



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Mobile Crowdsensing και Εφαρμογές

Βασιλική Ι. Βρυώνη

Επιβλέπων : **Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Mobile Crowdsensing και Εφαρμογές

Βασιλική Ι. Βρυώνη

A.M.: 1115201000002

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει, μεταξύ άλλων, και στη ραγδαία αύξηση των ατόμων που κατέχουν έξυπνα κινητά και συσκευές, εξοπλισμένα με αισθητήρες και ισχυρούς επεξεργαστές. Κύριο αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες αυτούς, καθώς και οι πληροφορίες που προκύπτουν από την περαιτέρω επεξεργασία τους. Η διαδικασία αυτή καλείται Mobile Crowdsensing, ονομασία που προέρχεται από τις λέξεις crowd (πλήθος) και sensing (αίσθηση). Στη συνέχεια, μελετούμε διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιείται η ροή των δεδομένων, από ποια στάδια αποτελείται ο κύκλος λειτουργίας μιας Mobile Crowdsensing εφαρμογής, καθώς και ποιες είναι οι προκλήσεις που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε. Αυτές εστιάζονται κυρίως στην διασφάλιση της ιδιωτικότητας του χρήστη και στην διατήρηση χαμηλών επιπέδων κατανάλωσης ενέργειας και πόρων στην κινητή συσκευή του. Τέλος αναλύουμε τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα Mobile Crowdsensing εφαρμογών, δηλαδή τον τρόπο λειτουργίας τους, πως αντιμετωπίστηκαν οι προκλήσεις και με ποιο τρόπο οι πληροφορίες που τελικά προκύπτουν μπορούν να φανούν χρήσιμες για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διάχυτος Υπολογισμός

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: πληθοπορισμός, κινητή επικοινωνία, αισθητήρες, επεξεργασία δεδομένων, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

ABSTRACT

The rapid proliferation of smartphones and the increasing availability of sensors on everyday devices, carried around by millions of people, has opened up diverse kinds of information gathering. In this thesis we investigate the possibility of harvesting large quantities of data in urban areas exploiting user devices, thus enabling the so-called Mobile Crowdsensing (MCS). Human involvement is one of the most important characteristics of MCS, so we further investigate the opportunistic characteristics of human mobility from the perspectives of both sensing and transmission. Then, we examine a four-stage life cycle to characterize the MCS process and discuss the challenges that occur, as far as the dimensions of trust and privacy and of battery consumption are concerned. Furthermore, we describe and analyse three representative MCS applications, i.e. the system architecture, how the above challenges were overcome and what could the use of the collected data and information be.

SUBJECT AREA: Mobile Computing

KEYWORDS: mobile crowdsensing, mobile communication, sensors, data integration, wireless sensor networks

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα, καθ. Ιωάννη Σταυρακάκη για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1 Μοναδικά χαρακτηριστικά και προκλήσεις των MCS εφαρμογών.....	10
2. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MOBILE CROWDSENSING	12
2.1 Ανθρώπινη Συμμετοχή.....	12
2.2 Ευκαιριακή Ανίχνευση (Opportunistic Sensing).....	13
2.3 Ευκαιριακή Μετάδοση (Opportunistic Transmission).....	14
2.4 Επιπτώσεις της Συγχώνευσης Δεδομένων (Data Fusion).....	14
2.5 Συμπεράσματα.....	15
3. ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ MCS	16
3.1 Εισαγωγή.....	16
3.2 Σχεδιασμός.....	16
3.3 4W1H στο MCS.....	17
3.4 Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προκλήσεις.....	19
4. ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΙΔΙΩΤΙΚΟΤΗΤΑ	20
4.1 Εισαγωγή.....	20
4.2 Μηχανισμοί Προστασίας Ιδιωτικότητας	20
4.2.1 Αρχιτεκτονική.....	20
4.2.2 Ενσωμάτωση των PETs.....	21
4.3 Μέθοδοι Διαμοιρασμού Δεδομένων.....	21
4.4 Κοινωνική Ισότητα.....	22
4.5 Συμπεράσματα.....	22
5. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ MCS	23
5.1 CROWD++	23
5.1.1 Εισαγωγή.....	23
5.1.2 Υπολογισμός Αριθμού Ομιλητών.....	23
5.1.3 Χαρακτηριστικά Παραδείγματα Εφαρμογής CROWD++.....	25
5.1.4 Συμπεράσματα.....	25
5.2 MCNet	26
5.2.1 Εισαγωγή.....	26
5.2.2 Σχεδιασμός του MCNet.....	26
5.2.3 Μέτρηση της Απόδοσης.....	27
5.2.4 Κατανάλωση Ενέργειας.....	28
5.2.5 Εφαρμογή του MCNet.....	28
5.2.6 Συμπεράσματα.....	29
5.3 Προτάσεις Ταξιδιωτικών Πακέτων	29
5.3.1 Εισαγωγή.....	29
5.3.2 Αρχιτεκτονική του Συστήματος.....	29
5.3.3 Συμπεράσματα.....	32
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	33
7. ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ-ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ-ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	34
7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ	35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Παράδειγμα ευκαιριακής μετάδοσης σε μία πόλη.....σελ. 14
Εικόνα 2: Κύκλος λειτουργίας μιας MCS εφαρμογής.....σελ. 17
Εικόνα 3: Ακολουθία λειτουργιών του Crowd++.....σελ. 24
Εικόνα 4: Σχεδιασμός του MCNet.....σελ. 27
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική Συστήματος προτάσεων Ταξιδιωτικών Πακέτων.....σελ. 30

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τύποι Δεδομένων Συλλογής του MCNet και αντιστοιχα κόστη.....σελ. 28

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών της Σχολής Θετικών Επιστημών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και η μελέτη της τεχνολογίας του Mobile Crowdsensing και η γνωριμία του αναγνώστη με αυτή. Περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας των Mobile Crowdsensing εφαρμογών, οι προκλήσεις που προκύπτουν κατά το σχεδιασμό τους, καθώς και η συμβολή τους σε θέματα τόσο τεχνολογικά, όσο και κοινωνικά.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks, WSN) αποτελούν μια ραγδαία ανερχόμενη δικτυακή τεχνολογία. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος διασκορπισμένων αυτόνομων αισθητήρων για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών, που ενσωματώνουν δυνατότητες υπολογισμού καθώς και ασύρματης επικοινωνίας.

Ενώ κάθε μια συσκευή αυτή καθαυτή έχει μικρές δυνατότητες και υπόκειται σε αυστηρούς περιορισμούς (π.χ. περιορισμένη ενέργεια, τοπική γνώση), η κατανομημένη οργάνωση των συσκευών σε ένα δίκτυο και η αποδοτική και ευσταθής συνεργατική τους λειτουργία μπορεί να πραγματοποιήσει μεγάλης κλίμακας ανιχνεύσεις.

Τα δίκτυα αυτά αποτελούν τη βάση για την τεχνολογία του Mobile Crowdsensing (MCS), μία έννοια που σχετίζεται με τον πληθοπορισμό (crowdsourcing). Η έννοια crowdsensing, είναι σύνθετη και προέρχεται από τις λέξεις crowd (πλήθος) και sensing (αίσθηση). Ως Mobile Crowdsensing ορίζεται εκείνη η διαδικασία μέσα από την οποία γίνεται συλλογή δεδομένων από αισθητήρες ενός πλήθους συσκευών με στόχο την παραγωγή μιας καθολικής εικόνας [1]. Συνεπώς, οι crowdsensing εφαρμογές μέσα από την ικανότητα συλλογής μετρήσεων από τους αισθητήρες μπορούν να τις επεξεργαστούν με σκοπό την ορθή χρήση της πληροφορίας. Το πλήθος στις εφαρμογές αυτές είναι συνήθως κινητές συσκευές (mobile devices).

Η ανθρώπινη συμμετοχή είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των MCS εφαρμογών, και η ανθρώπινη κινητικότητα προσφέρει πρωτοφανείς ευκαιρίες και για τη συλλογή και τη μετάδοση δεδομένων. Ταυτόχρονα όμως συνεπάγεται και προκλήσεις σχετικά με την προστασία της ιδιωτικότητας των χρηστών, τις οποίες οι σχεδιαστές των εφαρμογών καλούνται να αντιμετωπίσουν.

Οι MCS εφαρμογές ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες με βάση τον τύπο του φαινομένου που μελετάται ή μετρείται. Αυτές περιλαμβάνουν τις εφαρμογές που ασχολούνται με α) περιβαλλοντικά ζητήματα, β) ζητήματα που ασχολούνται με τις υποδομές και γ) κοινωνικά φαινόμενα.

Συνοψίζοντας, η λειτουργία των τυπικών MCS εφαρμογών αφορά στα ανεπεξέργαστα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες των κινητών συσκευών, αναλύονται τοπικά ή απομακρυσμένα και στην συνέχεια, αφού ακολουθούν κατάλληλη επεξεργασία μέσω αλγορίθμων παράγουν νέα δεδομένα προς χρήση. Τα δεδομένα μπορεί στη συνέχεια, διατηρώντας το απόρρητο των προσωπικών στοιχείων, να τροποποιηθούν και να αποσταλούν στον κεντρικό επεξεργαστή.

1.1 Μοναδικά Χαρακτηριστικά και προκλήσεις των MCS εφαρμογών

Σύμφωνα με τον Merlino [1] οι προκλήσεις από τις εφαρμογές του MCS είναι πολλές. Οι χρήστες τέτοιων εφαρμογών οφείλουν να πραγματοποιούν τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (real time), ώστε η σύνθεση της διαμόρφωσης του σήματος να είναι έγκυρη και επίκαιρη.

