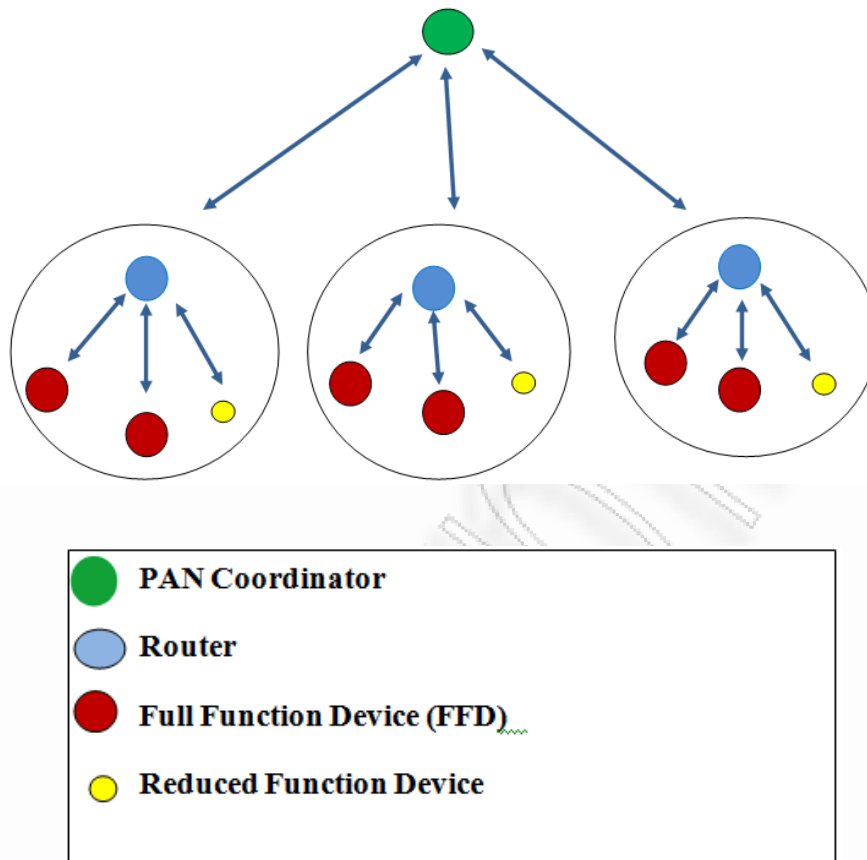


Εικόνα8.Tree topology

Τα μειονεκτήματα της τοπολογίας Tree είναι:

1. Εάν ένας από τους γονείς είναι απενεργοποιημένος, τα παιδιά του απενεργοποιούνται γονέα δεν μπορούν να επικοινωνήσουν με άλλες συσκευές του δικτύου.
2. Ακόμη και αν δύο κόμβοι βρίσκονται γεωγραφικά κοντά ο ένας στον άλλο, δεν μπορούν να επικοινωνούν απευθείας[12].

Μια ειδική περίπτωση της τοπολογίας **Tree** ονομάζεται η τοπολογία **cluster tree** . Στην τοπολογία **cluster tree**, κάθε cluster ,αποτελείται FFD και από RFD ,τα οποία συνδέονται με τον συντονιστή. Επιπλέον έχουν το καθένα το δικό του αναγνωριστικό ID[12] .



Εικόνα9.Cluster tree topology

Η δομή του cluster μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα ανώτερα στρώματα προκειμένου να ασκήσουν ειδικές λειτουργίες (π.χ. addressing, data aggregation) [12]. Σύμφωνα με την τοπολογία **cluster** όλο το δίκτυο χωρίζεται σε **cluster**. Κάθε **cluster** έχει μια cluster-κεφαλή η οποία επιλέγεται μεταξύ των μελών των cluster. Τα Cluster-heads παίζουν το ρόλο του aggregator όπου τα συγκεντρωτικά δεδομένα λαμβάνονται από τα μέλη του Cluster και στη συνέχεια τα αποτελέσματα μεταφέρονται στο sink[16].

4.2 Τεχνικές Data Aggregation

Η βασική ιδέα του Data aggregation είναι να συνδυάζει τα δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, ώστε να εξαλείφει την πλεονάζουσα πληροφορία και να μειώνει τον αριθμό των εκπομπών, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση της ενέργειας[17]. Επομένως βασικός στόχος του είναι να ανακουφίσει το δίκτυο σε τοπικό επίπεδο από το πρόβλημα της συμφόρησης.

Η μη εφαρμογή του Data aggregation θα έχει ως αποτέλεσμα οι συσκευές αισθητήρων να αγνοούν τους γειτονικούς κόμβους. Κάθε αισθητήρας μετά τον εντοπισμό ενός συμβάντος επιχειρεί να στείλει την πληροφορία που συνέλλεξε, όσο μικρή κι αν είναι, στους τερματικούς κόμβους (sink). Όμως η αποφυγή χρήσης της τεχνικής του Data aggregation σε μια τέτοια κατάσταση θα έχει σαν αποτέλεσμα το

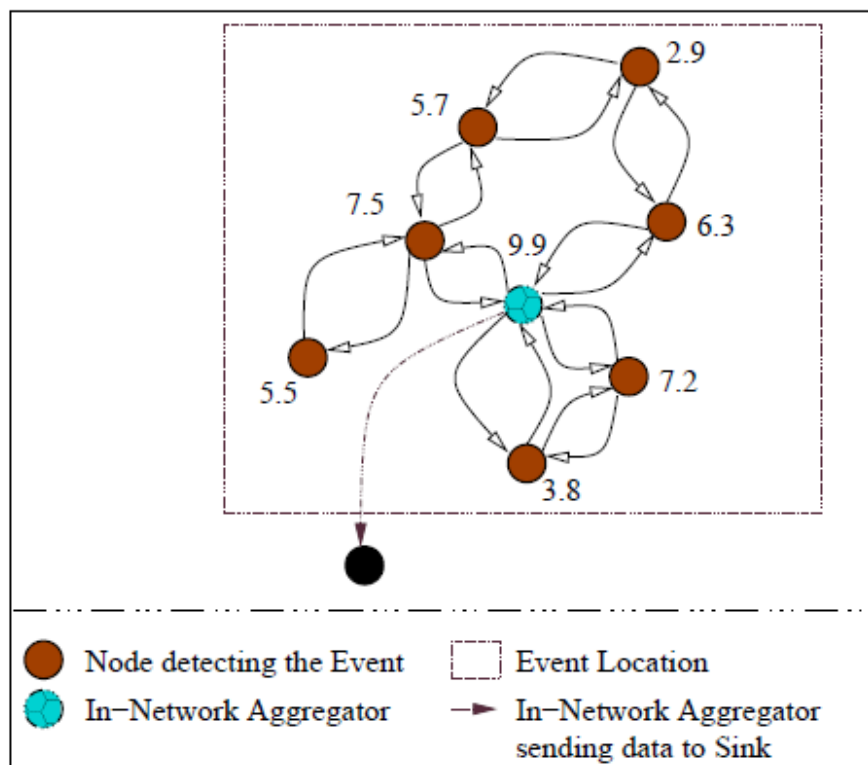
δίκτυο να πάσχει από υψηλό ποσοστό πτώσης πακέτων και χαμηλό εύρος ζώνης, λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Επιπλέον, ένα τέτοιο δίκτυο έχει ως αποτέλεσμα να πάσχει από τους περιορισμούς της ενέργειας, καθώς κάθε συσκευή επιχειρεί να στείλει τα πακέτα που λαμβάνονται από πολλαπλούς προορισμούς, ανεξαρτήτως της σημασίας των δεδομένων που μεταδίδονται. Ακόμη, το συνολικό ποσό των πληροφοριών που λαμβάνονται στους κόμβους sink θα είναι λιγότερο εξαιτίας των πακέτων που χάνονται.

Υπάρχουν τρεις τεχνικές Data aggregation : In-Network, Grid-based και Hybrid [19].

Αν η συγκέντρωση των δεδομένων γίνεται πριν φτάσουν στο σταθμό βάσης τότε μπορούμε δυνητικά να μειώσουμε τον αριθμό των πακέτων στο δίκτυο για αυτό θα πρέπει να στείλουμε λιγότερο αριθμό πακέτων στο σταθμό βάσης έτσι ώστε να σώσουμε την ενέργεια στους κόμβους των αισθητήρων. Αυτού του τύπου το Data aggregation καλείται **In-Network** data aggregation όπου τα πακέτα συνδυάζονται πριν φτάσουν στο σταθμό βάσης[18]. Άρα αυτό το σύστημα αναγνωρίζει τους αισθητήρες οι οποίοι έχουν την πιο χρήσιμη πληροφορία και αναθέτουν σε αυτόν τον αισθητήρα το Data aggregation για να στείλουν την πληροφορία στο τελικό σημείο.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα τυπικό σύστημα In-Network Data Aggregation:



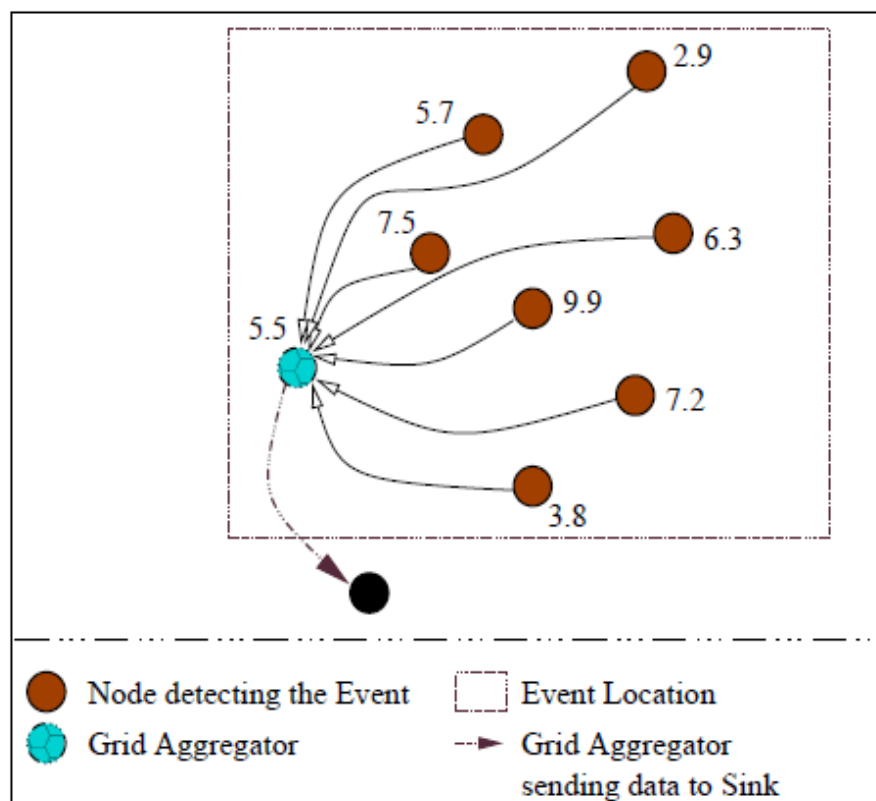
Εικόνα10. An In-Network Data Aggregation Scheme

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα, όλες οι αισθητήριες συσκευές ανιχνεύουν την περιοχή μιας κατάστασης. Οι αντίστοιχες ισχύς των σημάτων ανιχνεύονται από κάθε αισθητήρα όπως φαίνεται και στην εικόνα. Τώρα, κάθε αισθητήρας μεταδίδει την ισχύ του σήματος του μόνο στους γείτονές του. Αν ο γειτονικός κόμβος έχει μεγαλύτερη ισχύ από τον αποστολέα, ο αποστολέας αποφασίζει να παραμείνει σιωπηλός και να σταματήσει τη μετάδοση των πακέτων. Διαφορετικά περιμένει για

πακέτα από άλλους αισθητήρες και αφού λάβει πακέτα από όλους τους γείτονές του, αν ο αποστολέας έχει υψηλότερη ισχύ σήματος, τότε θα γίνει ο data aggregator και όλες οι άλλες συσκευές αισθητήρων σταματούν να ανιχνεύουν την κατάσταση και βοηθούν μόνο στη δρομολόγηση, του πακέτου στον κόμβο sink.

Σύμφωνα με το **Grid-based** σύστημα έχει την έννοια της προκαθορισμένης συγκέντρωσης δεδομένων σε σταθερές περιοχές της περιοχής του δικτύου. Αισθητήρες περιβάλλουν την πληροφορία που πρόκειται να στείλουν στον aggregator ο οποίος τελικά στέλνει μόνο τις πιο χρήσιμες πληροφορίες στο τελικό σημείο[19].

Παρακάτω απεικονίζεται ένα τυπικό Grid-based σύστημα :

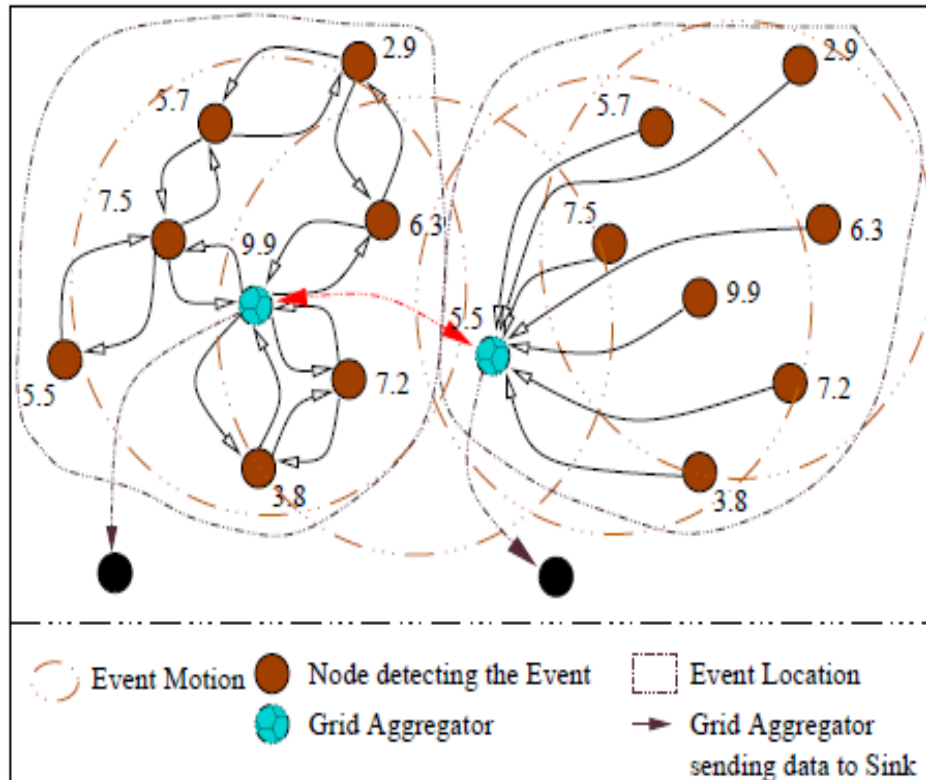


Εικόνα11.A Grid based Data Aggregation Scheme

Όπως φαίνεται και στην εικόνα, κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης μιας κατάστασης, όλοι οι αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα στον aggregator. Μετά τη συλλογή όλων των δεδομένων από άλλους αισθητήρες, ο aggregator στέλνει μόνο τις κρίσιμες πληροφορίες στον κόμβο sink .

