



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ  
(GREEN NETWORKS) ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 4<sup>ΗΣ</sup> ΚΑΙ 5<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ  
(4G & 5G)**

Δημήτριος Καραάκης  
Κωνσταντίνος Ψαριάης

Επιβλέπων: Νικόλαος Γιαννακέας

Επίκουρος Καθηγητής

Άρτα, Αύγουστος 2022

**GREEN NETWORK TECHNIQUES AND TECHNOLOGIES  
FOR 4G AND 5G NETWORKS**

**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Άρτα, 01/9/2022

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπων καθηγητής

Νικόλαος Γιαννακέας, Επίκουρος Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Αλέξανδρος Τζάλλας, Επίκουρος Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Δημήτριος Δημόπουλος, Πανεπιστημιακός Υπότροφος

Ο Προϊστάμενος του Τμήματος

Ευριπίδης Γλαβάς,

Καθηγητής, Α' βαθμίδα

Υπογραφή

© Δημήτριος Καράκης & Κωνσταντίνος Ψαριάης, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**Δήλωση μη λογοκλοπής**

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Δημήτριος Καράκης  
Κωνσταντίνος Ψαριάης

Υπογραφή

Υπογραφή

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή μας εργασία κάναμε ερεύνα πάνω στο IOT δίκτυα στα 4<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> γενιάς. Στο πρώτο κεφάλαιο μιλάμε για τα πράσινα κυψελοειδή δίκτυα και για το πως ανιχνεύεται το φάσμα καθώς και η αξιοποίηση του ραδιοφάσματος σε συνεργασία με τα δίκτυα. Επίσης γίνεται αναφορά και για μελλοντικές εργασίες. Στο δεύτερο κεφάλαιο μιλάμε για το Πράσινο IOT δίκτυο σε Network Caching, για μελέτες που έχουν γίνει καθώς και για τις βασικές αρχές. Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο μιλάμε για έρευνες πάνω σε πρακτικές λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας από το 2020 και μετά όπου και ήρθε το 5G στην καθημερινότητα μας. Προτείνουμε τρόπους δημιουργίας πράσινων IOT δικτύων για το σήμερα αλλά και για το μέλλον.

## ABSTRACT

In our thesis we conducted research on the IOT networks in the<sup>4th</sup> and <sup>5th</sup> generation. In the first chapter we talk about green cellular networks and how spectrum and spectrum utilization are detected in cooperation with networks. There is also talk of future work. In the second chapter we talk about the Green IOT network in Network Caching, for studies that have been done as well as for the basic principles. In the third and final chapter we talk about research on practical energy saving solutions from 2020 onwards when 5G came into our daily lives. We propose ways to create green IOT networks for today and for the future.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ6

ABSTRACT7

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ8

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ9

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ10

1. Συνεργασία Γνωστικού Δικτύου για Πράσινα Κυψελοειδή Δίκτυα11

1.1 Εισαγωγή11

1.2 Ανίχνευση φάσματος Που βασίζεται στη γνωστική λειτουργία15

1.3 Αξιοποίηση των οπών ραδιοφάσματος με τη βοήθεια της συνεργασίας δικτύων18

1.4 Μελέτη περίπτωσης: Ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα κυψελοειδών επικοινωνιών22

1.5 Συμπεράσματα και μελλοντικές εργασίες29

2. In-Network Caching για το πράσινο δίκτυο των IOT31

2.1 Εισαγωγή31

2.2 Οι βασικές αρχές της ενδοεταιρίας για το πράσινο IoT34

2.2.1 Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογής35

2.2.2 Οι Υλοποιήσεις των Μεσιτών37

2.3 Το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια του δικτύου για το πράσινο IoT39

2.4 Περιπτώσιολογική Μελέτη45

2.5 Συμπέρασμα και μελλοντική κατεύθυνση49

3. Green IoT: Έρευνα σχετικά με τις πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας για το 2020 και μετά51

3.1 Εισαγωγή51

3.2 Τάσεις IoT53

3.3 Διαφορετικοί τρόποι για να κάνετε το IoT ένα πράσινο IoT55

3.4 Σύγκριση απόδοσης64

3.5 Μελέτη περίπτωσης: Αντίκτυπος έξυπνων τηλεφώνων στο περιβάλλον65



3.6 Συζήτηση και Ανοιχτά Θέματα69

3.7 Συμπέρασμα72

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ73

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1** Σύγκριση μεταξύ του ενεργειακού ανιχνευτή, του αντιστοιχισμένου ανιχνευτή φίλτρων, και του ανιχνευτή εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων17

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2** Παράμετροι συστήματος που χρησιμοποιούνται στην αριθμητική αξιολόγηση27

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3** Εφαρμογές του ΙοT54

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4** Συγκριτική ανάλυση διαφορετικών πράσινων προσεγγίσεων ΙοT55

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5** Εκπομπή έξυπνων τηλεφώνων69

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6** Ποσοστό εκπομπών CO271

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7** Ποσοστό πώλησης έξυπνων τηλεφώνων71

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 1.** Ένα ετερογενές ασύρματο περιβάλλον που αποτελείται από δίκτυα Bluetooth, Wi-Fi και κυψελοειδών δικτύων.19

**Εικόνα 2.** Μοντέλο αναφοράς πρωτοκόλλου της συνεργασίας του γνωστικού δικτύου.21

**Εικόνα 3.** Η κοινή γνώση και συνεργασία βοήθησε τα κυψελοειδή ασύρματα δίκτυα.23

**Εικόνα 4.** Δομές χρονοθυρίδων διαφορετικών συστημάτων μεταφοράς: α) η προτεινόμενη κοινή γνώση και συνεργασία, β) καθαρή συνεργασία και γ) καθαρή γνώση.24

**Εικόνα 5.** Ενεργειακή απόδοση έναντι πιθανότητας διακοπής της παραδοσιακής άμεσης μετάδοσης, καθαρή γνώση, καθαρή συνεργασία καθώς και τα προτεινόμενα κοινά συστήματα γνώσης και συνεργασίας με το  $P_a=0,8$  , όπου το  $P_a$  αντιπροσωπεύει την πιθανότητα ότι ένα τηλεοπτικό κανάλι είναι ακατοίκητο από την TVS και διατίθεται για κυψελοειδείς επικοινωνίες.28

**Εικόνα 6.** Ένα παράδειγμα της πολυεπίπεδης δομής IoT.35

**Εικόνα 7.** Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογής, δηλαδή α) CoAP και β) CoAP Pub/Sub.36

**Εικόνα 8.** Οι συνδυασμένες διαδικασίες ανάκτησης στο πλαίσιο του προτεινόμενου καθεστώτος περιστολής στο δίκτυο.45

**Εικόνα 9.** Η συνολική κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων υπό διαφορετικές απαιτήσεις χρονικής καθυστέρησης των πελατών.47

**Εικόνα 10.** Η συνολική κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ πελατών και κόμβων αισθητήρων.47

**Εικόνα 11.** Ο αριθμός των bit δεδομένων που ανακτώνται από μεσίτες υπό διαφορετικές απαιτήσεις χρονικής καθυστέρησης των πελατών.48

**Εικόνα 12.** Ο αριθμός των bit δεδομένων που ανακτώνται από μεσίτες σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ πελατών και κόμβων αισθητήρων.49

**Εικόνα 13.** Αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο συσκευών.52

**Εικόνα 14.** Πράσινο ίντερνετ των πραγμάτων.55

**Εικόνα 15.** Ταξινομία πράσινων τεχνικών IoT.57

**Εικόνα 16.** Πράσινες αρχές IoT.64

**Εικόνα 17.** Αξιολόγηση κύκλου ζωής των έξυπνων τηλεφώνων.68

**Εικόνα 18.** Πρόβλεψη που απεικονίζει την εκπομπή CO<sub>2</sub> των έξυπνων τηλεφώνων.69

**Εικόνα 19.** Οικονομικές επιπτώσεις του IoT71

**Εικόνα 20.** Προβλέψεις εκπομπών CO<sub>2</sub>.72



# Κεφάλαιο 1

## 1. Συνεργασία Γνωστικού Δικτύου για Πράσινα Κυψελοειδή Δίκτυα

### 1.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες σημειώθηκε εκρηκτική ανάπτυξη στην ανάπτυξη και εφαρμογή ολοένα και πιο εξελιγμένων ασύρματων δικτύων. Η ταχεία ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών έχει αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας τόσο για τους παρόχους υπηρεσιών όσο και για τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Αυτές οι εφαρμογές εικόνας και βίντεο (όπως βιντεοπαιχνίδια) εξαντλούν γρήγορα την μπαταρία της κινητής συσκευής σας. Συγκεκριμένα, οι φορητές συσκευές δεύτερης γενιάς (2G) έχουν σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας 1~2W, ενώ τα κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς (3G) καταναλώνουν διπλάσια ισχύ. Τα δίττα τέταρτης γενιάς (4G) αναμένεται να διπλασιάσουν την κατανάλωση ενέργειας των συσκευών 3G. Όπως αναφέρθηκε στο [1], εκτός εάν ληφθούν μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των κινητών, τα 4G θα λειτουργούν μόνο σε ορισμένες τοποθεσίες. Όπου υπάρχει μια υποδοχή φόρτισης. Επομένως, για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας του τερματικού χρήστη, είναι πολύ σημαντικό να αναζητήσετε μια ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας. Από τη στιγμή που γράφεται αυτό το άρθρο, η γνώση και η συνεργασία θα πρέπει να είναι βασικές τεχνολογίες σχεδιασμένες για πράσινες ασύρματες επικοινωνίες.

Η σημασία του ραδιοφώνου (CR) το καθιστά μία από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες για τη διαχείριση του φάσματος στις ασύρματες επικοινωνίες, επιτρέποντας δυναμική πρόσβαση στο φάσμα. Όπως συζητήθηκε στο [2], η διαδικασία μετάδοσης CR αποτελείται γενικά από δύο φάσεις: 1) τη φάση ανίχνευσης ραδιοφάσματος, στην οποία οι χρήστες CR προσπαθούν να βρουν το αχρησιμοποίητο φάσμα (που ονομάζεται τρύπα φάσματος), π.χ. Στη ζώνη συχνοτήτων της τηλεόρασης και, δεύτερον, στη φάση της γνωστικής μετάδοσης, οι χρήστες CR μοιράζονται δεδομένα σε διαστήματα που ανιχνεύονται στο ραδιοφάσμα. Ως εκ τούτου,

πολυάριθμες ερευνητικές προσπάθειες έχουν αφιερωθεί στην έννοια του CR, οι περισσότερες από τις οποίες επικεντρώνονται στην ανίχνευση, πρόσβαση, κατανομή και κοινή χρήση του ραδιοφάσματος [3-4], με στόχο τη βελτίωση της φασματικής απόδοσης και όχι της ενεργειακής απόδοσης. [5], ο Shannon έδειξε ότι η χωρητικότητα του καναλιού είναι γραμμικά ανάλογη με το εύρος ζώνης, αλλά μόνο λογαριθμικά για τη μετάδοση ισχύος. Είναι επίσης εύκολο να δούμε ότι η χωρητικότητα γίνεται όλο και πιο ισχυρή καθώς το εύρος ζώνης πηγαίνει στο άπειρο. Με απλά λόγια, η χρήση πρόσθετου φασματικού εύρους ζώνης σε μια δεδομένη χωρητικότητα μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ισχύος μετάδοσης για να διατηρηθεί κάποια χωρητικότητα στο κανάλι, επιδεικνύοντας την κλασική ισορροπία μεταξύ ισχύος και απόδοσης εύρους ζώνης. Έχει αναφερθεί ότι οι πάροχοι δικτύων κινητής τηλεφωνίας μπορούν να εξοικονομήσουν σχεδόν το 50% της συνολικής ενέργειας όταν χρησιμοποιούν τεχνολογία CR για τη διαχείριση των ζωνών ασύρματου φάσματος τους. Ως αποτέλεσμα, το CR έχει γίνει μια από τις βασικές τεχνολογίες για μελλοντικά πράσινα ασύρματα δίκτυα.

Η συνεργασία στην επικοινωνία αναγνωρίζεται επίσης ευρέως ως σημαντικό ερευνητικό θέμα στην ασύρματη επικοινωνία [7-9]. Αυτή η συνεργατική επικοινωνία επιτρέπει στους υπερκατανεμημένους κόμβους δικτύου να αυξήσουν το ενδιαφέρον τους ο ένας για τον άλλον, γεγονός που παρέχει μια νέα προοπτική για τη βελτιστοποίηση ασύρματου δικτύου. Αυτή η γραμμή εργασίας ξεκίνησε από [7], όπου διάφορα συνεργατικά πρωτόκολλα μεταφοράς (δηλ., σταθερή μεταφορά, εκλεκτική αναμεάλυση, και σταδιακή μεταφορά) μελετήθηκαν τόσο από την άποψη του εφικτού ποσοστού όσο και της πιθανότητας διακοπής. [8], εξετάστηκε περαιτέρω η απασχόληση της κωδικοποίησης του χωροχρόνου σε συνεργατικά ασύρματα δίκτυα, γεγονός που δείχνει σημαντική βελτίωση των επιδόσεων διακοπής της εργασίας μέσω της συνεργασίας των χρηστών. [9] Οι συνεργατικές τεχνικές έχουν αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την αξιοπιστία της μετάδοσης με τη βοήθεια του κέρδους της χωρικής ποικιλομορφίας τους ή/και αυξάνουν την απόδοση του συστήματος μέσω της συγκέντρωσης πόρων. Τώρα, έχουν ήδη εφαρμοστεί αρχιτεκτονικές επικοινωνίας σε διάφορα πρότυπα ασύρματης δικτύωσης όπως τα συστήματα IEEE 802.16j και Advanced Long Term Evolution (LTE). Φυσικά, εκτός από τη βελτίωση της αξιοπιστίας και της απόδοσης, αυτή η συνεργατική επικοινωνία παρέχει επίσης πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας για ασύρματα δίκτυα. Για παράδειγμα, στα δίκτυα που

είναι κυψελωτά κυψελωτά, εάν ένας χρήστης βρίσκεται στην άκρη της σχετικής κυψέλης, δηλαδή στην ακμή της κυψέλης, συνήθως απαιτείται μεγάλη ισχύς μετάδοσης για να διατηρηθεί η απαίτηση ποιότητα εξυπηρέτησης (QoS) στην αυξανόμενη ζεύξη (UL), το οποίο θα καταναλώσει σε μεγάλο βαθμό την ισχύ της μπαταρίας του χρήστη και μπορεί επίσης να προκαλέσει σοβαρές παρεμβολές μεταξύ των καναλιών. Σε αυτή την περίπτωση, η επιλογή ενός κατάλληλου ηλεκτρονόμου για να βοηθήσει τη μετάδοση δεδομένων του χρήστη στην άκρη του κελιού είναι ικανή να μειώσει αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας. Για παράδειγμα, έχοντας μια τέλεια-ανακατασκευή decode-and-forward ρελέ στα μισά του δρόμου μεταξύ της BS και της MS στην περίπτωση ενός αντίστροφου νόμου τέταρτης ισχύος μειώνει την απαιτούμενη ισχύ κατά 12dB, δηλαδή, πάνω από μια τάξη μεγέθους. Οπότε, έχει μεγάλο ενδιαφέρον να μελετηθούν τεχνικές συνεργασίας εξοικονόμησης ενέργειας σε κυψελωτά δίκτυα, ειδικά για χρήστες που είναι στα κυψελοειδοί περιφερειακά.

Με λίγα λόγια, οι ασύρματες συσκευές του σήμερα είναι όπως και η κατανάλωση ενέργειας. Για την ακρίβεια, τόσο το Bluetooth όσο και το Wi-Fi παρέχουν τοπική κάλυψη χαμηλής ενέργειας, ενώ το LTE προσφέρει ευρύτερη κάλυψη, αλλά δυστυχώς με μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Με γνώμονα ότι παρατηρούνται διαφορετικά ασύρματα δίκτυα συμπληρώνουν το ένα το άλλο, έγινε περαιτέρω έρευνα για τη συνεργασία μεταξύ πολλών διαφορετικών ασύρματων δικτύων (π.χ. Bluetooth και LTE) [10], η οποία μπορούμε να την πούμε συνεργασία δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, εξετάσαμε τη χρήση του Bluetooth για να βοηθήσουμε τις μεταδόσεις LTE για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κυψελοειδών επικοινωνιών. [10] αποδείχθηκε ότι δεδομένου του συγκεκριμένου ποσοστού δεδομένων στόχου και των απαιτήσεων πιθανότητας διακοπής ρεύματος, η συνεργασία δικτύου έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας των κυψελοειδών μεταδόσεων, ειδικά όταν οι φορητοί σταθμοί (MSs) περιφέρονται στην άκρη ενός κυττάρου.

Όμως, τα χαρακτηριστικά για τη συνεργασία δικτύου [10] δεν πάρθηκαν υπόψη, αφήνοντας αχρησιμοποίητες ζώνες φάσματος που αλλιώς θα μπορούσαν να έχουν αξιοποιηθεί 100% για βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης. Στο κεφάλαιο αυτό, με γνώμονα αυτές τις σκέψεις, παρατηρούμε την ενσωμάτωση των λειτουργιών CR στο πλαίσιο που αναφέραμε για την συνεργασία δικτύου, που μπορούμε να την πούμε ως

συνεργασία γνωστικού δικτύου. Στο προτεινόμενο πλαίσιο, οι κυψελωτές συσκευές μπορούν πρώτα να ανιχνεύσουν κενά στο φάσμα μέσω ανίχνευσης φάσματος. Στη συνέχεια, γίνεται επίκληση της συνεργασίας δικτύου για την αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων θυρίδων φάσματος για πράσινες επικοινωνίες.

Τα πλεονεκτήματα της γνώσης μελετήθηκαν για τις κυψελοειδείς επικοινωνίες [11], όπου έγινε στόχος για το πόσο μπορεί να προσεγγίσει την επικάλυψη για την κοινή χρήση ραδιοφάσματος μεταξύ ενός συστήματος για τηλεοπτική μετάδοση και ενός συστήματος για κινητή τηλεφωνία. Η επικάλυπτουσα κατανομή του ραδιοφάσματος αποδείχθηκε επωφελής όσον αφορά την αύξηση της ικανότητας τόσο της καθοπτής σύνδεσης όσο και της σύνδεσης των κυψελοειδών επικοινωνιών. [12], η γνωστική τεχνική μελετήθηκε επίσης στα κυψελοειδή δίκτυα για την ευφυή κατανομή των πόρων δικτύων για να μετριάσει τις επιπτώσεις της παρέμβασης από κοινού καναλιών. Επιπρόσθετα, στο [13], ερευνήθηκε η συνεργασία μεταξύ πολλών τεχνολογιών ραδιοεπικοινωνίας (RAT) στο πλαίσιο διαφορετικών ασύρματων δικτύων. [13] Αποδείχθηκε ότι η πολυεπίπεδη και πολυ-RAT ανάπτυξη είναι σε θέση να ενισχύσει την κάλυψη δικτύων σε σύγκριση με τα ενιαία κυψελοειδή συστήματα. Αν και οι γνώσεις και οι τεχνικές συνεργασίας έχουν μελετηθεί σε κυψελωτά δίκτυα [11] - [12] [13], αυτές οι ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώθηκαν στη βελτίωση της χωρητικότητας και της κάλυψης του δικτύου, αντί στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ασύρματων δικτύων. Πιο πρόσφατα, [14] και [15], έχει γίνει επίκληση της συγκομιδής ενέργειας (EH) για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Σε αντίθεση με τις μεθόδους βελτίωσης της χωρητικότητας του δικτύου [11]–[12][13], σκοπεύουμε να εκμεταλλευτούμε τα κοινά οφέλη της γνώσης και της συνεργασίας για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των κυψελοειδών επικοινωνιών.

Οι κύριες συνεισφορές αυτής της εργασίας συνοψίζονται ως εξής. Πρώτον, προτείνουμε ένα πλαίσιο συνεργασίας για το γνωστικό δίκτυο, όπου διαφορετικά ασύρματα δίκτυα συνεργάζονται γνωστικά μεταξύ τους για τη βελτίωση της εφικτής ενεργειακής απόδοσης των ασύρματων επικοινωνιών. Δεύτερον, παρουσιάζουμε την κοινή γνώση και συνεργασία που υποβοηθούν τη φιλοσοφία των κυψελοειδών επικοινωνιών και ποσοτικοποιούμε τα οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας σε σύγκριση τόσο με την παραδοσιακή άμεση μετάδοση όσο και με την καθαρή γνώση και την καθαρή συνεργασία. Τέλος, αποκαλύπτουμε την αντιστάθμιση μεταξύ της

απόδοσης ισχύος και της απόδοσης σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας, δείχνοντας ότι η ενεργειακή απόδοση των κυψελοειδών επικοινωνιών βελτιώνεται καθώς μειώνεται η απόδοση της διακοπής.

Το επόμενο κομμάτι σε αυτό το κεφάλαιο διαμορφώνεται ως εξής. Το τμήμα II εξετάζει συνοπτικά τις προσεγγίσεις ανίχνευσης ραδιοφάσματος που έχουν σχεδιαστεί για την ανίχνευση κενών στο φάσμα με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο. Στο Τμήμα III, συζητάμε το πλαίσιο συνεργασίας του γνωστικού δικτύου που επικαλείται για την αποτελεσματική αξιοποίηση των οπών ραδιοφάσματος για τη μείωση της ενέργειας στα κυψελοειδή δίκτυα. Στη συνέχεια, η ενότητα IV παρουσιάζει τη μελέτη περίπτωσης ενός σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικού κυψελοειδούς δικτύου και δείχνει ότι η ενεργειακή απόδοση των κυψελοειδών επικοινωνιών μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την ταυτόχρονη χρήση γνώσης και συνεργασίας. Τέλος, υποβάλλουμε ορισμένες τελικές παρατηρήσεις στο τμήμα V.

## 1.2 Ανίχνευση φάσματος Που βασίζεται στη γνωστική λειτουργία

Αυτή η ενότητα επικεντρώνεται κυρίως στον εντοπισμό οπών φάσματος μέσω γνωστικών λειτουργιών. Σύμφωνα με τη χωρητικότητα Shannon ενός κλεμμένου θορυβώδους καναλιού [5], υπάρχει μια αντιστάθμιση μεταξύ του εύρους ζώνης και της ενεργειακής απόδοσης, που σημαίνει ότι η αύξηση του εύρους ζώνης μετάδοσης μπορεί να μειώσει την ισχύ μετάδοσης χωρίς να υποβαθμίσει την ικανότητα του καναλιού. Εν τω μεταξύ, οι σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι η κατοχή του αδειοδοτημένου φάσματος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 15% και 85%, επομένως ένα μεγάλο μέρος του φάσματος υποχρησιμοποιείται [2]. Ποιο συγκεκριμένα, ορισμένες ζώνες συχνοτήτων, όπως οι τηλεοπτικές ζώνες, δεν υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό από τους χρήστες που έχουν εξουσιοδότηση όπως και με χρήστες σε ορισμένες τοποθεσίες και σε ορισμένες χρονικές περιόδους. Εν ολίγοις, είναι χρήσιμο να εντοπιστεί και να χρησιμοποιηθεί το αχρησιμοποίητο φάσμα σε αυτές τις ζώνες για κυψελοειδείς επικοινωνίες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ικανοποιώντας τις απαιτήσεις τόσο μετάδοσης όσο και QoS.

Έχουμε 2 τυπικά φάσματα, έχουμε τις χρονικές και τις χωρικές ευκαιρίες φάσματος. Ποιο συγκεκριμένα, εάν 1 ζώνη φάσματος δεν βρίσκεται σε χρήστες που έχουν άδεια



ή χρήστες που οποιαδήποτε στιγμή, μπορούμε να την ξανα χρησιμοποιήσουν προσωρινά για τους χρήστες που δεν έχουν άδεια, κάτι που αναφέρεται ως ευκαιρία φάσματος χρόνου. Αντίθετα, εάν οι αδειοδοτημένοι και οι μη αδειοδοτημένοι χρήστες απέχουν αρκετά μεταξύ τους ώστε να μην επιβάλλονται υπερβολικές παρεμβολές κατά τη μετάδοση στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, οι χρήστες χωρίς άδεια μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν πλήρως τη φασματική ζώνη των αδειοδοτημένων χρηστών, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως φασματική ευκαιρία [16]. [17].

Στην πιο πρόσφατη βιβλιογραφία για την ανίχνευση ραδιοφάσματος, τρεις τύποι μεθόδων ανίχνευσης σήματος έχουν εξεταστεί για την ανίχνευση οπών στο ραδιοφάσμα: ανίχνευση ενέργειας (ED), ταιριαστό φίλτράρισμα (MF) και εξαγωγή χαρακτηριστικών (FE) [3]. Σε ένα γενικότερο βήμα, ο ανιχνευτής ενέργειας συσσωρεύει την ενέργεια του σήματος που λαμβάνεται σε μια δεδομένη ζώνη συχνοτήτων και τη συγκρίνει με ένα προκαθορισμένο όριο για να προσδιορίσει εάν αυτή η φασματική ζώνη καταλαμβάνεται από έναν εξουσιοδοτημένο χρήστη. Συγκεκριμένα, η παρατηρούμενη ζώνη ραδιοφάσματος θεωρείται ανενεργή εάν η συσσωρευμένη ενέργεια είναι κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Διαφορετικά, ένας πιστοποιημένος χρήστης θεωρείται ότι έχει καταλάβει το βασίλειο. Επειδή οι ED δεν μπορούν εύκολα να διακρίνουν το επιθυμητό σήμα από παρεμβολές και θόρυβο, οι παρεμβολές και ο θόρυβος είναι επιρρεπείς σε συμβάντα ανίχνευσης ή ψευδείς συναγερμούς. Ως εκ τούτου, οι ανιχνευτές που βασίζονται σε MF έχουν προταθεί ως αποτελεσματικά εργαλεία κατά των παρεμβολών, τα οποία θεωρούνται βέλτιστοι ανιχνευτές περιβάλλοντος (AWGN) [3]. Ωστόσο, το MF απαιτεί προηγούμενη γνώση του κύριου σήματος που πρέπει να ανιχνευθεί, όπως το σχήμα παλμού, ο τύπος διαμόρφωσης κ.λπ.

Ως άλλη εναλλακτική, οι ανιχνευτές με υποβοήθηση εξαγωγής χαρακτηριστικών (όπως το Cyclostatic FE) είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση ανίχνευσης που μπορεί να διακρίνει αποτελεσματικά το υποκείμενο σήμα τόσο από το θόρυβο του περιβάλλοντος όσο και από παρεμβολές. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, οι ανιχνευτές FE έχουν ανοσία στον θόρυβο περιβάλλοντος ακόμη και σε σενάρια πολύ χαμηλής αναλογίας σήματος προς θόρυβο (SNR). Φυσικά, αυτά τα πλεονεκτήματα των ανιχνευτών FE απαιτούν τη θυσία της υψηλής υπολογιστικής πολυπλοκότητας καθώς απαιτούνται πρόσθετες διαδικασίες εκπαίδευσης για την εξαγωγή των σχετικών χαρακτηριστικών σήματος. Λόγω αυτής της υψηλής υπολογιστικής πολυπλοκότητας,

οι ανιχνευτές FE καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από τους ανιχνευτές ED και MF. Ο Πίνακας 1 παρέχει μια γενική περίληψη των τριών τύπων ανιχνευτών όσον αφορά την ευρωστία σε σχέση με την αβεβαιότητα στη διασπορά του θορύβου, τις απαιτήσεις βασικής γνώσης, την επιβαλλόμενη υπολογιστική πολυπλοκότητα και την κατανάλωση ενέργειας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1** Σύγκριση μεταξύ του ενεργειακού ανιχνευτή, του αντιστοιχισμένου ανιχνευτή φίλτρων, και του ανιχνευτή εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων

	Noise variance uncertainty [6, 7]	Prior knowledge	Computation complexity	Energy consumption
Energy detector	sensitive	low	low	low
Matched filter detector	moderate	high	moderate	moderate
Feature detector	robust	moderate	high	high

Τόσο ο ανιχνευτής ED και MF όσο και ο ανιχνευτής FE συνήθως αποδίδουν καλά σε περιβάλλοντα θορύβου Gauss, αλλά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του δέκτη τους (ROC) υποβαθμίζονται σημαντικά σε σενάρια ασύρματης εξασθένισης. Ειδικότερα, εάν αντιμετωπιστεί βαθύ σβήσιμο, το επιθυμητό σήμα που λαμβάνεται από έναν χρήστη χωρίς άδεια μπορεί να γίνει πολύ αδύναμο για να ανιχνευθεί από τους προαναφερθέντες ανιχνευτές ED, MF και FE, προκαλώντας έτσι υποβάθμιση της απόδοσης. Για την καταπολέμηση των φαινομένων εξασθένισης, μπορεί να γίνει επίκληση της συνεργατικής ανίχνευσης φάσματος [2] που επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να συνεργάζονται μεταξύ τους για να εντοπίσουν κενά φάσματος, όπου πολλοί χρήστες πρώτα σαρώνουν τις αδειοδοτημένες ζώνες φάσματος και στη συνέχεια αναφέρουν τις ανεξάρτητες παρατηρήσεις τους σε ένα κέντρο σύντηξης για τελική απόφαση σχετικά με την ανενεργή ή απασχολημένη κατάσταση των σαρωμένων φασματικών ζωνών. Έχει αποδειχθεί στο [2] ότι η συνεργατική ανίχνευση φάσματος υπερβαίνει σημαντικά τις συμβατικές μη συνεργατικές προσεγγίσεις. Αυτό, ωστόσο, έρχεται σε βάρος της πρόσθετης κατανάλωσης ενέργειας, καθώς η συνεργατική ανίχνευση φάσματος καταναλώνει πρόσθετη ισχύ κατά τη φάση αναφοράς. Για το σκοπό αυτό, μια άλλη εναλλακτική σχεδιασμού για την ανίχνευση ραδιοφάσματος είναι η ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων που θα

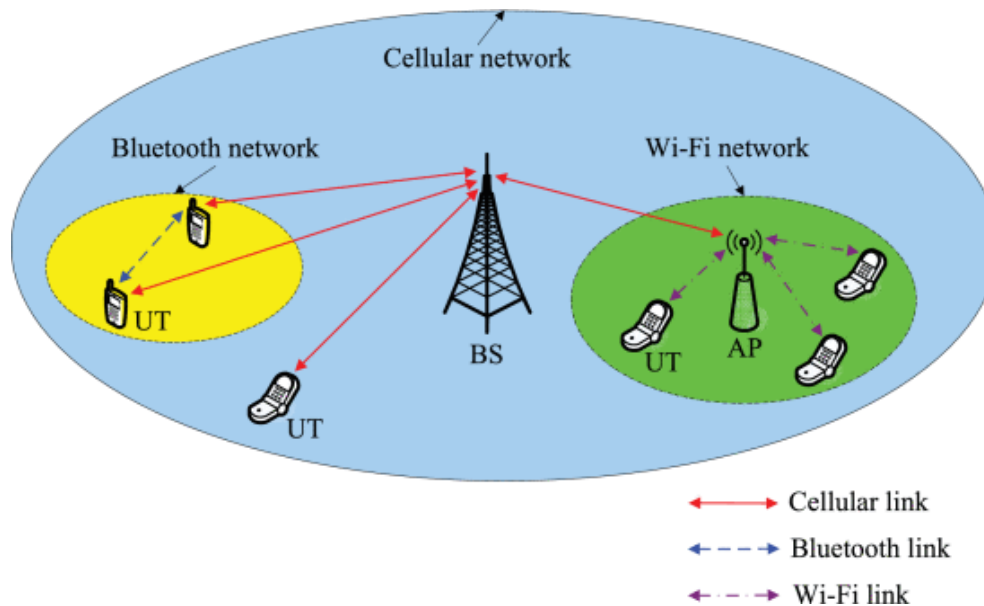
διατηρεί και θα ενημερώνει περιοδικά πληροφορίες σχετικά με την κατοχή φάσματος με άδεια σε μια δεδομένη γεωγραφική τοποθεσία.

Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, κάθε απατεώνας χρήστης μπορεί εύκολα να έχει πρόσβαση στο επιθυμητό αχρησιμοποίητο και διαθέσιμο φάσμα ελέγχοντας τη βάση δεδομένων που έχει οριστεί στην τρέχουσα γεωγραφική του θέση. Αν και αυτό το χαρακτηριστικό είναι μια ενεργειακά αποδοτική λύση, υποβαθμίζει την απόδοση του ROC επειδή η φασματική οπή προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας ένα υποκείμενο μοντέλο διάδοσης σήματος που δεν αντικατοπτρίζει το πραγματικό περιβάλλον, όπως βουνά, κτίρια, σήραγγες κ.λπ. [4]. Ως λύση, οι συνεργατικές βάσεις δεδομένων ανίχνευσης και γεωεντοπισμού μπορούν να συνδυαστούν για να επιτευχθεί ένας κατάλληλος συμβιβασμός μεταξύ της επίτευξης απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας.

### 1.3 Αξιοποίηση των οπών ραδιοφάσματος με τη βοήθεια της συνεργασίας δικτύων

Στην ενότητα αυτή, εξετάζουμε το φάσμα της συνεργασίας για την αποτελεσματική χρήση των ευκαιριών πρόσβασης στο που έχουν εντοπιστεί για εξοικονόμηση ενέργειας σε πράσινα κυψελωτά δίκτυα. Στο Σχήμα 1 φαίνεται 1 δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που αποτελείται από ένα BS και πολλαπλά UT που υποστηρίζουν διάφορες διεπαφές ασύρματης πρόσβασης, μαζί και των Bluetooth και Wi-Fi. Αρα δεδομένου ότι τα UT (π.χ. smartphone) είναι εξοπλισμένα με Bluetooth και Wi-Fi, μπορούν να δημιουργήσουν ένα δευτερεύον δίκτυο εντός του κυψελοειδούς δικτύου και να επωφεληθούν από το δευτερεύον δίκτυο για να βοηθήσουν τις κυψελοειδείς επικοινωνίες για βελτιώσεις ενεργειακής απόδοσης όπου δευτερεύον δίκτυο λειτουργεί και εντός των ανιχνευθείσες οπές σάοτ αυτο. Ομως ορισμένες προσπάθειες τυποποίησης βρίσκονται σε εξήγηση για τσταν μη Qualι Αυτό σημαίνει ότι οι διεπαφές Wi-Fi και Bluetooth επόμενης γενιάς θα πρέπει να λειτουργούν σε ένα ευρύτερο φάσμα φασματικών ζωνών (συμπεριλαμβανομένων των ζωνών τηλεοράσεων), αντί να περιορίζονται μόνο σε βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές ζώνες (ISM). Εάν δεν βρεθούν κενά στο φάσμα, το δεύτερο δίκτυο απενεργοποιείται και τας UT ε ιονούν μμάν δεν βρεθούν με Αντίθετα ομως, όταν μια τρύπα στο φάσμα αναγνωρίζεται με τη βοήθεια ανίχνευσης φάσματος, διαφορετικά

δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εργαστούν με κλασικές κυψελοειδείς επικοινωνίες.



**Εικόνα 1.** Ένα ετερογενές ασύρματο περιβάλλον που αποτελείται από δίκτυα Bluetooth, Wi-Fi και κυψελοειδών δικτύων.

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 1, όταν έχουμε το Wi-Fi ως παράδειγμα δευτερεύοντος δικτύου, τα UT πρώτα έχουν επικοινωνία με ένα σημείο πρόσβασης (AP) μέσω συνδέσεων Wi-Fi μέσω των ανιχνευόμενων κενών φάσματος, στη συνέχεια το AP δίνει και παίρνει πακέτα δεδομένων με το BS μέσω κυτταρικών συνδέσεων σε όλο το φάσμα των κυττάρων. Με αυτόν τον τρόπο, τα UT μπορούν να επικοινωνούν με το BS με βάση το AP για να βελτιώσουν την εφικτή ενεργειακή απόδοση των κυψελοειδών επικοινωνιών. Εναλλακτικά, μπορούμε επίσης να υιοθετήσουμε το Bluetooth για να υποβοηθήσουμε τις κυψελοειδείς επικοινωνίες μεταξύ UT και BS, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Χωρίς να χάσουμε τη γενικότητα, ας εξετάσουμε τις μεταδόσεις κινητής τηλεφωνίας κατερχόμενης ζεύξης από το BS σε ένα ζεύγος UT, συγκεκριμένα U1 και U2. Επιτρέπουμε πρώτα στο BS να μεταδίδει τα πακέτα δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης στο U1 και U2 αντίστοιχα σε όλο το κυψελοειδές φάσμα. Λόγω της φύσης εκπομπής του ασύρματου μέσου, το U1 (ή U2) μπορεί να έχει ακούσει εκπομπές από το BS στο U2 (ή το U1). Μετέπειτα εάν βρεθεί κενό φάσματος, οι U1 και U2 δίνουν και παίρνουν τα λαμβανόμενα σήματα μέσω μιας σύνδεσης Bluetooth στο ανιχνευμένο κενό φάσματος. Επομένως, η χρήση bluetooth στις άκρες του φάσματος παρέχει ποικιλομορφία χώρου για τις κυψελοειδείς

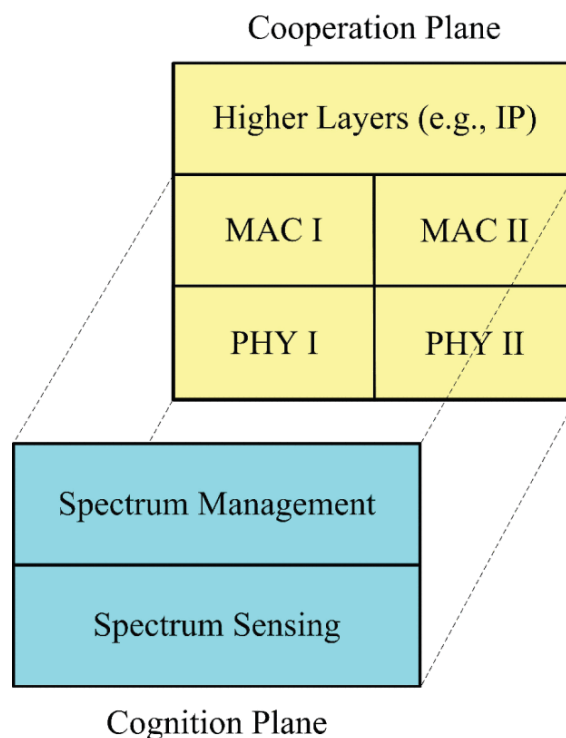
επικοινωνίες και έτσι μειώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας κάτω από μια συγκεκριμένη απαίτηση QoS στόχου.

Φυσικά, μια παρόμοια διαδικασία συνεργασίας δικτύου θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε μια ασύρματη κυψελοειδές ζεύξη σε έναν σταθμό βάσης στις Ηνωμένες Πολιτείες. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι βρίσκονται κενά στο φάσμα, επιτρέπουν πρώτα σε χωρικά διασκορπισμένα UT να επικοινωνούν μέσω ενός δευτερεύοντος δικτύου μέσω των κενών που ανιχνεύονται στο φάσμα για την ανταλλαγή πακέτων σύνδεσης. Όταν το UT λαμβάνει κάθε πακέτο δεδομένων, μπορεί να συνεργαστεί (με τη βοήθεια της κωδικοποίησης χωροχρόνου) για να μεταδώσει το πακέτο στο BS μέσω του κυψελοειδούς φάσματος. Εάν έχουν εντοπιστεί κενά στο φάσμα, μπορεί να φανεί ότι τα δευτερεύοντα δίκτυα χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της κυψελοειδούς επικοινωνίας με ευκαιριακό τρόπο. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι πιο περίπλοκη από τον παραδοσιακό τρόπο εργασίας σε περιβάλλον δικτύου peer-to-peer. Αυστηρά μιλώντας, στην υπάρχουσα συνεργασία, το UT πρέπει να στείλει ένα πακέτο δεδομένων στον συνεργαζόμενο εταίρο και ο συνεργαζόμενος εταίρος στέλνει τα ληφθέντα δεδομένα στο BS. Και οι δύο μεταδόσεις συμβαίνουν στο ίδιο κυτταρικό φάσμα. Εν ολίγοις, απαιτούνται δύο ορθογώνια κανάλια για να ολοκληρωθεί η μετάδοση από το UT στο BS μέσω του συνεργάτη, μειώνοντας στο μισό τη φασματική απόδοση κυψέλης. Το αντίστροφο γίνεται, αλλά η έξυπνη συνεργασία του γνωστικού δικτύου επιτρέπει στο UT να μεταδίδει δεδομένα στους ομοτίμους του χρησιμοποιώντας ένα δευτερεύον δίκτυο μέσω οπών στο ανακαλυφθέν φάσμα αντί να χρησιμοποιεί το κυψελοειδές φάσμα. Χρησιμοποιεί ανενεργά φασματικά ανοίγματα για τη διατήρηση των κυψελωτών φασματικών πόρων και έτσι έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τις παραδοσιακές συνεργασίες.

Στην Εικ. 2 απεικονίζουμε το μοντέλο αναφοράς πρωτοκόλλου της προτεινόμενης συνεργασίας του γνωστικού δικτύου που αποτελείται από δύο επίπεδα, δηλαδή το επίπεδο γνώσης και το επίπεδο συνεργασίας. Όπως βλέπουμε στην Εικ. 2, το σημείο γνώσης ενσωματώνει λειτουργίες ανίχνευσης φάσματος και διαχείρισης φάσματος.

Οι συναρτήσεις ανίχνευσης φάσματος επικαλούνται για τον εντοπισμό των κενών στο φάσμα, τα οποία στη συνέχεια διανέμονται στις διάφορες οντότητες του δικτύου από τη συνάρτηση διαχείρισης φάσματος. Το σχήμα 2 απεικονίζει επίσης ένα

παράδειγμα του επιπέδου συνεργασίας, στο οποίο εξετάζονται δύο σετ πρωτοκόλλων ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) και φυσικού επιπέδου (PHY), που υποδεικνύονται στο σχήμα από τα PHY I-MAC I και PHY II-MAC II, αντίστοιχα. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί από τα δύο ζεύγη PHY-MAC (δηλαδή PHY I-MAC I και PHY II-MAC II) που μοιράζονται ίδια ανώτερα στρώματα, δηλαδή κοινά στρώματα δικτύου (NET) και στρώματα εφαρμογής (APP). Ως πλεονέκτημα, οι διάφορες διεπαφές πρόσβασης δικτύου μπορούν να συντονιστούν και να ελέγχονται με τη βοήθεια πρωτοκόλλων υψηλότερου επιπέδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σύγχρονες κυψελοειδείς συσκευές (π.χ. smartphone) συνήθως υποστηρίζουν πολλαπλά πρωτόκολλα PHY-MAC για χάρη της συνεργασίας με διαφορετικά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένων 3G, LTE, Wi-Fi, Bluetooth και άλλων δικτύων. Στην πράξη, η ενέργεια που καταναλώνεται από τη διαχείριση πρωτοκόλλου υψηλότερου επιπέδου δεν είναι αμελητέα και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου. Ως εκ τούτου, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να μελετηθεί η βελτιστοποίηση του επιπέδου συνεργασίας εξετάζοντας από κοινού τα πρωτόκολλα PHY, MAC και ανώτερου επιπέδου. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αντιμετωπίζονται ζητήματα χρονισμού και συγχρονισμού όταν συνεργάζονται πολλές διεπαφές πρόσβασης δικτύου.



**Εικόνα 2.** Μοντέλο αναφοράς πρωτοκόλλου της συνεργασίας του γνωστικού δικτύου.

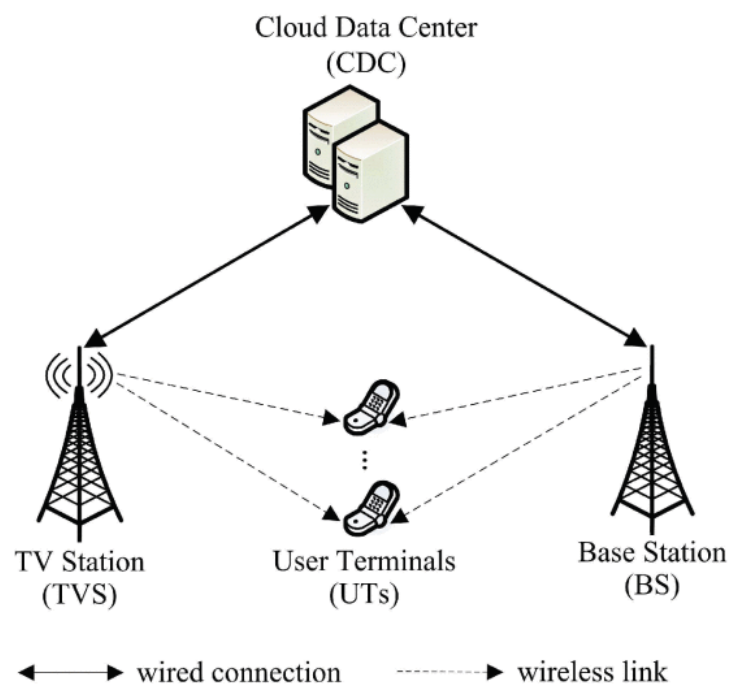
#### 1.4 Μελέτη περίπτωσης: Ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα κυψελοειδών επικοινωνιών

Αυτή η ενότητα περιέχει μελέτες περιπτώσεων που απεικονίζουν τα πιθανά οφέλη εξοικονόμησης ενέργειας της γνώσης και των τεχνολογιών συνεργασίας στις πράσινες κυψελοειδείς επικοινωνίες. Χωρίς απώλεια γενικότητας, ας υποθέσουμε ότι σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, ένα BS μεταδίδει πακέτα δεδομένων στο τμήμα UT της ζώνης κυψελοειδούς φάσματος εντός των ζωνών  $f_c$  και  $B_c$  συχνοτήτων φορέα. Αυτές οι κινητές συσκευές (τόσο BS όσο και UT) χρησιμοποιούν ανίχνευση φάσματος για να σαρώσουν τηλεοπτικά κανάλια και να καθορίσουν εάν τα σαρωμένα τηλεοπτικά κανάλια είναι ανενεργά. Εδώ, η συχνότητα φορέα και το εύρος ζώνης ενός τηλεοπτικού καναλιού εκφράζονται σε  $f_t$  και  $B_t$ , αντίστοιχα. Όταν θεωρείται ανενεργό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κυψελοειδείς επικοινωνίες με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της αξιοπιστίας της μετάδοσης ή/και της βελτίωσης της απόδοσης του συστήματος. Για παράδειγμα, για ένα απενεργοποιημένο τηλεοπτικό κανάλι, το BS διαχωρίζει την ισχύ μετάδοσης μεταξύ της ζώνης κινητής τηλεφωνίας και της μπάντας της τηλεόρασης, μεταδίδοντας εκ νέου το πακέτο δεδομένων στο UT του τηλεοπτικού καναλιού. Υποθέτοντας ότι αυτές οι δύο συχνότητες απέχουν αρκετά μεταξύ τους για να υποστούν ανεξάρτητη εξασθένηση, μπορούν να παρέχουν ένα ευεργετικό κέρδος διαφοροποίησης συχνοτήτων, βελτιώνοντας έτσι τη σταθερότητα ή/και την ενεργειακή απόδοση διατηρώντας παράλληλα τις απαιτήσεις QoS-στόχου.

Το Σχ. 3 δείχνει τη στυλιζαρισμένη απεικόνιση κοινών κυψελοειδών δικτύων, όπου το τηλεοπτικό κανάλι χρησιμοποιείται για να υποβοηθήσει τις κυψελοειδείς εκπομπές από το BS στις Ηνωμένες Πολιτείες. Σημειώστε από το σχήμα 3 ότι υποτίθεται ότι οι τηλεοράσεις και το BS συνδέονται μέσω οπτικού κορμού ή σύνδεσης μικροκυμάτων υψηλού εύρους ζώνης, όπως μέσω του κέντρου δεδομένων cloud (CDC), που επιτρέπει την άμεση ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ της τηλεόρασης και του BS. Μόλις το TVS λάβει τα πακέτα δεδομένων BS μέσω του CDC, μπορεί να βοηθήσει τις εκπομπές BS στα UT χρησιμοποιώντας τον χωροχρονικό κωδικό Alamouti [18], όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 (α). Πιο συγκεκριμένα, τα πακέτα δεδομένων του BS, αντίστοιχα, συμβολίζονται με  $x_1$  και  $x_2$ , γνωστά και στο TVS μέσω του CDC. Σύμφωνα με την χωροχρονική κωδικοποίηση του Alamouti, τα BS και TVS, αντίστοιχα, μεταδίδουν τα  $x_1$  και  $x_2$  σε ένα προβλεπόμενο UT ταυτόχρονα σε μια

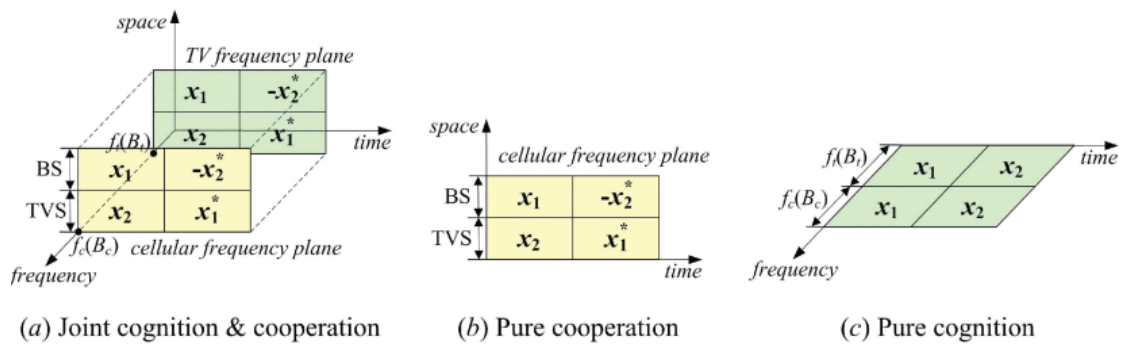
ζώνη του κυτταρικού φάσματος. Στη συνέχεια, στο επόμενο χρονικό διάστημα, μεταδίδουν ταυτόχρονα  $-x * 2$  και  $x * 1$  στο UT, όπου το \* υποδηλώνει τη σύνθετη συζυγή λειτουργία.

Η συγκεκριμένη μετάδοση απαιτεί μια συνεργασία μεταξύ BS και TVS, που αυτή λειτουργεί πάνω από την κυψελωτή ζώνη, όπου αυτή στην συνέχεια φαίνεται ως ένα επίπεδο κυψελοειδούς συχνότητας, όπως βλέπουμε και στο Σχήμα. Για μια κανονική σύγκριση, η συνολική ισχύς που καταναλώνεται σε BS και TVS περιορίζεται σε ένα σταθερό επίπεδο που υποδεικνύεται με το P, δηλαδή στην ισχύ μιας μόνο μετάδοσης μόνο από το BS. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη η ίση κατανομή ισχύος και έτσι οι δυνάμεις μετάδοσης των BS και TVS παρέχονται από το  $P / 2$ . Επιπλέον, εάν το τηλεοπτικό κανάλι φανεί ανενεργό, το BS και το TVS έχουν την δυνατότητα να επαναλάβουν την παραπάνω συνεργατική εκπομπή μέσω του ανενεργού τηλεοπτικού καναλιού, που ονομάζεται επίπεδο συχνότητας τηλεόρασης στο Σχ. Τέλος, το UT εφαρμόζει τον αλγόριθμο αποκωδικοποίησης Alamouti για να ανακτήσει τα πακέτα δεδομένων BS x1 και x2. Επίσης σε αυτήν την περίπτωση, στο σημείο 4, στοιχείο α), μπορεί να παρατηρηθεί ότι τόσο η γνώση όσο και η συνεργασία επικαλούνται το προτεινόμενο σύστημα μεταφοράς.



*Εικόνα 3. Η κοινή γνώση και συνεργασία βοήθησε τα κυψελοειδή ασύρματα δίκτυα.*





**Εικόνα 4.** Δομές χρονοθυρίδων διαφορετικών συστημάτων μεταφοράς: α) η προτεινόμενη κοινή γνώση και συνεργασία, β) καθαρή συνεργασία και γ) καθαρή γνώση.

Για συγκριτικούς σκοπούς, θα θεωρούμε επίσης αμιγώς συνεργατικά και καθαρά συστήματα γνώσης όπως απεικονίζονται. Ειδικότερα, η καθαρή συνεργασία επιτρέπει στην TVS να υποστηρίξει μετάδοση BS χρησιμοποιώντας χώρους και χρόνους στους κωδικούς Alamouti που χρησιμοποιούν μόνο κυψελοειδείς συχνότητες χωρίς να εκμεταλλεύονται την τηλεόραση και τα αδρανή κανάλια. Από την άλλη πλευρά, στο σύστημα καθαρής γνώσης, μόνο ο σταθμός βάσης μεταδίδει το πακέτο δεδομένων στον προβλεπόμενο χρήστη χωρίς να βασίζεται στο TVS. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4(c), ο σταθμός βάσης μεταδίδει πακέτα  $x_1$  και  $x_2$  σε διαδοχικές υποδοχές της ζώνης κυψέλης. Όταν ανιχνεύεται ένα ανενεργό τηλεοπτικό κανάλι, ένα σύστημα σαφούς γνώσης επιτρέπει στο BS να αναμεταδίδει δεδομένα στην ανιχνευόμενη ανενεργή ζώνη τηλεόρασης. Φυσικά, είναι αδύνατο να επιτευχθεί απολύτως αξιόπιστη φασματική ανίχνευση χωρίς ανιχνεύσεις που λείπουν και ψευδείς συναγερμούς λόγω θορύβου και παρεμβολών περιβάλλοντος. Για διευκόλυνση της σημειογραφίας, η πιθανότητα ανίχνευσης της παρουσίας συνδρομητή τηλεόρασης και η πιθανότητα ψευδούς συναγερμού, που ονομάζονται πιθανότητα επιτυχίας ψευδούς συναγερμού, εκφράζονται ως  $P_d$  και  $P_f$ , αντίστοιχα.

Για να περιοριστεί αυτή η αμοιβαία παρεμβολή σε ανεκτό επίπεδο, η πιθανότητα ανίχνευσης  $P_d$  και η ψευδής πιθανότητα συναγερμού  $P_f$  θα πρέπει να ικανοποιούν τις τιμές-στόχους. Σε αυτό το έγγραφο, θεωρούμε  $P_d=0.99$  και  $P_f=0.01$ , εκτός αν ορίζεται διαφορετικά.

Επιπλέον, αφήστε το  $P_{na}$  δηλώνει την πιθανότητα ένα τηλεοπτικό κανάλι να είναι ακατοίκητο από μια TVS και, ως εκ τούτου, να είναι διαθέσιμο για επικοινωνίες

κινητής τηλεφωνίας. Όταν η BS μεταδίδει το σήμα της με ισχύ  $P_{BS}$  και με ρυθμό δεδομένων  $R$ , η ισχύς που λαμβάνει η UT, η οποία δηλώνεται από το  $P_R$ , μπορεί να εκφραστεί ως

$$P_R = P_{BS}(c \cdot 4 \cdot \pi \cdot f_c \cdot d_{BU})^2 \cdot G_{BS} \cdot G_{UT} \cdot |h_{BU}|^2 \quad (1)$$

όπου  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός,  $f_c$  είναι η κυψελοειδής συχνότητα φορέα,  $d_{BU}$  είναι η απόσταση του UT από το BS,  $G_{BS}$  είναι το κέρδος κεραίας μετάδοσης στο BS,  $G_{UT}$  είναι το κέρδος κεραίας λήψης στο UT, και  $h_{BU}$  είναι ο συντελεστής εξασθένισης του καναλιού που εκτείνεται από το BS έως το UT.

Σε αυτό το κεφάλαιο, το μοντέλο Fade Rayleigh χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το κανάλι. Το 2 ακολουθεί μια εκθετική κατανομή με μέσο όρο  $\sigma^2 B U$ . Όλοι οι δέκτες υποτίθεται ότι έχουν κατανεμημένο θερμικό θόρυβο Gauss με μηδενικό μέσο όρο και διακύμανση  $\sigma^2 n$ , μοντελοποιημένο ως  $\sigma^2 n = k T$ , όπου  $k$  είναι η σταθερά Boltzmann (δηλαδή,  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Joule / Kelvin) και  $T$  είναι η θερμοκρασία του συστήματος. Οι Kelvin και  $B$  αντιπροσωπεύουν το εύρος ζώνης του καναλιού (Hz). Αν θέσουμε  $N_0 = k T$  ως φασματική πυκνότητα ισχύος θορύβου (PSD) και λάβουμε υπόψη τη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T = 290K$ , θα έχουμε  $N_0 = -174dBm/Hz$ . Χρησιμοποιώντας το ρυθμό δεδομένων  $R$  σε bit/s και την ισχύ μετάδοσης  $P_{BS}$  σε watt, η ενεργειακή απόδοση εκφρασμένη σε bit ανά joule ορίζεται ως:

$$h = R_{P_{BS}}, \quad (2)$$

ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων που μεταφέρονται ανά γραμμή, ο πόρος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ενεργειακού κόστους. Από την εξίσωση (2) παρατηρείται ότι η αύξηση του ρυθμού δεδομένων  $R$  (ή η μείωση της ισχύος εκπομπής  $P_{BS}$ ) βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση ή της κυψελοειδούς μετάδοσης.