Επιπρόσθετα, λόγω της έντονης αύξησης των διαφόρων τύπων λογισμικού που παρατηρείται, οι διάφορες κινητές συσκευές που λειτουργούν ως συλλέκτες

αποκτούν αυξημένη πολυπλοκότητα. Επιπλέον, η συνεχής συλλογή μετρήσεων από την crowdsensing εφαρμογή έχει επίπτωση στην μπαταρία του χρήστη. Είναι επομένως καθήκον την εφαρμογής να προστατεύει τον χρήστη από υπερβολική χρήση των πόρων του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω προσεκτικού σχεδιασμού του λογισμικού, ώστε μέσα από την παρακολούθηση της κατανάλωσης των πόρων να επιβάλλονται κατάλληλες πολιτικές χρήσης του. Οι πολιτικές αυτές μπορούν, για παράδειγμα, να περιορίζουν την συχνότητα με την οποία στέλνονται οι μετρήσεις ή ακόμα και να σταματήσουν την crowdsensing εφαρμογή προστατεύοντας με αυτό τον τρόπο την μπαταρία του έξυπνου τηλεφώνου του χρήστη.

Βασικές προκλήσεις του σχεδιασμού μιας MCS πλατφόρμας είναι οι εξής:

- εντοπισμός των κατάλληλων χρηστών και ανάθεση μετρήσεων που χρειάζεται η εφαρμογή.
- έλεγχος διαθεσιμότητας των χρηστών.
- εγκατάσταση των απαραίτητων παραμέτρων στις κινητές συσκευές των χρηστών.
- προσφορά ικανοποιητικού επιπέδου ποιότητας παρεχόμενων υπηρεσιών που έχει συμφωνηθεί με τις MCS εφαρμογές.
- προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων του χρήστη.

2. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MOBILE CROWDSENSING

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η γρήγορη και ευρεία ανάπτυξη των MCS εφαρμογών οφείλεται στην ραγδαία αύξηση των χρηστών έξυπνων συσκευών, οι οποίες συνεισφέρουν στην παραγωγή και αποστολή δεδομένων ανίχνευσης γρήγορα και χωρίς μεγάλο κόστος. Έτσι, μπορούμε να θεωρήσουμε την ανίχνευση αυτή ως ανθρωποκεντρική, αφού πυρήνα της αποτελούν δεδομένα που συλλέγονται από μεμονωμένους χρήστες φορητών συσκευών (smartphones, tablets, wearables). Η ανθρώπινη συμμετοχή είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, και η ανθρώπινη κινητικότητα προσφέρει πρωτοφανείς ευκαιρίες τόσο στην κάλυψη μεγάλου εύρους περιοχής όσο και στη μετάδοση δεδομένων.

Θα ερευνήσουμε τα ευκαιριακά (opportunistic) χαρακτηριστικά της ανθρώπινης κινητικότητας από την προοπτική της ανίχνευσης αλλά και της μετάδοσης των δεδομένων και θα συζητήσουμε τρόπους εκμετάλλευσης αυτών των ευκαιριών ώστε να συλλέγονται και να μεταδίδονται τα δεδομένα αποδοτικά και αποτελεσματικά. Ταυτόχρονα θα περιγράψουμε διάφορα ανοικτά ζητήματα που προκύπτουν από την ανθρώπινη συμμετοχή σε αυτόν τον αναδυόμενο ερευνητικό τομέα.

2.1 Ανθρώπινη συμμετοχή

Το χαρακτηριστικό της ανθρώπινης συμμετοχής στις εφαρμογές MCS φαίνεται πως έχει διττή σημασία, καθώς επιφέρει τόσο θετικά όσο και αρνητικά στοιχεία.

Αναφορικά με τα πλεονεκτήματα της ανθρώπινης ανάμειξης στο MCS σημειώνονται τα παρακάτω:

- Ευκολία στην ανάπτυξη του δικτύου, καθώς υπάρχουν ήδη εκατομμύρια χρήστες κινητών συσκευών και οχημάτων σε ένα τεράστιο αριθμό πόλεων παγκοσμίως.
- Ευκολία στη συντήρηση του δικτύου, αφού οι κινητές συσκευές έχουν δυνατότητα επαναφόρτισης, ισχυρή υπολογιστική δύναμη, μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων και αυξημένη ικανότητα επικοινωνίας.
- Δυνατότητα επέκτασης και ευελιξία του δικτύου, καθώς το μόνο που απαιτείται είναι περισσότεροι χρήστες.

Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

- Δυσκολία στην εγγύηση αξιόπιστης ποιότητας ανίχνευσης, εξαιτίας της τυχαιότητας της ανθρώπινης κινητικότητας.
- Ζητήματα ιδιωτικότητας, καθώς οι χρήστες δεν επιθυμούν να μοιράζονται προσωπικά ή ευαίσθητα δεδομένα (π.χ. τρέχουσα τοποθεσία).
- Εφόσον μοιράζονται προσωπικά δεδομένα και ταυτόχρονα καταναλώνουν και ενέργεια (δεδομένα κινητής καθώς και μπαταρία) οι χρήστες πρέπει να λαμβάνουν και κάποιου είδους κίνητρο ή επιβράβευση για τη συμμετοχή τους στις εκάστοτε εφαρμογές MCS.

Σε σχέση με τα παραδοσιακά δίκτυα ανίχνευσης, η ανθρώπινη κινητικότητα προσφέρει καινούργιες ευκαιρίες, τόσο για την ανίχνευση και μέτρηση όσο και για τη μετάδοση δεδομένων.

Σύμφωνα με τους Lane *et al.* [2] διακρίνουμε δύο διαφορετικές κατηγορίες ανίχνευσης MCS: τη συμμετοχική ανίχνευση (*participatory sensing*), η οποία απαιτεί

την συνειδητή αλληλεπίδραση του χρήστη με την εφαρμογή σχετικά με το ποια δεδομένα θα συλλεχθούν και πότε, και την *ευκαιριακή ανίχνευση (opportunistic sensing)*, η οποία γίνεται ασυνείδητα καθώς η εφαρμογή μπορεί να τρέχει στο παρασκήνιο και τυχαία να συλλέγει πληροφορίες χωρίς την άμεση εμπλοκή του χρήστη.

Επίσης, υπάρχουν και δύο διαφορετικές κατηγορίες μετάδοσης: η *μετάδοση βασιζόμενη σε υφιστάμενη δικτυακή υποδομή*, σύμφωνα με την οποία οι χρήστες ανιχνεύουν και καταγράφουν τα δεδομένα μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας (π.χ. 3G,4G) και η *ευκαιριακή μετάδοση*, η οποία επιτρέπει την ευκαιριακή διαβίβαση δεδομένων μεταξύ χρηστών μέσω περιοδικών συνδέσεων με ραδιοεπικοινωνίες μικρής εμβέλειας (π.χ. bluetooth, WiFi).

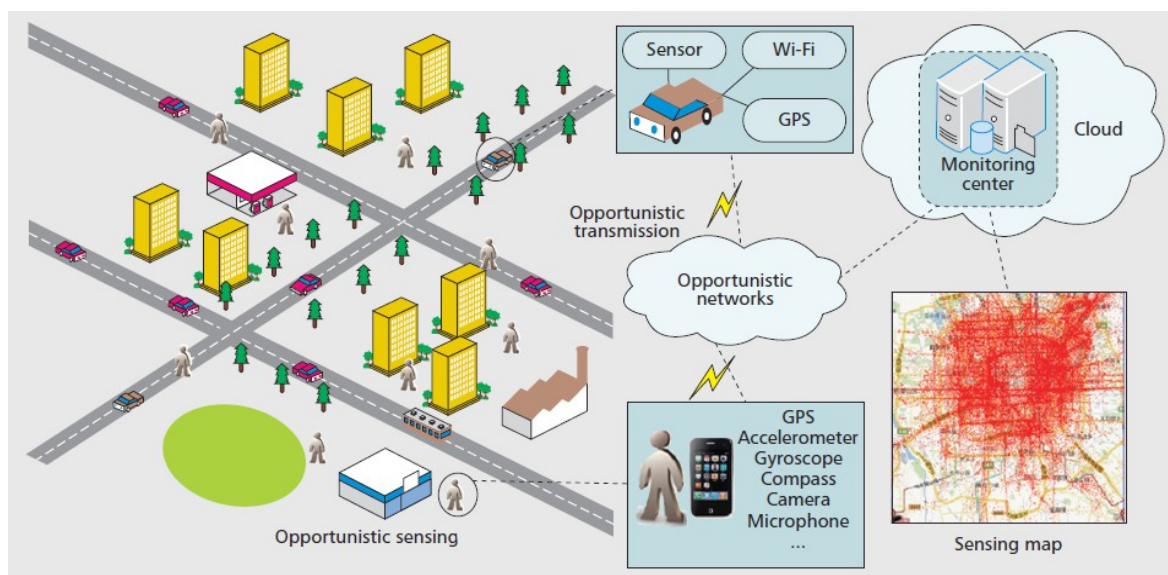
Οι περισσότερες υπάρχουσες εφαρμογές MCS υιοθετούν την μετάδοση μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Ωστόσο, αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ορισμένα σενάρια όπου η κάλυψη δικτύου είναι κακή ή πρόσβαση στο δίκτυο είναι ακριβή. Για παράδειγμα “νεκρά σημεία” της κάλυψης του δικτύου βρίσκονται τόσο σε απομακρυσμένες περιοχές, όσο και σε ορισμένα τμήματα των μεγάλων πόλεων. Επιπλέον, η υποδομή αυτή δεν μπορεί να λειτουργεί σε περίπτωση φυσικής καταστροφής.