Το **Hybrid** σύστημα προσπαθεί να συνδυάσει τα κυριότερα χαρακτηριστικά των παραπάνω συστημάτων λαμβάνοντας υπόψη την κινητικότητα μιας κατάστασης. Επομένως σχετικά με τη διάρκεια μιας κατάστασης και την κινητικότητα της κατάστασης θα είναι εξαιρετικά επωφελής. Έτσι αυτό το σύστημα αποτελεί την καλύτερη προσέγγιση.

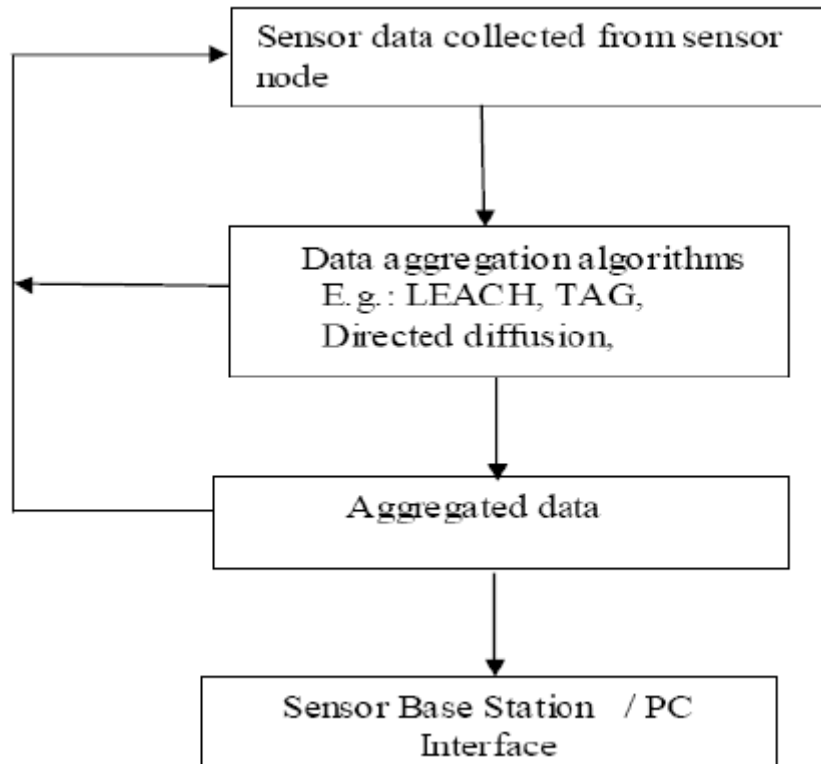
Η βασική προσέγγιση ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα12.An Hybrid Data Aggregation Scheme

Όπως φαίνεται και στο σχήμα κάθε αισθητήρας αρχικά ρυθμίζεται βασιζόμενος στο In-Network σύστημα. Όταν ένας αισθητήρας ανιχνεύει μια κατάσταση, προσπαθεί πρώτα να εντοπίσει τον αισθητήρα με τη μεγαλύτερη ισχύ σήματος. Με άλλα λόγια, ο αισθητήρας που έχει την πιο κρίσιμη και πλήρης πληροφορία σχετικά με την κατάσταση εντοπίζεται. Αυτό γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όπως περιγράφεται στο σύστημα In-Network. Επιπλέον, κάθε αισθητήρας διατηρεί ένα ιστορικό των καταστάσεων του παρελθόντος και τις αντίστοιχες ισχύς των σημάτων του αισθητήρα που ανιχνεύεται. Κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης μιας κατάστασης, κάθε αισθητήρας ελέγχει τον πίνακα για την προηγούμενη καταχώρηση και επιχειρεί να προσδιορίσει αν η κατάσταση είναι υψηλής κινητικότητας από τη φύση του ή είναι στάσιμη. Αν αποδειχθεί ότι η κατάσταση είναι περιορισμένη, το in-network σύστημα ακολουθείται και, συνεπώς, ένα aggregator επιλέγεται. Από την άλλη πλευρά, αν αισθητήρας αντιληφθεί μια αργή κίνηση, σε μια κατάσταση, προσπαθεί να στείλει την πληροφορία σε ένα προεπιλεγμένο aggregator (για παράδειγμα, αισθητήρα που βρίσκεται κοντά στο κέντρο του δικτύου και του κόμβου (sink) [19].

Ο γενικός αλγόριθμος συγκέντρωσης δεδομένων λειτουργεί όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τα δεδομένα του αισθητήρα από το κόμβο του αισθητήρα και στη συνέχεια συγκεντρώνει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας κάποιους αλγόριθμους συγκέντρωσης όπως είναι η συγκεντρωτική προσέγγιση κ.λπ. Αυτά τα δεδομένα μεταφέρονται στον κόμβο sink, επιλέγοντας το πιο αποτελεσματικό μονοπάτι[16].



Εικόνα13.Γενική αρχιτεκτονική του αλγορίθμου Data aggregation

Οι τεχνικές του Data aggregation ερευνούν τους τρόπους με τους οποίους τα δεδομένα δρομολογούνται στο δίκτυο καθώς και τη μέθοδο επεξεργασίας που εφαρμόζονται στα λαμβανόμενα πακέτα από έναν κόμβο. Έχουν ένα μεγάλο αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας των κόμβων και ως εκ τούτου στην αποτελεσματικότητα του δικτύου από τη μείωση του αριθμού των μεταδιδόμενων πακέτων ή τη μείωση του μήκους των πακέτων[18].

Υπάρχουν πολλές τεχνικές για το In-Network Data Aggregation, ορισμένες από αυτές παρατίθενται παρακάτω:

1.Isovector aggregation: Σύμφωνα με αυτή την τεχνική κατά πόσο η πληροφορία μπορεί να μειωθεί εξαρτάται από το σχήμα του περιγράμματος(contour shapes), τις τοποθεσίες του περιγράμματος (contour locations), την τοπολογία του δικτύου και την αναλογία απλοποίησης κάθε εσωτερικού κόμβου. Είναι μια νέα μέθοδος συγκέντρωσης των δεδομένων για συνεχή παρακολούθηση μιας περιοχής που μπορεί να επεκταθεί. Αυτή η τεχνική αποτελείται κυρίως από τα εξής τέσσερα τμήματα:

Τοπική δημιουργία περιγραμμάτων(local contour generation)-Αναφορά του επιλεγόμενου κόμβου(reporting node selection)-Απλοποίηση του περιγράμματος (contour simplification)-Συγχώνευση περιγράμματος (contour merging).

Η βασική ιδέα του Data Aggregation είναι να επεξεργαστεί τα δεδομένα και να καταργήσει τα περιττά στοιχεία σύμφωνα με την απαίτηση της εφαρμογής κατά τη διάρκεια της ροής των δεδομένων από τους αισθητήρες προς το σταθμό βάσης. Αυτή η τεχνική στηρίζεται στη δημιουργία ενός χάρτη (contour map) όπου αποτελεί ένα χρήσιμο σχήμα αναπαράστασης των δεδομένων και έτσι παρέχει έναν αποτελεσματικό τρόπο για να απεικονίσει μια προσέγγιση για την παρακολούθηση ενός τομέα.

Σύμφωνα με αυτή την τεχνική κάθε αναφερόμενος κόμβος περιλαμβάνει ένα διάνυσμα contour στην τοποθεσία έναρξης, τερματισμού, στην ID κεφαλή , στην ID ουρά και μια τιμή contour η οποία απαιτεί 10 bytes συνολικά.

Το Isovector aggregation στοχεύει στην ενεργειακή αποδοτικότητα της συλλογής των δεδομένων από τους αισθητήρες για τη δημιουργία περιγραμμάτων στο δίκτυο. Ενεργειακή απόδοση επιτυγχάνεται με δύο προσεγγίσεις:

- Αντί όλοι οι κόμβοι αισθητήρων να στείλουν τις τιμές τους στο σταθμό βάσης, μόνο οι κόμβοι που βρίσκονται κοντά στο περίγραμμα κάνουν αναφορά των τιμών. Η καταγραφή των δεδομένων περιλαμβάνουν κυρίως περιγράμματα πάρα διακριτές τιμές.
- Αντί όλα τα δεδομένα να μεταδίδονται απευθείας, αφαιρούμε τα πλεονάζοντα δεδομένα, δημιουργούμε περιγράμματα(contours)στο δίκτυο και διαβιβάζουμε αυτά στο σταθμό βάσης.

Είναι μια ευέλικτη τεχνική που εξοικονομεί ενέργεια δημιουργώντας διανύσματα με ίδια τιμή. Όμως αυτή η τεχνική στέλνει λιγότερα δεδομένα σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη τεχνική. Επιπλέον μπορεί να αναφέρει το πολύ δυο περιγράμματα με διαφορετικές τιμές μεταξύ των δυο γειτονικών κόμβων. Αν όμως οι γειτονικοί κόμβοι έχουν μεγάλη διαφορά τιμών τότε είναι πιθανόν ορισμένα περιγράμματα να μην αναφερθούν[15].

2. Isolines aggregation: Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε δίκτυα αισθητήρων.

Η βασική λειτουργία αυτής της μεθόδου είναι ότι οι κόμβοι θα αναφερθούν στον τελικό κόμβο sink μόνο αν ανιχνεύσουν ένα isoline αλλιώς καμιά αναφορά δεν γίνεται. Στόχος αυτής της τεχνικής είναι η βελτιστοποίηση της συλλογής των δεδομένων , μειώνοντας τις περιττές μεταδόσεις που βασίζονται σε τοπικές πληροφορίες. Έτσι χρησιμοποιεί την έννοια isolines όπου γραμμές με την ίδια τιμή χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν την πληροφορία σε χάρτες περιγράμματος.

Υπάρχουν δύο προκλήσεις με τις οποίες επιτυγχάνουμε αυτό το στόχο:

- Να χρησιμοποιήσουμε τοπική πληροφορία
- Να διατηρήσουμε υψηλή ακρίβεια των δεδομένων.

Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις το Isolines aggregation χρησιμοποιεί την έννοια των Isolines δηλαδή γραμμές με ίδια τιμή. Οι isolines τιμές εντοπίζονται βασιζόμενοι στη γειτονική πληροφορία που συγκεντρώνεται μέσω του πρωτοκόλλου neighbor-to-neighbor. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο οι κόμβοι αποφασίζουν πότε αυτοί πρέπει να στείλουν την πληροφορία τους στους γειτονικούς κόμβους. Αυτό συμβαίνει όταν ένας κόμβος ξεκινά και όταν τα δεδομένα που ανταλλάσσουν προκαλούν την εμφάνιση Isoline ή την εξαφάνιση αυτής.

Η isoline ανίχνευση είναι μια απλή αποτελεσματική μέθοδο συλλογής δεδομένων , σχεδιάζοντας περιγράμματα χαρτών συγκεκριμένα ένας κόμβος συγκρίνει τη μέτρηση του με αυτή των γειτονικών κόμβων και αν η μέτρηση βρίσκεται σε διαφορετικές πλευρές σε σχέση με την isoline μέτρηση τότε πρέπει να καταγραφεί .

Μόλις καθοριστεί η isoline μέτρηση πρέπει να αναφερθεί στο sink που συλλέγει τα δεδομένα. Η αναφορά του isoline περιλαμβάνει την αποστολή της τιμή του κόμβου άλλα και της τιμής του γειτονικού κόμβου σε όλο το isoline προς το sink. Αυτή η τεχνική επιτυγχάνει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με επαρκή ακρίβεια των δεδομένων. Η ενεργειακή αποδοτικότητα οφείλεται στο γεγονός ότι οι κόμβοι οι οποίοι διαθέτουν τη σημαντικότερη πληροφορία κάνουν αναφορά στο sink. Όμως, η αποστολή μόνο της isoline μέτρησης μπορεί να εξοικονομεί κάποια bytes αλλά χάνει σε θέμα ακρίβειας της πληροφορίας[34]

3.lossless aggregation: Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε δίκτυα αισθητήρων όπου οι ατομικές μετρήσεις αισθητήρων είναι μικρή σε μέγεθος, αφήνοντας πολλά περιθώρια για συνένωση. Αυτή η τεχνική είναι αποτελεσματική εάν

το φορτίο στο σύστημα δεν είναι υπερβολικό και αν το συνολικό φορτίο επικοινωνίας δεν υπερβαίνει τη χωρητικότητα του συστήματος[30]. Βασίζεται στην αλληλουχία η οποία είναι σημαντικό κομμάτι όταν η επικοινωνία μιας υποδομής πρέπει να κατανέμεται μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών, καθώς τα μηνύματα που αφορούν σε διαφορετικές εφαρμογές θα πρέπει να συγκεντρώνονται με ασφάλεια, χωρίς απώλεια. Οι κόμβοι συγκέντρωσης αντί να αναμεταδίδουν τη λαμβανόμενη πληροφορία, διαβιβάζουν την συγκεντρωτική πληροφορία συνδυάζοντας τα πακέτα (εξοικονόμηση κεφαλίδες) η ακόμη και αφαιρώντας την περιττή πληροφορία[8]. Βασικός στόχος αυτής της τεχνικής είναι η βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης και η μείωση της καθυστέρησης όταν το σύστημα είναι υπερφορτωμένο[27]. Βασική λειτουργία αυτής της τεχνικής είναι ότι τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε μεγαλύτερα πακέτα και αν τα πακέτα αυτά υπερβαίνουν την χωρητικότητα του συστήματος, τα δεδομένα μειώνονται δια της βίας προκειμένου να μεταφερθούν. Αυτή η τεχνική αναφέρεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα δεν χάνονται και οι επιμέρους μετρήσεις συνενώνονται σε μεγαλύτερα πακέτα. Στην περίπτωση των αυτοτελών δικτύων WSN σημαίνει ότι τα πακέτα δεδομένων από τους γειτονικούς κόμβους ανταλλάσσονται και αποθηκεύονται χωρίς καμιά τροποποίηση. Ακόμη η τεχνική αυτή επιτρέπει να συμπιέζει τα δεδομένα διατηρώντας την αρχική πληροφορία. Όμως αυτή η τεχνική είναι αποτελεσματική μόνο όταν το φορτίο του συστήματος είναι μικρό[27].