Ωστόσο, η απόδοση της διακοπής μετάδοσης κινητής τηλεφωνίας μειώνεται όταν εξετάζονται υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων (ή χαμηλότερες δυνάμεις μετάδοσης), επειδή συμβάντα διακοπής συμβαίνουν πιο συχνά καθώς αυξάνονται (ή μειώνονται οι ρυθμοί δεδομένων). Επομένως, υπάρχει μια αντιστάθμιση μεταξύ της ενεργειακής απόδοσης και της πιθανότητας διακοπής λειτουργίας. Σύμφωνα με το θεώρημα κωδικοποίησης του Shannon, ένα συμβάν πτώσης συμβαίνει όταν η χωρητικότητα του καναλιού πέσει κάτω από τον ρυθμό δεδομένων. Στο προτεινόμενο σχέδιο γνώσης και συνεργασίας, η BS και η TVS θα επαναλάβουν τη συνεργατική μετάδοση

στο UT μέσω εντοπισμένων αδρανών τηλεοπτικών σταθμών. Επομένως, η πιθανότητα να σπάσει το σύστημα γνώσης και συνεργασίας χρησιμοποιώντας το νόμο της τέλει πιθανότητας είναι

$$P_{\text{out}} = \Pr(C_{\text{coopcell}} < R, C_{\text{coopTV}} < R, H^{\wedge} = H_0) + \Pr(C_{\text{coopcell}} < R, H^{\wedge} = H_1), \quad (3)$$

όπου το  $C_{\text{coopcell}}$  αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα του καναλιού συνεκπομπής που λειτουργεί πέρα από τη ζώνη κυψελοειδούς φάσματος, το  $C_{\text{coopTV}}$  αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα του καναλιού συνεκπομπής στη ζώνη ραδιοφάσματος και το  $H^{\wedge} = H_0$  αντιπροσωπεύει το συμβάν ανίχνευσης της τηλεόρασης σε αδράνια καναλιού, και  $H^{\wedge} = H_1$  υποδηλώνει ότι το τηλεοπτικό κανάλι θεωρείται ότι είναι κατειλημμένο από την τηλεόραση. Και πάλι, λόγω θορύβου και παρεμβολών περιβάλλοντος, η ανίχνευση φάσματος υπόκειται σε ανιχνεύσεις που λείπουν και σε ψευδείς συναγερμούς όπου υπάρχουν τηλεοράσεις. Όταν συμβαίνει ένα συμβάν ανίχνευσης απώλειας, ο χρήστης της τηλεόρασης και το UT παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι η παρεμβολή μπορεί να προκαλέσει συμβάντα διακοπής τόσο στο UT όσο και στο δέκτη της τηλεόρασης. Για ευκολία, τα PTVS και dTU υποδεικνύουν την ισχύ μετάδοσης του TVS και την απόσταση μεταξύ UT και TVS, αντίστοιχα. Επίσης, το ραδιοφωνικό κανάλι που εκτείνεται από το TVS στο UT διαμορφώνεται επίσης από εξασθένηση σιδηροτροχιάς, δίνοντας τη μέση εξασθένηση λόγω εξασθένησης μεταξύ TVS και UT ως  $\sigma_{2TU}$ .

Μέχρι στιγμής, έχουμε χαρακτηρίσει εννοιολογικά τη σχέση μεταξύ της ενεργειακής απόδοσης και της δυνατότητας διακοπής του προτεινόμενου συστήματος γνώσης και συνεργασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι με τον ίδιο τρόπο η ενεργειακή απόδοση και η δικτυακή συνεργασία και τα συστήματα γνώσης δικτύων μπορούν να καθοριστούν ως διασπαστικά.

Παρακάτω παρουσιάζουμε ορισμένα αριθμητικά αποτελέσματα για τον χαρακτηρισμό της ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιώντας την Εξ. (1) - (3). Ο Πίνακας 2 δείχνει τα διάφορα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την αριθμητική αξιολόγηση. όπου  $f_c = 2100$  MHz και  $B_c = 5$  MHz, που αντιστοιχούν σε συστήματα 3GPP LTE. Στη Βόρεια Αμερική, το LTE είναι 2100 MHz και έχει πολλές επιλογές εύρους ζώνης καναλιών, συμπεριλαμβανομένων των 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz και 20 MHz. Τα 216 MHz έχουν 12 τηλεοπτικά κανάλια, δηλαδή κανάλια 2-13. Υποθέτουμε για αριθμητική αξιολόγηση ότι η κατάληψη του

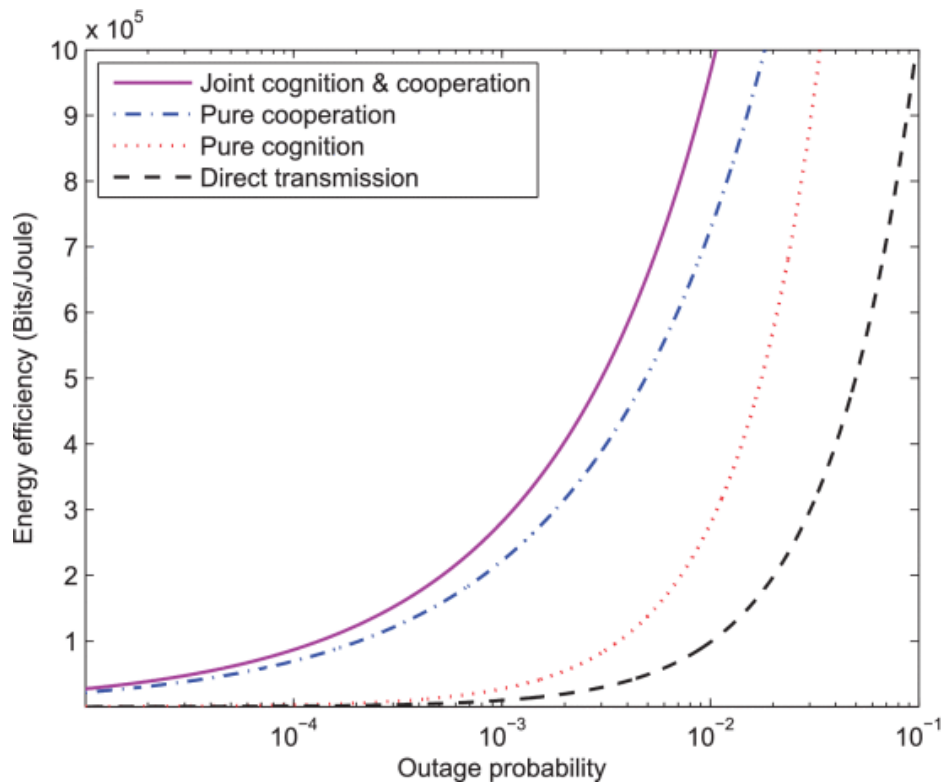
τηλεοπτικού καναλιού 2 έχει φέρουσα συχνότητα  $f_t = 55,25$  MHz και εύρος ζώνης  $B_t = 6$  MHz. Ο ρυθμός δεδομένων καθορίζεται ως  $R = 30$  Mbit/s και τα κέρδη της κεραίας στο UT και BS καθορίζονται ως  $G_{UT} = 0$  dB και  $G_{BS} = 5$  dB. Οι αποστάσεις μετάδοσης από το BS και το TVS στο UT είναι  $d_{BU} = 1000$  m και  $d_{TU} = 1000$  m, αντίστοιχα, και το μέσο κέρδος εξασθένησης θεωρείται ότι είναι  $\sigma_{BU}^2 = \sigma_{TU}^2 = 1$ . Επιπλέον, στην αριθμητική αξιολόγηση λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα επιτυχούς ανίχνευσης και η πιθανότητα ψευδούς συναγερού  $P_d = 0,99$  και  $P_f = 0,01$  και η ισχύς εκπομπής  $P_{TVS} = 45$  kW. Η ισχύς εκπομπής για ψηφιακούς τηλεοπτικούς σταθμούς στη ζώνη I (δηλαδή τηλεοπτικά κανάλια 2-6) στη Βόρεια Αμερική περιορίζεται συνήθως στα 45 kW.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2** Παράμετροι συστήματος που χρησιμοποιούνται στην αριθμητική αξιολόγηση

Noise PSD Level	$N_0$	-174 dBm/Hz
Cellular Carrier Frequency	$f_c$	2100 MHz
Cellular Spectrum Bandwidth	$B_c$	5 MHz
TV Carrier Frequency	$f_t$	55.25 MHz
TV Spectrum Bandwidth	$B_t$	6 MHz
Data Transmission Rate	$R$	30 Mbits/s
Antenna Gains	$G_{UT}, G_{BS}$	0 dB, 5 dB
Transmission Distances	$d_{BU}, d_{TU}$	1000 m
Average Channel Gains	$\sigma_{BU}^2, \sigma_{TU}^2$	1
Spectrum Sensing Performance	$P_d, P_f$	0.99, 0.01
Transmit Power of TV Station	$P_{TVS}$	45 kW

Το Σχ. 5 δείχνει την ενεργειακή απόδοση σε σχέση με την πιθανότητα διακοπής της παραδοσιακής άμεσης μετάδοσης, την καθαρή γνώση, την καθαρή συνεργασία καθώς και τα προτεινόμενα συστήματα γνώσης και συνεργασίας σε συνδυασμό με  $P_a = 0,8$ , που είναι η πιθανότητα ότι το τηλεοπτικό κανάλι δεν είναι καταλαμβάνεται από το TVS και επομένως είναι διαθέσιμο για κυψελοειδείς επικοινωνίες. Από το Σχ. 5 φαίνεται ότι, καθώς αυξάνεται η πιθανότητα διακοπής, οι ενεργειακές αποδόσεις της παραδοσιακής άμεσης μετάδοσης, της δικτυωμένης γνώσης, της δικτυωμένης

συνεργασίας, καθώς και των προτεινόμενων κοινών προγραμμάτων γνώσης και συνεργασίας έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Αυτό δείχνει ξεκάθαρα ότι η ενεργειακή απόδοση των κυψελοειδών επικοινωνιών βελτιώνεται καθώς μειώνεται η απόδοση διακοπής, υποδεικνύοντας ότι υπάρχει συμβιβασμός μεταξύ της ενεργειακής απόδοσης και της πιθανότητας διακοπής.



*Εικόνα 5.* Ενεργειακή απόδοση έναντι πιθανότητας διακοπής της παραδοσιακής άμεσης μετάδοσης, καθαρής γνώσης, καθαρής συνεργασίας καθώς και τα προτεινόμενα κοινά συστήματα γνώσης και συνεργασίας με το  $P_a=0,8$ , όπου το  $P_a$  αντιπροσωπεύει την πιθανότητα ότι ένα τηλεοπτικό κανάλι είναι ακατοίκητο από την TVS και διατίθεται για κυψελοειδείς επικοινωνίες.

Το Σχ. 5 δείχνει επίσης ότι σε ολόκληρη την περιοχή πιθανότητας συσκότισης, η ενεργειακή απόδοση του κοινού συστήματος γνώσης και συνεργασίας είναι σταθερά υψηλότερη από αυτή της παραδοσιακής άμεσης μετάδοσης, της καθαρής γνώσης και της καθαρής συνεργασίας. Με άλλα λόγια, δεδομένης της μέγιστης πιθανότητας μιας ανεκτής διακοπής ρεύματος και ενός συγκεκριμένου αριθμού ιχνών που θα μεταδοθούν, το σύστημα κοινής γνώσης και συνεργασίας διαχέει λιγότερη ενέργεια από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις άμεσης μετάδοσης, καθαρής γνώσης και καθαρής συνεργασίας. Αυτό καταδεικνύει ποσοτικά τα οφέλη εξοικονόμησης ενέργειας από την αξιοποίηση των κοινών οφελών της γνώσης και της συνεργασίας στα κυψελωτά δίκτυα. Επιπλέον, τόσο η καθαρή συνεργασία όσο και η καθαρή γνώση επιτυγχάνουν υψηλότερη ενεργειακή απόδοση από την άμεση μετάδοση, γεγονός που δείχνει ότι

τόσο η συνεργασία όσο και η γνώση βοηθούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Υπό το φως της παραπάνω μελέτης περίπτωσης, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η απαγωγή ενέργειας των κυψελοειδών δικτύων μπορεί να μειωθεί σημαντικά με βάση τόσο τη γνώση όσο και τις τεχνικές συνεργασίας.

### 1.5 Συμπεράσματα και μελλοντικές εργασίες

Σε αυτήν την εργασία, διερευνήσαμε πόσο ωφέλιμη μπορεί να είναι η συνδυασμένη γνώση και η συνεργασία στο πλαίσιο των πράσινων κυψελοειδών δικτύων, όπου οι κυψελωτές συσκευές μπορούν πρώτα να ανιχνεύσουν τρύπες στο φάσμα με τη βοήθεια γνωστικών λειτουργιών (π.χ. ανίχνευση φάσματος) και να συνεχίσουν να συνεργάζονται. Χρησιμοποιεί αποτελεσματικά ανιχνευμένες οπές ραδιοφάσματος για εξοικονόμηση ενέργειας. Συνοψίσαμε διάφορες προσεγγίσεις αναγνώρισης φασματικών οπών, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης χαμηλής πολυπλοκότητας βάσει ED/MF και της ανίχνευσης FE. Στη συνέχεια συζητήσαμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα όσον αφορά την ευρωστία ως προς την αβεβαιότητα στη διασπορά του θορύβου, την υπολογιστική πολυπλοκότητα και την ενεργειακή απόδοση. Είδαμε την εισαγωγή των λεγόμενων συνεργατικών πλαισίων για γνωστικά δίκτυα για την ενεργειακά αποδοτική χρήση οπών ραδιοφάσματος όπου τόσο τα δίκτυα Bluetooth όσο και τα δίκτυα Wi-Fi απαιτούν υποστήριξη κυψελοειδών επικοινωνιών. Επιπλέον, παρουσιάζονται ποσοτικές περιπτώσιολογικές μελέτες ανταλλαγής και συνεργασίας γνώσης με τη βοήθεια κυψελών για τον χαρακτηρισμό της πιθανής εξοικονόμησης ενέργειας στις κυψελωτές επικοινωνίες. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν έδειξαν ότι η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από την κινητή επικοινωνία μειώνεται σημαντικά με την αξιοποίηση της κοινής γνώσης και της συνεργασίας για μια δεδομένη πιθανότητα συσκότισης και ρυθμό δεδομένων.

Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετήσαμε μόνο την ενεργειακή απόδοση της πρότασης συνεργασίας γνωστικού δικτύου χωρίς να λάβουμε υπόψη την ενεργειακή υπερφόρτωση που επιβάλλεται από το συντονισμό μεταξύ διαφορετικών διεπαφών πρόσβασης ασύρματου δικτύου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η δημιουργία ενός πλαισίου συνεργατικών δοκιμών με γνώση δικτύου και μια κριτική αξιολόγηση των δυνατοτήτων των δικτύων Bluetooth και Wi-Fi σε παθητικές τηλεοράσεις.

Αν και τα αριθμητικά μας αποτελέσματα δείχνουν τα οφέλη ενεργειακής απόδοσης της κοινής γνώσης και των συνεργατικών συστημάτων έναντι της καθαρής παραδοσιακής γνώσης και της καθαρής συνεργασίας, αυτά τα οφέλη έχουν αποδειχθεί μόνο σε θεωρητικές μελέτες που βασίζονται σε ορισμένες εξιδανικευμένες υποθέσεις απλούστευσης. Δεν είναι γνωστό εάν η κοινή γνώση και οι συνεργατικές προσεγγίσεις είναι αρκετά ελκυστικές σε πραγματικά κυβελωτά δίκτυα όσον αφορά τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό το ενδιαφέρον θέμα αφήνεται για μελλοντική μελέτη.

## Κεφάλαιο 2

### 2. In-Network Caching για το πράσινο δίκτυο των IOT

#### 2.1 Εισαγωγή

Σήμερα, ο αριθμός των συσκευών Internet of Things (IoT) αυξάνεται ραγδαία [1], [2] και το IoT έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει οικονομικά κέρδη 11% το 2025 [3]. Με τεράστιες ετερογενείς συσκευές IoT και διάφορες εφαρμογές, ο πραγματικός κόσμος μεταμορφώνεται πραγματικά σε ένα παγκόσμιο χωριό, παρέχοντάς μας άνευ προηγουμένου άνεση και βελτιώνοντας βαθιά τον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε και μελετάμε [4], [5].

Αν και το IoT δεν είναι το κύριο συστατικό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της υπερθέρμανσης του πλανήτη, εξακολουθεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην προστασία του περιβάλλοντος [6], [7], καθώς υπάρχουν μαζικές και πανταχού παρούσες συνδέσεις συσκευών IoT [8], [9]. Σε αυτό το πλαίσιο, η αποθήκευση δικτύου θεωρήθηκε υποψήφια τεχνική για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που προκαλείται από συσκευές IoT [10] - [11] [12], η λειτουργικότητα και η σκοπιμότητα της τοπικής τέρφρας στο δίκτυο διερευνήθηκε από το ερευνητικό κέντρο πληροφοριών - κεντρική ομάδα δικτύωσης (ICNRG) [13], [14]. Η αποθήκευση δικτύου επιτρέπει στον μεσίτη, έναν καταναμημένο ενδιάμεσο κόμβο με περιορισμένη χωρητικότητα αποθήκευσης, όπως πύλη ή δρομολογητή, να αποθηκεύει εκ των προτέρων ορισμένους δημοφιλείς πόρους δεδομένων που παρακολουθούνται από κόμβους αισθητήρων. Όταν οι υπολογιστές-πελάτες ζητούν αποθηκευμένους πόρους δεδομένων, μπορούν να βρεθούν στην τοπική κρυφή μνήμη των μεσιτών [15]. Κατά συνέπεια, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η αποθήκευση δικτύου είναι ικανή να καταστέλλει περιττές παραδόσεις περιεχομένου από τους κόμβους αισθητήρων που φιλοξενούν τους πόρους και ότι θα υπάρχει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από τους κόμβους αισθητήρων [16], [17]. Επιπλέον, ακόμη κι αν αυτοί οι κόμβοι αισθητήρων είναι απενεργοποιημένοι σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας για εξοικονόμηση ενέργειας, οι πελάτες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αντίγραφα των



δεδομένων που βρίσκονται σε μεσίτες, έτσι ώστε να αποφευχθεί σε μεγάλο βαθμό η απώλεια της υπηρεσίας [18].

Σε δίκτυα διανομής περιεχομένου (CDN), όπως δίκτυα ραδιοπρόσβασης cloud (C-RAN) [19], [20], δίκτυα ραδιοεπικοινωνίας ομίχλης (F-RAN) [21], [22], ετερογενή δίκτυα (HetNets) [23], [24] και Small Cell Network (SCNs) [25], [26], τα συμβατικά ασύρματα συστήματα κλωβών έχουν μελετηθεί εκτενώς, με στόχο την άμβλυνση του μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου των συνδέσεων backhaul με περιορισμένη χωρητικότητα και, ως εκ τούτου, μετριάστε την υπηρεσία καθυστέρησης. Το περιεχόμενο της προσωρινής μνήμης σε σενάρια CDN, όπως τα αρχεία βίντεο, δεν είναι γενικά ευαίσθητο στις αλλαγές του ρυθμού [27], [28]. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η δημοτικότητα αυτού του περιεχομένου δεν έχει αλλάξει για μεγάλο χρονικό διάστημα και συχνά μπορεί να θεωρηθεί ως γνωστή πληροφορία κατά το σχεδιασμό συστημάτων σε περίπτωση αποτυχίας. Επίσης, μπορεί να χρειαστεί λίγος χρόνος για την ενημέρωση του περιεχομένου. Μια ημέρα ή μια εβδομάδα ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο αιτήματος βίντεο.

Σε αντίθεση με τα πρώην συστήματα caching που εμφανίζονται σε σενάρια CDN, η κατά προσέγγιση στο δίκτυο caching για το IoT θέτει ευδιάκριτα χαρακτηριστικά. Τα κύρια χαρακτηριστικά της κατά προσέγγιση στο δίκτυο παρατίθενται ως εξής.

1. Από τα δεδομένα που έχουμε δει και παρατηρήσει, προφανώς υπάρχουν πολλά να κάνουν με την κατά προσέγγιση χρήση του δικτύου με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτό το σενάριο IoT, οι πόροι δεδομένων που λαμβάνονται από κόμβους αισθητήρων, όπως για παρακολούθηση κατάστασης, ανίχνευση πυρκαγιάς και κυκλοφοριακή συμφόρηση, ενδέχεται να αλλάξουν ταχύτερα από το περιεχόμενο που είναι αποθηκευμένο στο CDN. Τα παλιά δεδομένα μπορεί να «λήξουν», γεγονός που δημιουργεί νέες απαιτήσεις για τα δεδομένα. Έχοντας αυτό υπόψη, η διαδικασία ενημέρωσης δεδομένων θα πρέπει να εκτελείται συχνά και περιοδικά για να διασφαλίζεται η ανανέωση των αρχειοθετημένων δεδομένων.
2. Στο IoT, τα δεδομένα του αισθητήρα είναι συχνά μικρά λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας της μπαταρίας του κόμβου αισθητήρα. Γενικά, οι πόροι δεδομένων είναι μικροί, αλλά επειδή υπάρχουν τεράστιοι κόμβοι αισθητήρων στην καθημερινή μας ζωή, ο αριθμός των πληροφοριών σχετικά

με τα bit δεδομένων θα είναι σχετικά μεγάλος. Ο κύριος στόχος της ενθυλάκωσης δικτύου στο IoT είναι η μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που παράγεται. λειτούργουν με μπαταρία και δεν καταναλώνονται για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα των υπηρεσιών IoT από κόμβους αισθητήρων. Ωστόσο, η συμβατική caching σε CDN δίνει μεγαλύτερη έμφαση στην ανακούφιση του κυκλοφοριακού φόρτου των συνδέσεων backhaul και στη μείωση του χρόνου λανθάνοντος χρόνου των τελικών χρηστών.

Από τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η υλοποίηση του πράσινου IoT είναι ο απώτερος στόχος της προσέγγισης του δικτύου. Για να το επιτύχουμε αυτό, πρέπει να αντιμετωπίσουμε τα ζητήματα που προκαλούνται από τον περιορισμό του δικτύου. Λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών της οριζόντιας τμηματοποίησης δικτύου που αναφέρθηκαν παραπάνω, τα υπάρχοντα συστήματα τέφρας δεν μπορούν να κλιμακωθούν άμεσα με οριζόντια τμηματοποίηση δικτύου για σενάρια IoT. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να σχεδιαστούν αποτελεσματικά συστήματα αποθήκευσης δικτύου που να αντιμετωπίζουν αυτά τα πολύπλοκα προβλήματα.

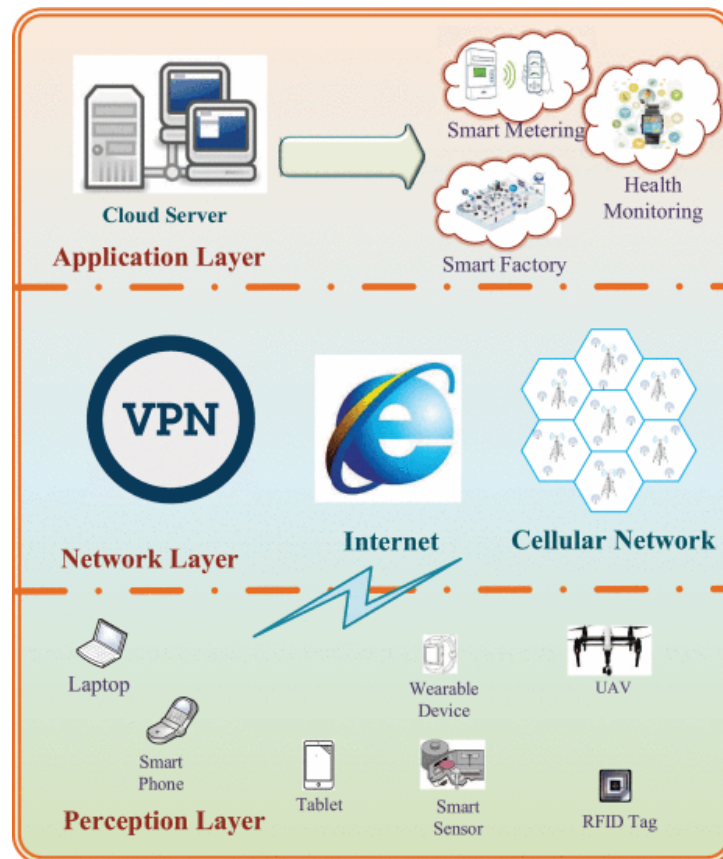
1. Με βάση τα παραπάνω, σε αυτή την εργασία διερευνούμε ενεργειακά αποδοτική αποθήκευση δικτύου για πράσινη εφαρμογή IoT. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή στρατηγική μετάδοσης από αισθητήρα σε πελάτη, οι πελάτες μπορούν να αποκτήσουν τους πόρους δεδομένων που απαιτούνται από τους μεσίτες με τη βοήθεια προσέγγισης δικτύου, η οποία μπορεί να ανακουφίσει το φορτίο κίνησης των κόμβων αισθητήρων και να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας αυτών των κόμβων. . Οι κύριες συνεισφορές αυτής της εργασίας συνοψίζονται ως εξής.
2. Βλέπουμε τις βασικές αρχές της αποθήκευσης δικτύου στην αρχιτεκτονική του IoT, που εκεί συμπεριλαμβάνεται και η δημοτικότητα των αιτημάτων, των βασικών επιρροών και του σεναρίου εφαρμογών. Αναφέρει επίσης τις αρχές ανάπτυξης των μεσιτών με δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης, ιδίως τις λεπτομέρειες του χρονοδιακόπτη.
3. Ενθαρρύνουμε την ενεργειακά αποδοτική δυναμική αποθήκευση δικτύου για πράσινο IoT για να ελαχιστοποιήσουμε τη συνολική κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων. Το προτεινόμενο σχέδιο εξετάζει από κοινού την απαίτηση τοποθεσίας και καθυστέρησης των πελατών, τον κυκλοφοριακό φόρτο των μεσιτών καθώς και το επίπεδο ενέργειας των κόμβων αισθητήρων.

Παρέχουμε επίσης πραγματικές περιπτώσιολογικές μελέτες σεναρίων IoT για να αποδείξουμε την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος μετριάσμού δικτύου. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ξεκάθαρα ότι η αποθήκευση δικτύου έχει μεγάλες δυνατότητες να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του συνολικού IoT μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων.

Η υπόλοιπη εργασία αποτελείται από: Η ενότητα II παρέχει τα βασικά στοιχεία της ανθεκτικότητας του δικτύου για το Green IoT. Το Κεφάλαιο III προτείνει ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα εξοικονόμησης δικτύου για το πράσινο IoT. Το Κεφάλαιο IV εκτελεί μια μελέτη περίπτωσης για να καταδείξει την υπεροχή του προτεινόμενου συστήματος για την ενεργειακή απόδοση της αποθήκευσης δικτύου σε σεναρία IoT. Τέλος, η Ενότητα V συνοψίζει το έγγραφο και παρέχει μελλοντική καθοδήγηση για εφαρμογή σε προσεγγίσεις προσωρινής αποθήκευσης δικτύου για πράσινο IoT.

## 2.2 Οι βασικές αρχές της ενδοεταιρίας για το πράσινο IoT

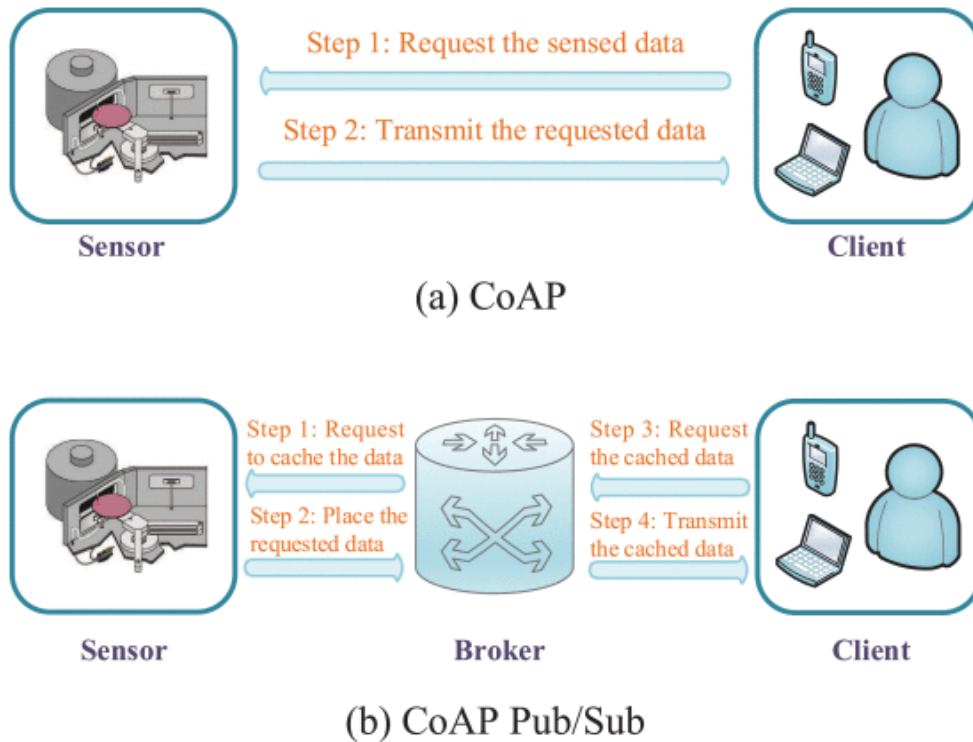
Το IoT δεν είναι μια νέα ιδέα, αλλά κερδίζει περισσότερη δημοτικότητα και δυναμική πρόσφατα. Μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως στην ανάπτυξη της έξυπνης πόλης [29], η οποία μας παρέχει την πλατφόρμα για να βελτιώσουμε την αποδοτικότητα της εργασίας και να έχουμε πρόσβαση σε περισσότερη άνεση στην καθημερινή ζωή. Το IoT αποτελείται από τρία επίπεδα, δηλαδή το επίπεδο αντίληψης, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο εφαρμογής. Ένα λεπτομερές παράδειγμα αυτού του τύπου δομής με στρώματα IoT φαίνεται στο Σχήμα. Συγκεκριμένα, το επίπεδο αντίληψης περιέχει πολλές ετερογενείς συσκευές IoT, όπως έξυπνους αισθητήρες, φορητούς υπολογιστές, φορητές συσκευές, ενεργοποιητές και μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs), για την εκτέλεση της λειτουργίας εντοπισμού, μεταφοράς και επικοινωνίας. το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την παροχή της πλατφόρμας για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων αισθητήρων. και το επίπεδο εφαρμογής είναι ικανό να παρέχει περισσότερους πόρους δεδομένων και έξυπνες υπηρεσίες στους πελάτες κατόπιν αιτήματός τους. Ειδικότερα, η υπηρεσία εντοπισμού είναι η πιο κοινή και χρησιμοποιούμενη εφαρμογή στο IoT, μέσω της οποίας οι πελάτες μπορούν να λάβουν τις συνθήκες παρακολούθησης του περιβάλλοντος περιβάλλοντος και να ενεργήσουν ανάλογα.