2.2 Ευκαιριακή ανίχνευση (opportunistic sensing)

Για τη μελέτη των μοναδικών χαρακτηριστικών της ανθρώπινης κινητικότητας, οι Ma *et al.* [3] θεώρησαν το παράδειγμα της πόλης στην Εικόνα 1, για την οποία θέλουμε να πραγματοποιήσουμε κάποιες μετρήσεις (π.χ. συγκέντρωση CO₂) σε μια μεγάλη σε έκταση περιοχή κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος T (π.χ. 6:00-24:00 καθημερινά). Τα δύο βασικά προβλήματα προς επίλυση ήταν τα εξής: α) πως μπορούν να μετρηθούν οι ευκαιρίες και η ποιότητα ανίχνευσης και β) πόσοι χρήστες απαιτούνται ώστε να μας παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα στα δεδομένα ανίχνευσης.

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά στατικά δίκτυα ανίχνευσης, στα δίκτυα MCS η κάλυψη είναι χρονικά εξαρτώμενη, λόγω της ανθρώπινης κινητικότητας. Εισάγεται μια νέα μονάδα μέτρησης που καλείται *inter-cover time*, η οποία χαρακτηρίζει τον χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών καλύψεων μιας περιοχής. Επίσης, η περιοχή κάλυψης χωρίζεται σε ένα πλέγμα απο κελιά. Ένα κελί θεωρείται ότι καλύφθηκε από ένα χρήστη μόνο όταν ξεκινά μια νέα περίοδος δειγματοληψίας και η θέση του χρήστη είναι εντός της περιοχής του κελιού.

Προκειμένου να λυθεί το δεύτερο βασικό πρόβλημα αρχικά χρησιμοποιείται μια μονάδα μέτρησης που ονομάζεται *δείκτης ευκαιριακής κάλυψης (opportunistic coverage ratio)* και χαρακτηρίζει τη σχέση μεταξύ της ποιότητας ανίχνευσης και του αριθμού των χρηστών. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως η αναμενόμενη αναλογία των κελιών του πλέγματος που μπορούν να καλύπτονται ευκαιριακά κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.



Εικόνα 1: Παράδειγμα ευκαιριακής μετάδοσης σε μία πόλη.

2.3 Ευκαιριακή μετάδοση (opportunistic transmission)

Όπως έχει ήδη προκύψει από την μελέτη των Opportunistic Networks ή Delay-tolerant Networks (DTNs), η μονάδα μέτρησης inter-contact time χαρακτηρίζει τις ευκαιρίες μετάδοσης ενός ζεύγους χρηστών. Μεγαλύτερο inter-contact time συνεπάγεται μεγαλύτερη καθυστέρηση παράδοσης δεδομένων και χαμηλότερο ρυθμό παράδοσης. Όμως, η ανθρώπινη κοινωνικότητα και κινητικότητα είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της ευκαιριακής μετάδοσης και συνεπώς πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό πρωτοκόλλων προώθησης.

Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα στα DTNs έχουν σχεδιαστεί με βάση τις αρχές κοινωνικής δικτύωσης και καλούνται social-based. Η προώθηση και δρομολόγηση των δεδομένων γίνονται σύμφωνα με κάποιες μετρικές, που προκύπτουν από τον χώρο της Κοινωνικής Ανάλυσης των δικτύων. Υποστηρίζεται ότι μια τέτοια σχεδίαση έχει υψηλή χωρο-χρονική πολυπλοκότητα, η οποία οφείλεται στις παροδικές επαφές των χρηστών αλλά και στην περιοδική σύνδεση με το περιβάλλον. Συνεπώς δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε ευκαιριακά σενάρια μεγάλης κλίμακας.

Είναι απαραίτητο λοιπόν να αναπτυχθεί μια “ελαφριά” προσέγγιση για την αξιοποίηση της ανθρώπινης κοινωνικότητας, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της ευκαιριακής μετάδοσης. Μία τέτοια προσέγγιση αποτελούν τα *πρωτόκολλα ευκαιριακής προώθησης με συγχώνευση δεδομένων* (opportunistic forwarding protocols with data fusion (or data aggregation)).

2.4 Συγχώνευση δεδομένων (Data Fusion)

Λαμβάνοντας υπόψη τη χωρο-χρονική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων ανίχνευσης, θα ήταν ευεργετικό να εισαχθούν πρωτόκολλα ευκαιριακής προώθησης με συγχώνευση δεδομένων για δύο λόγους:

- Οι χρήστες μπορεί να ενδιαφέρονται μόνο για τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δεδομένων ανίχνευσης (π.χ. μέσος όρος θερμοκρασίας ή το επίπεδο θορύβου).

- Δεδομένα που συλλέγονται σε κοντινές αποστάσεις ή χρονικές περιόδους μπορεί να συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό, άρα η συγχώνευση δεδομένων μπορεί να εξαλείψει αποτελεσματικά τον πλεονασμό και ως εκ τούτου να μειώσει την κίνηση του δικτύου.

Παρά το γεγονός ότι στα παραδοσιακά δίκτυα αισθητήρων και ανίχνευσης έχουν προταθεί πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης που υποστηρίζουν συγχώνευση δεδομένων, λίγες είναι οι έρευνες που έχουν γίνει πάνω σε ευκαιριακά πρωτόκολλα προώθησης που υποστηρίζουν την συγχώνευση δεδομένων στο MCS.

Αν και η ιδέα της ενσωμάτωσης της ευκαιριακής προώθησης με συγχώνευση δεδομένων φαίνεται απλή και εύκολη, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις τόσο στη μοντελοποίηση της απόδοσης, όσο και στο σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου στην πράξη. Προηγούμενες εργασίες για την μοντελοποίηση ενός τέτοιου πρωτοκόλλου υπέθεταν ότι όλα τα πακέτα διαδίδονταν ξεχωριστά. Ωστόσο, τα πακέτα είναι χωρο-χρονικά συσχετισμένα στη διαδικασία προώθησης με συγχώνευση δεδομένων, το οποίο συνεπάγεται μια πιο σύνθετη διαδικασία διάδοσης.

Από την εργασία των Zhao *et al.* [4], προέκυψε μία συνήθης διαφορική εξίσωση για τη μοντελοποίηση του νόμου της διάδοσης των συσχετιζόμενων πακέτων, κάτι που θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως θεμελιώδης κατευθυντήρια γραμμή στην ενσωμάτωση της ευκαιριακής προώθησης με την συγχώνευση δεδομένων. Αξιοποιώντας τη συγχώνευση δεδομένων σχεδιάστηκαν δύο νέα πρωτόκολλα: Epidemic Routing with Fusion (ERF) and Binary Spray-and-Wait with Fusion (BSWF), και αποδείχθηκε ότι και τα δύο ήταν αποδοτικότερα από εκείνα που δεν είχαν συγχώνευση δεδομένων (δηλαδή τα epidemic routing and spray-and-wait).

2.5 Συμπεράσματα

Σε αυτή την ενότητα ασχοληθήκαμε με τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις στο MCS που προέρχονται από την ανθρώπινη συμμετοχή. Συγκεκριμένα, ερευνήθηκαν τα ευκαιριακά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης κινητικότητας. Από τη σκοπιά της ανίχνευσης, χρησιμοποιήθηκε μια νέα μονάδα μέτρησης που ονομάζεται inter-cover time για να χαρακτηρίσει τις δυνατότητες ανίχνευσης, καθώς και μια άλλη μονάδα που ονομάζεται opportunistic coverage ratio, για την αξιολόγηση της ποιότητας ανίχνευσης των εφαρμογών MCS.

Παρόλα αυτά υπάρχουν ακόμα πολλά ανοικτά ζητήματα σε αυτό τον αναδυόμενο τομέα της έρευνας, συμπεριλαμβανομένων των εξής: αξιολόγηση της ποιότητας ανίχνευσης, ανάπτυξη προσαρμοστικών πρωτοκόλλων προώθησης, ισορροπία ανάμεσα στην ποιότητα ανίχνευσης, τις απολαβές του χρήστη και στην ιδιωτικότητά του αλλά και ενσωμάτωση των MCS στα παραδοσιακά δίκτυα στατικής ανίχνευσης

3.ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ MCS

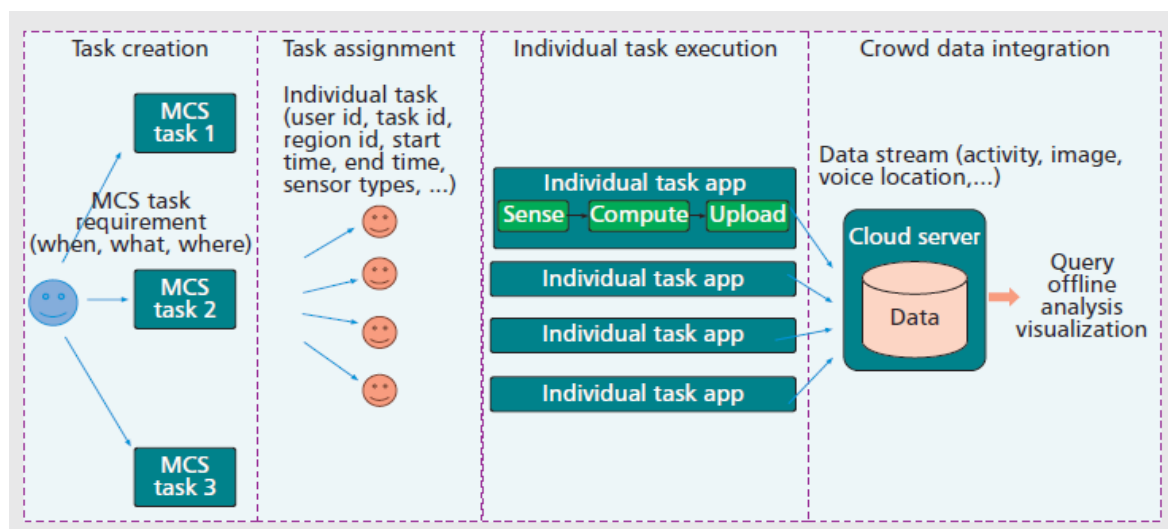
3.1 Εισαγωγή

Οι Zhang *et al.* [5] ερεύνησαν και ανέπτυξαν ένα μοντέλο για να περιγράψουν την διαδικασία ανίχνευσης στο MCS, το οποίο αποτελείται από την ανάλυση του κύκλου λειτουργίας της εφαρμογής καθώς και από μια μέθοδο κατηγοριοποίησης των επιμέρους ζητημάτων σχεδιασμού. Ο κύκλος λειτουργίας αυτός έχει 4 στάδια (δημιουργία εργασίας, ανάθεση εργασίας, εκτέλεση εργασίας, ενσωμάτωση δεδομένων) και σχετίζεται άμεσα με το MEDUSA framework [6]. Χρησιμοποιείται η μέθοδος 4W1H (what/when/where/who/how) για την οργάνωση του σχεδιασμού με έναν δομημένο τρόπο, τόσο στον συνολικό κύκλο λειτουργίας της εφαρμογής όσο και σε κάθε στάδιο ξεχωριστά.