4.Lossy aggregation: Χρησιμοποιείται για να μειώσει το αριθμό των δεδομένων που επικοινωνούν[17]. Αυτή η προσέγγιση είναι κυρίως αποτελεσματική σε cluster-based WSNs δίκτυα και απαιτείται να δίνεται η χωρική συσχέτιση του δικτύου εκ των προτέρων[27].

Αναλυτικά, με αυτή την τεχνική το ποσό των δεδομένων που μεταφέρεται πρέπει να μειώνεται υποχρεωτικά, εάν το συνολικό φορτίο επικοινωνίας υπερβαίνει τη χωρητικότητα του . Αυτή η τεχνική είναι χρήσιμη για την εξοικονόμηση της ενέργειας, ακόμη και όταν το σύστημα δεν έχει φορτωθεί σε μεγάλο βαθμό. Μόνο ένα μέσο όρο των αισθητήρων επικοινωνεί με την πύλη με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος και η ενέργεια που απαιτείται για την επικοινωνία των αισθητήρων- κόμβων με την πύλη. Αυτό το μέσο όρο μπορεί να είναι χρονικό ή χωρικό. Για το χρονικό μέσο όρο τα δεδομένα από τον ίδιο αισθητήρα υπολογίζονται χρονικά. Αυτό δεν απαιτεί επικοινωνία των κόμβων με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνει το σύστημα επιπλέον. Ωστόσο αυτού του είδους ο υπολογισμός δεν είναι κατάλληλος για πολλές εφαρμογές καθώς η τιμή αλλάζει στην πάροδο του χρόνου. Σε πολλές περιπτώσεις ένας αριθμός πανομοιότυπων κόμβων θα διανεμηθεί σε μια περιοχή έχοντας την ίδια τιμή. Κάθε μετρούμενος κόμβος θα έχει κάποιο σφάλμα εξαιτίας της ανακρίβειας του εξοπλισμού και υποθέτοντας ότι οι μετρήσεις είναι ανεξάρτητες η μέγιστη επιθυμητή εκτίμηση του μέσου όρο είναι η μέση τιμή του δείγματος. Ωστόσο αυτή η εκδοχή έχει ένα ξεκάθαρο μειονέκτημα είναι ότι απαιτεί ένα μεγάλο αριθμό μετρούμενων δεδομένων να ανταλλάσσεται μεταξύ των κόμβων πριν γίνει το μέσο όρο[28]. Τόσο η χωρική όσο και χρονική συγκέντρωση, αποκτά πρόσθετη καθυστέρηση διότι περιμένει όλα τα απαραίτητα στοιχεία των δεδομένων να φτάσουν, πριν γίνει συγκέντρωση[17]. Όπως αναφέρεται κ από το όνομα είναι μια τεχνική όπου έχουμε απώλεια πακέτων. Αυτό είναι αναπόφευκτο σε περιπτώσεις όπου το συνολικό φορτίο επικοινωνίας σε μια πύλη υπερβαίνει την χωρητικότητα του συστήματος ή σε περίπτωση που η ποσότητα των πληροφοριών που είναι να αποθηκευτεί υπερβαίνει το διαθέσιμο μέγεθος της μνήμης[27]. Επιπλέον λόγω της χωρικής και χρονικής συγκέντρωσης, το σύστημα αποκτά πρόσθετη καθυστέρηση διότι περιμένει όλα τα απαραίτητα στοιχεία των δεδομένων να φτάσουν, πριν γίνει η συγκέντρωση. Ακόμη, οι αρχικές τιμές δεν μπορούν να ανακτηθούν αφού συγχωνευθούν με τη λειτουργία του aggregation[17]. Τέλος αυτή η τεχνική μπορεί να καταφέρνει να μειώσει την κατανάλωση της ενέργειας όμως η μείωση αυτή συνοδεύεται με παραμόρφωση καθώς με την αύξηση του αριθμού των cluster τα δεδομένα γίνονται ασυσχέτιστα[29].

5.Structured Data Aggregation: Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε WSNs δίκτυα και βασίζεται στην τοπολογία του δικτύου κάθε φορά και στη δομή των clusters. Ανάλογα με τη δομή που εφαρμόζεται κάθε φορά κύριος στόχος είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και η ακρίβεια μετάδοσης των δεδομένων[31].

Σύμφωνα με αυτή την τεχνική ανάλογα με την τοπολογία που εφαρμόζεται κάθε φορά στο δίκτυο επιλέγεται και η ανάλογη δομή του δικτύου δηλαδή flat network based, cluster based, tree based και grid based. Κάθε μια από αυτές τις δομές διαθέτουν τους ανάλογους μηχανισμούς υλοποίησης του Data Aggregation.

Αναλυτικά το flat network based προκειμένου να στείλει την πληροφορία στον προορισμό της χρησιμοποιεί τους εξής μηχανισμούς:

a.Flooding and Gossiping b. Directed diffusion c. SPIN d. Rumor routing e. Gradient-Based Routing.

Στο cluster based δίκτυο όλοι οι αισθητήρες στέλνουν την πληροφορία σε ένα τοπικό συγκεντρωτή η cluster head ο οποίος με τη σειρά του αναλαμβάνει να στείλει ένα συνοπτικό μήνυμα στο sink. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική εξοικονόμηση της ενέργειας. Σε αυτή τη διαδικασία του Data Aggregation συμμετέχουν τα εξής πρωτόκολλα: a. LEACH b. E-LEACH c. TL-LEACH d. M-LEACH e. LEACH-C f. V-LEACH

Σύμφωνα με το tree-based δίκτυο οι κόμβοι αισθητήρων οργανώνονται σε μορφή δέντρου όπου το Data Aggregation γίνεται σε ενδιάμεσους κόμβους και έτσι μια συνοπτική αναπαράσταση μεταφέρεται στο sink. Το tree-based Data Aggregation είναι κατάλληλο σε εφαρμογές οι οποίες εμπλέκουν in-network data aggregation.

Στο grid based δίκτυο ένα σύνολο αισθητήρων εκχωρούνται ως data aggregators σε σταθερές περιοχές του δικτύου αισθητήρων .Οι αισθητήρες στέλνουν την πληροφορία απευθείας στον data aggregator του εν λόγω δικτύου και οι κόμβοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους[31].

Ορισμένα οφέλη αυτής της τεχνικής είναι ότι οι εφαρμογές που βασίζονται στη δομή απαιτούν χαμηλή συντήρηση καθώς η εναέρια κυκλοφορία είναι αμετάβλητη και επομένως είναι κατάλληλο για τέτοιου είδους εφαρμογές[17].Επιπλέον έχει τη δυνατότητα να συγκεντρώσει την πληροφορία σε ένα κόμβο και να τη στείλει στο sink[32]. Όμως η κατασκευή μιας βέλτιστης δομής για τη συγκέντρωση δεδομένων για διάφορες λειτουργίες συγκέντρωσης είναι ένα δύσκολο πρόβλημα NP. Ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τη συγκεντρωτική εναέρια κυκλοφορία που συμβαίνει όταν οι κόμβοι εκπέμπουν τα πακέτα τους στον cluster-head ή parent στο cluster ή cluster tree . Συνεπώς, αυτό υποβιβάζει την απόδοση της δομής που βασίζεται στα πρωτοκόλλα του data aggregation. Επιπλέον μια δομή για να αλλάξει δυναμικά απαιτείται υψηλό κόστος συντήρησης ενώ οι σταθερές δομές δεν συγκεντρώνουν τα δεδομένα αποτελεσματικά[17].Παρατηρείται ότι αυτή η τεχνική εμφανίζει μεγαλύτερη καθυστέρηση σε σχέση με τη free data aggregation τεχνική διότι οι κόμβοι θα πρέπει να περιμένουν όλους τους κόμβους(children) πριν λήξει το χρονόμετρο της καθυστέρησης και έπειτα να στείλουν την συγκεντρωτική πληροφορία στο sink[32].

6.free data aggregation technique: Είναι μια ικανοποιητική τεχνική συγκέντρωσης των δεδομένων χωρίς να διατηρεί τη δομή.

Υπάρχουν δύο κύριες προκλήσεις κατά την εκτέλεση του free data aggregation:

- Οι αποφάσεις δρομολόγησης για την αποτελεσματική συγκέντρωση των πακέτων θα πρέπει να γίνεται αμέσως, διότι δεν υπάρχει προκατασκευαστική δομή.
- Οι κόμβοι δεν περιμένουν για τα δεδομένα από τυχόν ιδιαίτερους κόμβους πριν τη μετάβαση των δικών τους δεδομένων, επειδή οι κόμβοι δεν γνωρίζουν τους upstream κόμβους.

Οι δύο αυτές προϋποθέσεις που απαιτούνται για το aggregation κατά τη διάρκεια της μετάδοσης είναι η χωρική και η χρονική σύγκλιση. Τα πακέτα μπορούν να

συναντηθούν και να συγκεντρωθούν εάν μεταφέρονται στον ίδιο κόμβο ταυτόχρονα. Επιπλέον, οι κόμβοι δεν γνωρίζουν πού να στείλουν τα πακέτα και τη μέγιστη περίοδο κατά την οποία θα πρέπει να περιμένουν για τη συγκέντρωση, χωρίς την ανταλλαγή μηνυμάτων στη δομή free aggregation.

Ως εκ τούτου η πιθανότητα συγκέντρωσης μπορεί να βελτιωθεί με τη βελτίωση της χωρικής ή της χρονικής σύγκλισης[17]. Προκειμένου τα πακέτα να συγκεντρωθούν νωρίς κατά τη διαδρομή προς το sink χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο στο MAC layer για χωρική σύγκλιση που καλείται Data-Aware Anycast(DAA). Επιπλέον αν κάποιοι κόμβοι περιμένουν για άλλους κόμβους για να στείλουν τα πακέτα τους οδηγούμαστε σε μια πιο αποτελεσματική συγκέντρωση και αυτό επιτυγχάνεται με το Randomized Waiting (RW) πρωτόκολλο στο application layer για χρονική σύγκλιση. Ακόμη ο συνδυασμός αυτών των δύο καταφέρει να βελτιώνει περεταίρω την απόδοση του συστήματος[31]. Ακόμη με τη χρήση των πρωτοκόλλων καταφέρνει το σύστημα να γίνεται ανθεκτικό στις παρεμβολές καθώς περιοδικές αποτυχίες σύνδεσης δεν πρέπει να επηρεάζουν την απόδοση της συγκέντρωσης. Τέλος, με τη χρήση των πρωτοκόλλων επιτυγχάνουμε ανοχή στα σφάλματα καθώς το aggregation δεν επηρεάζεται από τις αποτυχίες των κόμβων[32].

Ένα βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι δεν χρειάζεται να διατηρήσουμε μια δομή συνεχώς αλλά θα πρέπει να ανακατασκευάζουμε τη δομή όταν κάποιοι κόμβοι αποτυγχάνουν λόγω ενεργειακής απόδοσης[31]. Για ορισμένες εφαρμογές που απαιτείται η ανίχνευση εισβολών τα πρωτόκολλα DAA + RW, παρέχουν μια καλύτερη εξισορρόπηση μεταξύ της ενέργειας και της καθυστέρησης. Για εφαρμογές που δεν είναι ανεκτική σε καθυστερήσεις, το DAA εξακολουθεί να παρέχει καλές επιδόσεις με χαμηλότερη καθυστέρηση. Επιπλέον αυτή η τεχνική έχει τη δυνατότητα να συγκεντρώνει μεγάλο αριθμό πακέτων καθώς λειτουργεί το aggregation από την αρχή και να απομακρύνει τα πακέτα το ένα από το άλλο ώστε να μειώνει τη διαμάχη μεταξύ τους και να μειώνει το ρυθμό των χαμένων πακέτων. Όμως αυτή η τεχνική δεν μπορεί να συγκεντρώσει όλα τα πακέτα σε ένα κόμβο προκειμένου να τα στείλει στο sink[32].

7.Adaptive Traffic Aware Aggregation: Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε WSN δίκτυα. Βασικός στόχος της είναι να πετύχει την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας , να μειώσει την καθυστέρηση του συστήματος και να παραδώσει την πληροφορία στο sink με αξιοπιστία.

Σε αυτή την τεχνική ένας πράκτορας παρακολούθησης της κυκλοφορίας χρησιμοποιείται για να παρακολουθεί την κατάσταση του φορτίου από τη κυκλοφορία ενός συμβάντος. Αν η κίνηση του φορτίου είναι μικρότερη από ένα όριο T , τότε εφαρμόζεται το lossless aggregation .Αν η κίνηση του φορτίου διασχίσει το κατώφλι T τότε η τεχνική του aggregation αλλάζει σε structure-free lossy aggregation[17]. Η προτεινόμενη τεχνική παρέχει ένα αξιόπιστο περιβάλλον μετάδοσης με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, αξιοποιώντας αποτελεσματικά τη διαθέσιμη ενέργεια των προπορευόμενων κόμβων να συγκεντρώνουν και να διανέμουν τα δεδομένα στο sink, σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους. Επιπλέον αυτή η τεχνική βελτιώνει το ρυθμό παράδοσης ενώ μειώνει την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας[17].

Όταν ο αριθμός των κόμβων αυξάνει η τεχνική αυτή δεν πετυχώνει καλή αναλογία παράδοσης των δεδομένων με αποτέλεσμα να αυξάνεται και καθυστέρηση[33] .

8.Cost effective compressive data aggregation (CECDA) technique: Σύμφωνα με αυτή την τεχνική τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε κάποιο ενδιάμεσο κόμβο, όπου το μέγεθος των δεδομένων μειώνεται εφαρμόζοντας τεχνική συμπίεσης χωρίς να χάνει καμία πληροφορία από το πλήρες πακέτο μετάδοσης. Απαιτείται κάθε WSN κόμβος να στέλνει ακριβώς k πακέτα ανεξάρτητα από τι αυτό έχει λάβει, πράγμα που σημαίνει σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές περισσότερη δουλειά/φορτίο για τους κόμβους οι οποίοι βρίσκονται μακριά από το sink και λιγότερη δουλειά/φορτίο

για τους κόμβους που βρίσκονται κοντά. Επιπλέον έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την WSN ενεργειακή απόδοση και να ελαχιστοποιήσει την επικοινωνία[33].

Αυτή η τεχνική εξελίσσεται σε σχέση με τις εξής παραμέτρους: Average end-to-end Delay, Average Packet Delivery Ratio και Energy Consumption.

Δεδομένου ότι το aggregation περιλαμβάνει και συμπίεση της πληροφορίας, η καθυστέρηση που προκύπτει κατά την αποστολή της πληροφορίας από τους αισθητήρες στο sink, μειώνεται σημαντικά. Επιπλέον καταφέρνει να εξαλείψει το packet drops από τους ενδιάμεσους κόμβους με αποτέλεσμα να επιτυγχάνει καλή αναλογία παράδοσης(delivery ratio) της πληροφορίας. Ακόμη με τη συμπίεση των δεδομένων κατά το data aggregation μειώνει τον αριθμό των πακέτων που είναι να συγκεντρωθούν στους κόμβους συγκέντρωσης. Ως εκ τούτου, η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία συγκέντρωσης θα μειωθεί. Επομένως αυτή η τεχνική καταφέρνει να βελτιώσει την κίνηση του φορτίου όταν εφαρμόζεται structured data aggregation και να μειώσει αποτελεσματικά το κόστος υπολογισμού και το κόστος επικοινωνίας των κόμβων. Όμως παρατηρείτε ελαφρώς μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας όταν ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται.