*Εικόνα 6. Ένα παράδειγμα της πολυεπίπεδης δομής IoT.*

### 2.2.1 Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογής

Επεκτείνοντας το επίπεδο εφαρμογής, υπάρχουν δύο δημοφιλή πρωτόκολλα [30]: Περιορισμένο πρωτόκολλο εφαρμογής (CoAP) και CoAP Publish/Subscribe (CoAP Pub/Sub), όπως φαίνεται στο σχήμα. Το CoAP έχει μια πολύ απλή διαδικασία αποστολής όπου οι κόμβοι αισθητήρων στέλνουν τα δεδομένα που έχουν εντοπιστεί απευθείας στον αιτούντα πελάτη. Αντίθετα, με το CoAP Pub/Sub, εισάγονται μεσίτες για την αποθήκευση δεδομένων τοπικά από αισθητήρες που φιλοξενούνται σε πόρους. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο μεταφοράς, ο αισθητήρας στέλνει πρώτα τα δεδομένα που ανιχνεύονται στον μεσίτη και ο πελάτης μπορεί να έχει πρόσβαση στα ζητούμενα δεδομένα μέσω αυτού του μεσίτη. Το κύριο κίνητρο για το CoAP Pub/Sub είναι η αποφυγή της συχνής ενεργοποίησης των κόμβων αισθητήρων και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τη μετάδοση δεδομένων, επιτρέποντας στους πελάτες να λαμβάνουν δεδομένα ανίχνευσης ακόμη και όταν ο αισθητήρας που φιλοξενεί τον πόρο είναι σε κατάσταση αναστολής.



**Εικόνα 7.** Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογής, δηλαδή α) CoAP και β) CoAP Pub/Sub.

Λόγω των πολλαπλών αντιγράφων δεδομένων που εντοπίζονται μεταξύ των μεσιτών, το CoAP Pub / Sub υπερτερεί του CoAP όσον αφορά τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αποφυγή απώλειας υπηρεσίας. Ωστόσο, η προκύπτουσα μετάδοση πολλαπλών λυμάτων από το CoAP Pub / Sub έχει ως αποτέλεσμα μια πιο σοβαρή χρονική καθυστέρηση καθώς και λιγότερη φρεσκάδα των δεδομένων που ζητούνται από το CoAP. Κατά συνέπεια, η αντιστάθμιση μεταξύ της συνολικής κατανάλωσης ισχύος αισθητήρα και της μετάδοσης πολλαπλών βημάτων θα πρέπει να λαμβάνεται πλήρως υπόψη σε πρακτικές εφαρμογές IoT.

Οι διακομιστές μεσολάβησης δικτύου συνήθως διανέμονται σε ένα δίκτυο υπολογιστών και είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά των απαραίτητων πληροφοριών μεταξύ του Διαδικτύου και των υπολογιστών-πελατών. Όταν τα δίκτυα υπολογιστών χρησιμοποιούν διακομιστές μεσολάβησης δικτύου, τα δίκτυα παράδοσης περιεχομένου (CDN) και οι αρχιτεκτονικές δικτύων με επίκεντρο τις πληροφορίες (ICN) μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες αποθήκευσης δεδομένων. Σε αντίθεση με τη μεταφορά πληροφοριών από κεντρικό υπολογιστή σε κεντρικό υπολογιστή, το CDN απαιτεί τη δημιουργία ενός νέου εικονικού δικτύου πάνω από το υπάρχον Διαδίκτυο

για τη διανομή περιεχομένου, γεγονός που αυξάνει το λειτουργικό κόστος και μειώνει την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας. Υποθέτει επίσης ότι η υιοθέτηση μιας αρχιτεκτονικής ICN απαιτεί άλλες πρόσθετες λειτουργίες στα δεδομένα, όπως η ονομασία και η τοποθέτηση των δεδομένων. Αν και αυτές οι δύο αρχιτεκτονικές μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες κατά την κοινή χρήση δεδομένων σε πελάτες, η αρχιτεκτονική του δικτύου και τα πρωτόκολλα πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά και να απαιτούν υψηλότερο κόστος ανάπτυξης. Στο προτεινόμενο σύστημα προσωρινής αποθήκευσης, η υπηρεσία προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με την υλοποίηση ενός μεσίτη μεταξύ του κόμβου αισθητήρα και του πελάτη. Σε σύγκριση με τα CDN και τα ICN, υπάρχουν λίγες αλλαγές στην αρχιτεκτονική του δικτύου, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος. Το προτεινόμενο σύστημα σύλληψης μπορεί επίσης να μειώσει αποτελεσματικά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ειδικότερα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το προτεινόμενο σύστημα προσωρινής αποθήκευσης δικτύου μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε σενάρια κυψελοειδούς IoT (C-IoT) όταν επικοινωνίες τύπου μηχανής μεγάλης χωρητικότητας, που είναι ένα από τα αντιπροσωπευτικά παραδείγματα εφαρμογών επικοινωνίας 5G (5ης γενιάς), απαιτείται. ).

### 2.2.2 Οι Υλοποιήσεις των Μεσιτών

Οι μεσίτες αποτελούν βασικό συστατικό της δημιουργίας CoAP Pub/Sub. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται παρακάτω. Πρώτον, ο μεσίτης έχει χωρητικότητα αποθήκευσης και έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει δημοφιλείς πόρους δεδομένων που φιλοξενούνται από παρακείμενους κόμβους αισθητήρων. Όταν ένας πελάτης ζητά έναν πόρο δεδομένων προσωρινής αποθήκευσης, μπορεί να βρεθεί τοπικά από τον μεσίτη και να προωθηθεί στον πελάτη χωρίς να ανακτηθεί από τον αισθητήρα. Σε μια πραγματική εφαρμογή, μια πύλη ή ένας δρομολογητής μπορεί να λειτουργήσει ως μεσίτης. Σε αντίθεση με τους κόμβους αισθητήρων που λειτουργούν με μπαταρία και περιορισμένης ισχύος, οι μεσίτες έχουν επαρκή και σταθερή ισχύ, ώστε να μπορούν να παρέχουν στους πελάτες καλή ποιότητα εξυπηρέτησης (QoS). Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα προσωρινής αποθήκευσης που μελετήθηκαν σε CDN [19], [25], [31], τα δεδομένα που αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη σε μεσίτες μπορεί να είναι εφήμερα και να χάνουν γρήγορα την αξία τους σε σενάρια IoT. Επομένως, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή

στη φρεσκάδα του πόρου δεδομένων. Για αυτό, απαιτείται χρονόμετρο κατά την εφαρμογή ενός μεσίτη [32]. Χρησιμοποιείται χρονοδιακόπτης για να αξιολογηθεί εάν τα τρέχοντα δεδομένα ενημερώνονται αμέσως. Πιο συγκεκριμένα, εάν ο χρονοδιακόπτης δεν φτάσει το προεπιλεγμένο χρονικό όριο λήξης, σημαίνει ότι τα αποθηκευμένα δεδομένα στην κρυφή μνήμη ζητούνται πραγματικά από τον πελάτη και ο μεσίτης δεν ενημερώνει τον πόρο δεδομένων που έχει αποθηκευτεί στην κρυφή μνήμη. Διαφορετικά, ο μεσίτης πρέπει να αντλήσει δεδομένα από τον αισθητήρα, να ενημερώσει τα προσωρινά δεδομένα και στη συνέχεια να εξυπηρετήσει τον πελάτη.

Η αποθήκευση στοιχείων δεδομένων σε έναν μεσίτη μπορεί να μειώσει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του αισθητήρα και να αποτρέψει την απώλεια της υπηρεσίας, αλλά η αποθήκευσή τους στο δίκτυο δεν είναι καλή επιλογή εάν:

Οι λογικοί πόροι δεδομένων, όπως τα προσωπικά δεδομένα παρακολούθησης της υγείας, δεν χρησιμοποιούνται ευρέως. Σε αυτήν την περίπτωση, έχετε έναν μικρό αριθμό πελατών που ζητούν δεδομένα. Η αποθήκευση αυτού του τύπου δεδομένων θα ήταν σπατάλη πόρων για τον μεσίτη, καθώς η αποθήκευση εξακολουθεί να καταναλώνει ενέργεια. Επιπλέον, σε περίπτωση μεταφοράς δεδομένων σε πολλαπλά στάδια, παρατείνεται η προθεσμία για τους πελάτες που ζητούν αυτά τα δεδομένα.

Ο μεσίτης είναι σε μποτιλιάρισμα. Εάν τα ευαίσθητα δεδομένα αποθηκεύονται στην τοπική αποθήκευση του μεσίτη, πολλοί πελάτες ενδέχεται να λάβουν τα ζητούμενα δεδομένα μέσω αυτών των μεσιτών, με αποτέλεσμα σοβαρή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Σε αυτήν την περίπτωση, οι πελάτες θα αντιμετωπίσουν απaráδεκτη καθυστέρηση, η οποία μπορεί να επηρεάσει σοβαρά αρνητικά ορισμένες κρίσιμες για το χρόνο εφαρμογές IoT, όπως η ανίχνευση πυρκαγιάς και τοξικών αερίων.

Η νέα εποχή συλλογής δεδομένων είναι πολύ σύντομη. Εάν η ανανέωση των δεδομένων μπορεί να διατηρηθεί μόνο για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να ανακτώνται καλύτερα από τους γύρω αισθητήρες. Αυτό συμβαίνει επειδή η αποστολή πολλαπλών ροών μέσω ενός μεσίτη αυξάνει τον λανθάνοντα χρόνο και μειώνει τη φρεσκάδα των δεδομένων.

Οι απαιτήσεις καθυστέρησης πελάτη είναι σημαντικές και αυτοί οι πελάτες βρίσκονται πιο μακριά από τον μεσίτη που αποθηκεύει τα δεδομένα που χρειάζονται. Σε αυτή την περίπτωση, θεωρείται ότι τα απαραίτητα δεδομένα προέρχονται από έναν γειτονικό κόμβο αισθητήρα.

Εμπνευσμένο από τα παραπάνω, η προσωρινή μνήμη δικτύου στο IoT αξίζει μεγάλης προσοχής, η οποία μπορεί να αποφασίσει εάν τα δεδομένα που ανιχνεύονται θα πρέπει να αποθηκευτούν προσωρινά στους μεσίτες ή όχι. Στη συνέχεια, προσδιορίζεται αναλόγως το συνδυασμένο σύστημα ανάκτησης. Ο απαιτούμενος πόρος δεδομένων μπορεί να ληφθεί τόσο από αισθητήρες όσο και από μεσίτες, γεγονός που είναι σε θέση να μειώσει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας των αισθητήρων, να εξασφαλίσει την απαίτηση καθυστέρησης των πελατών και να προσαρμοστεί στις δυναμικές καταστάσεις του δικτύου.

### 2.3 Το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια του δικτύου για το πράσινο IoT

Λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών του που πλησιάζουν την προσωρινή αποθήκευση δικτύου στο IoT, η αποθήκευση ευαίσθητων δεδομένων σε μεσίτες δεν είναι πάντα η βέλτιστη επιλογή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ανάλογα με τις διαφορετικές ανάγκες των χρηστών και τις καταστάσεις δικτύου, οι πελάτες μπορούν να έχουν ευέλικτη πρόσβαση στα δεδομένα που απαιτούνται από αισθητήρες ή μεσίτες. Σε αυτήν την ενότητα, εύλογα υποθέτουμε ότι οι πόροι δεδομένων που μας ενδιαφέρουν είναι δημοφιλείς μεταξύ των πελατών και, στη συνέχεια, προτείνουμε το ενεργειακά αποδοτικό σύστημα κατά την αποθήκευση στο δίκτυο στο IoT για την ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των κόμβων αισθητήρων.

Τα παραδοσιακά συστήματα προσωρινής αποθήκευσης CDN έχουν εξελιχθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Γενικά, η πιθανότητα να ζητηθεί περιεχόμενο ακολουθεί τον νόμο του Zipf. Η εύρεση των σωστών παραμέτρων κλίσης μπορεί να αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τη συγκέντρωση της ζήτησης. Ωστόσο, αυτή η αρχή δεν ισχύει για το IoT. Αρχικά, ορίζουμε τη δημοτικότητα των δεδομένων στο IoT [30]. Για απλότητα, χωρίς να χάνουμε τη γενικότητα, εστιάζουμε σε μια λίστα δημοφιλών πόρων για μεσίτες.

#### Ορισμός 1:

1. Τα δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν δημοφιλή εάν ο αριθμός των φορών που ένας πελάτης ζητά δεδομένα για μια χρονική περίοδο υπερβαίνει τον αριθμό των φορών που ο μεσίτης έχει ενημερώσει τα δεδομένα.
2. Θεωρείται επίσης ότι η μνήμη των μεσιτών είναι αρκετά μεγάλη για να χωρέσει όλους τους μικρούς πόρους δεδομένων που παράγονται από τις



υπηρεσίες εντοπισμού που εξετάζονται στο σενάριό μας. Λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών του IoT, κατά το σχεδιασμό του βέλτιστου συστήματος προσωρινής αποθήκευσης δικτύου, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα ζητήματα:

3. Συνέπεια: Η συνέπεια της προσωρινής αποθήκευσης δικτύου απαιτεί τα αποθηκευμένα δεδομένα να είναι συνεπή με τα ζητούμενα δεδομένα. Στο πλαίσιο αυτό εισάγεται η νέα εποχή των δεδομένων που εγγυάται το ζήτημα της συνοχής.
4. Σχετικές τοποθεσίες πελατών, αισθητήρων και μεσιτών: Για ορισμένες εφαρμογές ανίχνευσης λανθάνοντος χρόνου και ανίχνευσης σε πραγματικό χρόνο, οι πελάτες είναι πιο πιθανό να λάβουν τα απαιτούμενα δεδομένα από το κοντέινερ δεδομένων.
5. Απαιτήσεις λανθάνοντος χρόνου: Πολλοί πελάτες IoT μπορεί να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις καθυστέρησης, που κυμαίνονται από πολλά χιλιοστά του δευτερολέπτου έως αρκετά δευτερόλεπτα, και οι πελάτες με χαλαρές απαιτήσεις λανθάνοντος χρόνου υποτίθεται ότι ανακτούν τα δεδομένα που ζητούν οι μεσίτες, αποφεύγοντας την ενεργοποίηση μεταδόσεων δεδομένων από αισθητήρες.
6. Κυκλοφοριακή συμφόρηση σε μεσίτες: Λόγω των μυριάδων πελατών IoT που συνδέονται στο δίκτυο για διάφορες υπηρεσίες παρακολούθησης, ο μεσίτης θα αποκλειστεί εάν υπάρχουν πάρα πολλά αιτήματα ανάκτησης δεδομένων, προκαλώντας σοβαρές καθυστερήσεις υπηρεσιών και μειωμένη ποιότητα υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, η εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ μεσιτών και αισθητήρων είναι κρίσιμη και απαραίτητη.

Κατάσταση μπαταρίας αισθητήρα: Οι αισθητήρες λειτουργούν πάντα με μπαταρία και δεν μπορούν να επαναφορτιστούν πριν από την αντικατάσταση. Σε αυτό το πλαίσιο, όταν οι κόμβοι αισθητήρων έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, είναι πιο πρόθυμοι να μεταδώσουν δεδομένα σε γειτονικούς μεσίτες για εξοικονόμηση ενέργειας, ώστε να αποφευχθούν συχνές και επαναλαμβανόμενες μεταδόσεις δεδομένων από άκρο σε άκρο. Κατά την εφαρμογή του στραγγαλισμού δικτύου στο IoT, τα παραπάνω ζητήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη από κοινού. Εν τω μεταξύ, θα πρέπει να αποκτηθούν και τα μοναδικά χαρακτηριστικά συγκεκριμένων εφαρμογών IoT.

Στοχεύοντας τα παραπάνω ζητήματα, θα πρέπει να συμπεκνωθούν οι ακόλουθοι παράγοντες που επηρεάζουν την εφαρμογή του συστήματος προσωρινής αποθήκευσης δικτύου στο IoT, ο οποίος αναφέρεται ως εξής:

Ο νέος χρόνος για κάθε δεδομένα.

1. Η απόσταση κατα μεσο ορο που υπάρχει μεταξύ των πελατών και των αισθητήρων φιλοξενίας πόρων.
2. Τις καθυστερήσεις που απαιτούνται στους πελάτες που ζητούν τις συγκεκριμένες υπηρεσίες ανίχνευσης.
3. Ο αριθμός των φορών που οι πελάτες ζητούν τα δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για να αντικατοπτρίζουν το φορτίο κυκλοφορίας των αισθητήρων φιλοξενίας πόρων.
4. Το ενεργειακό επίπεδο των αισθητήρων.

Είναι αξιοσημείωτο ότι αυτοί οι παράγοντες συνδυάζονται μεταξύ τους και οι ανταλλαγές τους θα πρέπει να αξιολογούνται προσεκτικά. Για παράδειγμα, το ενεργειακό επίπεδο των αισθητήρων μπορεί να αποτύχει να ικανοποιήσει τις κρίσιμες απαιτήσεις καθυστέρησης των πελατών, γεγονός που μας ωθεί να κάνουμε μια προτιμώσιμη ισορροπία μεταξύ τους.

Εστιάζοντας στους παράγοντες που επηρεάζουν παραπάνω, προτείνουμε το ενεργειακά αποδοτικό δυναμικό σύστημα εγκλωβισμού στο δίκτυο για την επίτευξη του πράσινου IoT. Περισσότερες λεπτομέρειες παρουσιάζονται ως εξής:

- Βήμα 1: Διαχωρίστε το επιτρεπόμενο εύρος τιμών για κάθε παράγοντα αντίκτυπου σε διάφορα επίπεδα και καθορίστε το επίπεδο τιμής για κάθε παράγοντα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχουν πέντε παράγοντες που επηρεάζουν κάθε δεδομένα και τον κόμβο αισθητήρα φιλοξενίας πόρων: νέος χρόνος, μέση απόσταση μεταξύ πελάτη και κόμβου φιλοξενίας πόρων, απαιτήσεις καθυστέρησης και αριθμός αιτημάτων δεδομένων από κάθε κόμβο αισθητήρα. και τη φόρτιση της μπαταρίας. Ας υποθέσουμε ότι το σενάριο IoT που εξετάζετε έχει  $N$  συνολικούς πόρους δεδομένων. Για τα πιο πρόσφατα δεδομένα, οι τιμές των πέντε επιρροών αντιπροσωπεύονται από  $\text{fin}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$ , αντίστοιχα. Η αξία κάθε influencer χωρίζεται σε διάφορα επίπεδα ανάλογα με τον αριθμό. Διαιρέστε το επίπεδο και την τρέχουσα τιμή του πτερυγίου,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ . Για παράδειγμα, η ενέργεια της μπαταρίας ενός

κόμβου αισθητήρα χωρίζεται σε 5 επίπεδα, όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο, τόσο περισσότερο ο αισθητήρας Δείχνει ότι έχει απομείνει πολλή ενέργεια.

- Βήμα 2: Προσδιορισμός βαρών για κάθε Influencer Μπορεί να δοθεί προτεραιότητα σε πολλούς παράγοντες επιρροής για μια συγκεκριμένη εφαρμογή IoT και ανακαλυφθέντα πόρους δεδομένων. Προκειμένου να δοθεί διαφορετική σημασία σε κάθε παράγοντα που εξετάζεται, είναι δυνατό να οριστεί κάθε βάρος, το οποίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατάσταση του δικτύου και τις ανάγκες των χρηστών. Για το πο σημείο αναφοράς, τα βάρη που ανήκουν στους πέντε τύπους συντελεστών επιρροής εκφράζονται ως  $w_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$ , αντίστοιχα, και το άθροισμα αυτών των βαρών ικανοποιεί  $\sum w_i = 1$ .
- Βήμα 3: Διαμορφώστε τη συνάρτηση κόστους για να αποφασίσετε εάν θα αποθηκεύσετε τα δεδομένα στην κρυφή μνήμη. Από την κορυφή, σχεδιάζεται μια συνάρτηση κόστους που καθορίζει εάν τα δεδομένα αποθηκεύονται προσωρινά στον μεσίτη. Κάθε όρος στη συνάρτηση κόστους είναι το γινόμενο του επιπέδου αξίας και του βάρους του και το άθροισμα αυτών των όρων σχηματίζει τη συνάρτηση κόστους. Σύμφωνα με αυτή την αρχή, η συνάρτηση κόστους είναι

$$C_n = \sum w_i \cdot \text{level}_i, n = 1, 2, \dots, N. (1)$$

Εάν η τιμή του  $C_n$  είναι μικρότερη από το προεπιλεγμένο όριο προσωρινής αποθήκευσης  $\tau$ , τότε αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να αποθηκευτούν στην κρυφή μνήμη στον γειτονικό μεσίτη. Διαφορετικά, πρέπει να ανακτήσετε τα απαιτούμενα δεδομένα απευθείας από τον πόρο που φιλοξενεί τον αισθητήρα.

Στο βήμα 1, ο αριθμός των επιπέδων τιμών για διαφορετικούς παράγοντες επιρροής μπορεί να προσαρμοστεί δυναμικά με βάση το εύρος τιμών αυτού του παράγοντα. Εάν η τιμή ποικίλλει σε ένα ευρύτερο εύρος, μπορεί να αναλυθεί σε πολλά επίπεδα. Στο προτεινόμενο σύστημα προσωρινής αποθήκευσης, η εξοικονόμηση ενέργειας των ηλικιωμένων δεν θα πρέπει να γίνεται εις βάρος της αυξημένης καθυστέρησης των πελατών. Έτσι, στο βήμα 2, τα βάρη για τις απαιτήσεις καθυστέρησης πελατών μπορεί να είναι μεταβλητά για να διασφαλιστεί ότι οι καθυστερήσεις πελατών είναι εντός αποδεκτών ορίων. Κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή εντοπισμού IoT έχει ένα όριο χρονοδιακόπτη για να διασφαλίσει ότι τα δεδομένα που ανακαλύφθηκαν ενημερώνονται. Εάν οι απαιτήσεις καθυστέρησης του πελάτη είναι κοντά στο

καθορισμένο όριο χρονοδιακόπτη, τότε το βάρος καθυστέρησης μπορεί να ρυθμιστεί σε μια λογική τιμή. Αντίθετα, εάν το αίτημα καθυστέρησης είναι πολύ σημαντικό, μπορείτε να ορίσετε το βάρος καθυστέρησης σε αρκετά υψηλή τιμή, έτσι ώστε η τιμή της συνάρτησης κόστους να είναι μεγαλύτερη από το προκαθορισμένο χρονικό όριο επεξεργασίας  $\tau$  και τα απαιτούμενα δεδομένα να ανακτώνται από τον αισθητήρα. Αυτό οδηγεί σε μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις. Οι λεπτομέρειες του προτεινόμενου συστήματος βαθμολόγησης συνοψίζονται στον Αλγόριθμο 1.

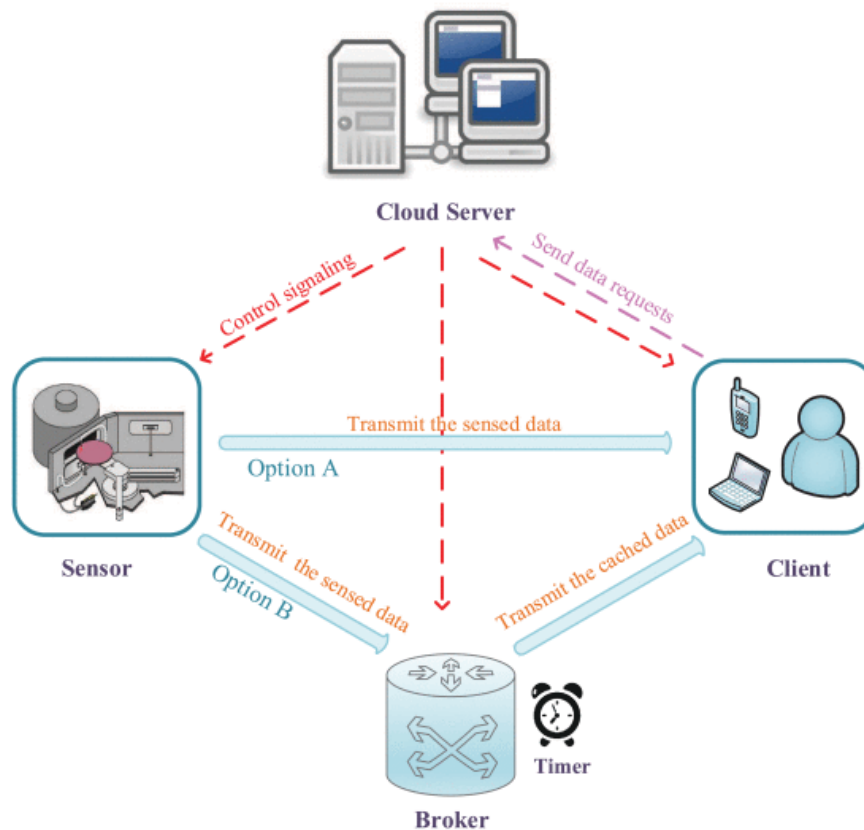
<p>Αλγόριθμος 1 Το προτεινόμενο σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας-αποδοτικής δυναμικής-Caching δικτύου</p>
<p><b>Προετοιμασία:</b> οι εφικτές σειρές τιμών των παραγόντων που επηρεάζουν,</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. φρέσκο χρόνο.</li> <li>2. μέση απόσταση μεταξύ των πελατών και του κόμβου αισθητήρων φιλοξενίας πόρων.</li> <li>3. απαιτήσεις καθυστέρησης.</li> <li>4. τον αριθμό των αιτημάτων δεδομένων κάθε κόμβου αισθητήρα.</li> <li>5. ενέργεια μπαταρίας.</li> </ol>
<p><b>Εισαγωγή:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. την τρέχουσα τιμή κάθε συντελεστή πρόσκρουσης.</li> <li>2. τον αριθμό του επιπέδου διαιρεμένης τιμής.</li> <li>3. το κατώτατο όριο για την κατάκτηση του τροφίμου <math>\tau_g</math>.</li> <li>4. Καθορίστε το βάρος για κάθε παράγοντα πρόσκρουσης.</li> </ol> <p>Για κάθε πόρο δεδομένων</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Διαμορφώστε τη λειτουργία κόστους για τα δεδομένα σύμφωνα με το Βήμα 3.</li> <li>2. Εάν η τιμή της συνάρτησης κόστους είναι μικρότερη από <math>\tau_c</math>, αποθηκεύστε προσωρινά τα δεδομένα.</li> <li>3. Διαφορετικά, ανακτήστε τα δεδομένα από τον κόμβο αισθητήρα φιλοξενίας πόρων.</li> </ol>
<p><b>Τέλος</b>  <b>Έξοδος:</b> η απόφαση για την κατάκτηση για κάθε δεδομένα.</p>

Το προτεινόμενο σύστημα κλειδώματος μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση βιομηχανικών εφαρμογών όπου η συχνότητα πρόσβασης των κόμβων αισθητήρων αλλάζει με την πάροδο του χρόνου και η δημοτικότητα των αιτημάτων για πόρους δεδομένων αισθητήρων αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, το προτεινόμενο σύστημα προσωρινής αποθήκευσης δικτύου μπορεί να αντικατοπτρίζει τη δημοτικότητα των αποθηκευμένων δεδομένων στην

κρυφή μνήμη κατά τη διάρκεια της παρατηρούμενης περιόδου, εφαρμόζοντας μια νέα ώρα για κάθε πόρο δεδομένων. Εάν ο αιτούμενος πόρος δεδομένων είναι δημοφιλής και ζητείται από πολλούς πελάτες, ο νέος χρόνος δεδομένων ορίζεται σε υψηλή τιμή και αντίστροφα. Επιπλέον, κάθε μεσίτης είναι εξοπλισμένος με ένα χρονόμετρο που μετρά μια νέα ώρα και καθορίζει εάν τα τρέχοντα δεδομένα είναι ενημερωμένα ή εκτιμώνται από τους πελάτες. Επιπλέον, μπορεί να υπάρξουν πολλά αιτήματα ριπής δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα, όταν ενεργοποιούνται ορισμένες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή συναγερμοί. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η κατάσταση, οι απαιτήσεις καθυστέρησης για τη συλλογή δεδομένων και η συμφόρηση των κόμβων αισθητήρων είναι δύο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη μαζί. Σε αυτό το έγγραφο, αυτοί οι δύο παράγοντες περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό του συστήματος τη στιγμή της συλλογής και τα βάρη για αυτούς τους δύο παράγοντες μπορούν να ρυθμιστούν σε υψηλότερες τιμές στη συνάρτηση κόστους για τη διαχείριση συνθηκών έκτακτης ανάγκης ή συναγερμού.

Συνήθως, αυτές οι μηχανές αδιεξόδου διαχειρίζονται από έναν κεντρικό ελεγκτή, καθώς έχουν ισχυρή υπολογιστική ικανότητα και έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν περιοδικά αιτήματα δεδομένων από όλους τους πελάτες. Η λεπτομερής διαδικασία ανάκτησης συγκόλλησης στο προτεινόμενο σύστημα κλειδώματος δικτύου έχει ως εξής. Ένα χρονόμετρο ξεκινά στην αρχή κάθε χρονοθυρίδας. Ένας κεντρικός ελεγκτής διαχειρίζεται ενεργειακά αποδοτικά συστήματα ενώ ταυτόχρονα τα αποθηκεύει στο δίκτυο.