3.2 Σχεδιασμός

Ο κύκλος λειτουργίας των εφαρμογών MCS όπως φαίνεται στην εικόνα 2 μπορεί να χωριστεί σε 4 στάδια, καθένα από τα οποία περιγράφεται παρακάτω.

- **Δημιουργία εργασίας (*Task creation*):** Σε αυτό το στάδιο δημιουργείται η εφαρμογή MCS την οποία οι συμμετέχοντες χρήστες θα εγκαταστήσουν στη συσκευή τους. Για την απλοποίηση της διαδικασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε μια εύκολα κατανοητή domain-specific language, το MedScript, η οποία είναι μια XML-based γλώσσα προγραμματισμού του MEDUSA framework[6].
- **Ανάθεση εργασίας (*Task assignment*):** Μετά από τη δημιουργία της εφαρμογής, αναζητούνται οι κατάλληλοι χρήστες οι οποίοι θα εκτελούν την εκάστοτε εργασία. Τα κριτήρια επιλογής είναι η γεωγραφική κάλυψη, η αξιοπιστία αλλά και η συμπλήρωση ενός ορισμένου αριθμού συμμετεχόντων.
- **Εκτέλεση εργασίας (*Individual task execution*):** Η εκτέλεση εργασίας περιλαμβάνει την ανίχνευση, τον υπολογισμό και τη μεταφόρτωση των δεδομένων από το χρήστη μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό πλαίσιο.
- **Ενσωμάτωση δεδομένων (*Crowd data integration*):** Αυτό είναι το στάδιο κατά το οποίο οι ροές δεδομένων συλλέγονται σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή ως είσοδος, και η έξοδος είναι το αποτέλεσμα της επεξεργασίας τους. Έτσι παρέχονται στους χρήστες οι πληροφορίες που χρειάζονται στην κατάλληλη μορφή.



Εικόνα 2: Κύκλος λειτουργίας μιας MCS εφαρμογής.

3.3 "4W1H" στο MCS

Για τον γρηγορότερο και αποτελεσματικότερο εντοπισμό των διαφόρων προκλήσεων του σχεδιασμού των MCS εφαρμογών με δομημένο τρόπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος 4W1H.

Θεωρώντας ότι θέλουμε να υπολογίσουμε την κυκλοφοριακή συμφόρηση σε μία λεωφόρο τις ώρες αιχμής έχουμε τα εξής:

- Τι (What): κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης
- Πότε (When): ώρες αιχμής, 07:00-09:00 και 17:00-19:00
- Που (Where): συγκεκριμένη λεωφόρος
- Ποιος (Who): εθελοντές οδηγοί οχημάτων
- Πως (How): συλλογή της ταχύτητας του αυτοκινήτου σε πραγματικό χρόνο

Η μέθοδος 4W1H μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στον συνολικό κύκλο λειτουργίας της εφαρμογής, όσο και σε κάθε ένα από τα στάδιά του, όπως περιγράφεται παρακάτω.

4W1H στη δημιουργία εργασίας:

- Τι: Αναφέρεται στο αντικείμενο, δηλαδή στο τι είδους εφαρμογές θα υποστηρίζουν οι MCS εργασίες, με τις 2 κυριότερες κατηγορίες να είναι η συλλογή αστικών (urban) δεδομένων (κατάσταση κυκλοφορίας, περιβαλλοντικές συνθήκες κλπ) ή κοινωνικών (στοιχεία καθημερινής ζωής του χρήστη, κοινωνικές αλληλεπιδράσεις κλπ).
- Πότε: Η χρονική περίοδος που μας ενδιαφέρει
- Που: Η περιοχή κάλυψης για τη συγκεκριμένη εργασία.

Να σημειώσουμε ότι η χρονική περίοδος και η περιοχή κάλυψης αναφέρονται στις παραμέτρους του χρόνου και του χώρου αντίστοιχα και υπάρχουν οι εξής τέσσερις κατηγορίες: βραχυπρόθεσμα σε μικρό εύρος περιοχής, βραχυπρόθεσμα σε μεγάλο εύρος περιοχής, μακροπρόθεσμα σε μικρό εύρος περιοχής και ,τέλος, μακροπρόθεσμα

σε μεγάλο εύρος περιοχής.

- Ποιος: Σε αυτό το στάδιο αντιπροσωπεύονται οι MCS organizers, οι οποίοι συνήθως είναι μεγάλες οργανώσεις, πανεπιστήμια, εταιρείες ή κρατικά όργανα
- Πως: Επικεντρώνεται στην μεγαλύτερη δυνατή απλοποίηση της δημιουργίας εργασίας, ώστε ακόμη και άνθρωποι με λίγες ή και καθόλου προγραμματιστικές γνώσεις να μπορούν να δημιουργήσουν MCS tasks.

4W1H στην ανάθεση εργασίας:

- Ποιος: Το βασικότερο ζήτημα στην ανάθεση εργασίας είναι η εύρεση των κατάλληλων χρηστών για να την πραγματοποιήσουν, καθώς και το απαραίτητο πλήθος. Συνήθως οι συμμετέχοντες λαμβάνουν μέρος εθελοντικά και τους προσφέρονται και κάποια κίνητρα.
- Τι: Αναφέρεται στο τι είδους πλατφόρμες χρησιμοποιεί ο MCS organizer για να συγκεντρώνει συμμετέχοντες (ανοιχτές/δημόσιες ή κλειστές/εξειδικευμένες)
- Που: Ποια είναι η περιοχή που καλύπτουν οι συμμετέχοντες, λαμβάνοντας υπόψη και την κινητικότητα που αυτοί παρουσιάζουν.
- Πότε: Η χρονική στιγμή κατά την οποία γίνεται η ανάθεση, η οποία μπορεί να είναι στατική (ανάθεση πριν την έναρξη της εργασίας) ή δυναμική (ανάθεση όσο η εργασία εκτελείται).
- Πως: Αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι πως θα μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας των κινητών συσκευών, πως θα μειωθεί ο χρόνος διεκπεραίωσης της εργασίας και πως θα αυξηθεί η κάλυψη περιοχής.

4W1H στην εκτέλεση εργασίας:

- Τι: Σε αυτό το στάδιο το “τι” αναφέρεται στο τι θα ανιχνεύσουμε, τι θα υπολογίσουμε και τι θα μεταφορτώσουμε.
- Πότε: Το πότε θα πραγματοποιήσουμε την εργασία έχει σημασία τόσο για την ποιότητα των δεδομένων που συλλέγουμε όσο και για την διατήρηση της ενέργειας της μπαταρίας.
- Που: Το που γίνεται η ανίχνευση αναφέρεται στη γεωγραφική περιοχή συλλογής δεδομένων, ενώ το που γίνεται ο υπολογισμός και η μεταφόρτωση δεδομένων αναφέρεται στο υλικό (κινητή συσκευή και κεντρικός εξυπηρετητής αντίστοιχα).
- Ποιος: Ο συμμετέχων που εκτελεί την εργασία. Σημαντικό είναι να τονίσουμε πως πρέπει να διαφυλάσσεται η ανωνυμία του χρήστη για λόγους προστασίας ιδιωτικότητας.
- Πως: Ανάπτυξη κατάλληλων μηχανισμών ώστε οι παραπάνω στόχοι των 4W (τι, πότε, που, ποιος) να επιτευχθούν.

4W1H στην ενσωμάτωση δεδομένων:

- Τι: Τι εργαλεία και μηχανισμοί θα χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση, εξόρυξη και διάδοση των δεδομένων.
- Πότε: Η ενσωμάτωση των δεδομένων μπορεί να γίνεται είτε σε πραγματικό χρόνο είτε μετά από την συλλογή τους.
- Ποιος: Αναφέρεται στο ποια άτομα θα επωφεληθούν από τα αποτελέσματα της διαδικασίας, είτε είναι οι ίδιοι οι συμμετέχοντες είτε το κοινό που θα μπορεί

να έχει πρόσβαση στα δεδομένα αυτά.