4.3 Εφαρμογή τεχνικής Data Aggregation

Στο παρακάτω σενάριο θα αναλύσουμε την structured based data aggregation τεχνική σε ένα Zigbee δίκτυο και θα τη συγκρίνουμε με ένα απλό δίκτυο που δεν χρησιμοποιείται data aggregation.

Για την ανάλυση της προσομοίωσης θα χρησιμοποιήσουμε το OPNET Modeler περιβάλλον που περιλαμβάνει εργαλεία για όλες τις φάσεις της μελέτης, συμπεριλαμβανομένου τον σχεδιασμό του μοντέλου, τη προσομοίωση, τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων. Το OPNET Modeler παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον που στηρίζει την μοντελοποίηση των δικτύων επικοινωνίας και των καταναμημένων συστημάτων. Αποτελείται από τρία ιεραρχικά επίπεδα:

1. Network level
2. Node level
3. Process level

Στο Network level δημιουργείται η τοπολογία του δικτύου που βρίσκεται υπό έρευνα.

Στο Node level καθορίζει τη συμπεριφορά του κόμβου και τον έλεγχο της ροής των δεδομένων μεταξύ των διαφόρων λειτουργικών στοιχείων στο εσωτερικό ενός κόμβου.

Στο Process level περιγράφει τα βασικά πρωτόκολλα, εκπροσωπούμενο από μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων (FSM) και δημιουργείται από τις καταστάσεις και τις μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων.

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται είναι η C/ C++.

A. Σενάριο προσομοίωσης:

Στο παρακάτω σενάριο προσομοίωσης θα συγκρίνουμε δυο Zigbee tree-based δίκτυα, όπου στο ένα θα εφαρμόσουμε την τεχνική Structured Data Aggregation ενώ στο άλλο δεν θα χρησιμοποιούμε. Αναλυτικά έχουμε ένα Zigbee δίκτυο γραφείου 100*100 τ.μ το οποίο το κατασκευάζουμε χρησιμοποιώντας την τοπολογία tree. Συγκεκριμένα για τη δημιουργία του δικτύου χρησιμοποιούμε τις εξής συσκευές: ένα ZC(Zigbee Coordinator), τρεις ZR(Zigbee Routers) και εννέα ZED(Zigbee End Devices). Οι ZR, οι ZED καθώς και ο ZC είναι σταθεροί. Στο δίκτυο τα δεδομένα παράγονται μόνο από τις τερματικές συσκευές.

Βασικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνται κατά την προσομοίωση είναι:

Πίνακας 6. Παράμετροι προσομοίωσης

Destination	ZR or ZC
Packet Interval Time	constant(1.0)
Packet Size	constant(1024)
Start Time	uniform(20,21)
Stop Time	Infinity
ACK Mechanism	0.05 seconds
CSMA-CA	Enabled
Simulation time	5 minutes

Το IEEE 802.15.4 πρότυπο παρέχει το μηχανισμό ACK όπου επιβεβαιώνει τη σωστή παράδοση του πακέτου δεδομένων. Αναλυτικά σύμφωνα με αυτό το μηχανισμό στέλνεται ένα μήνυμα ACK στις πηγές κάθε φορά που τα πακέτα φτάνουν στον προορισμό τους. Μόλις το μήνυμα αυτό ληφθεί οι κόμβοι των πηγών αλλά και οι κόμβοι προορισμού περιμένουν για ένα χρονικό διάστημα όπου αναφέρεται ως Long InterFrame Spacing (LIFS) όπου επιτρέπει στους παραπάνω κόμβους να εκτελούν εσωτερικές λειτουργίες και να επεξεργάζονται τα δεδομένα.

Το CSMA-CA MAC πρωτόκολλο παρέχει ένα μέσο μηχανισμό πρόσβασης όπου προσπαθεί να αποφύγει τις συγκρούσεις των πακέτων μέσω της τεχνικής Binary Exponential Back-off (BEB). Ένας κόμβος πριν τη μετάδοση ενός νέου πακέτου περιμένει για ένα τυχαίο διάστημα σε μια περιοχή που ορίζεται κατά τη φάση εκκίνησης του δικτύου. Αυτό το χρονικό διάστημα ορίζεται ως παράθυρο συμφόρησης Contention Window (CW). Μόλις το διάστημα αυτό λήξει, ο κόμβος πριν στείλει το πακέτο των δεδομένων ελέγχει την κατάσταση του καναλιού, αυτή η λειτουργία αναφέρεται ως Clear Channel Assessment (CCA). Αν το κανάλι είναι ελεύθερο ο κόμβος στέλνει το πακέτο διαφορετικά αν ανιχνευτεί κάποια μετάδοση στο κανάλι ο κόμβος διπλασιάζει το Contention Window και περιμένει. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τρεις φορές όπου ο χρόνος αναμονής παραμένει σταθερός. Μετά από πέντε ανεπιτυχείς προσπάθειες μετάδοσης το πακέτο χάνεται. Η χρήση της τεχνικής BEB καθιστά ένα κόμβο ικανό να καταφέρει να μεταδώσει το πακέτο του.

Β. Σε αυτή την προσομοίωση θα επικεντρωθούμε σε ορισμένες παραμέτρους όπως είναι:

- Throughput
- End-to-End delay

4.3.1 Σχεδιασμός Δικτύων:

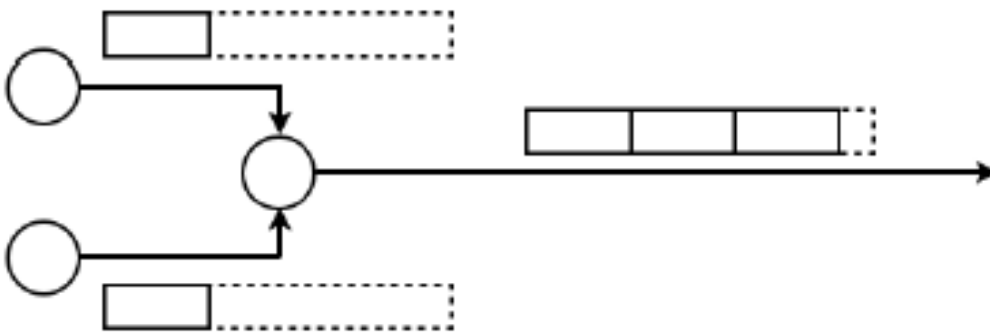
Tree Network:

Στην περίπτωση του tree-based δρομολόγησης τα πακέτα προωθούνται με βάση τη θέση των πηγών και της αντίστοιχης θέσης προορισμού. Η Tree δρομολόγηση είναι γνωστό ότι επιφέρει τον ελάχιστο έλεγχο στα πακέτα, όμως το Zigbee χρησιμοποιεί μια πιο ντετερμινιστική προσέγγιση όπου οι κόμβοι μπορούν εύκολα

να διαπιστώσουν αν ένα πακέτο είναι να σταλεί πάνω ή κάτω στο δέντρο. Παρόλα αυτά η Tree δρομολόγηση απαιτεί ότι τα δεδομένα πρέπει να διαβιβαστούν κατά μήκος ενός προσχηματισμένου δέντρου, ανεξάρτητα από τη φυσική εγγύτητα των κόμβων επικοινωνίας.

Tree Network with Data Aggregation:

Σε ένα Tree Based Data Aggregation δίκτυο οι κόμβοι αισθητήρων οργανώνονται σε ένα δέντρο όπου η συγκέντρωση των δεδομένων γίνεται σε ενδιάμεσους κόμβους κατά μήκος του δέντρου και μια συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων μεταδίδεται στο τελικό sink. Το Tree Based Data Aggregation είναι κατάλληλο για εφαρμογές που αφορούν in-network data aggregation. Μια από τις κύριες πτυχές των Tree Based δικτύων είναι η κατασκευή μιας ενεργειακά αποδοτικής συγκέντρωσης δεδομένων της μορφής Tree. Στο παρακάτω σενάριο το data aggregation γίνεται στους ZR με αποτέλεσμα να στέλνεται μια συνοπτική πληροφορία στον τελικό sink(ZC). Αναλυτικότερα οι routers αποθηκεύουν τα πακέτα σε ένα buffer και περιμένει μέχρι τα πακέτα να φτάσουν ένα συγκεκριμένο αριθμό, και στη συνέχεια ο router συγκεντρώνει τα πακέτα σε ένα superframe και τα στέλνει στον τελικό κόμβο.



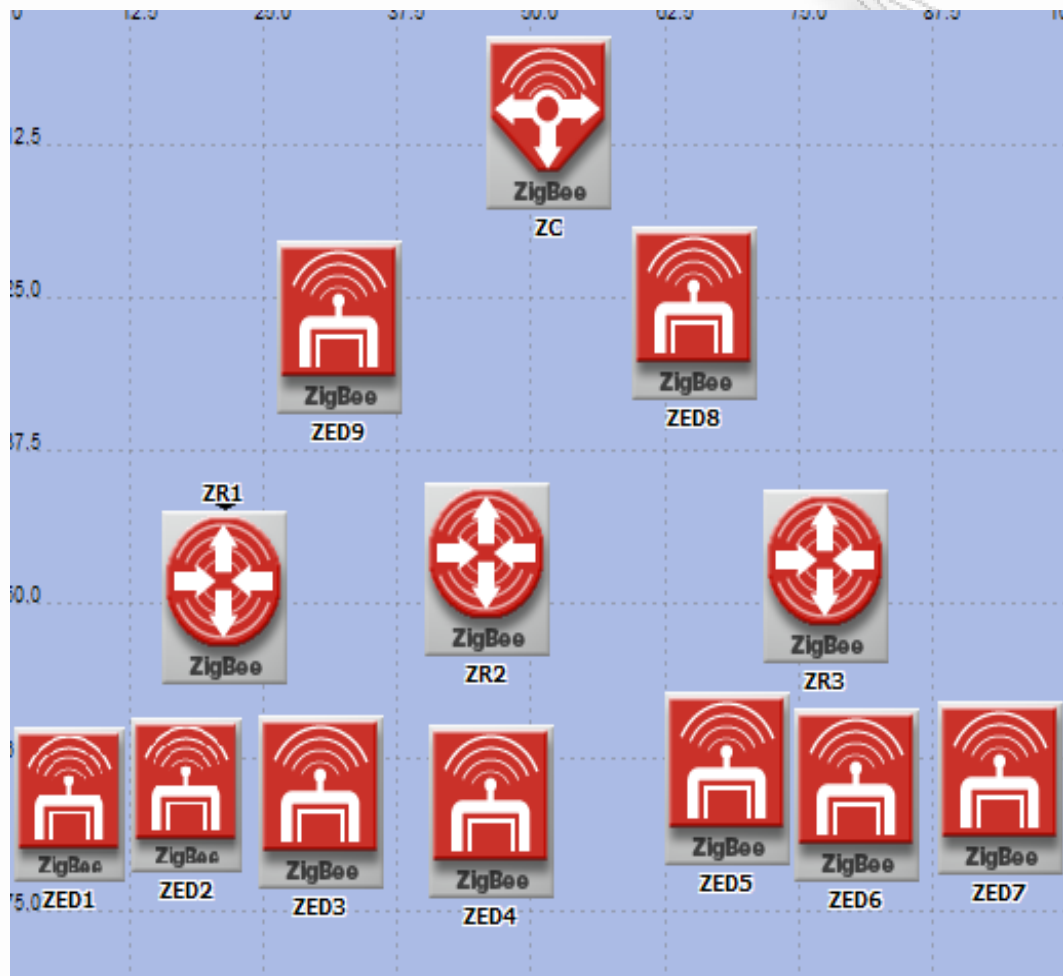
Εικόνα14.Μηχανισμός Packet Aggregation

Αρχικά δημιουργούμε ένα office subnet :



Εικόνα15. Δίκτυο Γραφείου

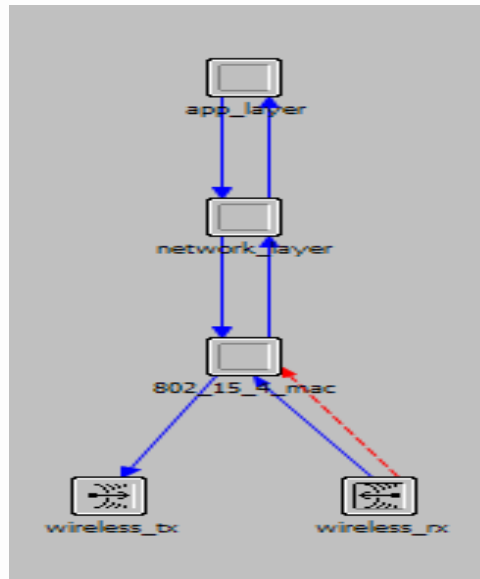
Στο εσωτερικό αυτού του office subnet παρατηρείται το παρακάτω δίκτυο:



Εικόνα16. Tree Based Structure

Στο παραπάνω Zigbee δίκτυο γραφείου εφαρμόζουμε την τοπολογία tree. Όλες οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους ασύρματα. Επιπλέον σε κάθε συσκευή ορίζουμε τον προορισμό των πακέτων καθώς και τα παραπάνω χαρακτηριστικά του δικτύου. Αναλυτικότερα τις τερματικές συσκευές ZED8 και ZED9 τις συνδέουμε απευθείας με το ZC. Τους routers ZR1, ZR2 και ZR3 τους συνδέουμε εξίσου με τον ZC. Ενώ τις τερματικές συσκευές ZED1, ZED2 και ZED3 τις συνδέουμε ασύρματα με τον router ZR1, τη συσκευή ZED4 τη συνδέουμε με τον ZR2 ενώ τις συσκευές ZED5, ZED6 και ZED7 τις συνδέουμε με τον ZR3. Η δομή του δικτύου παραμένει ίδια και για τα δύο σενάρια ανάλυσης με τη μόνη διαφορά ότι στο ένα από αυτά τα σενάρια θα εφαρμόσουμε την τεχνική tree structured data aggregation προκειμένου να συγκρίνουμε τη συμπεριφορά των δικτύων αυτών για τις παραπάνω παραμέτρους (Throughput-End to End Delay) .