Αν η απόφαση αποθήκευσης στην κρυφή μνήμη που λαμβάνεται από τον ελεγκτή απαιτεί από τον μεσίτη να αποθηκεύσει προσωρινά τα ανακτημένα δεδομένα, ο



ελεγκτής δημιουργεί ένα μοναδικό αναγνωριστικό πόρων (URI) και ο αισθητήρας μπορεί να στείλει τα ανακτημένα δεδομένα στον μεσίτη μέσω αυτού του URI. Επομένως, συνιστάται οι πελάτες των οποίων ο πόρος δεδομένων που ζητήθηκε είναι αποθηκευμένος στην προσωρινή μνήμη να ανακτούν τα ζητούμενα δεδομένα μέσω του καθορισμένου URI. Διαφορετικά, οι πελάτες μπορούν να έχουν απευθείας πρόσβαση στους αισθητήρες και να λάβουν τα δεδομένα που χρειάζονται ως συνήθως. Σημειώστε ότι οι διαδικασίες κατάθεσης και ανάκτησης πρέπει να ολοκληρωθούν εντός του καθορισμένου χρονικού ορίου για να διασφαλιστεί η ανανέωση των δεδομένων που συλλέγονται.

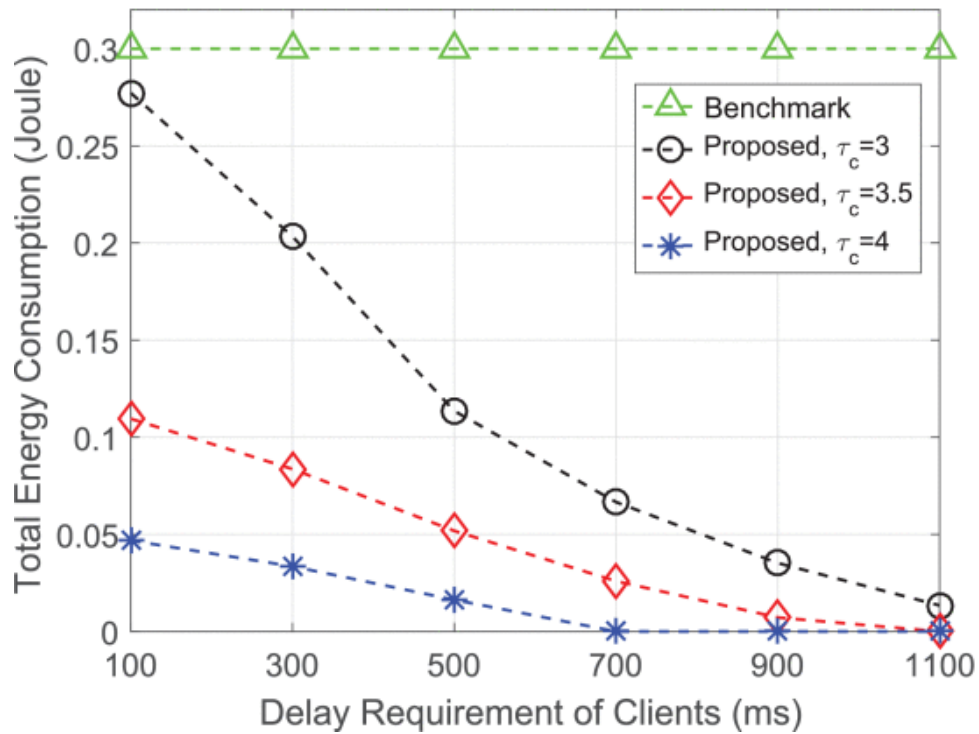
*Εικόνα 8. Οι συνδυασμένες διαδικασίες ανάκτησης στο πλαίσιο του προτεινόμενου καθεστώτος περιστολής στο δίκτυο.*

## 2.4 Περιπτωσιολογική Μελέτη

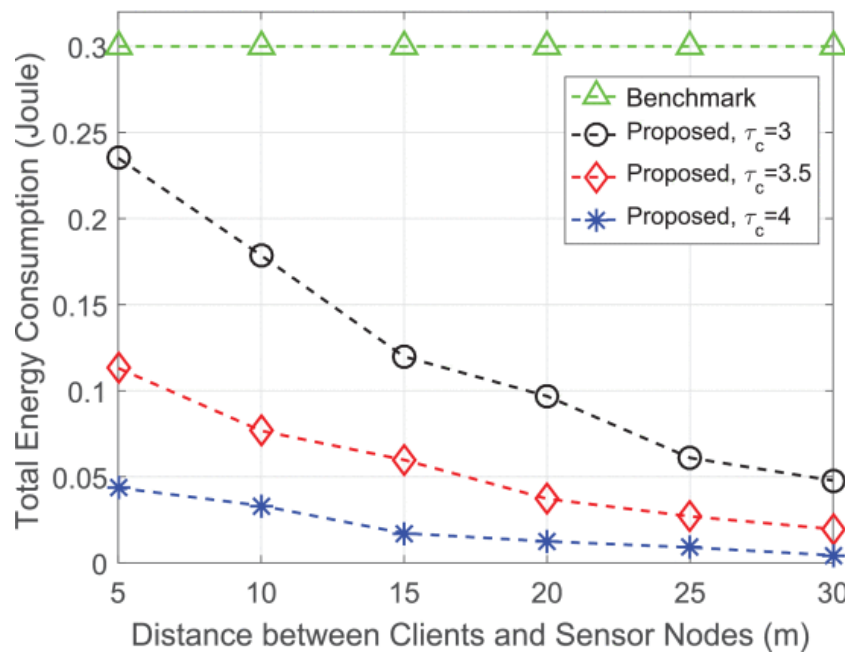
Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης της μελέτης περίπτωσης που σχεδιάστηκε για το προτεινόμενο σύστημα υψηλής ενεργειακής απόδοσης κατά την αποθήκευση δικτύου στο σενάριο IoT. Για να καταδειχθεί η

αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος μετριασμού όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, το σύστημα μετάδοσης αισθητήρα-πελάτη υιοθετείται ως σημείο αναφοράς. Σύμφωνα με τη στρατηγική αναφοράς, χωρίς τη βοήθεια μεσιτών, οι κόμβοι αισθητήρων που φιλοξενούν τους πόρους μεταδίδουν απευθείας τους ζητούμενους πόρους δεδομένων στους πελάτες.

Τα σχήματα 4 και 5 δείχνουν τη συνολική κατανάλωση ισχύος ενός κόμβου αισθητήρα ως συνάρτηση των διαφορετικών απαιτήσεων καθυστέρησης και της απόστασης μεταξύ του πελάτη και του κόμβου αισθητήρα, αντίστοιχα. Από αυτά τα δεδομένα, συμπεραίνουμε ότι το προτεινόμενο σύστημα προσωρινής αποθήκευσης δικτύου είναι υψηλότερο από το σημείο αναφοράς όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας, επειδή πολλαπλά αντίγραφα των δεδομένων που ανιχνεύονται αποθηκεύονται κρυφά στον μεσίτη και αποφεύγεται η συχνή μετάδοση από άκρο σε άκρο κεντρικός αισθητήρας. Όταν η απαίτηση χρονικής καθυστέρησης είναι χαλαρή, περισσότερα λογικά δεδομένα φορτώνονται στον μεσίτη και αποστέλλονται λιγότερα δεδομένα από τους κόμβους αισθητήρων, γεγονός που μειώνει την κατανάλωση ενέργειας. Εάν το αίτημα καθυστέρησης είναι αρκετά χαμηλό, η συνολική κατανάλωση ενέργειας του αισθητήρα τείνει να είναι σταθερή. Μπορεί επίσης να φανεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ του πελάτη που ζητά δεδομένα και του κόμβου φιλοξενίας πόρων, τόσο πιο πιθανό είναι ο μεσίτης να ανακτήσει τα δεδομένα, γεγονός που μειώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του κόμβου αισθητήρα. Επίσης, όσο υψηλότερο είναι το όριο εναπόθεσης  $t$ , τόσο χαμηλότερη είναι η συνολική κατανάλωση ενέργειας του αισθητήρα. Ο λόγος για αυτήν την τάση είναι ότι καθώς αυξάνεται το  $t$ , τα δεδομένα που ανακαλύφθηκαν είναι πιο πιθανό να αποθηκευτούν στην κρυφή μνήμη από τον μεσίτη και περισσότεροι πελάτες έχουν πρόσβαση σε αυτούς τους πόρους δεδομένων μέσω του μεσίτη, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 9. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων υπό διαφορετικές απαιτήσεις χρονικής καθυστέρησης των πελατών.

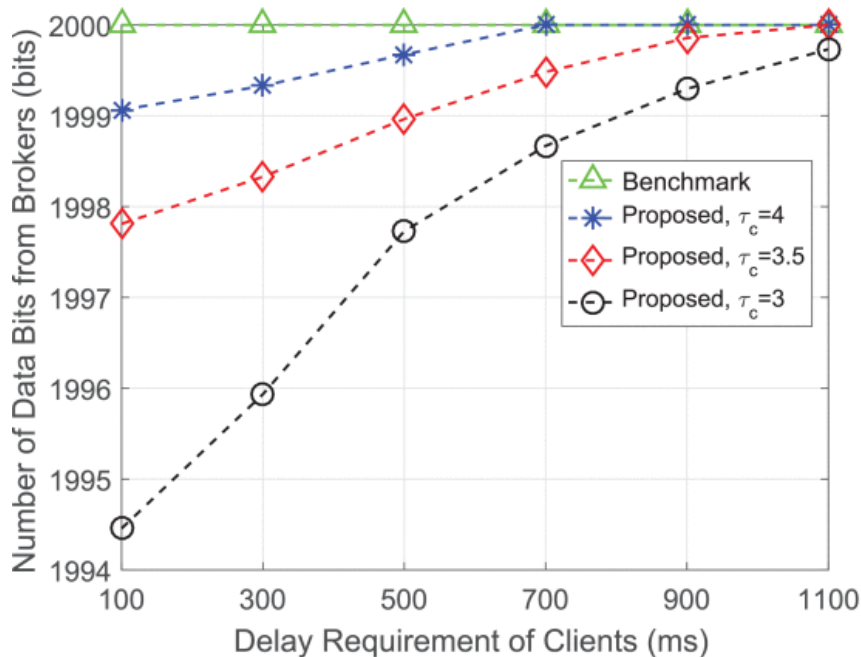


Εικόνα 10. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ πελατών και κόμβων αισθητήρων.

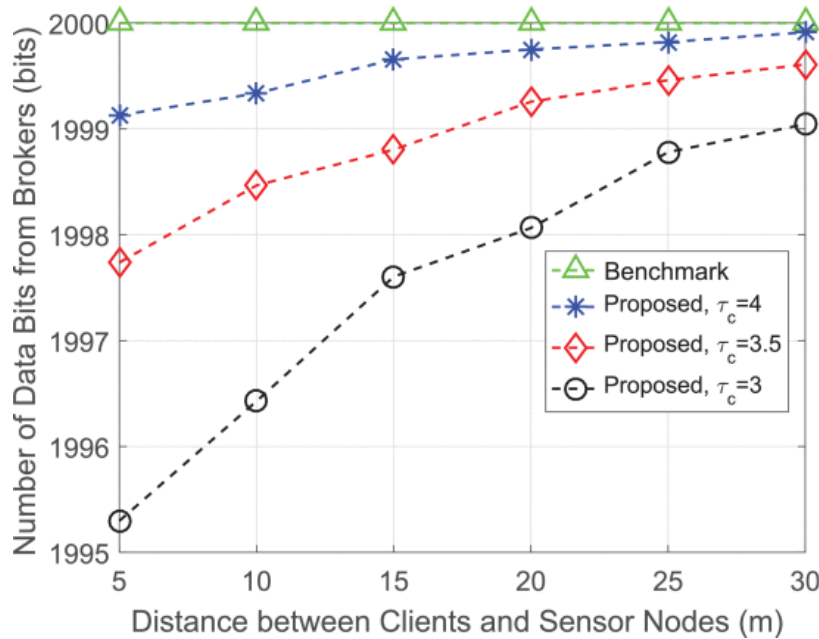
Τα σχήματα 6 και 7 δείχνουν τον αριθμό των bit δεδομένων που μπορούν να ανακτηθούν από μεσίτες με διαφορετικές απαιτήσεις καθυστέρησης και την απόσταση μεταξύ του πελάτη και των κόμβων αισθητήρων. Πρώτον, μπορεί να φανεί ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός δικτύου δημιουργεί περισσότερους πόρους



δεδομένων από το σύστημα αναφοράς. Επίσης, λόγω υψηλότερων απαιτήσεων καθυστέρησης πελάτη και μικρότερων αποστάσεων, μπορούν να βρεθούν περισσότερα λογικά δεδομένα στην τοπική κρυφή μνήμη του μεσίτη. Μπορείτε επίσης να δείτε ότι καθώς αυξάνεται το  $\tau_c$ , φορτώνεται περισσότερη κίνηση δεδομένων στον μεσίτη. Σε αυτήν την περίπτωση, ο κόμβος αισθητήρα θα έχει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας για μετάδοση δεδομένων, γεγονός που επικυρώνει το συμπέρασμα που συνάγεται. επίσης από τα Σχ.



*Εικόνα 11.* Ο αριθμός των bit δεδομένων που ανακτώνται από μεσίτες υπό διαφορετικές απαιτήσεις χρονικής καθυστέρησης των πελατών.



*Εικόνα 12.* Ο αριθμός των bit δεδομένων που ανακτώνται από μεσίτες σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ πελατών και κόμβων αισθητήρων.

## 2.5 Συμπέρασμα και μελλοντική κατεύθυνση

Αποθηκεύοντας πολλά αντίγραφα δεδομένων ανίχνευσης και αποκρύπτοντας την περιττή συνεχή επικοινωνία μεταξύ κόμβων αισθητήρων και πελατών, η αποθήκευση δικτύου στο IoT δείχνει ισχυρές δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας αυτών των κόμβων και επέκτασης της διάρκειας ζωής του IoT. Σε αυτό το άρθρο, εξετάζουμε τη βασική αρχή του gridlocking για το Green IoT και προτείνουμε μια μέθοδο πλέγματος για την ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των κόμβων αισθητήρων με περιορισμένη ισχύ. Τα αριθμητικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη μελέτη περίπτωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο σύστημα προσωρινής αποθήκευσης είναι ανώτερο από το παραδοσιακό σύστημα αισθητήρα-πελάτη και μπορεί να λάβει περισσότερα δεδομένα με βάση την τοπική προσωρινή μνήμη μεσίτη με πιο χαλαρές απαιτήσεις καθυστέρησης. Για την εφαρμογή μιας προσέγγισης προσωρινής αποθήκευσης δικτύου για το πράσινο IoT, οι μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας συνοψίζονται ως εξής. Πρέπει να χρησιμοποιήσετε τον περιορισμένο χώρο αποθήκευσης του μεσίτη πιο αποτελεσματικά. Τα δεδομένα που ανιχνεύει ο αισθητήρας είναι μικρά, αλλά ο τεράστιος αριθμός πόρων δεδομένων

απαιτεί τεράστια χωρητικότητα αποθήκευσης. Επομένως, ο τρόπος αποτελεσματικής χρήσης της περιορισμένης χωρητικότητας αποθήκευσης του μεσίτη είναι ένα σημαντικό ζήτημα και είναι επιθυμητές προηγμένες συσκευές αποθήκευσης όπως το σύστημα κωδικοποιημένης κρυφής μνήμης που προτείνεται από το CDN [33].

Το πρόβλημα της ασφάλειας των ευαίσθητων δεδομένων πρέπει να είναι εγγυημένο. Με την αποθήκευση ευαίσθητων δεδομένων σε κατακευματισμένους μεσίτες, αποτελεί μεγάλη απειλή για τον ευέλικτο έλεγχο ταυτότητας και τον έλεγχο ταυτότητας [34]. Επομένως, ο έλεγχος πρόσβασης είναι πιο δύσκολο να αποκτηθεί και οι μη εξουσιοδοτημένοι πελάτες είναι πιο πιθανό να αποκτήσουν εμπιστευτικά και ιδιωτικά δεδομένα. Για το σκοπό αυτό, κατά την εφαρμογή της ενθυλάκωσης δικτύου στο IoT, είναι κρίσιμο να εφαρμοστούν ορισμένοι μηχανισμοί ελέγχου πρόσβασης για την πρόληψη της παράνομης πρόσβασης.

Υιοθετήστε το edge computing για να αποκτήσετε μια αδρή κρυφή μνήμη δικτύου στο IoT. Όπως φαίνεται παραπάνω, ο κεντρικός ελεγκτής είναι υπεύθυνος για την υλοποίηση του συστήματος μπλοκαρίσματος και οι διάφορες υπηρεσίες ανίχνευσης του επιβαρύνουν σημαντικό υπολογιστικό, γεγονός που δημιουργεί απαράδεκτη ζήτηση για υπολογιστικούς πόρους. Σε αυτό το πλαίσιο, ορισμένοι κόμβοι υπολογιστών άκρης μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στους υπολογιστές-πελάτες, εκφορτώνοντας έτσι περισσότερες εργασίες επεξεργασίας σε αυτούς τους κόμβους και μειώνοντας το μεγάλο φόρτο κυκλοφορίας στον κεντρικό ελεγκτή [35].

Οι μεσίτες μπορούν να είναι πολύ πιο έξυπνοι στην παροχή βελτιωμένων υπηρεσιών IoT. Επί του παρόντος, ο μεσίτης είναι εξοπλισμένος μόνο με τη δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης και έτσι προωθεί τα αποθηκευμένα δεδομένα στους πελάτες. Στο μέλλον, οι έξυπνοι μεσίτες μπορούν να εκτελούν πιο σύνθετες και έξυπνες λειτουργίες ανάλυσης δεδομένων, όπως καθαρισμό δεδομένων, ομαδοποίηση δεδομένων και πρόβλεψη δεδομένων [36].

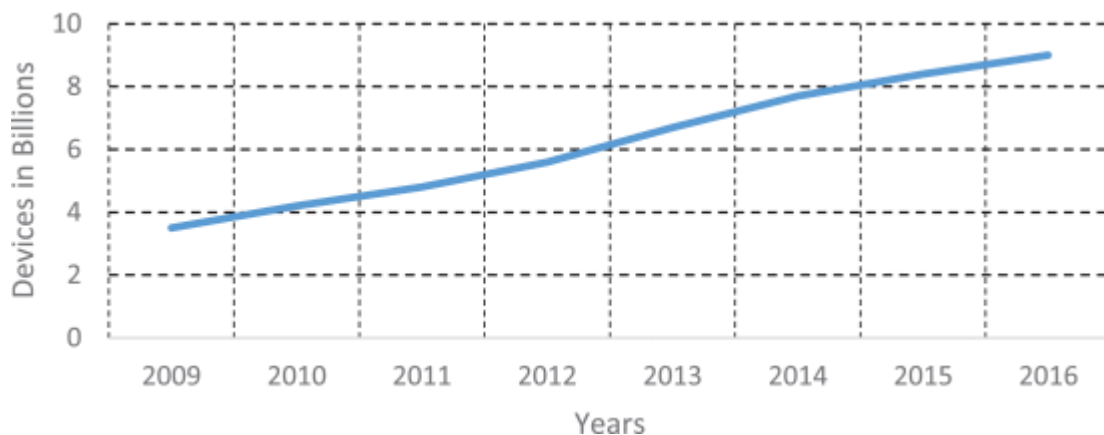
## Κεφάλαιο 3

### 3. Green IoT: Έρευνα σχετικά με τις πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας για το 2020 και μετά

#### 3.1 Εισαγωγή

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι μια έννοια που παρέχει συνδεσιμότητα μεταξύ πραγμάτων στην καθημερινή μας ζωή, αλλά χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους αισθητήρων, όπως Αναγνώριση Ραδιοσυχνοτήτων (RFID) [1], και ενεργοποιητές που συνεργάζονται για να βρουν, να συλλέξουν και να κοινοποιούν σημαντικές πληροφορίες. Από δίκτυο σε περιβάλλον. Το IoT είναι ένας όρος που συνδέει τον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο χρησιμοποιώντας χαρούμενες τεχνολογίες [2]. Το IoT είναι ένα από τα πιο καυτά θέματα στην τεχνολογία τα τελευταία χρόνια και αναμένεται να φέρει επανάσταση στον κόσμο με τρόπο παρόμοιο με αυτό που έκανε το ίδιο το Διαδίκτυο [3]. Οι Frost & Sullivan (2011) προβλέπουν ότι οι πωλήσεις RFID θα αυξηθούν με τα χρόνια και θα αυξηθούν εκθετικά τα επόμενα χρόνια. Εάν η πρόβλεψη είναι πιο ακριβής, αυτά τα ενεργά RFID απαιτούν ισχύ μπαταρίας, γεγονός που προκαλεί προβλήματα κατανάλωσης ενέργειας[4] και για τη διαχείρισή τους, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν διάφορες στρατηγικές για να γίνει πράσινη η τεχνολογία IoT. Ωστόσο, μερικά από αυτά συζητούνται στην επόμενη ενότητα. Το γράφημα 1 δείχνει ότι ο αριθμός των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο αυξάνεται πολύ γρήγορα. Οι μηχανισμοί IoT αποτελούνται από διάφορα στοιχεία όπως η αντίληψη, η αίσθηση, η επικοινωνία, ο υπολογισμός, η υπηρεσία και το νόημα. Ο έλεγχος ταυτότητας είναι πρωταρχικής σημασίας επειδή διασφαλίζει ότι τα ζητούμενα δεδομένα ή η υπηρεσία φθάνουν στη σωστή διεύθυνση. Το Discovery συλλέγει πληροφορίες από διάφορους πόρους και στη συνέχεια στέλνει αυτές τις πληροφορίες στο κέντρο δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα στη συνέχεια αναλύονται χρησιμοποιώντας διάφορες συνθήκες και παραμέτρους για τους σκοπούς των διαφόρων υπηρεσιών. Οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή υγρασίας, θερμοκρασίας κ.λπ. Η επικοινωνία στο

IoT συνδυάζει ετερογενή αντικείμενα για την παροχή συγκεκριμένων υπηρεσιών. Η επικοινωνία γίνεται συνήθως μέσω Wi-Fi, Bluetooth κ.λπ. Οι υπολογισμοί εκτελούνται από διάφορους μικροελεγκτές, μικροεπεξεργαστές, προγραμματιστές πύλης πεδίου και πολλές εφαρμογές λογισμικού. Οι υπηρεσίες μπορεί να σχετίζονται με ταυτότητα, συλλογή πληροφοριών, συνεργασία ή πανταχού παρουσία. Τέλος, η σημασιολογία ασχολείται με την έξυπνη συλλογή γνώσης για τη λήψη αποφάσεων [5].



*Εικόνα 13. Αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο συσκευών.*

Για να κάνουμε το IoT πράσινο, πρέπει να ερευνήσουμε πιο προηγμένες τεχνολογίες και στρατηγικές για να αντιμετωπίσουμε τις ελλείψεις ενέργειας δισεκατομμυρίων συσκευών. Αυτό το κεφάλαιο επιχειρεί να παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των πρακτικών και των στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας για το πράσινο IoT. Με μια μελέτη περίπτωσης smartphone, ως διερευνήσουμε πώς διαφορετικοί ενδιαφερόμενοι μπορούν να παίξουν τον ρόλο τους για το πράσινο IoT. Η ενότητα II του επόμενου μέρους αυτής της Λευκής Βίβλου παρουσιάζει τις τρέχουσες τάσεις και προκλήσεις του IoT. Η ενότητα III εξετάζει τις υπάρχουσες προσεγγίσεις για το πράσινο IoT. Και εδώ, προτείνουμε πέντε αρχές για το πράσινο IoT. Η ενότητα IV παρέχει μια συγκριτική αξιολόγηση των τρεχουσών προσεγγίσεων και εξετάζει τους συμβιβασμούς για την επίτευξη πράσινου IoT. Σε αυτήν την περίπτωση, η μελέτη των smartphone και ο αντίκτυπός τους στο περιβάλλον αξιολογεί τη χρήση smartphone για μια ποικιλία παραμέτρων, όπως: παρέχεται στην Ενότητα V. Εκπομπές άνθρακα και ανακύκλωση. Αυτά τα ανεπίλυτα ζητήματα συζητούνται στην Ενότητα VI και η εργασία τελειώνει στην Ενότητα VII.

### 3.2 Τάσεις IoT

1. Αυτήν τη στιγμή κατασκευάζουμε έναν ιστότοπο στον ιστότοπό μας. Το Διαδίκτυο και η υγεία βελτιώθηκαν γρήγορα. Πώς θα επηρεάσει το IoT την καθημερινή μας εργασία; Βασικές ερωτήσεις στην επόμενη ενότητα.
2. πηγαίνω. εφαρμογή του διαδικτύου
3. Το IoT είναι στην κατάλληλη στιγμή για να προωθήσει το σενάριο και να προστατέψει το περιβάλλον. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητά μας. Συνεχίζει να τονίζεται.
4. Έξυπνο σπίτι: Εάν είστε εξοπλισμένοι με φειδώ RFID και τεχνολογία στο σπίτι σας ή IoT στο [6], τότε προσεγγίζετε τους ενοίκους σας και κυριαρχείτε στην αγορά. Ένας έξυπνος καταψύκτης, για παράδειγμα, είναι η αποστολή αντικειμένων με την επεξεργασία πληροφοριών που παρέχονται από αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι σε αντικείμενα που είναι εξοπλισμένα με RFID στα εσωτερικά αντικείμενα.
5. Food Memang (FSC): Το IoT έχει αντίκτυπο στους πρωτοπόρους. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία IoT, οι προμηθευτές μπορούν επιτέλους να παράγουν προϊόντα στο αγρόκτημα. Για αυτήν την εφαρμογή, έχει προταθεί [7]. Τα αποτελέσματα του Eunyeon είναι αρκετά καλά για πρόβλεψη και κάνουμε ό,τι καλύτερο μπορούμε για να έχουμε απρόβλεπτα αποτελέσματα.
6. Internet of Things: Οι τεχνολογίες IoT θα είναι τεχνολογικά επωφελείς [8]. Μπορούν να γίνουν τεχνικές βελτιώσεις όσον αφορά την εφαρμογή RFID, Wi-Fi και αισθητήρων. Επιπλέον, ειδοποιήσεις για κυβερνοεπιθέσεις που μπορούν να εντοπιστούν.
7. IoT στις μεταφορές: Το IoT είναι μια επανάσταση στις μεταφορές και τη βιομηχανία. Το RFID και οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση προϊόντων σε οχήματα σήμερα και στο μέλλον. Το DNS rogue [8] έχει βελτιώσει τις δυνατότητες του IoT με περισσότερα. *IoT στα ρούχα: ένας νέος τύπος E-Thread* [9] περιλαμβάνει την ιδέα της συλλογής δεδομένων από ρούχα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων ενός ασθενούς χωρίς τη χρήση πρόσθετης συσκευής.

8. Έξυπνες πόλεις: Μία από τις πιο αναδυόμενες εφαρμογές IoT είναι οι έξυπνες πόλεις [10], οι οποίες έχουν αποκτήσει δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια. Μια έξυπνη πόλη είναι ένας συνδυασμός έξυπνων μεταφορών, έξυπνων μηχανισμών εξοικονόμησης ενέργειας, έξυπνης ασφάλειας [11] και πολλών άλλων έξυπνων στοιχείων που παρέχουν στους χρήστες υπερσύγχρονες τεχνολογικές εγκαταστάσεις κάτω από την ίδια ομπρέλα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 Εφαρμογές του IoT

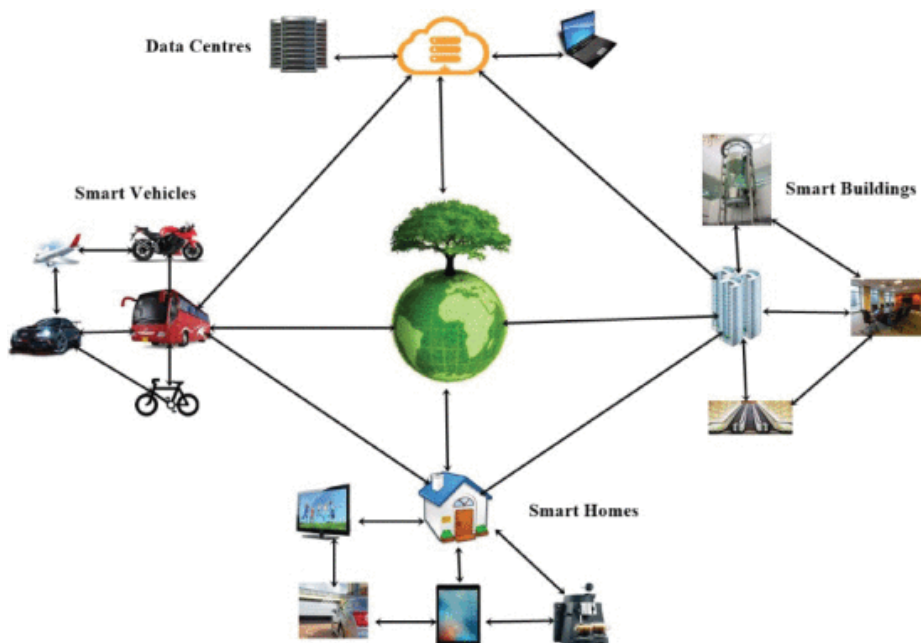
Paper	Application
[7]	Food Supply Chain
[8]	Mining Industry
[8]	Transportation Industry
[9]	Garments Industry
[10]	Smart Cities
[6]	Smart Homes

Έχει προβλεφθεί από το Εθνικό Συμβούλιο Πληροφοριών των ΗΠΑ ότι μέχρι το 2025, αντικείμενα καθημερινής ζωής όπως είδη διατροφής, στυλό κ.λπ. Αυτό σημαίνει ότι θα μπορούσαν να υπάρχουν δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο.