- Που: Συνήθως ο MCS organizer αναπτύσσει έναν κεντρικό εξυπηρετητή από το μηδέν, ενώ υπάρχει και η επιλογή αξιοποίησης υπαρχόντων εφαρμογών web (web services) για να δομηθεί ένας κεντρικός cloud server.
- Πως: Και σε αυτό το στάδιο το πως αναφέρεται στο συνδυασμό των μηχανισμών που υποστηρίζουν τα 4 παραπάνω ζητήματα, δηλαδή πως θα προστατευθεί η ιδιωτικότητα του χρήστη αλλά και πως θα βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας όταν χρειάζεται επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

3.4 Συμπεράσματα και μελλοντικές προκλήσεις

Με τη δημιουργία του κύκλου λειτουργίας της εφαρμογής και με τη βοήθεια του 4W1H παρατηρήθηκε ότι διάφορα ερευνητικά ζητήματα ήρθαν στην επιφάνεια και μπόρεσαν να λυθούν μεθοδικά και οργανωμένα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιες διαστάσεις των MCS εφαρμογών που είναι ακόμα ανοιχτές για μελέτη. Αναφορικά έχουμε τα ακόλουθα: δημιουργία MCS εργασιών για καταστάσεις ανάγκης, δυνατότητα του κοινού να δημιουργήσει τις δικές του εργασίες (είναι εφικτό καθώς η ανάπτυξη εργαλείων προγραμματισμού είναι πλέον μεγάλη) καθώς και μεγαλύτερο εύρος στο είδος των πληροφοριών που παρέχονται στους χρήστες (δεδομένα τόσο εξατομικευμένα όσο και γενικού σκοπού).

4. ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΙΔΙΩΤΙΚΟΤΗΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο πυρήνας μιας MCS εφαρμογής είναι η καταγραφή και αποστολή των δεδομένων από τις καθημερινές δραστηριότητες και συνήθειες των συμμετεχόντων. Είναι προφανές ότι το MCS φέρει προβληματισμούς σχετικά με την ιδιωτικότητα και τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη, καθώς κοινοποιούνται στοιχεία της καθημερινής του ζωής, των συνηθειών του, της τοποθεσίας στην οποία βρίσκεται, της κατάστασης της υγείας του κλπ. Οι έρευνες των τελευταίων χρόνων σχετικά με τις τεχνολογίες για την ενίσχυση της προστασίας της ιδιωτικής ζωής (*Privacy-enhancing technologies, PETs*) έχουν παράξει μια μεγάλη ποικιλία σχετικών μηχανισμών, ώστε να υιοθετούνται τα κατάλληλα εργαλεία, που θα εξασφαλίζουν την προστασία των προσωπικών δεδομένων σε διάφορες εφαρμογές και υποδομές.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα συμπεράσματα ενός σεμιναρίου του ερευνητικού κέντρου Dagstuhl με θέμα “My Life Shared-Trust and Privacy in the Age of Ubiquitous Experience Sharing”[7], όπου συζητήθηκαν οι τελευταίες εξελίξεις αλλά και προκλήσεις σχετικά με τα προσωπικά δεδομένα στο Mobile Crowdsensing. Οι συμμετέχοντες αναγνώρισαν προκλήσεις στα εξής 3 διαφορετικά επίπεδα: στην ενσωμάτωση μηχανισμών προστασίας ιδιωτικότητας, στις μεθόδους διαμοιρασμού δεδομένων καθώς και στην κοινωνική ισότητα.

4.2 Μηχανισμοί Προστασίας Ιδιωτικότητας

4.2.1 Αρχιτεκτονική

Αναφορικά με τον τρόπο συλλογής των δεδομένων, μπορούμε να πούμε ότι χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: *τον συμμετοχικό*, όπου οι χρήστες ενεργά καλούνται να κάνουν κάποια ενέργεια για την αποστολή δεδομένων, και *τον ευκαιριακό*, όπου η εφαρμογή τρέχει στο παρασκήνιο και τα δεδομένα συλλέγονται αυτόματα. Με οποιοδήποτε τρόπο και να συλλέγονται τα δεδομένα όμως, αποθηκεύονται σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή όπου δημιουργούνται βάσεις δεδομένων γεμάτες από προσωπικά στοιχεία των χρηστών, όπως πληροφορίες τοποθεσίας, εικόνες κλπ. Έτσι προκύπτει το θέμα της προστασίας των δεδομένων, αφού ο χρήστης δεν γνωρίζει σε ποιον ανήκουν, ποιος επωφελείται από αυτά και ποιος τα ελέγχει.

Για να λυθεί το ζήτημα αυτό αναπτύχθηκαν αρχιτεκτονικές με προσεγγίσεις περισσότερο ανθρωποκεντρικές, στις οποίες το κάθε άτομο μπορεί να επιβλέπει και να ελέγχει ως κάποιο βαθμό τον διαμοιρασμό των προσωπικών του δεδομένων.

Μια τέτοια αποτελεί το *Personal Data Service (PDS)*, που προτάθηκε στο Συνέδριο στο Dagstuhl. Το PDS είναι ένα δοχείο (container) στο οποίο τα δεδομένα συγκεντρώνονται, αποθηκεύονται και εξάγονται έπειτα από επιλογή του χρήστη. Δηλαδή ο χρήστης είναι σε θέση να ελέγχει όλες τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στο PDS και να επιλέγει ποιες από αυτές θα μοιραστεί ή θα πουλήσει. Ακόμη, εκτός από τη δυνατότητα αποθήκευσης, το PDS έχει τη δυνατότητα εκτέλεσης κώδικα για την επεξεργασία των δεδομένων αυτών τοπικά αλλά και εφαρμογής μεθόδων προστασίας τους.

4.2.2 Ενσωμάτωση των PETs

Παρότι έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνολογίες για την διατήρηση της ιδιωτικότητας, λίγο έχουν υιοθετηθεί από τις εφαρμογές MCS. Ένα βασικό πρόβλημα είναι ότι τα συστήματα MCS είναι σύνθετα και πολυεπίπεδα, οπότε είναι δύσκολο να εφαρμοστούν και να γίνουν κατανοητά τεχνολογικά εργαλεία μικρότερης κλίμακας. Η εμπειρία που υπάρχει σχετικά με τη λειτουργία των PETs όταν αυτά ενσωματώνονται σε συστήματα μεγάλης κλίμακας είναι μικρή, και συνεπώς απαιτείται ανάπτυξη νέων υποδομών και νέων πρακτικών συλλογής δεδομένων.

Μία ακόμη αιτία της ελλιπούς υιοθέτησης των PETs έγκυται στο γεγονός ότι οι μηχανικοί σχεδιασμού εστιάζουν στην επίλυση ενός προβλήματος μονόπλευρα, μη λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες και τις διαφορετικές οπτικές που εμπλέκονται στο σύστημα.

Στην αναφορά του σεμιναρίου Dagstuhl φαίνεται πως οι επιστήμονες αναγνώρισαν αυτή την τάση της εστίασης σε μία ή λίγες μεταβλητές του συστήματος και πρότειναν την εισαγωγή των *Tool Clinics*, δηλαδή πλαισίων (frameworks) που ενθαρρύνουν τη συνεργατική μελέτη πάνω σε τέτοια θέματα.

Ουσιαστικά ένα τέτοιο εργαλείο παρέχει στους σχεδιαστές του συστήματος μια ρύθμιση, ώστε να μπορούν να λαμβάνουν υπόψη τους περισσότερες παραμέτρους, όπως είναι η βιωσιμότητα του συστήματος αυτού ή οι απαιτήσεις των τελικών χρηστών της εφαρμογής, που όπως θα δούμε στη συνέχεια αποτελούν πολύ σημαντικό κομμάτι της εξέλιξης της εφαρμογής.

4.3 Μέθοδοι Διαμοιρασμού Δεδομένων

Σημαντικό στοιχείο της διατήρησης των προσωπικών δεδομένων του χρήστη, και συνεπώς της απόφασης σχετικά με το ποιες πληροφορίες θα διαμοιραστεί είναι το ποιος θα κάνει χρήση αυτών των πληροφοριών και γιατί.

Σήμερα τα περισσότερα εργαλεία κοινωνικής δικτύωσης είναι μοντελοποιημένα γύρω από 2 διακριτές επιλογές: *δημόσια (public)* και *περιορισμένα (limited)*. Όμως, στη συνεχώς ενεργή ανίχνευση που απαιτεί μια MCS εφαρμογή, μία αντίστοιχη χειροκίνητη κατηγοριοποίηση της πληροφορίας είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Επίσης, για έναν απλό χρήστη είναι δύσκολο να αναγνωρίσει ποιες είναι οι συνέπειες της επιλογής “public/limited” ή τι ακριβώς συνεπάγεται η αποδοχή των cookies όταν επισκέπτεται μια σελίδα στο διαδίκτυο. Μια σχετική λύση αποτελεί η επεξήγηση των συνεπειών κάθε επιλογής, σε συνδυασμό με μια υποστήριξη στη λήψη απόφασης. Ακόμη, οι σχεδιαστές θα πρέπει να φροντίσουν η διαδικασία αυτή να είναι οργανωμένη σε επίπεδα ώστε να μην καταναλώνει πολύ χρόνο από τον χρήστη, καθώς δεν έχουν όλοι τη διάθεση να αφιερώσουν χρόνο σε αυτό.

Μια ακόμη πρόταση θα ήταν η ενημέρωση του χρήστη σχετικά με την αξιοπιστία του λήπτη των ροών δεδομένων ανίχνευσης (sensor streams). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μηχανισμών που αναγνωρίζουν αν τα σήματα που λαμβάνονται από τον δέκτη είναι αξιόπιστα. Ακόμη, αφού υπάρχουν επιπτώσεις στην ιδιωτικότητά του, ένας χρήστης πρέπει να γνωρίζει με ποιο σκοπό θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του και να έχει τόσο ικανοποιητικά κίνητρα για τη συμμετοχή του στις MCS εφαρμογές, π.χ. οικονομικά ή κοινωνικά, όσο και μειωμένο φόρτο εργασίας. Με αυτό

τον τρόπο θα μπορούμε να έχουμε συνεχή ροή έγκυρων και αξιόπιστων δεδομένων.