Node Model:

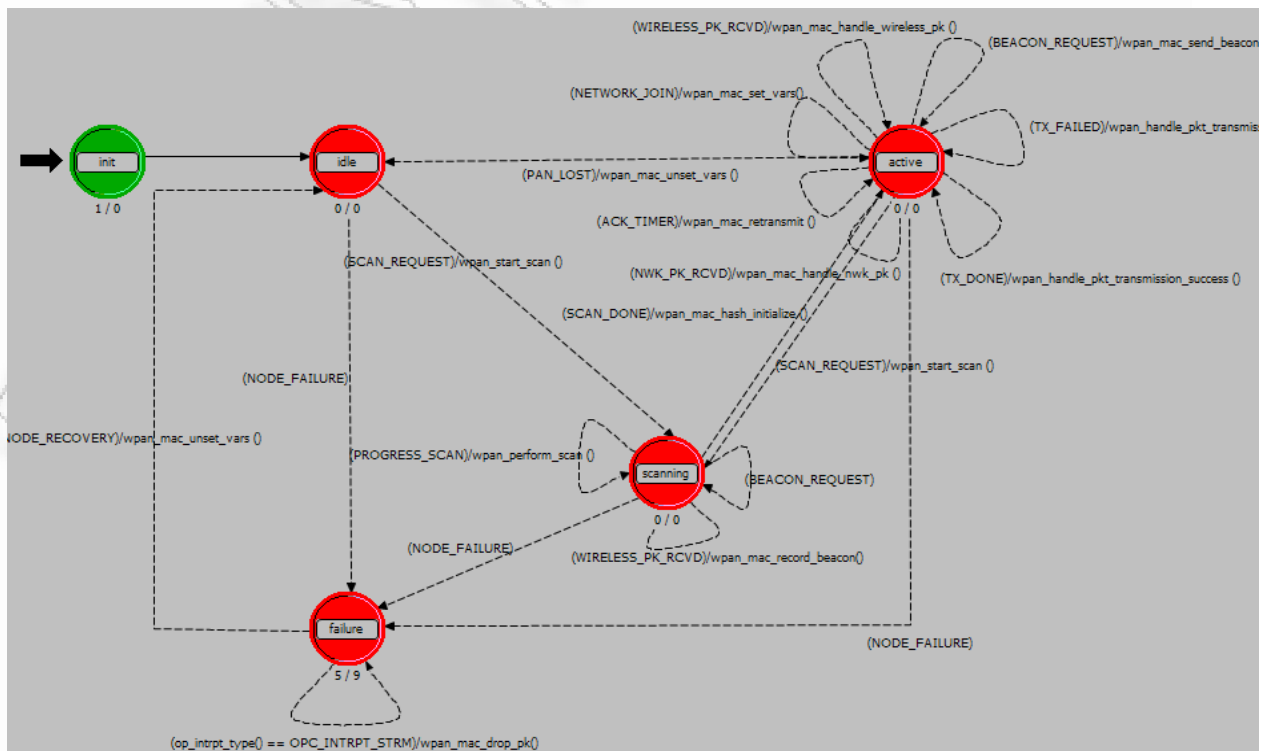


Εικόνα17. Node Model του Zigbee δικτύου

Σύμφωνα με το παραπάνω Node Model του Zigbee δικτύου αποτελείται από τρία επίπεδα: το application layer, network layer και το mac layer καθώς και από έναν ασύρματο πομπό επικοινωνίας και ένα ασύρματο δέκτη. Και οι δύο οι κόμβοι υποστηρίζουν την IEEE 802.15.4 σύνδεση στα 2.4 MHz Frequency Band με 250 kbps Data Rate.

Process Model:

Στο Process Model αναπαριστάται η εσωτερική λειτουργία του MAC επιπέδου.



Εικόνα18. Process Model του Zigbee δικτύου

Όπως παρατηρείται στο σχήμα το MAC είναι κυρίαρχο και αποτελείται από 4 καταστάσεις. Την idle κατάσταση(αδρανή) εγγράφεται καθώς το MAC περιμένει για πακέτα, τη scanning κατάσταση(σάρωσης) συμβαίνει όταν το MAC σαρώνει για τα εισερχόμενα πακέτα και την active κατάσταση (ενεργή) όταν το MAC επεξεργάζεται τα εισερχόμενα/εξερχόμενα πακέτα. Υπάρχει επίσης και η failure κατάσταση(βλάβης) όπου προσδιορίζει τι πρέπει να κάνει το MAC σε περίπτωση βλάβης.

Κεφάλαιο 5°

5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης

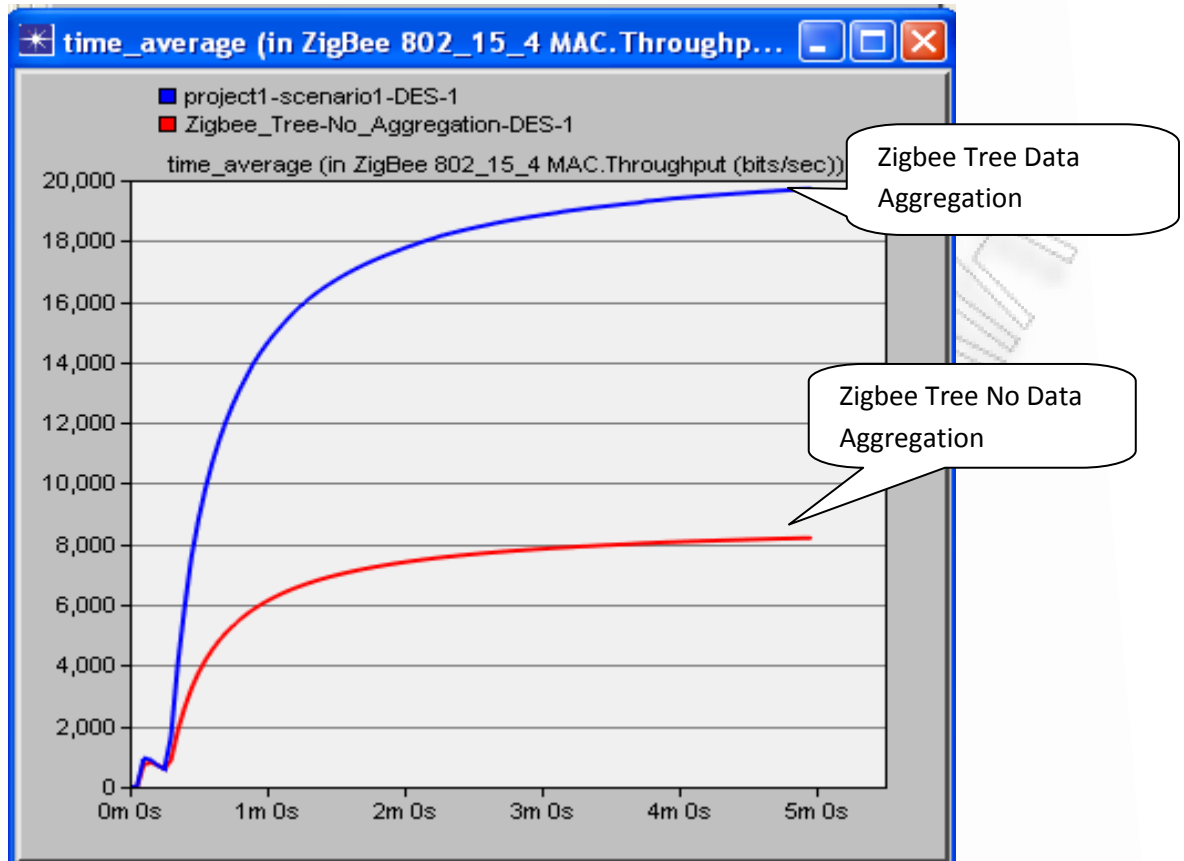
5.1 Ανάλυση ενός Zigbee Tree Network με Data Aggregation_ No Data Aggregation

A.Throughput: Είναι ο συνολικός αριθμός των bits (σε bits/sec) που μεταδίδονται από το 802.15.4 MAC επίπεδο σε υψηλότερο επίπεδο σε όλους τους κόμβους του WPAN δικτύου. Αναλυτικότερα είναι η ποσότητα των δεδομένων που διαβιβάζονται σωστά από τις πηγές στον προορισμό εντός ορισμένου χρόνου(seconds). Η σημασία της ανάλυσης αυτής της παραμέτρου QOS είναι επειδή η αύξηση του αριθμού των χρηστών στο ασύρματο μέσο είναι ο λόγος της αύξησης των παρεμβολών. Το Throughput ποσοτικοποιείται με διαφορετικούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η σύγκρουση των δεδομένων, τα εμπόδια μεταξύ των κόμβων και ο τύπος της τοπολογίας που χρησιμοποιείται.

ZigBee Throughput = mean reward rate =

Average amount of data sent within an attempt

Mean service time of a data packet



Διάγραμμα1. Throughput για το Zigbee Tree No Data Aggregation -
Zigbee Tree Data Aggregation

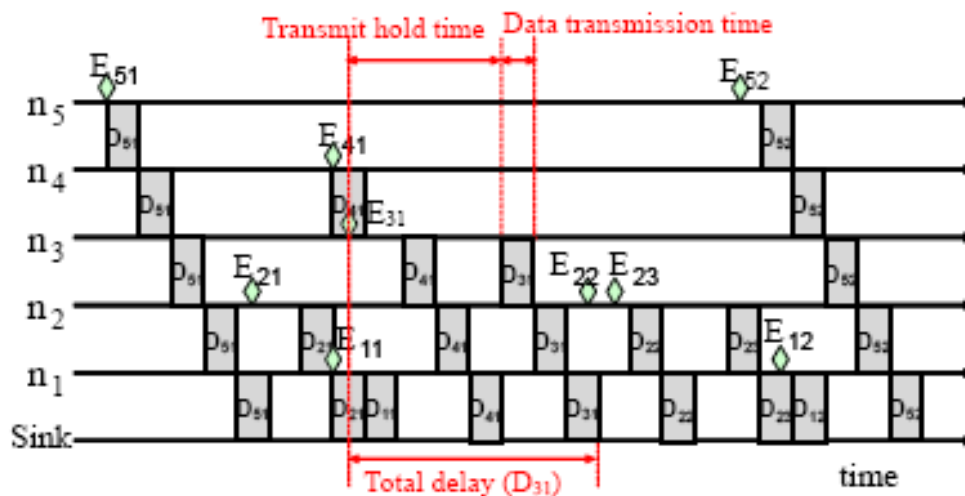
Όπως παρατηρείται από την παραπάνω απεικόνιση του throughput στη περίπτωση που δεν εφαρμόζουμε data aggregation στο ασύρματο Zigbee δίκτυο επικρατεί μια ομαλή λειτουργία σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης μιας και η επικοινωνία του δικτύου από τις τερματικές συσκευές ZED στον τελικό ZC γίνεται μέσω των ZR και η δρομολόγηση είναι προκαθορισμένη βάση της χρησιμοποιημένης τοπολογίας. Όμως με την εφαρμογή του data aggregation στο αντίστοιχο δίκτυο σαφώς έχουμε καλύτερη επίδοση στο throughput καθώς ο μηχανισμός του data aggregation συμβάλλει στη μείωση των συγκρούσεων των πακέτων καθώς και στη μείωση των χαμένων πακέτων μιας και το συνολικό φορτίο μοιράζεται μεταξύ του τοπικού PAN και των ZRs. Αναλυτικότερα στους ZR του δικτύου εφαρμόζεται ο μηχανισμός data aggregation όπου βάση αυτού τα πακέτα που στέλνονται από τις τερματικές συσκευές συσσωρεύονται προσωρινά στους ZR με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση των συγκρούσεων των πακέτων αλλά και μείωση της καθυστέρησης αναμετάδοσης. Μέσα από αυτές τις μειώσεις που προκύπτουν από το data aggregation προκύπτει η αύξηση του throughput του συστήματος και κατ' επέκταση εξοικονόμηση ενέργεια μιας και με τη χρήση αυτής της μεθόδου περιορίζεται ο αριθμός των μεταδόσεων.

B.End-to-End Delay: Είναι μια μέτρηση της καθυστέρησης του δικτύου για ένα πακέτο και μετριέται από το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί όταν ένα μήνυμα είναι

στη ουρά για μετάδοση στο φυσικό στρώμα μέχρι τα τελευταία bits να ληφθούν από τον κόμβο λήψης.

End-to-End Delay = Simulation Time – Data Transmit Time

Στον παρακάτω σχήμα παρατηρείται η ολική καθυστέρηση μετάδοσης ενός δεδομένου από κόμβο σε κόμβο μέχρι να φτάσει στο τελικό sink όταν δεν εφαρμόζεται στο δίκτυο data aggregation. Η καθυστέρηση μετάδοσης του πακέτου D51 οφείλεται στο γεγονός ότι γίνεται εφαρμογή του μηχανισμού ACK καθώς και του CSMA/CA με αποτέλεσμα το πακέτο να περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα να ελευθερωθεί η γραμμή προκειμένου να ολοκληρωθεί η μετάδοση του και να φτάσει στον τελικό κόμβο.



Εικόνα 19. Total Delay of Event (No_Aggregation)

Επομένως η ολική καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου εξαρτάται από τον αριθμό των hops από τον κόμβο n_i στον κόμβο ZC (H).

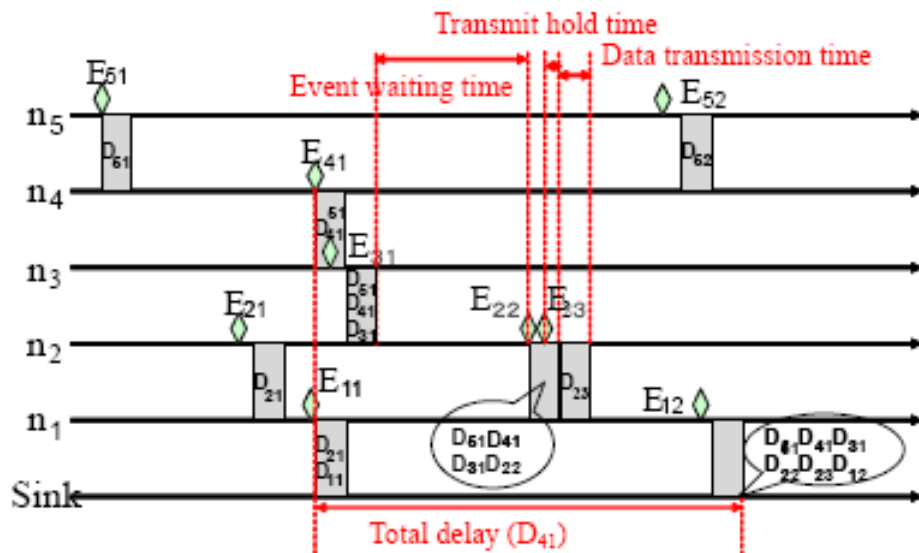
$$T_{imi}(H) = \sum_{i=1}^H (\tau_{imi}^c(k) + \tau^n(k))$$

Όπου:

$\tau_{imi}^c(i)$ είναι ο χρόνος μετάδοσης του i κόμβου

$\tau_{imi}^n(i)$ είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί όπου ο κόμβος n_i δεν μπορεί να αξιοποιήσει το κανάλι.