Σύμφωνα με το [14], κάθε ενεργό RFID απαιτεί επίσης κάποια ενέργεια ανάλογα με τη λειτουργία του και απαιτείται ενεργό RFID για αποτελεσματική εξυπηρέτηση. Λοιπόν, φανταστείτε ότι κάθε μέρα, δισεκατομμύρια συσκευές που καταναλώνουν ενέργεια και εκατομμύρια GB δεδομένων αισθητήρων πρέπει να αναβαθμίζονται ή να υποβάλλονται σε επεξεργασία σε τεράστια κέντρα δεδομένων, απαιτώντας επίσης τεράστιες δυνατότητες επεξεργασίας και ανάλυσης[15], [16]. Επιπλέον, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από προϊόντα ΤΠΕ αυξάνονται ραγδαία, γεγονός που είναι επιβλαβές για το περιβάλλον μας[17] και θα πρέπει να συμβεί εάν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων, το Green IoT είναι ένα σημαντικό θέμα.

Το Πράσινο Διαδίκτυο των Πραγμάτων επικεντρώνεται ουσιαστικά στην ενεργειακή απόδοση των αρχών του IoT. Το πράσινο IoT ορίζεται ως ένας ενεργειακά αποδοτικός τρόπος του IoT για τη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου που προκαλείται από υπάρχουσες εφαρμογές ή για την εξάλειψη του ίδιου του IoT [18].

Στην πρώτη περίπτωση, το IoT βοηθά στην εξάλειψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αλλά στο δεύτερο σενάριο, το IoT βελτιστοποιείται περαιτέρω για να σταματήσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κάθε βήμα του IoT πρέπει να γίνει πράσινο, από το σχεδιασμό μέχρι την υλοποίηση. Η έννοια του Green IoT φαίνεται στο Σχήμα 2.



*Εικόνα 14. Πράσινο ίντερνετ των πραγμάτων.*

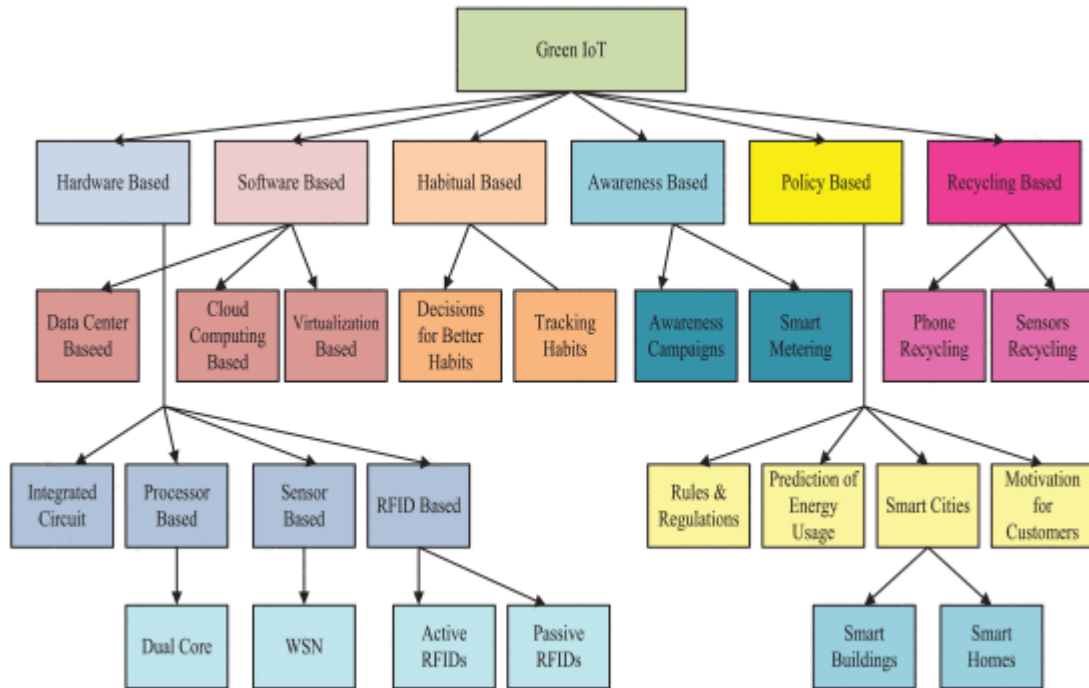
### 3.3 Διαφορετικοί τρόποι για να κάνετε το IoT ένα πράσινο IoT

Σε αυτή την ενότητα, εξετάζουμε κριτικά όλα τα πρόσφατα προτεινόμενα μοντέλα για ενεργειακά αποδοτική εφαρμογή IoT, τα οποία επισημαίνονται εν συντομία στον Πίνακα II. Ταξινομούμε μοντέλα ενεργειακής απόδοσης με βάση τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτά και μια λεπτομερής ταξινόμηση παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Το πράσινο IoT είναι ένα πολύ καυτό ερευνητικό θέμα στον τομέα των ΤΠΕ, καθώς οι παραδοσιακοί ενεργειακοί πόροι μειώνονται γρήγορα και η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται εκθετικά. Οι Miorandi et al. [2] συζήτησε τις διαφορετικές τεχνικές και τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη ενεργειακής απόδοσης στο IoT, αλλά τα πρότυπα συστήματος που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για το πράσινο IoT δεν συζητήθηκαν.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4** Συγκριτική ανάλυση διαφορετικών πράσινων προσεγγίσεων IoT



Papers	Focus Technology	Type	Energy Saving Mechanism	Practical	Trade Offs
[27]	Data Centre	Software Based	Context Aware Allocation of Servers	Practical	Extra Resources for QoS.
[29]	Sensors	Software Based	Selective Sensing	Highly Practical	Privacy, Energy Overheads for Context Aware Sensing
[30]	Sensors	Software Based	Sleep Scheduling	Highly Practical	Extra Resources for QoS.
[31]	Data Centre	Software Based	Workload Distribution Among Geographically Dispersed DCs	Not Practical	Too Much Complexity.
[53]	Smart Buildings	Policy Based	Policies and Strategies to Minimize Energy Consumption.	Highly Practical	User Dependency (User needs to participate actively for efficient policies)
[10]	Processor	Hardware Based	Assigning Different Tasks to Different Cores by Scheduling.	Practical	High Cost and complexity For Large Scale Network
[12]	Sensors	Hardware Based	Minimizing Processing at Sensor-end.	Practical	Communication Delays in extreme Situations
[39]	Sensors	Software Based	Compressed Sensing	Practical	Quality of Service
[41]	Cloud Computing	Software Based	Reducing Data Path	Practical	Quality of Service Might Fall.
[42]	RFID	Hardware Based	Use of Passive Sensors	Practical	Communication Delays
[44]	Integrated Circuits	Hardware Based	Reducing Network Traffic using Sensor on Chip.	Slightly Practical	High Cost
[47]	Sensors	Hardware Based	Categorization of Objects in Layers	Slightly Practical	Communication Delay between sensor nodes.
[48]	Sensors	Hardware Based	Dividing Network into Parts and assigning specific area to specific nodes.	Practical	Transmission Latency
[49]	Sensors	Hardware Based	Divide workload among different types of nodes (Sensor and Relay).	Practical	Communication Delays.
[52]	Smart Metering	Policy Based/Awareness Based	Tracking Different Types of energy consumption and devise measures to mitigate energy loss.	Highly Practical	Privacy, Security of Data
[47]	Mobile Phones/ Sensors	Recycling Based	Recycling the unused elements to make them productive again.	Highly Practical	Chance of wastage of recyclable material
[32]	Virtualization	Software Based	Separating Network and IoT Devices using MILP.	Practical	Performance Issues in Large Scale Network.
[36]	Smart Phones	Software Based	Prediction of Energy Consumption for different applications of smart phones	Practical	Privacy and Security of Data.
[39]	Sensors	Software Based	Combination of MAC with Wireless Smart Sensors to reduce communication between nodes.	Practical	Communication Delays between the nodes.
[52]	Information Management	Policy Based	Data Collected from different parts of building to devise energy efficient policies.	Highly Practical	Data Privacy and Security.
[43]	Cloud Computing	Software Based	Dynamic Packet Downloading using Access Points to reduce communication and overall traffic	Practical	Quality of Service might be compromised.



*Εικόνα 15. Ταξινόμια πράσινων τεχνικών IoT.*

[24] συνέκρινε την κατανάλωση ενέργειας του υπολογιστικού νέφους και του υπολογιστή σε διάφορα σενάρια και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η επιλογή προτύπων βάσει κατάστασης θα ήταν η καλύτερη επιλογή. Επιπλέον, τα ζητήματα ποιότητας υπηρεσίας (QoS) δεν αντιμετωπίζονται στα μοντέλα τους, γεγονός που θα μπορούσε να αυξήσει περαιτέρω την κατανάλωση ενέργειας σε ορισμένες περιπτώσεις. Οι πράσινες τεχνολογίες για την εφαρμογή IoT διατηρώντας παράλληλα την QoS σε διάφορους τομείς αναπτύχθηκαν στο [9], οι οποίες επικεντρώθηκαν ρητά στις πράσινες λύσεις IoT. Το Data Center και το Cloud Computing και οι οικολογικές λύσεις τους, που αποτελούν τη ραχοκοκαλιά ενός δικτύου IoT, δεν συζητήθηκαν.

Διάφορες στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιούν έξυπνα κτίρια μέσω δεδομένων που συλλέγονται μέσω IoT έχουν αναπτυχθεί από τους Akkaya et al. [25] και κατέληξε στο συμπέρασμα από τα συστήματα που περιγράφηκαν ότι εάν εφαρμοστούν στρατηγικές θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού, μπορεί να εξοικονομηθεί πολλή ενέργεια. Παρά τη συζήτηση για τα υπάρχοντα συστήματα, η συγκριτική ανάλυση της εξοικονόμησης ενέργειας των μοντέλων δεν έχει συζητηθεί καθόλου.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) αποτελούν βασικό συστατικό της ανάπτυξης του IoT. Οι Shaikh και Zeadally [26] παρείχαν μια λεπτομερή ανάλυση των τεχνικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή ενέργειας από WSN χρησιμοποιώντας διάφορους περιβαλλοντικούς πόρους. Ωστόσο, η χρήση άλλων μέσων αποθήκευσης ενέργειας αντί για μπαταρίες μπορεί να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση. Επομένως, είναι απαραίτητη μια διεξοδική μελέτη σε αυτόν τον τομέα.

Τα κέντρα δεδομένων μπορεί να είναι κρίσιμα για ενεργειακά αποδοτικά δίκτυα IoT, αλλά για να είναι βιώσιμα στο IoT, η ενεργειακή απόδοση πρέπει να εισαχθεί στα κέντρα δεδομένων. Η αρχιτεκτονική που βασίζεται στην πολιτική που προτείνεται στο [27], e-CAB, χρησιμεύει για την αξιολόγηση του πλαισίου διακομιστή από την άποψη της αποδοτικής κατανάλωσης πόρων για τη διαχείριση κέντρων δεδομένων χρησιμοποιώντας έναν εννοηστρωτή (ανοικτή πρόσβαση) σε ένα μοντέλο πελάτη-διακομιστή. Ένας έξυπνα επιλεγμένος διακομιστής στέλνει τις επεξεργασμένες πληροφορίες στη συσκευή-πελάτη. Ωστόσο, αυτή η αρχιτεκτονική απαιτεί τη διαμόρφωση της ανοικτής πρόσβασης σε κάθε συσκευή στον υπολογιστή-πελάτη και στον εφεδρικό διακομιστή για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Το C-MOSDEN [28], μια περιβαλλοντικά ευαίσθητη πλατφόρμα ανίχνευσης, χρησιμοποιεί επιλεκτική ανίχνευση για την επίτευξη ενεργειακής απόδοσης. Τα αποτελέσματα έχουν αποδειχθεί ότι μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας, αλλά όταν ελαχιστοποιούνται επιφέρει κάποια γενική επιβάρυνση που μπορεί να κάνει αυτό το μοντέλο πολύ αποδοτικό.

Ένας αισθητήρας καταναλώνει περιττή ενέργεια όταν είναι ανενεργός, αλλά προτείνουμε έναν ενεργειακά αποδοτικό αλγόριθμο σχεδιασμού [29] που τροποποιεί τις καταστάσεις ενεργοποίησης, ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του αισθητήρα όπως απαιτείται για να μειώσει την περιττή κατανάλωση ενέργειας όταν ενεργοποιείται. Για να αποφύγετε την περιττή χρήση ενέργειας. Ωστόσο, η απαίτηση του ενσωματωμένου διακομιστή για διασφάλιση του απορρήτου στο προτεινόμενο σύστημα ενδέχεται να δημιουργήσει επιβάρυνση ενέργειας, επειδή απαιτούνται πρόσθετοι διακομιστές σε περίπτωση βλάβης του διακομιστή. Αργότερα et al. [30] πρότεινε ένα μοντέλο ενεργειακής απόδοσης ανακατασκευάζοντας εικονικά αντικείμενα (VOs) με τρεις διαφορετικούς τρόπους κατά τη διάρκεια εκτέλεσης. Για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας σε αυτές τις λειτουργίες, καθιερώθηκε ένα

αναλυτικό μοντέλο που είχε ως αποτέλεσμα 47,9% χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας στη μία λειτουργία από την άλλη.

Το πλαίσιο βέλτιστης κατανομής φόρτου εργασίας στο [31] αξιολογεί τον φόρτο εργασίας διαφορετικών διακομιστών σε διαφορετικές τοποθεσίες με γεννήτριες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την κατανάλωση πόρων διακομιστή, το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ. Χρησιμοποιήσαμε δεδομένα από το Παγκόσμιο Κύπελλο FIFA του 1998 για να υπολογίσουμε την κατανάλωση ενέργειας, η οποία θα μπορούσε να είναι αντιφατική όταν εφαρμοστεί στα σημερινά δεδομένα, καθώς η φύση και το μέγεθος των δεδομένων θα αλλάξουν τα επόμενα 18 χρόνια. Η εικονικοποίηση μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας μειώνοντας την ποσότητα υλικού που καταναλώνεται στην αρχιτεκτονική.

Το πλαίσιο έκφρασης που χρησιμοποιεί το MILP (Mixed Integer Linear Programming) που προτείνεται στο [32] έχει μια αρχιτεκτονική 4 επιπέδων στην οποία οι συσκευές IoT βρίσκονται στο ανώτερο επίπεδο και τα στοιχεία δικτύου βρίσκονται στο κάτω επίπεδο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εφαρμογή αυτού του πλαισίου καταναλώνει 36% λιγότερη ενέργεια.

Για μεγάλης κλίμακας αναπτύξεις IoT, το παράδειγμα WSN δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Επομένως, για ένα φιλικό προς το περιβάλλον και επεκτάσιμο IoT, το Gemini που προτείνεται στο [33] είναι ένα μοντέλο βελτιστοποίησης και ο αλγόριθμος ελάχιστης κατανάλωσης κάνει το μοντέλο να λειτουργεί με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το Gemini μπορεί να λειτουργήσει σε ξεχωριστό περιβάλλον δικτύου και να επιτύχει ένα καλό επίπεδο ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, δεδομένου ότι το πείραμα πραγματοποιήθηκε μόνο σε 15-20 κόμβους, πρέπει να εφαρμοστεί σε μεγάλα δίκτυα για να ληφθούν πολύτιμα αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης. Το IoT χρησιμοποιείται σε διάφορους κλάδους. Λόγω της χρησιμότητας και της ανάπτυξης του IoT, ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης επιλέγει επίσης να αρχειοθετεί δεδομένα ασθενών σε πραγματικό χρόνο [34]. Ο Kim [35] προτείνει μια λύση σε αυτό το σενάριο στο οποίο δημιουργούνται αλγόριθμοι δυναμικής σύλληψης πακέτων για ενεργειακά αποδοτική μετάδοση δεδομένων και επικοινωνία με χρήση σημείων αποθήκευσης cloud και πρόσβασης (APs). Ωστόσο, το APS σε αυτό το μοντέλο τροφοδοτείται από μπαταρία και καταναλώνει πολλή ενέργεια.

Τα έξυπνα τηλέφωνα με μεγάλες δυνατότητες αντίχενωσης είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από τη βιομηχανία της τεχνολογίας, ειδικά τον αναδυόμενο τομέα του IoT, αλλά η ενεργειακή απόδοση είναι μια σημαντική πρόκληση για τις κινητές συσκευές. Χρησιμοποιώντας καταγραφή δεδομένων, προγνωστικά μοντέλα και ανάλυση συμπεριφοράς περιουσιακών στοιχείων, η νέα λύση που αναφέρεται στο [36] καταγράφει δεδομένα σε μια ποικιλία εφαρμογών, περιβαλλόντων, τοποθεσιών και χρόνων για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας του smartphone. Ωστόσο, παρά τα εντυπωσιακά αποτελέσματα που παράγει αυτό το μοντέλο, χρειάζεται ακόμη περισσότερη έρευνα για αποτελεσματικές τεχνικές εξόρυξης δεδομένων για την πρόβλεψη της ενεργειακής απόδοσης μεγαλύτερων δικτύων IoT.

Η κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων RFID είναι ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα επίλυσης. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα συντριβής προτάθηκε στο [37]. Για να μειωθούν οι συγκρούσεις μεταξύ των απαντήσεων ετικετών κατά τη διαιτησία, η προτεινόμενη λύση χρησιμοποιεί πολλαπλές υποδοχές ανά κόμβο στο δυαδικό δέντρο αναζήτησης. Εξετάσαμε τρεις διαφορετικές παραλλαγές αυτής της προσέγγισης και κάναμε μια σύγκριση για να επιλέξουμε το καλύτερο μοντέλο κατανάλωσης ενέργειας. Αυτά τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και τα τρία πρωτόκολλα ήταν επιτυχή στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαιτησίας και ότι δύο από αυτά θα μπορούσαν επίσης να μειώσουν τον λανθάνοντα χρόνο αναγνώρισης ετικέτας.

Η Συμπιεσμένη Αίσθηση (CS) είναι μια αναδυόμενη θεωρία σύμφωνα με την οποία τα δεδομένα και τα σήματα μπορούν να δειγματοποιηθούν αποτελεσματικά και να ανακατασκευαστούν με ακρίβεια [38]. Ένα πλαίσιο CS για την επίτευξη ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιώντας a priori πληροφορίες σχετικά με τη σπανιότητα δεδομένων που προτείνεται στο [12] μπορεί να ελαχιστοποιήσει τη συλλογή περιττών δεδομένων. Οι αλγόριθμοι έχουν σχεδιαστεί για να μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και πόρων στα WSN και στο IoT.

Τα ασύρματα ευφυή δίκτυα αισθητήρων (WSSN) μπορούν να είναι πολύ χρήσιμα για εφαρμογές IoT και η ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών μεθόδων για WSSN μπορεί να ανοίξει το δρόμο για το πράσινο IoT. Το Medium Access Control (MAC) χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα WSSN για τον περιορισμό της περαιτέρω επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων δικτύου, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του

WSSN και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας [39]. Ωστόσο, η βελτιστοποίηση αυτής της στρατηγικής απαιτεί την αξιολόγηση του πρωτοκόλλου MAC για τη βελτίωση της λειτουργικότητάς του.

Μια γλώσσα προγραμματισμού που ονομάζεται EPDL δημιουργήθηκε για να βοηθήσει μη επαγγελματίες να γράψουν ενεργειακές πολιτικές για ευφυή περιβάλλοντα όπως το IoT. Αρκετά εργαλεία επεξεργασίας έχουν εισαχθεί στο EPDL, αλλά πρέπει να γίνουν πιο ισχυρά με την προσθήκη νέων λειτουργιών και βιβλιοθηκών επεκτάσεων [40]. Στο cloud computing, απαιτείται κεντρική διαχείριση της αναπαραγωγής δεδομένων για την παροχή αξιοπιστίας στους πελάτες καθώς και ποιότητας υπηρεσιών [41]. Αυτό οδηγεί σε υπερβολική κατανάλωση ενέργειας και εύρους ζώνης, η οποία μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο [42]. Μειώνει επίσης τον λανθάνοντα χρόνο επικοινωνίας αναπαράγοντας δεδομένα πιο κοντά στην εφαρμογή cloud πιο κοντά στον καταναλωτή.

Μια ετικέτα παραμένει ανενεργή, αλλά η ενέργεια σπαταλάται στο RFID επειδή παραμένει ενεργή επειδή δεν ξέρετε πότε να επικοινωνήσετε εκ των προτέρων. Αυτό είναι ένα πρόβλημα ακοής που οδηγεί σε τεράστια σπατάλη ενεργειακών πόρων. Για να ξεπεραστεί αυτό, ο RANO [8] πρότεινε μια μέθοδο για τον υπολογισμό της περιόδου επικοινωνίας εκ των προτέρων και την αναστολή της ετικέτας όταν δεν χρησιμοποιείται. Αυτό το μοντέλο εξοικονομεί πολύ ενέργεια, αλλά σπαταλά πρόσθετους πόρους όσον αφορά το χρόνο και την επικοινωνία και αλλάζει την κατάσταση από ON σε Sleep και αντίστροφα. Λόγω της αύξησης των εκπομπών αποτυπώματος άνθρακα, η βιομηχανία ΤΠΕ πρέπει να σχεδιάσει μηχανισμούς που λαμβάνουν επίσης υπόψη την ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για το Internet of Multimedia Things (IoMT) και το IoT [41] αποτελούν πρακτικά παραδείγματα στρατηγικών για την επιλογή αποτελεσματικών διαδρομών μεταξύ κόμβων δικτύου για εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, οι υποθέσεις σχετικά με τους πράσινους και τους μη πράσινους κόμβους στο δίκτυο είναι κάπως ανακριβείς γιατί όταν υπάρχουν εκατομμύρια κόμβοι, αυτή η αναλογία μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. Η δισεκατομμύρια, τα οποία θα μπορούσαν να αυξήσουν το αποτύπωμα άνθρακα αντί να το μειώσουν. Β. Πράσινες τεχνικές IoT βασισμένες στο υλικό

Αν και τα περισσότερα μοντέλα κατανάλωσης ενέργειας στο IoT επικεντρώνονται σε αλγοριθμικές ή κάποιες αλλαγές υλικού, η κατηγοριοποίηση αντικειμένων σε ένα δίκτυο IoT μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική για να γίνει ένα πράσινο δίκτυο. Η έρευνα [10] χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων για να σχεδιάσει δίκτυα για οικολογικούς στόχους και αλγόριθμοι MECA χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Το RFID παίζει βασικό ρόλο στο IoT. Αν και η βελτιστοποίηση του ενεργού RFID έχει συζητηθεί στο [12], η πρόοδος στην παθητική RFID [42], στις ασύρματες πλατφόρμες αναγνώρισης και ανίχνευσης (WISPs) [43] μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική και χαμηλότερη ισχύ στο IoT. Το παθητικό RFID λαμβάνει ενέργεια από ένα σήμα RF γύρω του και οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας για την εκτέλεση εργασιών που απαιτούν περισσότερη ισχύ. Επιπλέον, ορισμένες σειριακές εντολές που καταναλώνουν ενέργεια μπορεί να προκαλέσουν καθυστερήσεις επικοινωνίας μεταξύ του κόμβου αισθητήρα και του ερευνητή, με αποτέλεσμα υψηλό κόστος ενέργειας.

Ο σχεδιασμός των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC) σε ένα δίκτυο IoT είναι κορυφαίο. Μια πράσινη ιδέα αισθητήρα σε τσιπ (SoC) [44] βελτιώνει τον σχεδιασμό του δικτύου IoT συνδυάζοντας αισθητήρες, επεξεργαστική ισχύ σε ένα μόνο τσιπ για μείωση της κυκλοφορίας, των ηλεκτρονικών αποβλήτων, του αποτυπώματος και της κατανάλωσης ενέργειας ολόκληρης της υποδομής. Αν και το παράδειγμα του Sleep Walker απεικονίζει την εξοικονόμηση ενέργειας χρησιμοποιώντας το Green SoC, αλλά μπορεί να εξοικονομηθεί περισσότερη ενέργεια χρησιμοποιώντας ανακυκλώσιμο υλικό για αυτό το μοντέλο.

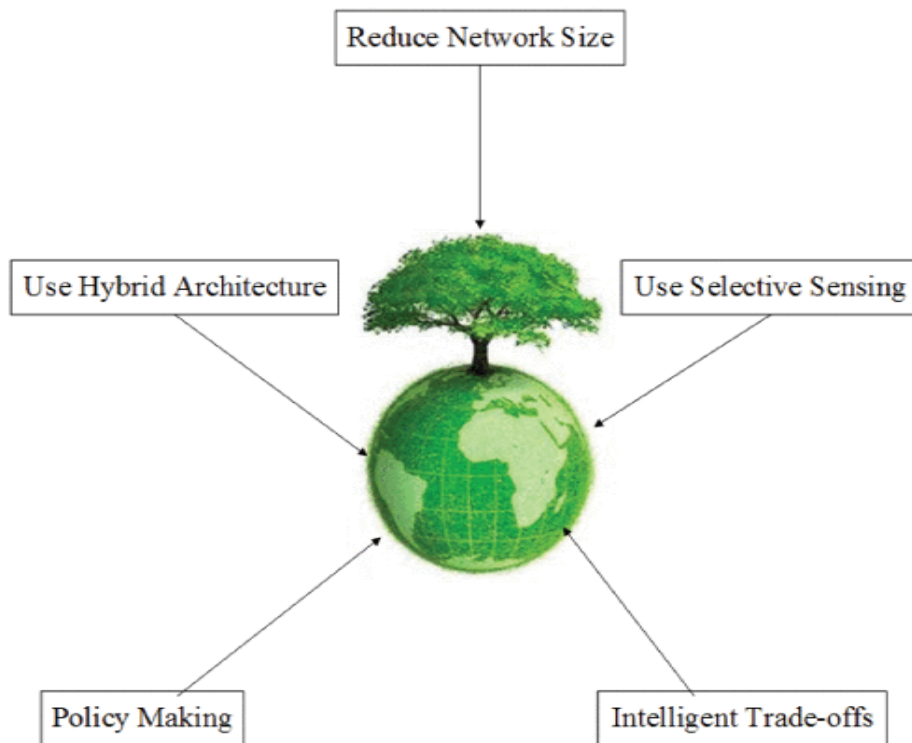
Στη τεχνολογία αντιστροφής χρόνου [45] απλοποιεί τον κόμβο αισθητήρα τροφοδοτώντας τον αισθητήρα με ένα σήμα RF από το περιβάλλον, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και ελαχιστοποιώντας την εργασία που εκτελείται στο άκρο του αισθητήρα. Ένας σταθμός βάσης (BS) εισάγεται για επικοινωνία με τον αισθητήρα για επεξεργασία δεδομένων. Η κατανάλωση ενέργειας έχει μειωθεί σημαντικά, αλλά όταν ορισμένες προηγμένες δραστηριότητες επεξεργασίας δεδομένων περιλαμβάνουν κανονική μετάδοση δεδομένων, οι καθυστερήσεις επικοινωνίας μεταξύ κόμβων αισθητήρων και σταθμών βάσης μπορεί να επιφέρουν σημαντικό ενεργειακό κόστος.

Ο CoreLH [46], ένας ενεργειακά αποδοτικός επεξεργαστής διπλού πυρήνα για το IoT, διαθέτει CoreL για εργασίες χαμηλού υπολογισμού και CoreH για εργασίες υψηλού υπολογισμού. Μειώνει την κατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο σχεδιασμού που αναθέτει διαφορετικές εργασίες σε αυτούς τους πυρήνες με βάση τους πόρους που μπορεί να χρειάζονται. Αν και αυτός ο επεξεργαστής είχε ως αποτέλεσμα 2,62 φορές χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας από άλλα μοντέλα, η εναλλαγή και η ανάθεση εργασιών σε διαφορετικούς πυρήνες μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματική κατανάλωση ενέργειας. Προβλέπεται ότι μέχρι το 2025 θα υπάρχουν περίπου 20 δισεκατομμύρια «πράγματα» ως μέρος του περιβάλλοντος IoT [47]. Κατά συνέπεια, το δίκτυο αυτού του μεγέθους θα καταναλώνει πολλή ενέργεια και θα παράγει τεράστια ποσότητα αποτυπώματος άνθρακα.