4.4 Κοινωνική Ισότητα

Η τρίτη μεγάλη πρόκληση που συζητήθηκε στο εν λόγω συνέδριο αναφέρεται στην κοινωνική ισότητα των συμμετεχόντων σε μια εφαρμογή MCS. Μιλώντας για κοινωνική ισότητα (Social Justice) αναφερόμαστε στην ικανότητα καθενός ξεχωριστά να αναπτυχθεί και να διαπρέψει ανεξάρτητα από την κοινωνική του θέση. Σίγουρα το MCS μπορεί να φέρει θετικά αποτελέσματα σε αρκετούς τομείς της καθημερινής ζωής. Για παράδειγμα, όσον αφορά στον τομέα της υγείας, τα νέα στοιχεία που συλλέγονται καθημερινά από ασθενείς συμβάλλουν στη διάγνωση αλλά και στην εύρεση τρόπων θεραπείας διαφόρων ασθενειών. Ακόμη, εφαρμογές MCS που υποστηρίζουν τοπικά την αμοιβαία στήριξη των κατοίκων μέσω προσφοράς υπηρεσιών, αγαθών κλπ είναι σε θέση να βοηθήσουν τον κάθε ένα ξεχωριστά και να εξισώσουν τις κοινωνικές ανισότητες.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν τομείς όπου η συμμετοχή σε MCS εφαρμογές μπορεί να επιδεινώσει ήδη υπάρχοντα κοινωνικά προβλήματα και ανισοροπίες. Το πρόβλημα εστιάζεται κυρίως στην αυτονομία του χρήστη, καθώς πλέον είναι πιο εύκολο να ελέγχονται οι κινήσεις του, να σκιαγραφηθεί το προφίλ του και να κατηγοριοποιηθεί δημογραφικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εδώ αποτελεί ο χώρος ενός σχολείου ή ένας χώρος εργασίας.

4.5 Συμπεράσματα

Όντας μια τεχνολογία διαμοιρασμού προσωπικών δεδομένων, είδαμε πως τα συστήματα του Mobile Crowdsensing πρέπει να σχεδιάζονται λαμβάνοντας πάντα υπόψη την προσεκτική διαχείριση και διαφύλαξη των προσωπικών πληροφοριών του χρήστη. Αυτό μπορεί να γίνει ενσωματώνοντας τις κατάλληλες τεχνολογίες (*PDS*, *PETs*) αλλά και με τη σωστή καθοδήγηση του χρήστη, ώστε να είναι ενήμερος για το τι πορεία θα ακολουθήσουν τα προσωπικά του δεδομένα.

5. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ MCS

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι εφαρμογές του Mobile Crowdsensing μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τον τύπο του φαινομένου που μελετάται ή χαρτογραφείται. Διάφορες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί, όπως είναι για παράδειγμα οι Nericell [8], ParkNet [9] ή BikeNet [10].

Σε αυτή την ενότητα θα ασχοληθούμε με τρεις χαρακτηριστικές εφαρμογές, οι οποίες καλύπτουν τρία διαφορετικά πεδία ανίχνευσης του MCS: τα κοινωνικά φαινόμενα (Crowd++) [11], την ασύρματη επικοινωνία (MCNet) [12] καθώς και την απεικόνιση της καθημερινότητας των χρηστών (Recommending Travel Packages) [13].

5.1 CROWD++

5.1.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε την εφαρμογή Crowd++, μια εφαρμογή MCS που λαμβάνοντας τα δεδομένα ήχου από τους αισθητήρες κινητών συσκευών υπολογίζει τον αριθμό των ατόμων που μιλούν σε ένα χώρο. Μια τέτοια εφαρμογή μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμη σε διάφορους τομείς, π.χ. στον τομέα της υγείας ή της κοινωνικής δραστηριότητας του ατόμου. Εδώ, θα μελετήσουμε από τεχνικής πλευράς τον τρόπο που λειτουργεί το Crowd++ καθώς και τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής του, όπως τα παρουσίασαν οι Xu *et al.* [11].

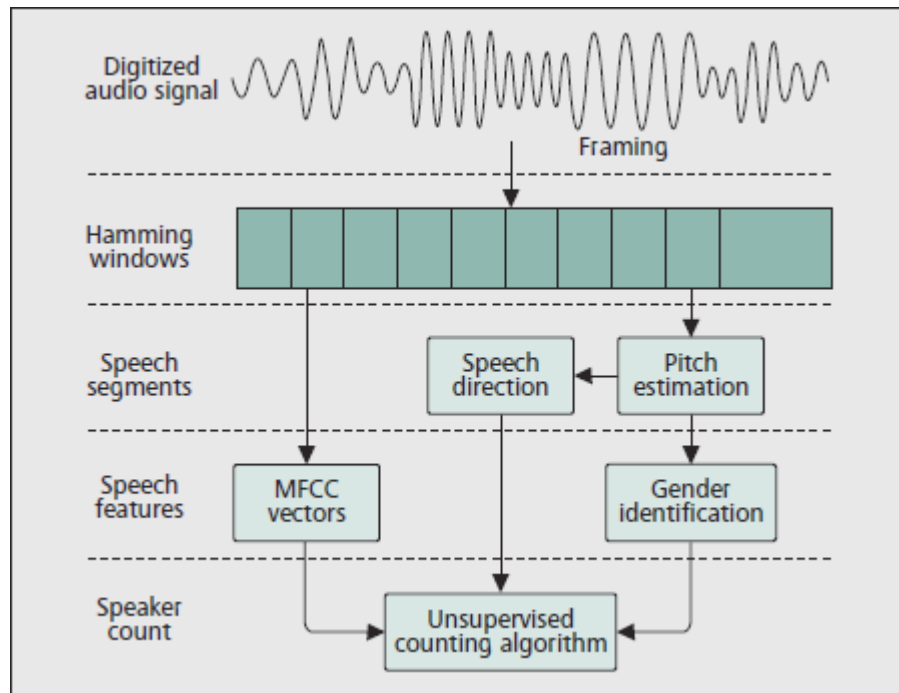
5.1.2 Υπολογισμός αριθμού ομιλητών

Για να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός του αριθμού των ατόμων που μιλούν σε ένα συγκεκριμένο χώρο, αποσυνθέτουμε τη διαδικασία σε τρία βήματα: ανίχνευση ομιλίας, εξαγωγή παραμέτρων και καταμέτρηση. Στην πρώτη φάση απορρίπτουμε τις περιόδους σιωπής και κρατάμε μόνο τα κομμάτια που περιέχουν ανθρώπινη φωνή. Στη δεύτερη φάση εξάγουμε τις παραμέτρους της φωνής οι οποίες μπορούν να χαρακτηρίσουν μοναδικά ένα άτομο, και τέλος, στη φάση της καταμέτρησης ελέγχουμε τα κομμάτια φωνής και διαπιστώνουμε εάν προέρχονται από το ίδιο ή από διαφορετικά άτομα. Στην εικόνα 3 παρακάτω βλέπουμε την ακολουθία των λειτουργιών του Crowd++.

Ο αλγόριθμος του Crowd++ βασίζεται σε ένα διάνυσμα που συντίθεται για κάθε ομιλητή από τον τόνο της φωνής και από τις παραμέτρους MFCC, αλλά και από την απόσταση των διαφορετικών διανυσμάτων μεταξύ τους.

- **Τόνος(pitch):** Στην ομιλία, ο τόνος ορίζεται ως το πόσο υψηλά η χαμηλά αντιλαμβάνεται το αυτί τον ήχο, κάτι που εξαρτάται από τον αριθμό των ταλαντώσεων των ανθρώπινων φωνητικών χορδών ανά δευτερόλεπτο. Δύο βασικές παρατηρήσεις είναι ότι πρώτον, ο ανθρώπινος τόνος διαφέρει αισθητά από αυτούς των άλλων έμβιων όντων ή αντικειμένων, και δεύτερον, ο τόνος της φωνής ενός αρσενικού είναι στατιστικά χαμηλότερος από τον γυναικείο.
- **MFCC:** Το Mel Frequency Cepstrum Coefficients ή το cepstrum συχνοτήτων mel στην επεξεργασία σήματος είναι μία αναπαράσταση του βραχυπρόθεσμου φάσματος έντασης ενός ήχου, βασισμένου σε έναν

γραμμικό μετασχηματισμό συνημιτόνου του λογαριθμισμένου φάσματος έντασης, σε μια μη γραμμική κλίμακα της συχνότητας (κλίμακα Mel). Συνεπώς μπορεί να χαρακτηρίσει ικανοποιητικά κάθε ομιλητή.



Εικόνα 3: Ακολουθία λειτουργιών του Crowd++.

- **Απόσταση (Feature distance):** Αφού βρούμε τα διανύσματα των παραμέτρων ομιλίας χρειαζόμαστε ένα μοντέλο απόστασης για να ποσοτικοποιήσουμε την ανομοιότητα μεταξύ τους. Χρησιμοποιούμε την απόσταση ομοιότητας συνημιτόνου (cosine similarity distance), δηλαδή υπολογίζουμε το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ των δύο διανυσμάτων. Καθώς το συνημίτονο προσεγγίζει το "1", τα δύο διανύσματα συμπίπτουν. Εάν τα δύο διανύσματα είναι τελείως ανεξάρτητα η τιμή είναι "0".

Στο πρώτο βήμα του αλγορίθμου υπολογισμού των ομιλητών χωρίζουμε το κομμάτι του ήχου που έχει καταγραφεί σε n κομμάτια ίσου μήκους. Για καθένα από αυτά υπολογίζουμε τον τόνο και τα διανύσματα MFCC, και εντοπίζουμε από την τιμή του τόνου εάν υπάρχει ανθρώπινη φωνή στο κομμάτι του ήχου αυτό.