Όμως στην περίπτωση που εφαρμόζουμε data aggregation στο δίκτυο μας, θα πρέπει στην συνολική καθυστέρηση να προσθέσουμε και τον χρόνο που απαιτείται από τους κόμβους ZR να περιμένουν μέχρι να λάβουν όλα τα πακέτα που θα στείλουν στον τελικό ZC.



Εικόνα20. Total Delay of Event (Data Aggregation)

Επομένως η συνολική καθυστέρηση μετάδοση ενός πακέτου που εφαρμόζεται data aggregation συμβολίζεται:

$T_{agg}(H)$ και περιλαμβάνει H hops καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου.

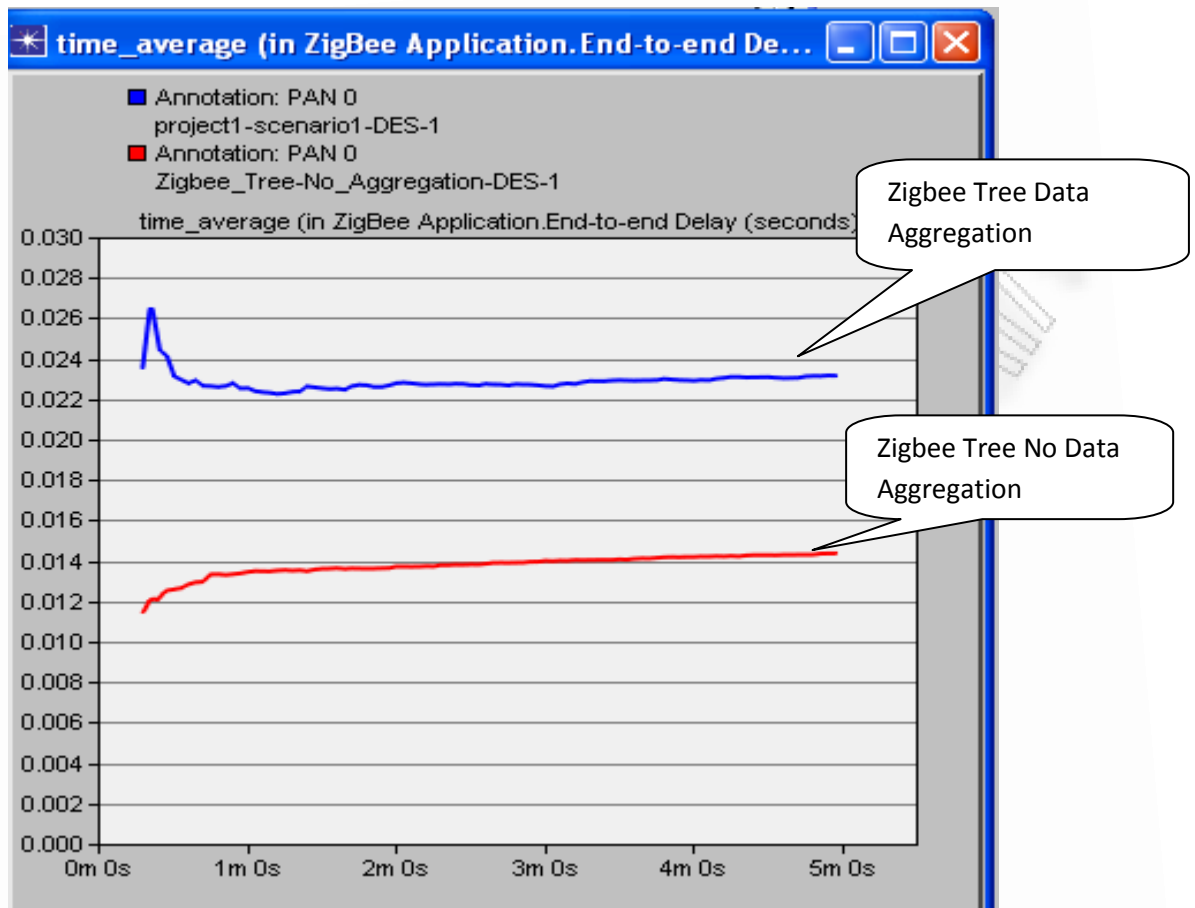
$$T_{agg}(H) = \sum_{i=1}^H (\tau_{agg}^e(i) + \tau_{agg}^c(i) + \tau^n(i))$$

Όπου :

$\tau_{agg}^c(i)$ είναι ο χρόνος μετάδοσης για τον κόμβο n_i ,

$\tau_{agg}^e(i)$ είναι ο χρόνος αναμονής του κόμβου n_i εξαιτίας μιας κατάστασης

$\tau^n(i)$ είναι το χρονικό διάστημα που ο κόμβος n_i δεν μπορεί να αξιοποιήσει το κανάλι.



Διάγραμμα2.End-to-End Delay για το Zigbee Tree No Data Aggregation -

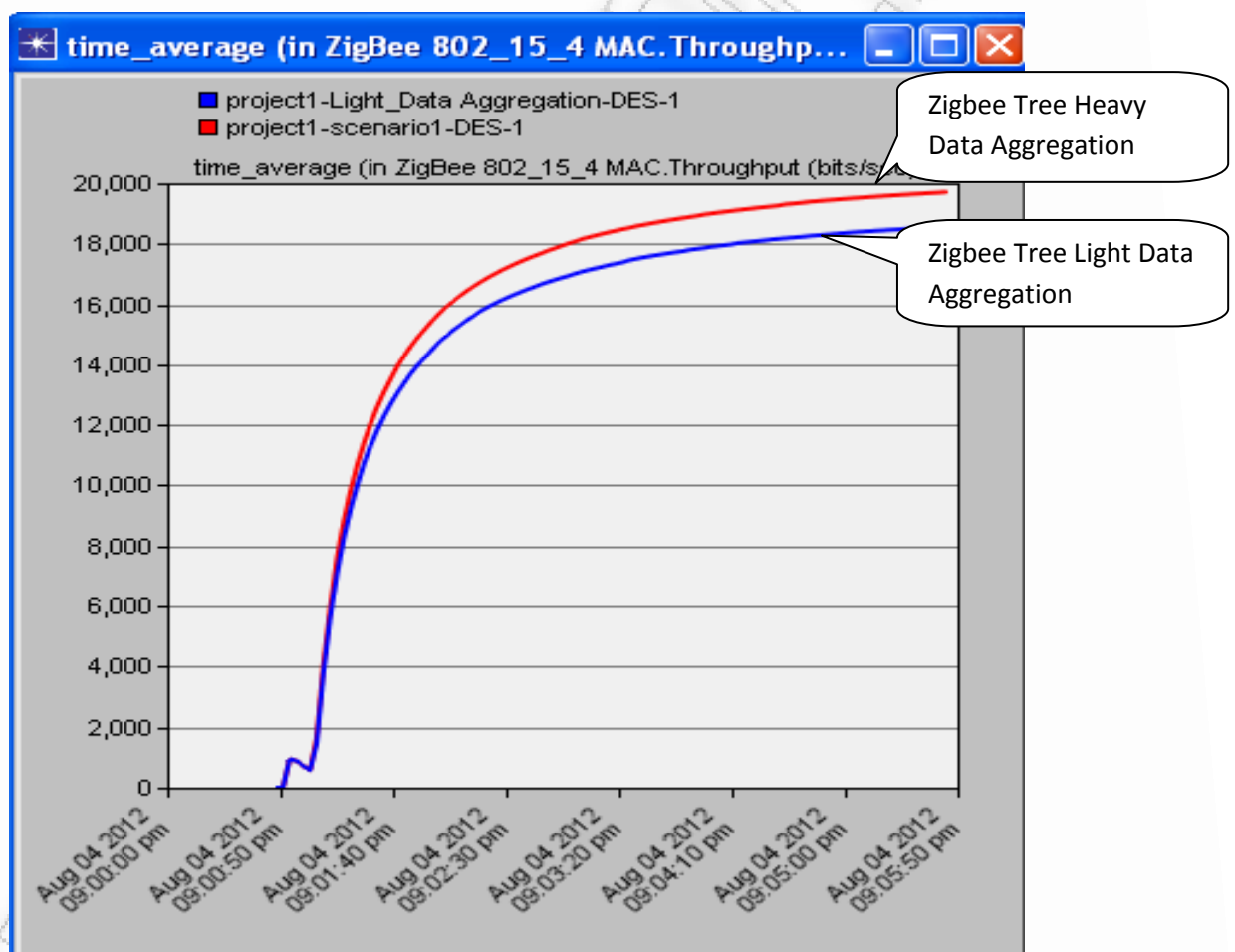
Zigbee Tree Data Aggregation

Όπως παρατηρούμε από την παραπάνω απεικόνιση στο tree δίκτυο η παράμετρος end-to-end delay του συστήματος έχει μια πολύ μικρή ανοδική πορεία που είναι σχεδόν αμελητέα μιας και η εφαρμογή του CSMA-CA στο MAC επίπεδο συμβάλει στο να μη έχουμε συγκρούσεις των πακέτων και να υπάρχει μια ομαλή μεταφορά των πακέτων στον τελικό ZC χωρίς να απαιτούνται αναμεταδόσεις και επιπλέον καθυστερήσεις. Όμως δεν έχουμε τις ανάλογες επιδόσεις στο σύστημα όταν εφαρμόζουμε data aggregation σε ένα αντίστοιχο δίκτυο. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αναμενόμενα μιας και το σύστημα μας επιβαρύνεται με επιπλέον καθυστέρηση. Αναλυτικότερα, με την εφαρμογή του data aggregation στο ZR δημιουργούνται buffers όπου αναμένουν την λήψη όλων των πακέτων από τις τερματικές συσκευές ώστε να δημιουργήσουν ένα superframe και να το στείλουν στον τελικό ZC. Το χρονικό αυτό διάστημα αναμονής των πακέτων αλλά και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται να δημιουργηθεί το superframe συμβάλλει ουσιαστικά στην αύξηση της καθυστέρησης του συστήματος. Με την αύξηση της καθυστέρησης έχουμε κατά συνέπεια και την αύξηση του latency καθώς το latency ορίζεται από την καθυστέρηση της μετάδοσης των πακέτων, τη δρομολόγηση και το data aggregation.

5.2 Ανάλυση ενός Zigbee Tree Network με Light Data Aggregation _ Heavy Data Aggregation

Όπως παρατηρήσαμε στο παραπάνω δίκτυο με την εφαρμογή μια πιο Heavy μεθόδου Data Aggregation τα δεδομένα που βρίσκονται σε ανώτερους κόμβους υποφέρουν από την αναμονή όλων των πακέτων στους κόμβους ZR . Στην περίπτωση της εφαρμογής μιας πιο Light μεθόδου του Data Aggregation στο δίκτυο μας σημαίνει ότι δεν εφαρμόζουμε σε όλα τα πακέτα Data Aggregation αλλά σε ένα μέρος από αυτά. Αναλυτικότερα ένα πακέτο αναμένει στον ZR τις αφίξεις των νέων πακέτων προκειμένου να εφαρμοστεί σε όλα τα πακέτα Data Aggregation ώστε να μεταδοθούν στον τελικό ZC, όμως εάν σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα δεν εμφανιστούν τα υπόλοιπα πακέτα ο ZR πρέπει να μεταδώσει το πακέτο στον τελικό ZC.

A. Throughput



Διάγραμμα3.Throughput για το Zigbee Tree Heavy Data Aggregation -

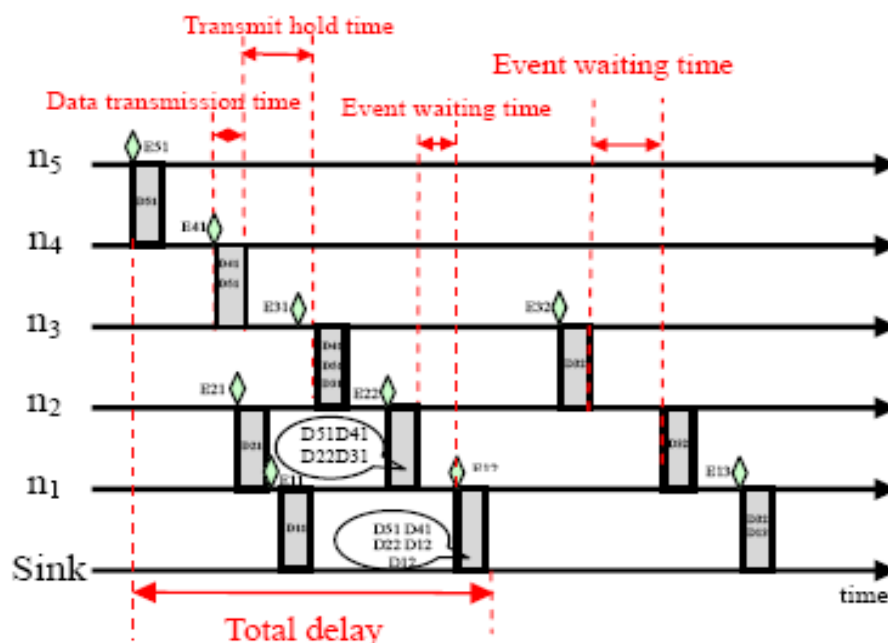
Zigbee Tree Light Data Aggregation

Όπως παρατηρείται και από το παραπάνω γράφημα, το δίκτυο μας εξακολουθεί να έχει καλύτερη απόδοση στην περίπτωση που εφαρμόζουμε το Heavy Data Aggregation σε σχέση με τη Light έκδοση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση του Light Data Aggregation ο αριθμός των μεταδόσεων είναι σαφώς μεγαλύτερος σε σχέση με την Heavy εκδοχή , διότι τα πακέτα περιμένουν μόνο για ένα μικρό χρονικό διάστημα στους ενδιάμεσους κόμβους που στην περίπτωση μας

είναι οι ZR και αν σε αυτό το διάστημα δεν συγκεντρωθούν όλα τα πακέτα ο ZR αναλαμβάνει να στείλει το πακέτο στον τελικό προορισμό ZC χωρίς να εφαρμόζεται Data Aggregation με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα να έχουμε χαμένα πακέτα καθώς και η πιθανότητα να έχουμε περισσότερη συμφόρηση στους routers. Όλα αυτά έχουν σαν επακόλουθο να μειώνουν την απόδοση του συστήματος εν συγκρίσει με το Zigbee Tree Heavy Data Aggregation που καταφέρνει να περιορίσει αρκετά την πιθανότητα απώλειας πακέτου καθώς και την πιθανότητα συμφόρησης μιας και τα δεδομένα συγκεντρώνονται στους ZR που λειτουργούν σαν buffers στην περίπτωση αυτή και περιορίζει τον αριθμό των μεταδόσεων.