Με βάση την παραπάνω βιβλιογραφία και αξιολόγηση, προτείνουμε πέντε αρχές (που απεικονίζονται στο σχήμα 5), για την επίτευξη του Πράσινου IoT και τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

1. Μικρό μέγεθος δικτύου: Μειώστε το μέγεθος του δικτύου σας τοποθετώντας αποτελεσματικά κόμβους και χρησιμοποιώντας έξυπνους μηχανισμούς δρομολόγησης. Αυτό θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας υψηλής ποιότητας.
2. Χρησιμοποιήστε επιλεκτική ανίχνευση: Συλλέξτε μόνο τα δεδομένα που απαιτούνται στη συγκεκριμένη περίπτωση. Με την εξάλειψη της πρόσθετης σάρωσης δεδομένων, μπορείτε να εξοικονομήσετε πολλή ενέργεια.
3. Χρήση υβριδικής αρχιτεκτονικής: Η χρήση παθητικών και ενεργών αισθητήρων για διαφορετικούς τύπους δραστηριοτήτων σε ένα δίκτυο IoT μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας.
4. Διαμόρφωση πολιτικής: ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε έξυπνα κτίρια. Οι πολιτικές μπορούν να έχουν άμεσο αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας και επομένως μπορεί να εξοικονομηθεί σημαντική ποσότητα ενέργειας.
5. Έξυπνες συναλλαγές: Πρέπει να συμβιβάζομαστε παντού, ώστε να μπορούμε να ιεραρχούμε έξυπνα το κόστος και, σε ορισμένες περιπτώσεις, την επεξεργασία ή την επικοινωνία για εξοικονόμηση ενέργειας, όπως η ανίχνευση συμπίεσης [62] και η σύντηξη δεδομένων. Η συμβίωση πρέπει να επιλέγεται σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο σενάριο.





*Εικόνα 16. Πράσινες αρχές IoT.*

### 3.4 Σύγκριση απόδοσης

Αυτή η ενότητα κάνει μια αξιολόγηση για τα διάφορα μοντέλα και προσεγγίσεις που συζητήθηκαν προηγουμένως με βάση τα κριτήρια που έχουν γίνει για να δίνουν το καλύτερο μοντέλο ενεργειακής απόδοσης για σενάρια IoT. Ο Πίνακας 1 δείχνει και συγκρίνει διαφορετικά μοντέλα IoT για να επιτύχει ενεργειακή απόδοση και να κάνει το IoT πράσινο. Με γνώμονα την απόδοσή του σε σενάρια πραγματικού κόσμου, αξιολογείται εάν η προσέγγιση είναι ρεαλιστική ή αν αυτό το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα IoT και όλα τα προτεινόμενα μοντέλα κρίνονται ρεαλιστικά. Συζητά επίσης συμβιβασμούς που είναι πολύ σημαντικό να ληφθούν υπόψη, καθώς υπογραμμίζει τις ελλείψεις που μπορεί να αντιμετωπίσετε όταν επιλέγετε μια συγκεκριμένη τεχνολογία. Αξιολογεί επίσης εάν το μοντέλο γίνεται οντως υπολογίζοντας τα οφέλη και συμβιβασμούς. Το IoT γίνεται mainstream στην αγορά και η δημοτικότητά του θα αυξηθεί μόνο με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες αντισταθμίσεις όσον αφορά την επεξεργασία, την επικοινωνία και μερικές φορές την ποιότητα της υπηρεσίας για τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας σε περιβάλλον IoT.

### 3.5 Μελέτη περίπτωσης: Αντίκτυπος έξυπνων τηλεφώνων στο περιβάλλον

Ο κύριος σκοπός των πράσινων υπολογιστών είναι να προσδιορίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κινητών συσκευών όπως φορητοί προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (PDA), κινητά τηλέφωνα ή smartphone. Ενόψει της περιβαλλοντικής ρύπανσης, υπάρχει η ανάγκη να εφευρεθούν, να προωθηθούν και να χρησιμοποιηθούν φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα. Τα smartphone συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές άνθρακα και εδώ εξετάζουμε τον αντίκτυπό τους σήμερα και στο μέλλον. Σε αυτήν την ενότητα, εξετάζουμε μια μελέτη περίπτωσης ενός πολύ σημαντικού στοιχείου του IoT, του smartphone. Μελετάμε και προβλέπουμε τη χρήση, τον αντίκτυπο και την ανακύκλωσή του. Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Τα smartphone παίζουν σημαντικό ρόλο σήμερα. Παράλληλα με τη χρήση των smartphone, πρέπει να σκεφτούμε τη δημιουργία ενός πράσινου περιβάλλοντος. Η Green IT εστιάζει σε ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό και φιλικό προς το περιβάλλον υλικό όσον αφορά τη χρήση, το σχεδιασμό, την παραγωγή και την απόρριψη [63], [64]. Η τεχνολογία αναγκάζει το περιβάλλον ως αποτέλεσμα επιθυμητών πόρων. Για να μειωθεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των εκπομπών smartphone, οι ερευνητές στο [65] πρότειναν την επιλογή πιο πράσινου υλικού, την αλλαγή των όρων της σύμβασης, τη μείωση της συσκευασίας και των εξαρτημάτων και το σχεδιασμό αφαιρούμενων μπαταριών εξοικονόμησης ενέργειας.

1. Τοξικές ουσίες: Δεδομένου ότι ο φορτιστής smartphone έχει ως κύριο εξάρτημα μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος, μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντική ζημιά [67] και το μεγαλύτερο πρόβλημα ήταν το ηλεκτρονικό εξάρτημα. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από την αποτέφρωση πλαστικών ήταν σχεδόν ίσες με τις εκπομπές μετάλλων [68]. Τα μέταλλα είναι επιβλαβή για το περιβάλλον [69]. Τα κινητά τηλέφωνα είναι μια σειρά από τις πιο τοξικές μόνιμες και βιοσυσσωρευσιμες χημικές ουσίες. «Η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων από την EPA των ΗΠΑ είναι γνωστό ότι είναι βιοσυσσωρευτικές και τοξικές χημικές ουσίες» [70]. Τα PCB κινητών τηλεφώνων αποτελούνται από 13% πολυμερές, 63% μέταλλο και 24% κεραμικό [71]. Η οικοτοξικότητα του νερού οφείλεται στο υλικό του κινητού τηλεφώνου cu (χαλκός) [72].

2. Ανακύκλωση: Η ανακύκλωση είναι η διαδικασία εφαρμογής ορισμένων τεχνικών σε συμβατικό, συνήθως ελαττωματικό εξοπλισμό και δημιουργίας πανομοιότυπων ή διαφορετικών χρήσιμων υλικών [73]. [74] Δεδομένου ότι τα κινεζικά κινητά τηλέφωνα επαναχρησιμοποιούνται συχνά στην αγορά μεταχειρισμένων, το ποσοστό ανάκτησης για ανακύκλωση είναι χαμηλό [74]. Αυτή η επαναχρησιμοποίηση δεν βλάπτει το περιβάλλον. Η όλη προσέγγιση βασίζεται οικονομικά στη μεταπώληση ανακυκλωμένων κινητών τηλεφώνων και ανακυκλωμένων υλικών για την ανάπτυξη διεθνών τοποθεσιών που αντιπροσωπεύουν μια ισχυρή και ισχυρή αγορά [75], [76]. Το μόνο μέρος που απαγόρευσε την έρευνα, ο νόμος για την ανακύκλωση κινητών τηλεφώνων της Καλιφόρνια (AB 2901), βρήκε σημαντικό και θετικό αντίκτυπο στην ανακύκλωση κινητών τηλεφώνων. Στις ανεπτυγμένες χώρες, περίπου το 15% των κινητών συσκευών επιστρέφεται για ανακύκλωση [77,78]. Η ατυχία της σωστής χρήσης των κινητών τηλεφώνων είναι επιτακτική ανάγκη για ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων κινητών τηλεφώνων. Θα πρέπει να ενθαρρύνεται να επιστάται η προσοχή των καταναλωτών στο τι είναι σημαντικό και καλή διαχείριση για περιβαλλοντικά οφέλη [79]. Σε εθνικό επίπεδο, λιγότερο από το 3% των κινητών τηλεφώνων θεωρούνται κρίσιμες μονάδες ανακύκλωσης ΗΗΕ [80]. Παραδείγματα ανακύκλωσης απορριμμάτων κινητών τηλεφώνων στην Κίνα περιλαμβάνουν εταιρείες ανακύκλωσης πράσινου χαρτιού και περιβαλλοντικά προγράμματα Green Box [81], [82]. Ο κύριος λόγος για την αντικατάσταση των κινητών τηλεφώνων είναι η σωματική βλάβη [83]. Τα ηλεκτρονικά απόβλητα αποτελούν αιτία περιβαλλοντικής καταστροφής και οικολογικών υπολογισμών Η διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων και αυτή η ανάλυση προτείνει επίσης λύσεις όπως η εκτύπωση και στις δύο όψεις του χαρτιού σε οργανωτικό επίπεδο.
3. Πράσινες μετρήσεις: Πραγματοποιημένες μελέτες [61] έχουν προτείνει ότι πολλές μετρήσεις ενεργειακής απόδοσης (οι λεγόμενες πράσινες μετρήσεις) έχουν προταθεί για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των δικτύων κινητών συστημάτων και ορισμένες εξειδικευμένες συσκευές έχουν επεκταθεί. Υπάρχουν κυρίως δύο τύποι μετρήσεων: μετρήσεις εγκαταστάσεων και μετρήσεις εξοπλισμού [84]. Εξοπλισμός μετρικής αναφοράς σε επίπεδο εξοπλισμού για την αξιολόγηση της χαμηλότερης απόδοσης ενός μεμονωμένου εξοπλισμού κινητού δικτύου με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μικροπίστωσης, όπως Alliance for Telecommunication Solutions (ATIS) [85], Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης

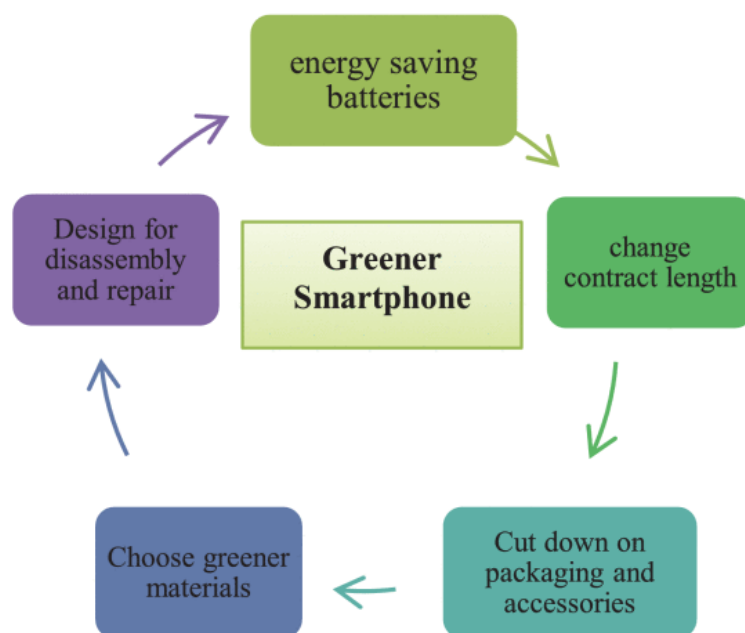
Τηλεπικοινωνιών (TEER) που προτείνεται από την κατηγορία τηλεπικοινωνιών (TEEER) Energy αποδοτικότητα) Συμμόρφωση NEBS για τη Verizon [85], CCR (Ταξινόμηση Κατανάλωσης Ενέργειας) [86], ECR (Ταξινόμηση Κατανάλωσης Ενέργειας) [84], κ.λπ. Οι πράσινοι ρυθμοί μπορούν να εκτιμηθούν από την κατανάλωση ενέργειας ή τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του δικτύου [ 86, 87]. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε συμπλέγματα πράσινων μετρήσεων για να μάθετε πόση ενέργεια καταναλώνει η εφαρμογή σας κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης.

4. Σχέδιο για την αποσυναρμολόγηση και την επισκευή Πολλά τηλέφωνα είναι εσκεμμένα κλειδωμένα σε μια θήκη που εμποδίζει τους πελάτες να τα ανοίξουν. Η σχεδίαση smartphone που είναι λιγότερο περίπλοκη για την αποσύνθεση, την αποκατάσταση ή την αντικατάσταση εξαρτημάτων θα έκανε τεράστια διαφορά. Και θα κάνει την εξόρυξη και την επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων και μετάλλων πιο αποτελεσματική.
5. Επιλέξτε πιο πράσινα υλικά: Παρόμοιο με το πλαστικό πολυγαλακτικού οξέος (PLA), το οποίο αποτελείται εξ ολοκλήρου από άμυλο αραβοσίτου ή γλυκόζη και είναι ανανεώσιμο και βιοδιασπώμενο. ανακυκλωμένα πλαστικά και κοινές ουσίες όπως το μπαμπού ή χρησιμοποιούν λιγότερες ουσίες.
6. Μπαταρίες εξοικονόμησης ενέργειας Η μπαταρία φυσικών και οργανικών ριζών (ORB) δεν χρησιμοποιεί βαρέα μέταλλα που μπορεί να είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και φορτίζεται σε μόλις 30 δευτερόλεπτα.
7. Περικόψτε κάτω στη συσκευασία και τα εξαρτήματα Είναι όλα αυτά τα εγχειρίδια, οι φορτιστές και τα υλικά συσκευασίας σχετικά απαραίτητα; Το 70% των αγοραστών έχει ήδη κατάλληλους φορτιστές για τα 30 εκατομμύρια νέα τηλέφωνα που προσφέρονται κάθε χρόνο. Η HTC, η Nokia και η Sony προωθούν τώρα ορισμένες μονάδες με απλά στοιχεία USB ως εναλλακτική λύση στους πλεονάζοντες φορτιστές, ως μέρος του O2 (ήταν η κορυφαία κοινότητα που προώθησε μια οικολογική κατάσταση στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2010 με ένα ανεξάρτητο ομαδικό φόρουμ συζήτησης για μεγάλο χρονικό διάστημα -term βιωσιμότητα Είναι η μόνη οικολογική αξιολόγηση που έχει αυτή τη στιγμή στο Ηνωμένο Βασίλειο) Φορτωτές εκτός πεδίου στο χωράφι.

Μια περιβαλλοντική μέθοδος LCA (Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής) χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή της ανάλυσης του κύκλου ζωής του προϊόντος των smartphone [88],

έχει υπερβεί τις παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής και κατασκευής, έτσι ώστε το περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό ολόκληρου του κύκλου ζωής του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη χρήση. Σε μια μονάδα κινητής τηλεφωνίας, η μέθοδος LCA χρησιμοποιείται για 3 χρόνια στην παραγωγή [59]. Τα αποτελέσματα της LCA έδειξαν ότι η αναδιάρθρωση δημιουργεί τις υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις τρεις οδούς επαναχρησιμοποίησης σε οποιαδήποτε κατηγορία επιπτώσεων εκτός από το ODP (δυναμικό καταστροφής του όζοντος) [89]. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώνονται κατά 20-55% και κατά 18-74% στους εικονικούς επιτραπέζιους υπολογιστές (VD). Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, αναλύθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις / επιπτώσεις της ανακύκλωσης [68], [90]. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφορετικών αποστολών, της αποτελεσματικότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της επιλογής υλικού.

Το λογισμικό LCA διαπίστωσε ότι η βαθμολογία ζημιάς ενός φορτιστή είναι υψηλότερη από άλλα μέρη ενός smartphone [66]. Στη σύγκριση μεταξύ του τηλεφώνου χαρακτηριστικών του 2008 και του smartphone, το αποτέλεσμα LCA δείχνει αύξηση 34 kg CO<sub>2</sub> [91], [92]. Είναι πιο συνεπής από τους υπολογιστές, για κινητά τηλέφωνα και τηλεοράσεις. Το σχήμα 6 παρουσιάζει το LCA των smartphone.



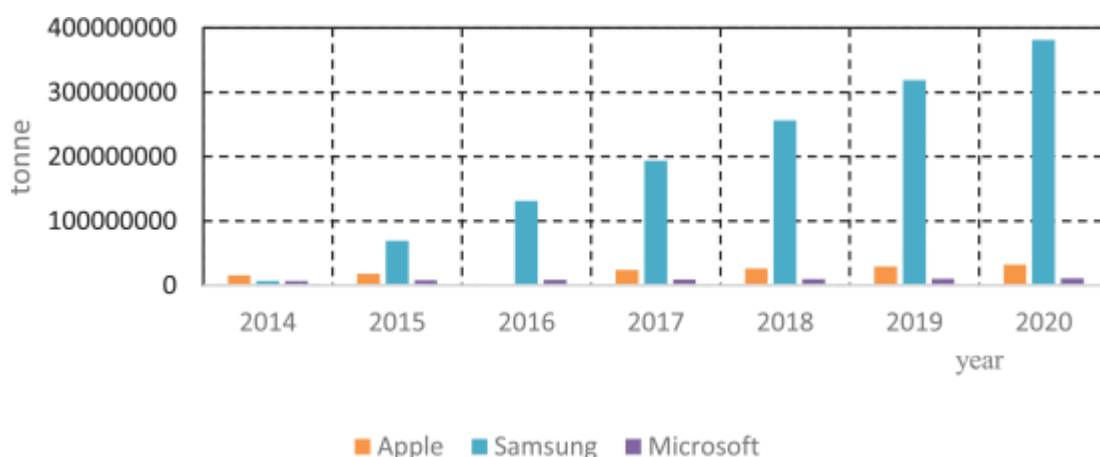
Εικόνα 17. Αξιολόγηση κύκλου ζωής των έξυπνων τηλεφώνων.

Για να ανταποκριθεί στις σύγχρονες απαιτήσεις πληροφορικής, η υποδομή της βιομηχανίας smartphone έχει επεκταθεί και αναπτυχθεί, γεγονός που οδηγεί σε πολλά προβλήματα που σχετίζονται με την πράσινη πληροφορική [93]. Σύμφωνα με τις πληροφορίες των εκθέσεων, ο παρακάτω πίνακας δείχνει το ποσοστό εκπομπών διαφορετικών smartphone [94], [95]. Το ζήτημα του Samsung Galaxy S4 πιστοποιήθηκε από την Ιαπωνική Ένωση Περιβαλλοντικής Διαχείρισης για τη Βιομηχανία (JEMAI). Περιλαμβάνει iPhone6, Galaxy S4 και Nokia Lumia 1520 [96]. Ο Πίνακας 4 δείχνει τις κατά προσέγγιση πωλήσεις των προαναφερθέντων κινητών τηλεφώνων. Λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό πωλήσεων του 2014 και του 2015, υπολογίζουμε τον ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης.

Υποθέτουμε ότι ο ρυθμός ανάπτυξης θα είναι ο ίδιος με τα προηγούμενα έτη και προβλέπουμε τον αντίκτυπο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα το έτος 2020. Η παρούσα παρουσίαση απεικονίζεται στο σχήμα 7.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5** Εκπομπή έξυπνων τηλεφώνων

Smart phones	Production	Customer use	Transport	Recycling	Total CO2
iPhone 6s	84%	10%	5%	1%	80kg
Galaxy S4	2%	18%	1%	0%	21.55kg
Nokia Lumia 1520	74%	13%	9%	1%	37kg



*Εικόνα 18.* Πρόβλεψη που απεικονίζει την εκπομπή CO<sub>2</sub> των έξυπνων τηλεφώνων.

### 3.6 Συζήτηση και Ανοιχτά Θέματα

Το IoT είναι μια ανώτερη τεχνολογία και μπορεί να αποδειχθεί απαραίτητη για τις δυναμικές απαιτήσεις του σημερινού τεχνολογικού κόσμου. Θα έχει σημαντικό

αντίκτυπο στην παγκόσμια οικονομία τα επόμενα χρόνια (βλ. Γράφημα 8). Οι αναλυτές του Business Insider προβλέπουν ότι έως το 2020, 24 δισεκατομμύρια από τα 34 δισεκατομμύρια συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο θα τροφοδοτούνται με IoT (βλ. Πίνακα 5 για αύξηση στη χρήση smartphone) και σχεδόν 6 τρισεκατομμύρια δολάρια θα δαπανηθούν για λύσεις. Πέντε χρόνια τα επόμενα χρόνια [62] (βλ. Εικόνα 7). Το Cisco Internet Business Group προβλέπει επίσης ότι έως το 2020 θα υπάρχουν σχεδόν επτά συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο ανά άτομο. Αυτό δείχνει τη σημαντική επίδραση του IoT στη βιομηχανία ΤΠΕ, αλλά υπάρχουν σημαντικές ανησυχίες σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και το αποτύπωμα. Πρέπει να το λύσω. Ο άνθρακας κάνει το IoT μια ευρύτερη τεχνολογία. Η IEEE Green ICT Initiative αναφέρει ότι επί του παρόντος το 2% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> παράγονται από τη βιομηχανία ΤΠΕ και θα διπλασιαστεί τα επόμενα πέντε χρόνια, εκτός εάν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα (βλ. Σχήματα 7 και 9) [63]. Πολλές βιομηχανίες και τεχνολογικοί γίγαντες δίνουν προσοχή σε αυτά τα προβλήματα και καταλήγουν σε αρκετές βιώσιμες λύσεις [97], αλλά αυτές οι σημαντικές τεχνολογίες απαιτούν διαφορετικές στρατηγικές. Οι λεπτομερείς εκπομπές CO<sub>2</sub> για διάφορα υλικά φαίνονται στους Πίνακες 3 και 4. Επιπλέον, έχουμε ήδη περιγράψει και αξιολογήσει κριτικά ορισμένα μοντέλα που προτάθηκαν από τους ερευνητές για την αντιμετώπιση αυτών των δύο σοβαρών προβλημάτων. Δώσαμε κάποιες προτάσεις για το τι πρέπει να αναζητήσετε κατά την ανάπτυξη γενικότερων λύσεων στα ενεργειακά προβλήματα των δικτύων IoT. Τα ανακυκλώσιμα υλικά για την ανάπτυξη αισθητήρων πρέπει να διερευνώνται διεξοδικά.

Υπάρχει ανάγκη για μια ολοκληρωμένη έρευνα για τη χάραξη πολιτικών για τη δημιουργία ευαισθητοποίησης μεταξύ των χρηστών και των παρόχων για την αποτελεσματική ανάπτυξη λύσεων IoT.

Σύμφωνα με το [65], για κάθε 85 kWh κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, χρειάζεται ένα δέντρο για να εξουδετερώσει το αποτύπωμα άνθρακα αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας και σύμφωνα με το [66] το 2007 η βιομηχανία ΤΠΕ κατανάλωσε 18 PWh ενέργειας. Έτσι, αν εμβαθύνουμε στους υπολογισμούς, θα χρειαζόμασταν εκατοντάδες δισεκατομμύρια δέντρα για να σώσουμε το περιβάλλον μας από εκπομπές CO<sub>2</sub> από μόλις το 2% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

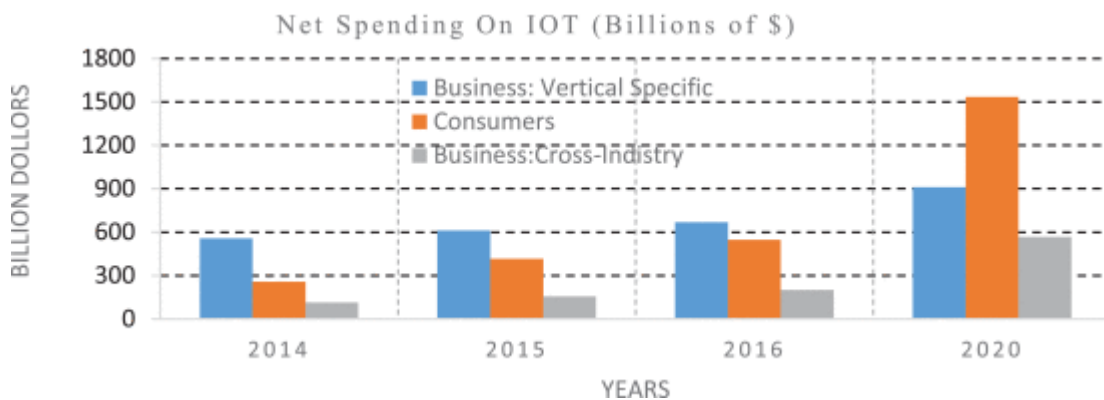
Εναλλακτικά, το αποτύπωμα άνθρακα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί επινοώντας διαφορετικούς μηχανισμούς που το καθιστούν βιώσιμη μακροπρόθεσμη λύση. Τα smartphones είναι ένα πολύ σημαντικό συστατικό του IoT. Επί του παρόντος, υπάρχουν δισεκατομμύρια smartphones σε παραγωγή. Αυτά τα smartphones μπορούν να παίξουν πολύ σημαντικό ρόλο στο πράσινο IoT. Ερευνήσαμε και διερευνήσαμε διάφορους τρόπους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη ενεργειακής απόδοσης και πράσινου IoT. Οι προβλέψεις μας δείχνουν ξεκάθαρα κάποιες ανησυχητικές καταστάσεις και αν δεν ληφθούν τώρα τα κατάλληλα μέτρα, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι καταστροφικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 Ποσοστό εκπομπών CO<sub>2</sub>

Ref.	Method	Media impact	Main theme	Total CO <sub>2</sub> %
[88]	LCA method is used for measuring the performance of the smart phones	Air	Effect of charger on life cycle	2%
[1]			Power consumption reduce	35%
[74]			In china power consumption calculate.	0.17%
[20]			Power consumption decrease.	10%
[98]			Reduction	65%
[91]			During 3 years' life time of Sony Xperia™ T total emission.	45%
[99]			Whole life cycle of mobile phone emits.	60-80%
[71]			Copper concentration in printed circuit boards from mobile phones.	34.5 wt. %
[61]			For cooling devices power consumption.	50%
[83]			Achieve reduction before 2020.	20%
[100]			Achieve reduction in 2020.	40%

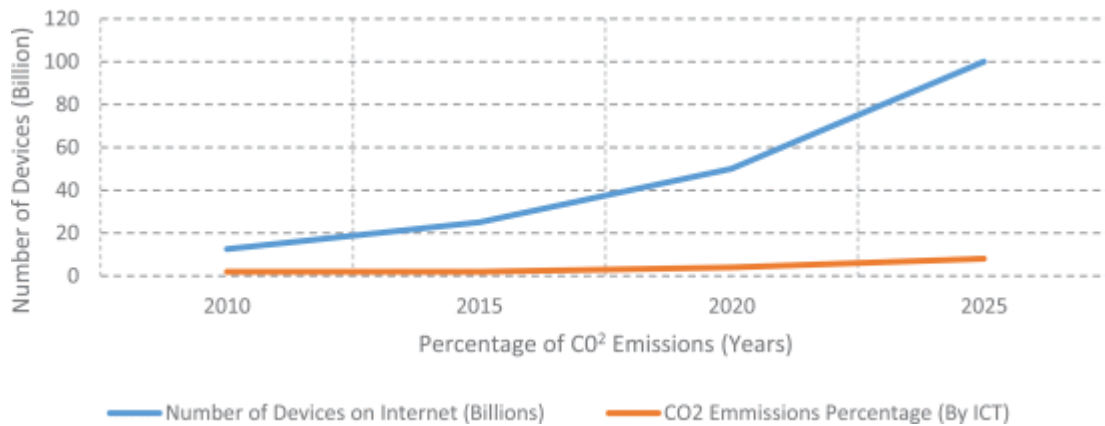
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 Ποσοστό πώλησης έξυπνων τηλεφώνων

Smart phone	2014 units	2015 units	2016 units	2017 units	2018 units	2019 units	2020 units
Apple	191,425.8	225,850.6	260,275.4	294700.2	329,125	363,549.8	397,974.6
Samsung	307,596.9	320,2197	6,096,797	8,991,397	11,885,997	14,780,597	17,675,197
Microsoft	185,660	204,460	223,314	242,168	261,022	279,876	298,730



Εικόνα 19. Οικονομικές επιπτώσεις του IoT





*Εικόνα 20. Προβλέψεις εκπομπών CO2.*

### 3.7 Συμπέρασμα

Σε αυτό το άρθρο, βλέπουμε τις βασικές προκλήσεις της ενεργειακής απόδοσης και του βλεποντα; την πυγή των δικτύων IoT και αξιολογούμε κριτικά διάφορες λύσεις για την επίλυση αυτών των προβλημάτων. Επιπρόσθετα, αυτό το έγγραφο παρέχει μια αναλυτική ανάλυση του τρόπου επίτευξης πράσινου IoT. Πέντε αρχές έχουν δοθεί για την εφαρμογή της έννοιας του Green IoT. Ο οικονομικός αντίκτυπος του IoT είναι θεμελιώδης και θα φέρει επανάσταση σε ολόκληρο τον τομέα των ΤΠΕ. Τονίστηκε η ανάγκη για έρευνα σχετικά με τις γενικές κατασκευές, τα ανακυκλωμένα υλικά και τους ορισμούς πολιτικής για την εφαρμογή Green IoT. Εάν η εστιασμένη και αφοσιωμένη εργασία πάει προς τη σωστή κατεύθυνση, το IoT μπορεί αναμφίβολα να αλλάξει την πορεία της τεχνολογικής προόδου στον κόσμο. Ο κόσμος περιμένει ένα θαύμα που μπορεί να ξεδιπλωθεί.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

- 1.J. Rodriguez et al., "Cognitive radio and cooperative strategies for power saving in multi-standard wireless devices", *Proc. Future Netw. Mobile Summit*, pp. 1-8, Jun. 2010.
- 2.Y. Zou, Y.-D. Yao and B. Zheng, "Cooperative relay techniques for cognitive radio systems: Spectrum sensing and secondary user transmissions", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, pp. 98-103, Apr. 2012.
- 3.Y.-C. Liang, K.-C. Chen, G. Y. Li and P. Mahonen, "Cognitive radio networking and communications: An overview", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 7, pp. 3386-3407, Sep. 2011.
- 4.Y. Zou, J. Zhu, L. Yang, Y.-C. Liang and Y.-D. Yao, "Securing physical-layer communications for cognitive radio networks", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 48-54, Sep. 2015.
- 5.C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise", *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 2, pp. 447-457, Feb. 1998.
- 6.O. Holland, V. Friderikos and A. H. Aghvami, "Green spectrum management for mobile operators", *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 1458-1463, Dec. 2010.
- 7.J. N. Laneman, D. N. C. Tse and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- 8.Y. Zou, Y.-D. Yao and B. Zheng, "Opportunistic distributed space-time coding for decode-and-forward cooperation systems", *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 60, no. 4, pp. 1766-1781, Apr. 2012.
- 9.W. Zhuang and M. Ismail, "Cooperation in wireless communication networks", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 19, no. 2, pp. 10-20, Apr. 2012.
- 10.Y. Zou, J. Zhu and R. Zhang, "Exploiting network cooperation in green wireless communication", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 3, pp. 999-1010, Mar. 2013.
- 11.J. Sachs, I. Maric and A. Goldsmith, "Cognitive cellular systems within the TV spectrum", *Proc. IEEE DySPAN*, pp. 1-12, Apr. 2010.