Στη συνέχεια, για να διακρίνουμε εάν δύο κομμάτια ομιλίας ανήκουν στον ίδιο ομιλητή ελέγχουμε τις τιμές θ_s και θ_d . Οι τιμές αυτές είναι δύο κατώφλια που υπολογίζονται εμπειρικά, ως η μέση τιμή των D_s και D_d αντίστοιχα, όπου D_s η MFCC απόσταση των κομματιών ομιλίας του ίδιου ομιλητή και D_d των διαφορετικών ομιλητών. Οπότε εάν η MFCC απόσταση είναι μικρότερη από θ_s τότε έχουμε τον ίδιο ομιλητή, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη από θ_d τότε ο ομιλητής είναι διαφορετικός.

Το πρώτο κομμάτι ομιλίας το ορίζουμε ως τον πρώτο ομιλητή και συνεχίζουμε ελέγχοντας τα επόμενα κομμάτια εάν έρχονται από κάποια από τις φωνές που έχουν ήδη αναγνωριστεί. Εάν ναι, τότε συγχωνεύονται με το πιο παρόμοιο αλλιώς μετρούμε έναν καινούργιο ομιλητή ή απορρίπτουμε το κομμάτι εάν έχει κομμάτια μερικής σιωπής ή δεδομένα που δεν περιέχουν φωνή.

Το Crowd++ έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί σε ένα πλήρως κατανοημένο περιβάλλον, με τα συμπεράσματα να εξαγονται σε κάθε κινητή συσκευή ξεχωριστά. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον αλγόριθμο βρίσκουμε στο [14].

5.1.3 Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής του Crowd++

α) Υπολογισμός Πλήθους και Εύρεση Σημείων Ενδιαφέροντος

Γνωρίζουμε ότι οι άνθρωποι στις κοινωνικές τους συναναστροφές συμμετέχουν σε συζητήσεις σε διάφορους χώρους όπως πανεπιστήμια, εστιατόρια, δημόσιους χώρους κλπ. Έτσι, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εφαρμογή Crowd++ για να υπολογίσουμε το πόσο γεμάτος είναι ένας χώρος από κόσμο. Μέσα από το παράδειγμα που πραγματοποιήθηκε στο WINLAB του Rutgers University, παράχθηκαν αποτελέσματα σχετικά με το ποιες αίθουσες είχαν την μεγαλύτερη προσέλευση ατόμων και σε ποια χρονικά διαστήματα της ημέρας, συνεπώς ποιες είναι οι δραστηριότητες τόσο των φοιτητών όσο και των καθηγητών και ποιο σκοπό εξυπηρετεί η κάθε αίθουσα.

Σε μία μεγαλύτερη κλίμακα θα μπορούσαμε με τη βοήθεια του Crowd++ να εξαγάμε χάρτες θερμότητας για ολόκληρες πόλεις, που θα δείχνουν σε ποια σημεία συγκεντρώνεται ο περισσότερος κόσμος και ποιές ώρες. Αυτό θα ήταν χρήσιμο κυρίως για εφαρμογές στις οποίες ο χρήστης αναζητά δημοφιλή μέρη για διασκέδαση, αγορές, ψυχαγωγία κλπ.

β) Προσωπικό Κοινωνικό Ημερολόγιο

Για να προβλέψουν και να προλάβουν την κατάθλιψη ή την κοινωνική απομόνωση, οι γιατροί αναλύουν τις κοινωνικές συμπεριφορές των ασθενών τους. Με τη βοήθεια του Crowd++ οι ειδικοί μπορούν να συλλέξουν αυτές τις πληροφορίες με τρόπο λιγότερο παρεμβατικό στην προσωπική τους ζωή και ταυτόχρονα πιο αξιόπιστο. Έτσι φαίνεται καθημερινά με πόσα άτομα έρχεται ο χρήστης σε επαφή, ποιες ώρες της ημέρας και σε ποιο βαθμό είναι κοινωνικοποιημένος.

γ) Εκτίμηση Προσέλευσης/Διαδραστικότητας Εκδηλώσεων

Το Crowd++ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσουμε πόση προσέλευση έχει μία εκδήλωση/δραστηριότητα αλλά και το βαθμό αλληλεπίδρασης μεταξύ των συμμετεχόντων. Αυτό μπορεί να βοηθήσει φοιτητές να διαλέξουν μαθήματα σύμφωνα με το βαθμό συμμετοχής τους στις διαλέξεις, γονείς να ενημερώνονται σχετικά με τη συμμετοχή των παιδιών στο μάθημα ή για άτομα που ενδιαφέρονται για δημόσιες εκδηλώσεις, να βρίσκουν σε ποιες αναπτύσσονται ομάδες εργασίας.

5.1.4 Συμπεράσματα

Σε αυτή την ενότητα περιγράψαμε την εφαρμογή Crowd++, η οποία αναλύει τα δεδομένα ήχου που ανιχνεύονται από τις κινητές συσκευές και μετρά πόσα άτομα βρίσκονται κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο σε ένα συγκεκριμένο μέρος. Είδαμε πως λειτουργεί ο αλγόριθμος καταμέτρησης αλλά και τα θετικά αποτελέσματα που μπορεί να επιφέρει τόσο σε κοινωνικά ζητήματα όσο και σε ζητήματα υγείας και ευημερίας του χρήστη.

5.2 MCNet

5.2.1 Εισαγωγή

Η μέτρηση της απόδοσης πολύπλοκων δικτύων Wifi, όπως σε πανεπιστήμια ή οργανισμούς, είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία που όμως φέρει και κάποιες δυσκολίες, κυρίως όταν τα σημεία πρόσβασης (access points-APs) είναι πολλά. Οι Rosen *et al.*[10] παρουσιάζουν μια MCS εφαρμογή, η οποία μπορεί εύκολα και με χαμηλό κόστος να εντοπίζει προβλήματα του δικτύου μέσω των κινητών συσκευών των χρηστών, με περιοδική δειγματοληψία των δεδομένων.

Η διάδοση των ραδιοκυμάτων επηρεάζεται από ένα μεγάλο πλήθος παραγόντων, όπως είναι οι παρεμβολές από άλλες τεχνολογίες, η διαρρύθμιση των κτιρίων, ακόμα και τα υλικά από τα οποία τα κτίρια είναι κατασκευασμένα. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για την μέτρηση της απόδοσης των WLAN, π.χ. ελέγχοντας τη λειτουργία των σημείων πρόσβασης ή πραγματοποιώντας έρευνες στους χρήστες, όμως το κύριο μέλημά μας είναι η απόδοση όπως την αντιλαμβάνεται άμεσα και σε πραγματικό χρόνο ο χρήστης. Έτσι, με μια ανάλογη MCS εφαρμογή ο απλός χρήστης μπορεί να συμβάλλει στη διαδικασία αυτή, χωρίς την ανάγκη παρέμβασης τεχνικής υποστήριξης.

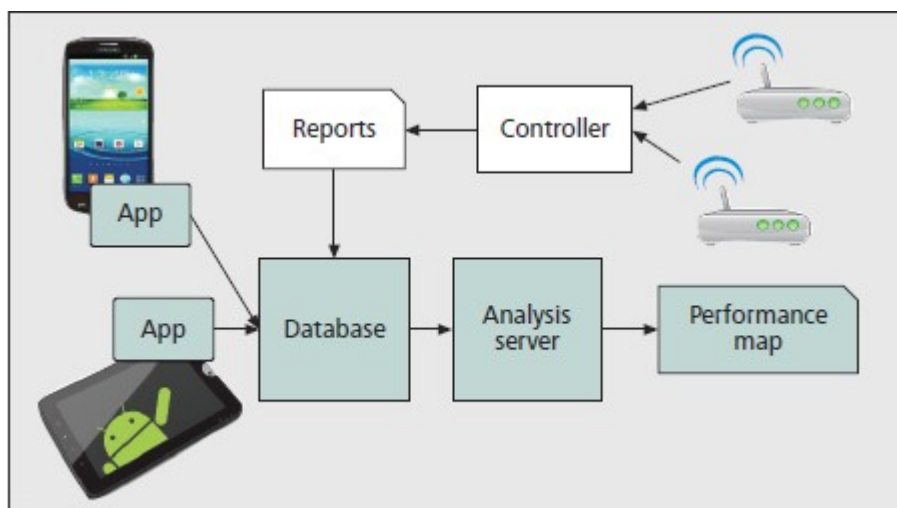
Το εργαλείο που παρουσιάζουμε είναι το Mobile Crowdsourcing Network for Wireless Network Management (MCNet), το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να στέλνουν δεδομένα από τις κινητές τους συσκευές για τον έλεγχο της απόδοσης των Wifi δικτύων.

5.2.2 Σχεδιασμός του MCNet

Η εφαρμογή MCNet είναι εφαρμογή Android που τρέχει στο παρασκήνιο της κινητής συσκευής, χωρίς να απαιτεί άμεση αλληλεπίδραση από τον χρήστη. Προγραμματίζει τη συλλογή δεδομένων, κάνει μετρήσεις και τις στέλνει στην βάση δεδομένων του εξυπηρετητή (server).

Ο εξυπηρετητής με τη σειρά του συγκεντρώνει τα δεδομένα από τους πελάτες (clients) και προαιρετικά ενσωματώνει σε αυτά δεδομένα απόδοσης των σημείων πρόσβασης. Τα δεδομένα του εξυπηρετητή είναι ορατά μέσω μιας δικτυακής διεπαφής και παρουσιάζονται σχηματικά σε ένα πλάνο της περιοχής ενδιαφέροντος.

Μια σχηματική απεικόνιση του MCNet βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 4).



Εικόνα 4: Σχεδιασμός του MCNet.