B. End- to –End Delay

Στην περίπτωση που εφαρμόζουμε μια πιο Light έκδοση του Data Aggregation στο δίκτυο μας παρατηρούμε ότι η ολική καθυστέρηση είναι μικρότερη σε σχέση με την περίπτωση του Heavy Data Aggregation.



Εικόνα21. Total Delay of Event (Light Data Aggregation)

Η συνολική καθυστέρηση μετάδοσης στην περίπτωση που εφαρμόζουμε Light Data Aggregation είναι:

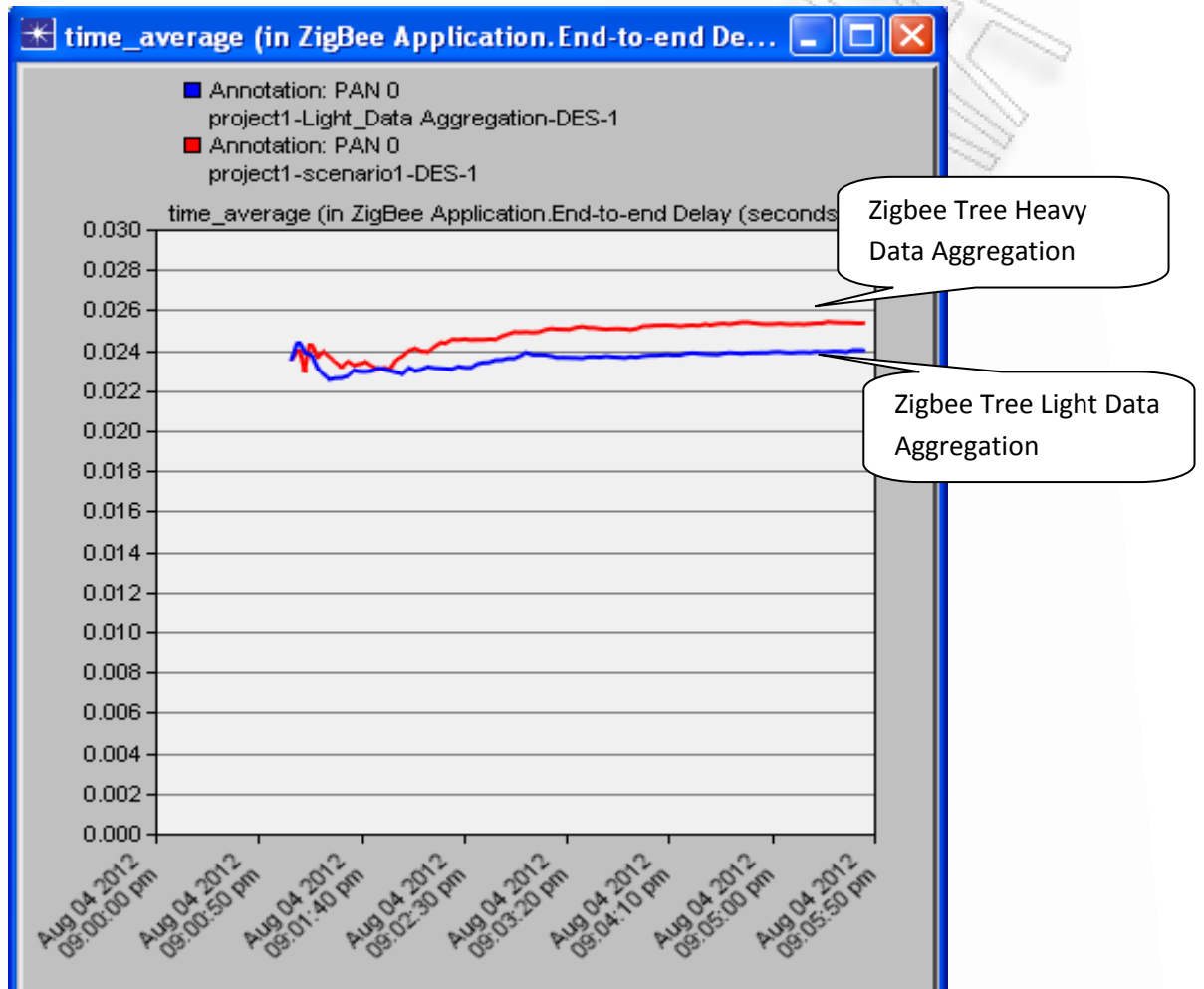
$$T_p(H) = \sum_{i=1}^H (\tau_p^e(i) + \tau_p^c(i) + \tau^a(i))$$

Όπου:

$\tau_p^e(i)$ είναι ο μέσος χρόνος αναμονής ενός πακέτου στον κόμβο n_i εξαιτίας μιας κατάστασης (Light Data Aggregation)

$\tau_p^c(i)$ το χρονικό διάστημα που διαρκεί η μετάδοση του κόμβου n_i

$\tau^n(i)$ είναι το χρονικό διάστημα που ο κόμβος n_i δεν μπορεί να αξιοποιήσει το κανάλι.



Διάγραμμα 4. End-to-End Delay για το Zigbee Tree Heavy Data Aggregation -
Zigbee Tree Light Data Aggregation

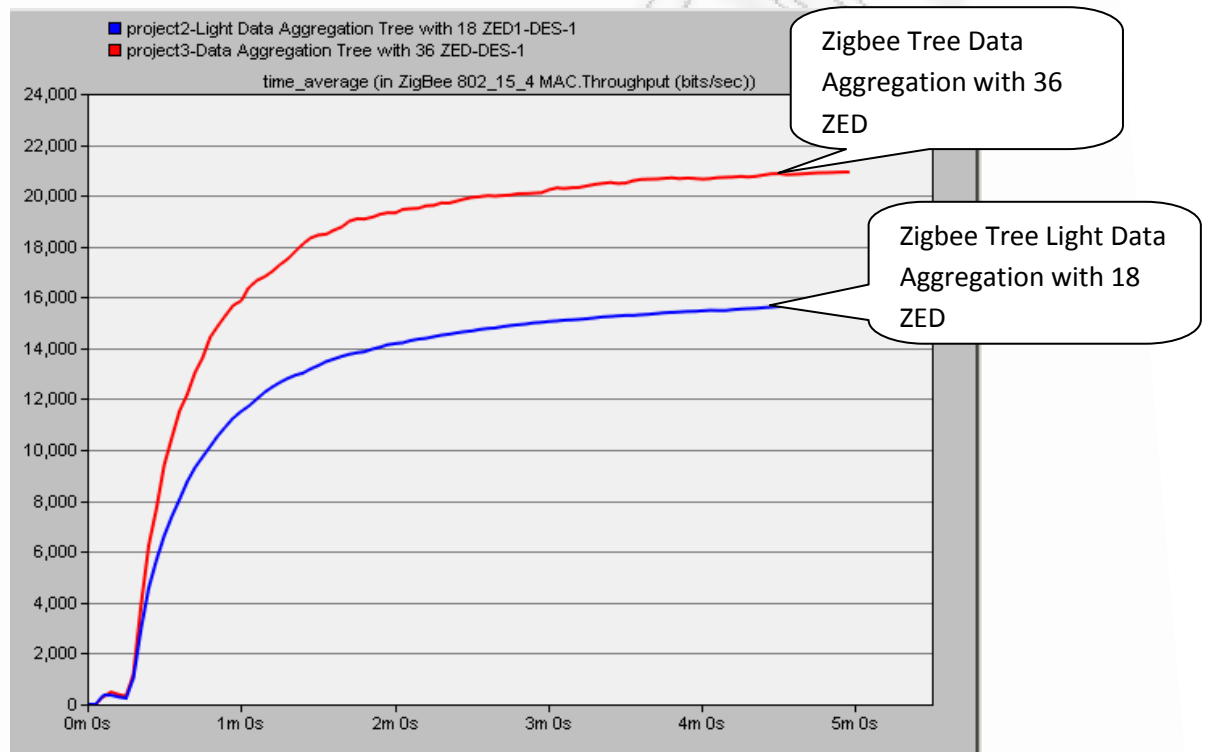
Όπως παρατηρείται από την παραπάνω απεικόνιση της καθυστέρησης του συστήματος η καθυστέρηση για το Heavy Data Aggregation είναι σαφώς ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με το Light Data Aggregation. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα πακέτα που φτάνουν στους ZR θα πρέπει να περιμένουν να φτάσουν όλα τα πακέτα από τις ZED πριν εφαρμοστεί το Data Aggregation σε αυτά. Όμως στην περίπτωση της πιο Light εκδοχής του Data Aggregation ένα πακέτο περιμένει για ένα χρονικό διάστημα στους ZR προκειμένου να εμφανιστούν τα υπόλοιπα πακέτα για να υλοποιήσει το Data Aggregation. Αν δεν εμφανιστούν σε αυτό το χρονικό διάστημα το πακέτο μεταδίδεται στον επόμενο κόμβο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώσει το χρόνο αναμονής του πακέτου στους ZR και κατ' επέκταση να μειώσει και τον χρόνο καθυστέρησης του συστήματος.

Επομένως στο Heavy Data Aggregation όταν μια μετάδοση δεν γίνει τα πακέτα υποφέρουν από καθυστέρηση και για τη λύση αυτού του προβλήματος προτάθηκε το Light Data Aggregation.

5.3 Ανάλυση Δικτύου για διπλάσιους κόμβους

Στις παρακάτω απεικονίσεις θα παρατηρήσουμε πως συμπεριφέρεται κάθε φορά το δίκτυο όταν συνεχώς διπλασιάζουμε τον αριθμό των τερματικών κόμβων ZED που πρέπει να εξυπηρετήσουν οι routers(ZR) στο δίκτυο.

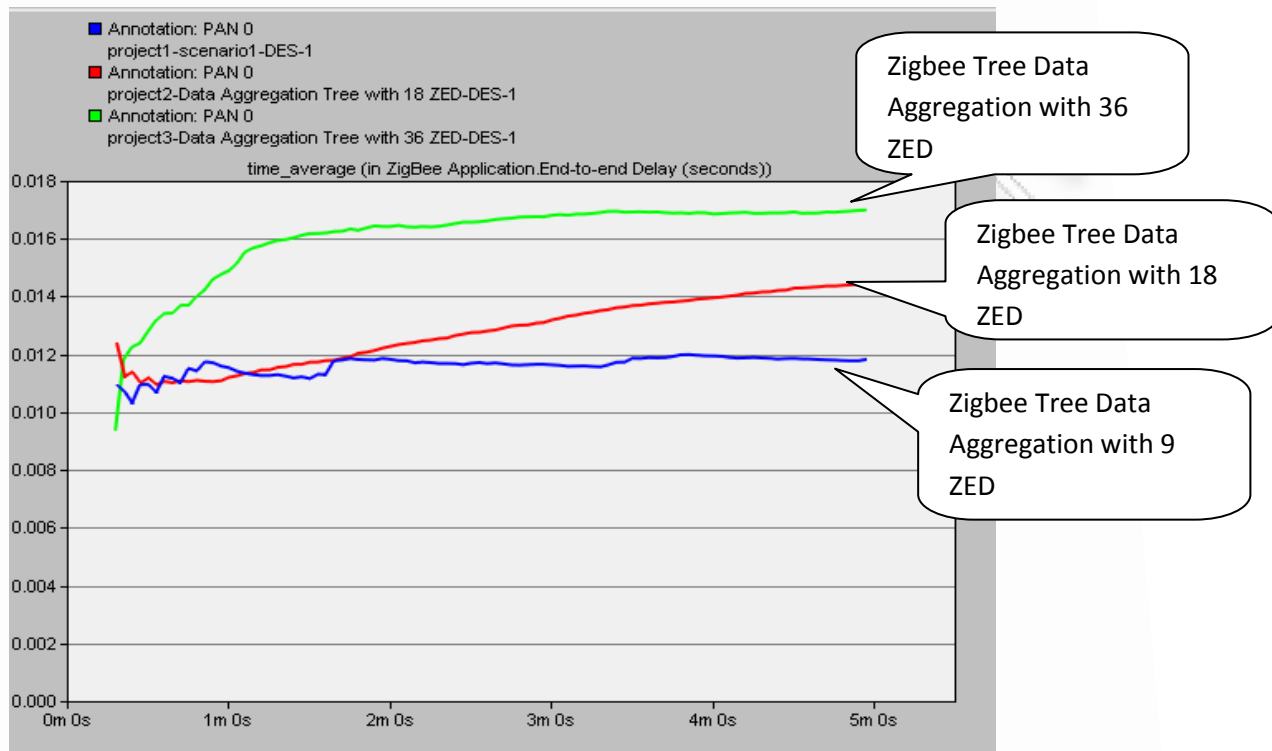
A.Throughput



Διάγραμμα 5.Throughput για το Zigbee Tree Light Data Aggregation(18 ZED) -
Zigbee Tree Data Aggregation(36 ZED)

Όπως παρατηρείται από τις παραπάνω απεικονίσεις η ρυθμαπόδοση (throughput) ενός συστήματος είναι σαφώς πιο ευνοϊκή όταν εφαρμόζουμε πλήρη Data Aggregation σε όλα τα δεδομένα σε σχέση με το μερικό Data Aggregation ανεξάρτητα με το αν ο αριθμός των τερματικών κόμβων διπλασιάζεται στην περίπτωση της εφαρμογής Full Data Aggregation. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με το Full Data Aggregation ο αριθμός των μεταδόσεων είναι μικρότερος και αυτό έχει σαν επακόλουθο να βελτιώνει την απόδοση του δικτύου ανεξάρτητα αν ο αριθμός των κόμβων είναι διπλάσιος.

B.End- to –End Delay



Διάγραμμα 6.End-to-End Delay για το Zigbee Tree Data Aggregation(36ZED-18ZED-9ZED)

Όπως παρατηρείται από τις παραπάνω απεικονίσεις σε ένα δίκτυο που εφαρμόζεται Data Aggregation, καθώς ο αριθμός των τερματικών κόμβων αυξάνεται η καθυστέρηση μετάδοσης του συστήματος αυξάνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κόμβοι ZR οι οποίοι είναι υπεύθυνοι να εφαρμόσουν Data Aggregation στα δεδομένα που λαμβάνουν από τις τερματικές συσκευές είναι αναγκασμένοι να περιμένουν περισσότερο ώστε να συγκεντρωθούν όλα τα δεδομένα για να τα αποστείλουν συνολικά στον τελικό κόμβο ZC. Επομένως όσο ο αριθμός των δεδομένων(κόμβων) αυξάνεται τόσο το χρονικό διάστημα αναμονής αυτών στους ZR αυξάνεται και κατ' επέκταση η καθυστέρηση του συστήματος μεγαλώνει.

Κεφάλαιο 6°

6.1 Συμπεράσματα:

Στην παραπάνω εργασία αρχικά αναλύσαμε τις M2M επικοινωνίες και στη συνέχεια επικεντρωθήκαμε σε μια από αυτές το Zigbee. Χρησιμοποιώντας το Zigbee και επιλέγοντας μια από τις τοπολογίες που εφαρμόζεται σε αυτό, την tree και επιλέγοντας μια από τις τεχνικές του data aggregation που είναι η structured που βασίζεται στη δομή του δικτύου αναλύσαμε τις παραμέτρους Throughput και End-to-End Delay για αυτό το σύστημα .