- 12.S. Chen and J. Zhao, "The requirements challenges and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 36-43, May 2014.
- 13.J.-P. Hong and W. Choi, "Dynamically reconfigurable relay communications with multiple radio access technologies", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 9, pp. 4608-4614, Nov. 2010.
- 14.G. Han, Y. Dong, H. Guo, L. Shu and D. Wu, "Cross-layer optimized routing in wireless sensor networks with duty cycle and energy harvesting", *Wirel. Commun. Mobile Comput.*, vol. 15, no. 16, pp. 1957-1981, Nov. 2015.
- 15.G. Han, L. Wan, L. Shu and N. Feng, "Two novel DOA estimation approaches for real-time assistant calibration systems in future vehicle industrial", *IEEE Syst. J.*.
- 16.G. Ding, J. Wang, Q. Wu, Y.-D. Yao, F. Song and T. A. Tsiftsis, "Cellular-base-station-assisted device-to-device communications in TV white space", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 1, pp. 107-121, Jan. 2016.
- 17.Q. Wu, G. Ding, J. Wang and Y.-D. Yao, "Spatial-temporal opportunity detection for spectrum-heterogeneous cognitive radio networks: Two-dimensional sensing", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 2, pp. 516-526, Feb. 2013.
- 18.S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

- 1.I. Yaqoob, E. Ahmed, I. A. T. Hashem, A. I. A. Ahmed, A. Gani, M. Imran, et al., "Internet of Things architecture: Recent advances taxonomy requirements and open challenges", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 10-16, Jun. 2017.
- 2.M. Tang, L. Gao and J. Huang, "Communication computation and caching resource sharing for the Internet of Things", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 58, no. 4, pp. 75-80, Apr. 2020.
- 3.A. V. Dastjerdi and R. Buyya, "Fog computing: Helping the Internet of Things realize its potential", *Computer*, vol. 49, no. 8, pp. 112-116, Aug. 2016.
- 4.R. Yu, G. Xue, V. T. Kiları and X. Zhang, "The fog of things paradigm: Road toward on-demand Internet of Things", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 9, pp. 48-54, Sep. 2018.
- 5.J. Li, M. Dai and Z. Su, "Energy-aware task offloading in the Internet of Things", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 27, no. 5, pp. 112-117, Oct. 2020.

- 6.H. Tran-Dang, N. Krommenacker, P. Charpentier and D.-S. Kim, "Toward the Internet of Things for physical Internet: Perspectives and challenges", *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 6, pp. 4711-4736, Jun. 2020.
- 7.J. A. Ansere, G. Han, L. Liu, Y. Peng and M. Kamal, "Optimal resource allocation in energy-efficient Internet-of-Things networks with imperfect CSI", *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 6, pp. 5401-5411, Jun. 2020.
- 8.F. K. Shaikh, S. Zeadally and E. Exposito, "Enabling technologies for green Internet of Things", *IEEE Syst. J.*, vol. 11, no. 2, pp. 983-994, Jun. 2015.
- 9.O. Cetinkaya, D. Balsamo and G. V. Merrett, "Internet of MIMO things: UAV-assisted wireless-powered networks for future smart cities", *IEEE Internet Things Mag.*, vol. 3, no. 1, pp. 8-13, Mar. 2020.
- 10.S. Vural, P. Navaratnam, N. Wang, C. Wang, L. Dong and R. Tafazolli, "In-network caching of Internet-of-Things data", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 3185-3190, Jun. 2014.
- 11.Z. Piao, M. Peng, Y. Liu and M. Daneshmand, "Recent advances of edge cache in radio access networks for Internet of Things: Techniques performances and challenges", *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 1, pp. 1010-1028, Feb. 2019.
- 12.B. Chen, L. Liu, M. Sun and H. Ma, "IoTCache: Toward data-driven network caching for Internet of Things", *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 6, pp. 10064-10076, Dec. 2019.
- 13.X. Sun and N. Ansari, "Traffic load balancing among brokers at the IoT application layer", *IEEE Trans. Netw. Service Manage.*, vol. 15, no. 1, pp. 489-502, Mar. 2018.
- 14.M. Zhang, B. Hao, R. Wang and Y. Wang, "A pre-caching strategy based on the content relevance of smart Device's request in information-centric IoT", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 75761-75771, 2020.
- 15.J. Yao and N. Ansari, "Joint content placement and storage allocation in C-RANs for IoT sensing service", *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 1, pp. 1060-1067, Feb. 2019.
- 16.J. Xu, K. Ota and M. Dong, "Energy efficient hybrid edge caching scheme for tactile Internet in 5G", *IEEE Trans. Green Commun. Netw.*, vol. 3, no. 2, pp. 483-493, Jun. 2019.
- 17.H. Wei, H. Luo, Y. Sun and M. S. Obaidat, "Cache-aware computation offloading in IoT systems", *IEEE Syst. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 61-72, Mar. 2020.

- 18.F. Ganz, R. Li, P. Barnaghi and H. Harai, "A resource mobility scheme for service-continuity in the Internet of Things", *Proc. IEEE Int. Conf. Green Comput. Commun.*, pp. 261-264, Nov. 2012.
- 19.M. Tao, E. Chen, H. Zhou and W. Yu, "Content-centric sparse multicast beamforming for cache-enabled cloud RAN", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 9, pp. 6118-6131, Sep. 2016.
- 20.T. X. Tran, D. V. Le, G. Yue and D. Pompili, "Cooperative hierarchical caching and request scheduling in a cloud radio access network", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 17, no. 12, pp. 2729-2743, Dec. 2018.
- 21.S. M. Azimi, O. Simeone, A. Sengupta and R. Tandon, "Online edge caching and wireless delivery in fog-aided networks with dynamic content popularity", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 36, no. 6, pp. 1189-1202, Jun. 2018.
- 22.Y. Jiang, M. Ma, M. Bennis, F.-C. Zheng and X. You, "User preference learning-based edge caching for fog radio access network", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 67, no. 2, pp. 1268-1283, Feb. 2019.
- 23.X. Zhang, T. Lv, W. Ni, J. M. Cioffi, N. C. Beaulieu and Y. J. Guo, "Energy-efficient caching for scalable videos in heterogeneous networks", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 36, no. 8, pp. 1802-1815, Aug. 2018.
- 24.S. Zhang, W. Sun and J. Liu, "Spatially cooperative caching and optimization for heterogeneous network", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 11, pp. 11260-11270, Nov. 2019.
- 25.X. Xu and M. Tao, "Modeling analysis and optimization of coded caching in small-cell networks", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, no. 8, pp. 3415-3428, Aug. 2017.
- 26.J. Li, S. Chu, F. Shu, J. Wu and D. N. K. Jayakody, "Contract-based small-cell caching for data disseminations in ultra-dense cellular networks", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 18, no. 5, pp. 1042-1053, May 2019.
- 27.L. Qiu and G. Cao, "Popularity-aware caching increases the capacity of wireless networks", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 19, no. 1, pp. 173-187, Jan. 2020.
- 28.R. Sun, Y. Wang, N. Cheng, L. Lyu, S. Zhang, H. Zhou, et al., "QoE-driven transmission-aware cache placement and cooperative beamforming design in cloud-RANs", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 1, pp. 636-650, Jan. 2020.

- 29.W. Ejaz, M. Naeem, A. Shahid, A. Anpalagan and M. Jo, "Efficient energy management for the Internet of Things in smart cities", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 1, pp. 84-91, Jan. 2017.
- 30.X. Sun and N. Ansari, "Dynamic resource caching in the IoT application layer for smart cities", *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 2, pp. 606-613, Apr. 2018.
- 31.F. Gabry, V. Bioglio and I. Land, "On energy-efficient edge caching in heterogeneous networks", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 12, pp. 3288-3298, Dec. 2016.
- 32.D. Niyato, D. I. Kim, P. Wang and L. Song, "A novel caching mechanism for Internet of Things (IoT) sensing service with energy harvesting", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 1-6, May 2016.
- 33.D. Ko, B. Hong, J. H. Lee and W. Choi, "Optimal file storing with cache memory in amorphous femto helper aided networks", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 1-6, May 2017.
- 34.R. Li, H. Asaeda, J. Li and X. Fu, "A verifiable and flexible data sharing mechanism for information-centric IoT", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 1-6, May 2017.
- 35.H. Li, K. Ota and M. Dong, "Learning IoT in edge: Deep learning for the Internet of Things with edge computing", *IEEE Netw.*, vol. 32, no. 1, pp. 96-101, Jan. 2018.
- 36.L. Dong and G. Wang, "Enhanced in-network capabilities of information-centric networks for emerging IoT applications", *Proc. IEEE Int. Conf. Internet Things (iThings) IEEE Green Comput. Commun. (GreenCom) IEEE Cyber Phys. Social Comput. (CPSCom) IEEE Smart Data (SmartData)*, pp. 573-577, Dec. 2016.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

- 1.C. Sun, "Application of RFID technology for logistics on Internet of Things", *AASRI Procedia*, vol. 1, pp. 106-111, Aug. 2012.
- 2.D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini and I. Chlamtac, "Internet of Things: Vision applications and research challenges", *Ad Hoc Netw.*, vol. 10, pp. 1497-1516, Sep. 2012.
- 3.J. Chase, "The evolution of the Internet of Things" in Texas Instrum., Dallas, TX, USA, pp. 7, Feb. 2013.
- 4.D. Zhang, L. T. Yang, M. Chen, S. Zhao, M. Guo and Y. Zhang, "Real-time locating systems using active RFID for Internet of Things", *IEEE Syst. J.*, vol. 10, no. 3, pp. 1226-1235, Sep. 2014.

- 5.C. Zhu, V. C. M. Leung, L. Shu and E. C.-H. Ngai, "Green Internet of Things for smart world", *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2151-2162, 2015.
- 6.S. Li, L. Da Xu and S. Zhao, "The Internet of Things: A survey", *Inf. Syst. Frontiers*, vol. 17, no. 2, pp. 243-259, 2015.
- 7.Z. Pang, Q. Chen, W. Han and L. Zheng, "Value-centric design of the Internet-of-Things solution for food supply chain: Value creation sensor portfolio and information fusion", *Inf. Syst. Frontiers*, vol. 17, no. 2, pp. 289-319, 2015.
- 8.L. Da Xu, W. He and S. Li, "Internet of Things in industries: A survey", *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 4, pp. 2233-2243, Nov. 2014.
- 9.A. Kiourti, C. Lee and J. L. Volakis, "Fabrication of textile antennas and circuits with 0.1 mm precision", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 15, pp. 151-153, 2015.
- 10.A. Caragliu, C. Del Bo and P. Nijkamp, "Smart cities in Europe", *J. Urban Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 65-82, 2011.
- 11.A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista and M. Zorzi, "Internet of Things for smart cities", *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, Feb. 2014.
- 12.R. H. Weber, "Internet of Things—New security and privacy challenges", *Comput. Law Secur. Rev.*, vol. 26, no. 1, pp. 23-30, 2010.
- 13.D. Singh, G. Tripathi and A. J. Jara, "A survey of Internet-of-Things: Future vision architecture challenges and services", *Proc. IEEE World Forum Internet Things*, pp. 287-292, Mar. 2014.
- 14.C.-S. Lee, D.-H. Kim and J.-D. Kim, "An energy efficient active RFID protocol to avoid overhearing problem", *IEEE Sensors J.*, vol. 14, no. 1, pp. 15-24, Jan. 2014.
- 15.C.-W. Tsai, C.-F. Lai, M.-C. Chiang and L. T. Yang, "Data mining for Internet of Things: A survey", *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 16, no. 1, pp. 77-97, 1st Quart., 2014.
- 16.A. Mukherjee, H. S. Paul, S. Dey and A. Banerjee, "ANGELS for distributed analytics in IoT", *Proc. IEEE World Forum Internet Things (WF-IoT)*, pp. 565-570, Mar. 2014.
- 17.E. Gelenbe and Y. Caseau, "The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions", *Proc. Ubiquity*, pp. 1-15, Jun. 2015.
- 18.F. K. Shaikh, S. Zeadally and E. Exposito, "Enabling technologies for green Internet of Things", *IEEE Syst. J.*

- 19.J. Huang, Y. Meng, X. Gong, Y. Liu and Q. Duan, "A novel deployment scheme for green Internet of Things", *IEEE Internet Things J.*
- 20.E. Oró, V. Depoorter, A. Garcia and J. Salom, "Energy efficiency and renewable energy integration in data centres. Strategies and modelling review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 429-445, Feb. 2015.
- 21.S. Li, L. Da Xu and X. Wang, "Compressed sensing signal and data acquisition in wireless sensor networks and Internet of Things", *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 9, no. 4, pp. 2177-2186, Nov. 2013.
- 22.F. Farahnakian et al., "Using ant colony system to consolidate VMs for green cloud computing", *IEEE Trans. Services Comput.*, vol. 8, no. 2, pp. 187-198, Mar./Apr. 2015.
- 23.Y.-J. Chiang, Y.-C. Ouyang and C.-H. Hsu, "An efficient green control algorithm in cloud computing for cost optimization", *IEEE Trans. Cloud Comput.*, vol. 3, no. 2, pp. 145-155, Apr./Jun. 2014.
- 24.J. Baliga, R. W. A. Ayre, K. Hinton and R. S. Tucker, "Green cloud computing: Balancing energy in processing storage and transport", *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 149-167, Jan. 2010.
- 25.K. Akkaya, I. Guvenc, R. Aygun, N. Pala and A. Kadri, "IoT-based occupancy monitoring techniques for energy-efficient smart buildings", *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. Workshops*, pp. 58-63, Mar. 2015.
- 26.F. K. Shaikh and S. Zeadally, "Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 1041-1054, Mar. 2016.
- 27.C. Peoples, G. Parr, S. McClean, B. Scotney and P. Morrow, "Performance evaluation of green data centre management supporting sustainable growth of the Internet of Things", *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 34, pp. 221-242, May 2013.
- 28.C. Perera, D. S. Talagala, C. H. Liu and J. C. Estrella, "Energy-efficient location and activity-aware on-demand mobile distributed sensing platform for sensing as a service in IoT clouds", *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.*, vol. 2, no. 4, pp. 171-181, Dec. 2015.
- 29.S. F. Abedin, M. G. R. Alam, R. Haw and C. S. Hong, "A system model for energy efficient green-IoT network", *Proc. Int. Conf. Inf. Netw.*, pp. 177-182, 2015.
- 30.M. Etelapera, M. Vecchio and R. Giaffreda, "Improving energy efficiency in IoT with re-configurable virtual objects", *Proc. IEEE World Forum Internet Things (WF-IoT)*, pp. 520-525, Mar. 2014.



- 31.M. Ghamkhari and H. Mohsenian-Rad, "Optimal integration of renewable energy resources in data centers with behind-the-meter renewable generator", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 3340-3344, Jun. 2012.
- 32.Z. T. Al-Azez, A. Q. Lawey, T. E. H. El-Gorashi and J. M. H. Elmirghani, "Virtualization framework for energy efficient IoT networks", *Proc. IEEE 4th Int. Conf. Cloud Netw. (CloudNet)*, pp. 74-77, Oct. 2015.
- 33.Y. Liu, Y. Meng and J. Huang, "Gemini: A green deployment scheme for Internet of Things", *Proc. Wireless Opt. Commun. Conf. (WOCC)*, pp. 338-343, 2013.
- 34.V. M. Rohokale, N. R. Prasad and R. Prasad, "A cooperative Internet of Things (IoT) for rural healthcare monitoring and control", *Proc. 2nd Int. Conf. Wireless Commun. Veh. Technol. Inf. Theory Aerosp. Electron. Syst. Technol. (Wireless VITAE)*, pp. 1-6, 2011.
- 35.J. Kim, "Energy-efficient dynamic packet downloading for medical IoT platforms", *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 11, no. 6, pp. 1653-1659, Dec. 2015.
- 36.P. Sathyamoorthy and E. Ngai, "Energy efficiency as a orchestration service for the Internet of Things", *Proc. 11th Swedish Nat. Comput. Netw. Workshop*, pp. 41-44, 2015.
- 37.V. Namboodiri and L. Gao, "Energy-aware tag anticollision protocols for RFID systems", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 9, no. 1, pp. 44-59, Jan. 2010.
- 38.H. Mamaghanian, N. Khaled, D. Atienza and P. Vandergheynst, "Compressed sensing for real-time energy-efficient ECG compression on wireless body sensor nodes", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 58, no. 9, pp. 2456-2466, Sep. 2011.
- 39.K. Sun and I. Ryoo, "A study on medium access control scheme for energy efficiency in wireless smart sensor networks", *Proc. Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Conver. (ICTC)*, pp. 623-625, 2015.
- 40.X. Peng, M. Bessho, N. Koshizuka and K. Sakamura, "EPDL: Supporting context-based energy control policy design in IoT-enabled smart buildings: Programing the physical world with EPDL", *Proc. IEEE Int. Conf. Data Sci. Data Intensive Syst.*, pp. 297-303, Dec. 2015.
- 41.S. A. Alvi, G. A. Shah and W. Mahmood, "Energy efficient green routing protocol for Internet of Multimedia Things", *Proc. IEEE 10th Int. Conf. Intell. Sensors Sensor Netw. Inf. Process. (ISSNIP)*, pp. 1-6, Apr. 2015.
- 42.C. Occhiuzzi, S. Caizzone and G. Marrocco, "Passive UHF RFID antennas for sensing applications: Principles methods and classifications", *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 55, no. 6, pp. 14-34, Dec. 2013.

- 43.A. P. Sample, D. J. Yeager, P. S. Powledge and J. R. Smith, "Design of a passively-powered programmable sensing platform for UHF RFID systems", *Proc. IEEE Int. Conf. RFID*, pp. 149-156, Mar. 2007.
- 98.D. Boll et al., "Green SoCs for a sustainable Internet-of-Things", *Proc. Faible Tension Faible Consommation (FTFC)*, pp. 1-4, 2013.
- 44.Y. Chen et al., "Time-reversal wireless paradigm for green Internet of Things: An overview", *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 81-98, Feb. 2014.
- 45.Z. Wang, Y. Liu, Y. Sun, Y. Li, D. Zhang and H. Yang, "An energy-efficient heterogeneous dual-core processor for Internet of Things", *Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst.*, pp. 2301-2304, Jul. 2015.
- 46.V. Foteinos, D. Kelaidonis, G. Poullos, P. Vlacheas, V. Stavroulaki and P. Demestichas, "Cognitive management for the Internet of Things: A framework for enabling autonomous applications", *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 8, no. 4, pp. 90-99, Dec. 2013.
- 47.M. R. Helal and A. Elmougy, "An energy-efficient service discovery protocol for the IoT based on a multi-tier WSN architecture", *Proc. IEEE 40th Local Comput. Netw. Conf. Workshops (LCN Workshops)*, pp. 862-869, Oct. 2015.
- 48.Y. W. Lim, S. B. Daas, S. J. Hashim, R. M. Sidek, N. A. Kamsani and F. Z. Rokhani, "Reduced hardware architecture for energy-efficient IoT healthcare sensor nodes", *Proc. IEEE Int. Circuits Syst. Symp.*, pp. 90-95, Sep. 2015.
- 49.J.-M. Liang, J.-J. Chen, H.-H. Cheng and Y.-C. Tseng, "An energy-efficient sleep scheduling with QoS consideration in 3GPP LTE-advanced networks for Internet of Things", *IEEE J. Emerg. Sel. Topics Circuits Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 13-22, Mar. 2013.
- 50.N. S. V. Shee and K. Chandrasekaran, "Energy efficient network architecture for IoT applications", *Proc. Int. Conf. Green Comput. Internet Things (ICGCIoT)*, pp. 784-789, 2015.
- 51.M. A. Zamora-Izquierdo, J. Santa and A. F. Gómez-Skarmeta, "An integral and networked home automation solution for indoor ambient intelligence", *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 9, no. 4, pp. 66-77, Oct./Dec. 2010.
- 52.M. V. Moreno, B. Āšbeda, A. F. Skarmeta and M. A. Zamora, "How can we tackle energy efficiency in IoT based smart buildings?", *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 9582-9614, 2014.
- 53.C. McKerracher and J. Torriti, "Energy consumption feedback in perspective: Integrating Australian data to meta-analyses on in-home displays", *Energy Efficiency*, vol. 6, no. 2, pp. 387-405, 2013.

- 54.A. Fensel, V. Kumar and S. D. K. Tomic, "End-user interfaces for energy-efficient semantically enabled smart homes", *Energy Efficiency*, vol. 7, no. 4, pp. 655-675, 2014.
- 55.M. V. Moreno-Cano, M. A. Zamora-Izquierdo, J. Santa and A. F. Skarmeta, "An indoor localization system based on artificial neural networks and particle filters applied to intelligent buildings", *Neurocomputing*, vol. 122, pp. 116-125, Dec. 2013.
- 56.H. Falaki, D. Lymberopoulos, R. Mahajan, S. Kandula and D. Estrin, "A first look at traffic on smartphones", *Proc. 10th Annu. Conf. Internet Meas. (IMC)*, pp. 281, 2010.
- 57.M. Oguchi, S. Murakami, H. Sakanakura, A. Kida and T. Kameya, "A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources", *Waste Manage.*, vol. 31, no. 9, pp. 2150-2160, 2011.
- 58.T. Zink, F. Maker, R. Geyer, R. Amirtharajah and V. Akella, "Comparative life cycle assessment of smart phone reuse: Repurposing vs. refurbishment", *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 5, pp. 1099-1109, 2014.
- 59.J. B. Legarth, I. Salter and O. Willum, "Repair or buy a new one? The environmental consequences for electronics", *Proc. IEEE Int. Symp. Electron. Environ.*, pp. 209-213, May 2003.
- 60.C. R. Chowdhury, A. Chatterjee, A. Sardar, S. Agarwal and A. Nath, "A comprehensive study on cloud green computing: To reduce carbon footprints using clouds", *Int. J. Adv. Comput. Res.*, vol. 3, no. 8, pp. 78-85, 2013.
- 61.C. Karakus, A. C. Gurbuz and B. Tavli, "Analysis of energy efficiency of compressive sensing in wireless sensor networks", *IEEE Sensors J.*, vol. 13, no. 5, pp. 1999-2008, May 2013.
- 62.S. Murugesan, "Harnessing green IT: Principles and practices", *IT Prof.*, vol. 10, no. 1, pp. 24-33, 2008.
- 63.M. T. Ijab, A. Molla, A. E. Kassahun and S. Y. Teoh, "Association for information systems AIS electronic library (AISEL) seeking the 'green' in 'green IS': A spirit practice and impact perspective", *Proc. PACIS*, Jan. 2010.
- 64.Guide to Greener Mobile Phone Companies, Oakleigh South, VIC, Australia, Nov. 2012.
- 65.W. Sangprasert and C. Pharino, "Environmental impact evaluation of mobile phone via life cycle assessment", *Proc. 3rd Int. Conf. Chem. Biol. Environ. Sci.*, pp. 68-73, 2013.
- 66.K. Ning, "Life cycle assessment of a mobile phone", 2005.

- 67.K. I. Takahashi et al., "Elementary analysis of mobile phones for optimizing end-of-life scenarios", *Proc. IEEE Int. Symp. Sustain. Syst. Technol. (ISSST)*, pp. 5-6, May 2009.
- 68.A. C. Kasper, G. B. T. Berselli, B. D. Freitas, J. A. S. Tenório, A. M. Bernardes and H. M. Veit, "Printed wiring boards for mobile phones: Characterization and recycling of copper", *Waste Manage.*, vol. 31, no. 12, pp. 2536-2545, 2011.
- 69.B. K. Fishbein, *Waste in the Wireless World: The Challenge of Cell Phones*, USA, 2002.
- 70.L. H. Yamane, V. T. de Moraes, D. C. R. Espinosa and J. A. S. Tenório, "Recycling of WEEE: Characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers", *Waste Manage.*, vol. 31, no. 12, pp. 2553-2558, 2011.
- 71.S.-R. Lim and J. M. Schoenung, "Toxicity potentials from waste cellular phones and a waste management policy integrating consumer corporate and government responsibilities", *Waste Manage.*, vol. 30, no. 8, pp. 1653-1660, 2010.
- 72.P. Rathore, S. Kota and A. Chakrabarti, "Sustainability through remanufacturing in India: A case study on mobile handsets", *J. Cleaner Prod.*, vol. 19, no. 15, pp. 1709-1722, 2011.
- 73.J. Yu, E. Williams and M. Ju, "Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China", *Energy Policy*, vol. 38, no. 8, pp. 4135-4141, 2010.
- 74.G. T. R. Silveira and S. Y. Chang, "Cell phone recycling experiences in the United States and potential recycling options in Brazil", *Waste Manage.*, vol. 30, no. 11, pp. 2278-2291, 2010.
- 75.N. Milovantseva and J.-D. Saphores, "E-waste bans and U.S. households' preferences for disposing of their e-waste", *J. Environ. Manage.*, vol. 124, pp. 8-16, Jul. 2013.
- 76.P. Tanskanen, "Management and recycling of electronic waste", *Acta Mater.*, vol. 61, no. 3, pp. 1001-1011, 2013.
- 77.V. Thavalingam and G. Karunasena, "Mobile phone waste management in developing countries: A case of Sri Lanka", *Resour. Conservation Recycling*, vol. 109, pp. 34-43, May/June. 2016.
- 78.Y.-C. Jang and M. Kim, "Management of used & end-of-life mobile phones in Korea: A review", *Resour. Conservation Recycling*, vol. 55, no. 1, pp. 11-19, 2010.
- 79.E. Ponce-cueto, J. G. Manteca and R. Carrasco-Gallego, "Reverse logistics practices for recovering mobile phones in Spain", *Supply Chain Forum Int. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 104-114, 2011.

- 80.L. Zhou and Z. Xu, "Response to waste electrical and electronic equipments in China: Legislation recycling system and advanced integrated process", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, no. 9, pp. 4713-4724, May 2012.
- 81.B. Li, J. Yang, X. Song and B. Lu, "Survey on disposal behaviour and awareness of mobile phones in Chinese University students", *Procedia Environ. Sci.*, vol. 16, pp. 469-476, Jan. 2012.
- 82.B. T. Tushi, D. Sedera and S. Dey, "An archival analysis of green information technology: The current state and future directions", 2015.
- 83.A. P. Bianzino, A. K. Raju and D. Rossi, "Apples-to-apples: A framework analysis for energy-efficiency in networks", *ACM SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.*, vol. 38, no. 3, pp. 81-85, 2011.
- 84.Network and Telecom Equipment—Energy and Performance Assessment 1041 Test Procedure and Measurement Methodology, Washington, DC, USA, 2008.
- 85.X. Wang, A. V. Vasilakos, M. Chen, Y. Liu and T. T. Kwon, "A survey of green mobile networks: Opportunities and challenges", *Mobile Netw. Appl.*, vol. 17, no. 1, pp. 4-20, 2012.
- 86.A. Kipp, T. Jiang and M. Fugini, "Green metrics for energy-aware IT systems", *Proc. Int. Conf. Complex Intell. Softw. Intensive Syst. (CISIS)*, pp. 241-248, Jun. 2011.
- 87.J. Suckling et al., "Low medium high", *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 3, no. 4, pp. 1-17, 2015.
- 88.A. S. G. Andrae, "Comparative micro life cycle assessment of physical and virtual desktops in a cloud computing network with consequential efficiency and rebound considerations", *J. Green Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 193-218, 2013.
- 89.F. Cucchietti et al., "Environmental benefits of a Universal Mobile Charger and energy-aware survey on current products", *Proc. IEEE 33rd Int. Telecommun. Energy Conf. (INTELEC)*, pp. 1-9, 2011.
- 90.E. M. Ercan, "Global warming potential of a smartphone: Using life cycle assessment methodology", 2013.
- 91.A. S. G. Andrae and O. Andersen, "Life cycle assessments of consumer electronics—Are they consistent?", *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 15, no. 8, pp. 827-836, 2010.
- 92.S. U. Khan, L. Wang, L. T. Yang and F. Xia, "Green computing and communications", *J. Supercomput.*, vol. 63, no. 3, pp. 637-638, 2011.

93. *Iphone 6s Environmental Report*, 2015.

94. *Environmental Report*, 2014.

95. M. R. Networks, "Greener and more robust networks", vol. 40, no. 1, pp. 1-20, 2016.

96. D. Maga, M. Hiebel and C. Knermann, "Comparison of two ICT solutions: Dsktop PC versus thin client computing", *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 18, no. 4, pp. 861-871, 2013.

97. A. Moberg et al., "Simplifying a life cycle assessment of a mobile phone", *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 5, pp. 979-993, 2014.

98. N. Samuri, "Making green IT 'alive' at TVET Institution of Malaysia", *Proc. 2nd Int. Conf. Green Comput. Technol. Innov. (ICGTI)*, pp. 12-18, 2014.