Παρατηρήσαμε ότι για το data aggregation υπάρχουν δυο βασικές μέθοδοι όπου είναι η μη εφαρμογή του data aggregation και η χρήση του Heavy Data Aggregation. Στην περίπτωση που εφαρμόζουμε στο παραπάνω δίκτυο No Data Aggregation παρατηρήσαμε ότι είναι ευνοϊκό στην καθυστέρηση μετάδοσης ενώ το Heavy Data

Aggregation είναι ευνοϊκό στη ρυθμαπόδοση του συστήματος και κατ' επέκταση στην εξοικονόμηση ενέργειας μιας και καταφέρνει να μειώσει τον αριθμό των μεταδόσεων . Όμως σε ορισμένες εφαρμογές απαιτείται μικρή καθυστέρηση και μικρή εξοικονόμηση ενέργειας με αποτέλεσμα να εφαρμόζουμε μια πιο Light έκδοση του Data Aggregation. Επιπλέον συγκρίναμε τις ίδιες παραμέτρους για ένα δίκτυο που εφαρμόσαμε μια πιο Light έκδοση του Data Aggregation σε σχέση με το Heavy Data Aggregation και παρατηρήσαμε ότι το Heavy Data Aggregation παραμένει κατάλληλο στην απόδοση του συστήματος αλλά υποφέρει από την καθυστέρηση όμως με το Light Data Aggregation καταφέρνουμε να μειώσουμε την καθυστέρηση μετάδοσης μιας και μειώνεται ο χρόνος αναμονής των δεδομένων στους ενδιάμεσους κόμβους. Επομένως, το Light Data Aggregation είναι μια τεχνική η οποία καταφέρνει να προσαρμόζει το δίκτυο κάθε φορά ανάλογα με τις απαιτήσεις του. Η προσαρμογή αυτή επιτυγχάνεται με τη μεταβολή του χρονομέτρου που έχουμε προσθέσει σε αυτή την τεχνική με αποτέλεσμα οι παράμετροι του συστήματος (Throughput-End-to-End-Delay) να μεταβάλλονται σύμφωνα με το αντικείμενο μελέτης κάθε φορά του συστήματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η Light Data Aggregation τεχνική να είναι πιο ευέλικτη και προσαρμόσιμη σε σχέση με τη Heavy Data Aggregation τεχνική. Τέλος, παρατηρήσαμε ότι παρόλο που διπλασιάσαμε τον αριθμό των κόμβων σε ένα δίκτυο στο οποίο εφαρμόζεται Heavy Data Aggregation η απόδοση του συστήματος παραμένει σε υψηλά επίπεδα σε σχέση με ένα δίκτυο που εφαρμόζεται Light Data Aggregation με λιγότερο αριθμό τερματικών όμως τα δίκτυα αυτά εξακολουθούν να υποφέρουν από άποψη καθυστέρησης.

6.2 Μελλοντική Εργασία:

Όπως παρατηρήσαμε από την παραπάνω εργασία η τεχνική του data aggregation συμβάλλει θετικά στην απόδοση ενός συστήματος και στην περαιτέρω εξοικονόμηση της ενέργειας αυτού μιας και περιορίζει τον αριθμό των μεταδόσεων. Όμως είναι εμφανή από τα αποτελέσματα ότι αυτή η αύξηση της απόδοσης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της καθυστέρησης. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα, οι περαιτέρω μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν ώστε να βρεθούν τρόποι που να περιορίζουν την καθυστέρηση αυτής της τεχνικής.

Συγκεκριμένα θα μπορούσε να αλλάξει δυναμικά τη τοπολογία του δικτύου προκειμένου να περιορίσουμε την καθυστέρηση του συστήματος.

Επιπλέον θα μπορούσε να δημιουργηθεί μια τεχνική του data aggregation η οποία θα επέτρεπε τη συνεργασία δύο από των παραπάνω τεχνικών του data aggregation προκειμένου να περιορίσει και να μειώσει την καθυστέρηση του συστήματος.

Συγκεκριμένα θα μπορούσε να συνδυαστεί η Structured Data Aggregation τεχνική την οποία αναλύσαμε, με τη free data aggregation τεχνική η οποία δεν διατηρεί τη δομή του δικτύου. Σύμφωνα με αυτή τη δυνατότητα εναλλαγής τεχνικών, όταν η Structured Data Aggregation τεχνική αρχίζει να γίνεται ασύμφορη από άποψη καθυστέρησης λόγω αύξησης των τερματικών θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο παραπάνω σύστημα η free data aggregation τεχνική στη οποία η συγκέντρωση των πακέτων γίνεται άμεσα σε έναν κόμβο μιας και αυτή η τεχνική δεν βασίζεται στη δομή του δικτύου με αποτέλεσμα να μειώνει την καθυστέρηση του συστήματος.

Βιβλιογραφία:

1. White Paper: "OVERVIEW of M2M", *Sushant Gupta and Ankit Hirdesh*, Department of Computer and Information Science and Engineering, University of Florida
2. "Machine-to-Machine Communications: Architectures, Standards, and Applications", *Min Chen, Jiafu Wan and Fang Li*, KSII TRANSACTIONS ON INTERNET AND INFORMATION SYSTEMS VOL. 6, NO. 1 (January 2012)
3. White Paper: "Efficient Wireless Communications Schemes for Machine to Machine Communications", Kyungil University, School of Computer Engineering, Gyeongsan, Gyeongbuk, 712-701 Korea (2011)
4. "Home M2M Networks: Architectures, Standards, and QoS Improvement", IEEE Communications Magazine (April 2011)
5. "Global Wireless Machine-to-Machine Standardization", *Kim Chang, Anthony Soong, Mitch Tseng, and Zhixian Xiang*, Huawei Technologies (USA) Published by the IEEE Computer Society (2011)
6. <http://www.m2mcomm.com/about/what-is-m2m/index.html>
7. "M2M: From Mobile to Embedded Internet", *Geng Wu, Shilpa Talwar, Kerstin Johnsson, Nageen Himayat, and Kevin D. Johnson*, Intel, IEEE Communications Magazine (April 2011)
8. "Secure Lossless Aggregation Over Fading and Shadowing Channels for Smart Grid M2M Networks", *Andrea Bartoli, Juan Hernández-Serrano, Miguel Soriano, Mischa Dohler, Senior Member, IEEE, Apostolos Kountouris, and Dominique Barthel*, IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 2, NO. 4, (DECEMBER 2011)
9. "EMERGING STANDARDS FOR WIRELESS MESH TECHNOLOGY", *MYUNG J. LEE AND JIANLIANG ZHENG, CITY UNIVERSITY OF NEW YORK YOUNG-BAE KO AND DEEPESH MAN SHRESTHA, AJOU UNIVERSITY, KOREA* by IEEE Wireless Communications (April 2006)
10. "Topology formation in IEEE 802.15.4: cluster-tree characterization", *F. Cuomo, S. Della Luna, E. Cipollone, P. Todorova, T. Suihko* by IEEE Computer Society (2008)
11. http://www.scribd.com/damini_pandey/d/52483694/9-Cluster-tree-Topology
12. <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1409785&seqNum=4>
13. Technical Report: "Adapting a DHT (Distributed HashTable) to a Self-Reliant M2M (Machineto-Machine) Network", *Jaime Antonio Jiménez Bolonio*, (July 25, 2011)
14. "Secure Lossless Aggregation for Smart Grid M2M Networks", *A. Bartoli, J. Hernández-Serrano, M. Soriano, M. Dohler, A. Kountouris and D. Barthel* by IEEE (2010)
15. White Paper: "Isovector: a New Data Aggregation Method in Sensor Networks", *Cheng Zhong, Michael Worboys*, <http://www.spatial.maine.edu>
16. "Data Aggregation in Wireless Sensor Network", *Nandini. S. Patil, Prof. P. R. Patil* by IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (2010).
17. "An Adaptive Traffic Aware Data Aggregation Technique for Wireless Sensor Networks" by American Journal of Scientific Research ISSN 1450-223X Issue 10 (2010), pp. 64-77.
18. "EXPLORING DATA AGGREGATION TECHNIQUES IN WIRELESS NETWORKS ON THE BASIS OF NETWORK TOPOLOGY AND THEIR SECURITY ISSUES", *Anil kumar.talasila, Shanmukha Babu.kotha, Venkata Varaprasad.padyala, Venkateswarlu.S.* by IJESAT, <http://ijesat.org>, Jan-Feb 2012

19. Technical Report: "Data Aggregation Techniques in Sensor Network", *Karthikeyan Vaidyanathan, Sayantan Sur, Sundeep Narravula, Prasun Sinha*, Computer Science and Engineering, The Ohio State University.
20. <http://www.eetimes.com/electronics-news/4234833/Seven-standards-bodies-form-global-M2M-initiative>
21. http://www.etsi.org/WebSite/NewsandEvents/200902_M2M.aspx
22. Review Article: "M2M Communications in the Smart Grid: Applications, Standards, Enabling Technologies, and Research Challenges", *Siok Kheng Tan, Mahesh Sooriyabandara, and Zhong Fan*, Telecommunications Research Laboratory, Toshiba Research Europe Ltd., 32 Queen Square, Bristol BS1 4ND, UK (26 May 2011)
23. <http://www.cwt.vt.edu/faq/80211.htm>
24. White Paper: "Towards Management of Machine to Machine Networks", *Suman Pandey, Mi-Jung Choi, Myung-Sup Kim, and James W. Hong* by <http://dpm.postech.ac.kr/papers/>, (Sept. 2011)
25. White Paper: "System Architecture Challenges in the Home M2M Network", *Michael Starsinic, Member IEEE InterDigital Communications, LLCKing of Prussia*, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login>. PA(2010)
26. "Towards Intelligent Machine-to-Machine Communications in Smart Grid", *Zubair Md. Fadlullah, Mostafa M. Fouda, Nei Kato, Akira Takeuchi, Noboru Iwasaki, and Yousuke Nozaki*, IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 4, pp. 60 - 65, (April 2011).
27. Book chapter: "Lossy Data Aggregation with Network Coding in Stand-Alone WSNs" *Tatiana K. Madsen*, pp. 251–261, (2011)
28. "Energy-efficient and localized lossy data aggregation in asynchronous sensor networks", *J. Zhang, X. Shen, H. Zeng, G. Dai, C. Bo, F. Chen and C. Lv* by *Int. J. Commun. Syst.*, wileyonlinelibrary.com, (2012)
29. White Paper : "Poster Abstract: A Clustering Method that Uses Lossy Aggregation of Data", *Apoorva Jindal, Konstantinos Psounis*, www-scf.usc.edu, (2004)
30. "Feedback Control of Data Aggregation in Sensor Networks", *Tarek Abdelzaher, Tian He, John Stankovic* by IEEE, (2004)
31. "A review on data aggregation techniques in wireless sensor network", *Vaibhav Pandey, Amarjeet Kaur and Narottam Chand*, by *Journal of Electronic and Electrical Engineering*, Issue 2, pp-01-08, (2010)
32. "Structure-free Data Aggregation in Sensor Networks", *Kai-Wei Fan, Sha Liu, and Prasun Sinha* by IEEE, (2007)
33. "A COST EFFECTIVE COMPRESSIVE DATA AGGREGATION TECHNIQUE FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS", *M.Y. Mohamed Yacoab, Dr.V.Sundaram and Dr.A.Thajudeen* by IJASUC) Vol.1, No.4, (December 2010)
34. White Paper : "Efficient Continuous Mapping in Sensor Networks Using Isolines", *Ignacio Solis and Katia Obraczka*, Computer Engineering Department University of California, <http://inrg.cse.ucsc.edu>, (April 15, 2005)
35. "Energy efficient wireless unicast routing alternatives for machine-to-machine networks", *Neyre Tekbiyik, Elif Uysal-Biyikoglu*, Department of Electrical and Electronics Engineering, Middle East Technical University, (11 March 2011)

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ

	Σελίδα
Πίνακας 1: M2M Τεχνολογίες	9
Πίνακας 2: M2M Τεχνικές προτυποποίησης.....	11
Πίνακας 3: M2M Standards.....	13
Πίνακας 4: M2M εφαρμογές.....	14
Πίνακας 5: M2M ασύρματες τεχνολογίες.....	16
Πίνακας 6: Παράμετροι προσομοίωσης.....	31

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ-ΕΙΚΟΝΩΝ**Σελίδα**

Εικόνα1: M2M δυνατότητες επέκτασης στην αγορά (Source: Ventura Team Analysis).....	7
Εικόνα2:Αρχιτεκτονική M2M.....	8
Εικόνα3:Home- health care- smart grid(Networks).....	15
Εικόνα4:Peer-to-Peer Topology.....	18
Εικόνα5:point-to-multipoint topology.....	18
Εικόνα6:Mesh topology.....	19
Εικόνα7:a)point-to-multipoint mode b) mesh mode.....	20
Εικόνα8:Tree topology.....	21
Εικόνα9:Cluster tree topology.....	22
Εικόνα10:An InNetwork Data Aggregation Scheme.....	23
Εικόνα11:A Grid based Data Aggregation Scheme.....	24
Εικόνα12:An Hybrid Data Aggregation Scheme.....	24
Εικόνα13:Γενική αρχιτεκτονική του αλγορίθμου Data aggregation.....	25
Εικόνα14:Μηχανισμός Packet Aggregation.....	32
Εικόνα15:Δίκτυο Γραφείου.....	33
Εικόνα16:Tree Based Structure.....	33
Εικόνα17:Node Model του Zigbee δικτύου.....	34
Εικόνα18:Process Model του Zigbee δικτύου.....	34
Εικόνα19:Total Delay of Event (No_Aggregation).....	37
Εικόνα20. Total Delay of Event (Data Aggregation).....	38
Εικόνα21. Total Delay of Event (Light Data Aggregation).....	41

Διάγραμμα1:Throughput για το Zigbee Tree No Data Aggregation	
- Zigbee Tree Data Aggregation.....	36
Διάγραμμα2: End-to-End Delay για το Zigbee Tree No Data Aggregation	
- Zigbee Tree Data Aggregation.....	39
Διάγραμμα3:Throughput για το Zigbee Tree Heavy Data Aggregation	
- Zigbee Tree Light Data Aggregation.....	40
Διάγραμμα4:End-to-End Delay για το Zigbee Tree Heavy Data Aggregation	
- Zigbee Tree Light Data Aggregation.....	42
Διάγραμμα 5:Throughput για το Zigbee Tree Light Data Aggregation (18 ZED)	
-Zigbee Tree Data Aggregation(36 ZED).....	43
Διάγραμμα 6:End-to-End Delay για το Zigbee Tree Data Aggregation(36ZED-18ZED-9ZED)	
.....	44