5.2.3 Μέτρηση της απόδοσης

Στον πίνακα 1 βλέπουμε τα δεδομένα που συλλέγει η MCNet εφαρμογή. Προτεραιότητα είναι η συλλογή δεδομένων που αντανακλούν άμεσα την εμπειρία του χρήστη, όπως είναι η *συνολική καθυστέρηση ή λανθάνων χρόνος (latency)*, η *ισχύς του σήματος (received signal strength indicator, RSSI)*, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σημείων πρόσβασης και φυσικά το όνομα του σημείου πρόσβασης στο οποίο η συσκευή είναι συνδεδεμένη. Όταν αυτό είναι εφικτό, η εφαρμογή συλλέγει τα δεδομένα παθητικά, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, για λόγους προστασίας της ιδιωτικότητας, δεν συλλέγονται πιθανά ευαίσθητα δεδομένα, π.χ. ίχνη δικτύου.

Υπάρχουν μετρήσεις της απόδοσης του δικτύου που συλλέγονται παθητικά. Αναζητώντας για κοντινά σημεία πρόσβασης, το android συλλέγει μία λίστα από μοναδικά IDs (BSSIDs), αντίστοιχες ισχύεις σήματος από όλα τα σημεία πρόσβασης εντός εμβέλειας και παραμέτρους από τις ρυθμίσεις της τρέχουσας σύνδεσης. Μία αναζήτηση ενεργοποιείται από το MCNet εάν δεν έχει προκύψει καμία εντός ενός διαστήματος πέντε λεπτών.

Όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας, αυτή είναι σχετικά χαμηλή για τον υπολογισμό της συνολικής καθυστέρησης (μέσω ring) ενώ είναι υψηλότερη όταν πρόκειται για τον υπολογισμό του *ρυθμού απόδοσης ή διεκπεραιωτικής ικανότητας (throughput)*. Γι'αυτό τέτοιες μετρήσεις είναι περιορισμένες.

Μία ακόμη σημαντική μέθοδος μέτρησης της απόδοσης σε δίκτυα επιχειρήσεων και οργανισμών είναι η συχνότητα εμφάνισης του “ring-ringing”, όπου οι συσκευές εργαζομένων που βρίσκονται σε μία συγκεκριμένη σταθερή θέση γρήγορα εναλλάσσουν σημεία πρόσβασης στο δίκτυο. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε αυξημένη *επιβάρυνση (overhead)* του δικτύου και συνεπώς σε χαμηλότερη απόδοση του σημείου πρόσβασης.

Για την καλύτερη κατανόηση της εναλλαγής σημείων πρόσβασης, παράγουμε τυχαία IDs με διάρκεια λίγων μόνο λεπτών για να συγκρίνουμε δύο διαδοχικές μετρήσεις. Αυτά συνδέουν τις μετρήσεις μεταξύ τους όταν ο χρήστης κινείται, και έτσι μπορούμε να διαπιστώσουμε εάν ο χρήστης αλλάζει σημεία πρόσβασης συχνά. Ανιχνεύοντας

Λοιπόν αυτές τις κινήσεις, είμαστε σε θέση να διαπιστώσουμε εάν η επιβάρυνση του δικτύου οφείλεται σε ring-ringing ή στις φυσικές μετακινήσεις του χρήστη στο χώρο.

Τύπος	Τρόπος συλλογής δεδομένων	Ενέργεια (mJ)
Απόδοση και συμπεριφορά της σύνδεσης από την πλευρά του χρήστη		
Λανθάνων χρόνος	Ενεργός	500
Ρυθμοαπόδοση	Ενεργός	4000
RSSI σύνδεσης και ρυθμός δεδομένων	Παθητικός	–
Συμβάντα σύνδεσης	Παθητικός, κλήση OS	-
Τοποθεσία και εμβέλεια σημείων πρόσβασης		
Σάρωση Wifi	Ενεργός ή παθητικός, κλήση OS	1600
Προσαρμοσμένη στις συνθήκες συλλογή δεδομένων		
Κατάσταση μπαταρίας	Παθητικός	-
Αξelerόμετρο	Ενεργός	150/s

Πίνακας 1: Τύποι Δεδομένων Συλλογής του MCNet και αντιστοίχα κόστη.

5.2.4 Κατανάλωση Ενέργειας

Όπως αναφέραμε ήδη, οι μετρήσεις γίνονται στο παρασκήνιο χωρίς ενεργή συμμετοχή του χρήστη. Συλλέγοντας δεδομένα με ένα σταθερό ρυθμό διαπιστώθηκε πως χάνονταν μετρήσεις από τοποθεσίες στις οποίες ο χρήστης παρέμενε για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Ακόμη, υπάρχουν φορές που οι μετρήσεις δεν είναι επιθυμητές, για παράδειγμα όταν η μπαταρία της συσκευής είναι χαμηλή.

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του MCNet χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή Galaxy S III για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας κάθε λειτουργίας. Οι μετρήσεις αυτές φαίνονται στον πίνακα 1. Ένα τυπικό σύνολο δοκιμών που ξεκινάει με μια σάρωση Wifi κοστίζει περίπου 4J. Συλλέγονται όλες οι απαραίτητες παράμετροι και στη συνέχεια έχουμε τις δοκιμές συνολικής καθυστέρησης και ρυθμοαπόδοσης. Σύμφωνα με τις μετρήσεις, η μπαταρία θα εξαντληθεί έπειτα από 7.000 ολοκληρωμένους κύκλους μετρήσεων. Στόχος είναι να μην καταναλώνεται από το MCNet παραπάνω ενέργεια από το 1% της μπαταρίας, κάτι που εύκολα καταφέρνουμε με τον περιορισμό των μετρήσεων ανά 15 λεπτά. Σε περίπτωση που η μπαταρία μπει σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας απενεργοποιούνται όλες οι δοκιμές, ενώ όταν βρίσκεται σε λειτουργία φόρτισης τότε οι μετρήσεις γίνονται κάθε 5 λεπτά αντί για 15.

5.2.5 Εφαρμογή του MCNet

Για να διαπιστωθεί στην πράξη η χρησιμότητα του MCNet, εφαρμόστηκε στα πλαίσια της έρευνας σε δύο εντελώς διαφορετικά WLAN μίας εταιρείας. Και τα δύο δίκτυα βρίσκονται σε λειτουργία αρκετά χρόνια και χρησιμοποιούν διαφορετικά εργαλεία σχεδιασμού και διαχείρισης δικτύων, και τα δύο το ίδιο προηγμένα. Επίσης, έχουν

εντελώς διαφορετική διαρρύθμιση στο χώρο και συνεπώς διαφορετικές ιδιότητες στη μετάδοση του Wifi σήματος.

Όσον αφορά στο πρώτο δίκτυο, το σύστημα έτρεξε για 4 μήνες σε έναν όροφο μίας μεγάλης επιχείρησης. Ο χώρος αυτός αποτελείται από ανοιχτούς χώρους, μικρά γραφεία με χαμηλά διαχωριστικά και σχετικά λίγα σημεία πρόσβασης με μεγάλη εμβέλεια. 21 συσκευές Android χρησιμοποιήθηκαν για ένα μήνα, ενώ 10 από αυτές για 3 μήνες παραπάνω. Το MCNet εντόπισε 3 προβλήματα που μέχρι τώρα δεν ήταν ορατά από τα ήδη υπάρχοντα εργαλεία μέτρησης της απόδοσης του εμπορίου: α) ring-ringing των συσκευών μεταξύ σημείων πρόσβασης χωρίς οι χρήστες να βρίσκονται σε κίνηση, β) σημαντική μείωση της απόδοσης σε σημεία αλληλοεπικάλυψης του εύρους δύο σημείων πρόσβασης και γ) χαμηλή απόδοση ενός σημείου πρόσβασης ανεξάρτητα από την τοποθεσία του χρήστη.

Το δεύτερο δίκτυο καλύπτει ένα τετραώροφο πανεπιστημιακό κτίριο, με μικρά δωμάτια και σημεία πρόσβασης ανά ένα μικρό αριθμό δωματίων. Χρησιμοποιήθηκαν 19 συσκευές για δύο μήνες, οι περισσότερες στον ίδιο όροφο, και όπως στο δίκτυο 1 παρατηρήθηκαν μεγάλες αποκλίσεις στην απόδοση του δικτύου από τοποθεσία σε τοποθεσία. Αντίθετα με το δίκτυο 1, δεν παρατηρήθηκε σχεδόν καθόλου ring-ringing.

5.2.6 Συμπεράσματα

Η ραγδαία ανάπτυξη των κινητών συσκευών και των δυνατοτήτων τους έχει οδηγήσει στην ανάγκη παροχής Wifi δικτύων, από τα οποία οι χρήστες περιμένουν μία καλή απόδοση. Τα ήδη υπάρχοντα εργαλεία μέτρησης αυτής της απόδοσης και εντοπισμού των προβλημάτων είναι είτε ακριβά, είτε μερικώς προσανατολισμένα στην απόδοση όπως την αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Έτσι, παρουσιάσαμε την εφαρμογή MCNet, η οποία αποτελεί ένα σύστημα μέτρησης της απόδοσης των WLAN με τη βοήθεια των δεδομένων που στέλνονται από κινητά χρηστών με λειτουργικό Android. Εφαρμόζοντάς το σε δύο διαφορετικά WLAN μίας επιχείρησης είδαμε πως με χαμηλό κόστος καθώς και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας το MCNet μπορεί να ανιχνεύσει προβλήματα στα ασύρματα δίκτυα που ως τώρα παρέμεναν στην αφάνεια.

5.3 Προτάσεις Ταξιδιωτικών Πακέτων

5.3.1 Εισαγωγή

Με τη βοήθεια δεδομένων ανίχνευσης κινητών συσκευών (mobile crowdsourced data) από υπηρεσίες κοινωνικής δικτύωσης που βασίζονται στην τοποθεσία του χρήστη (location-based social network services-LBSNs) παίρνουμε πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις του σε τοποθεσίες και μέρη. Οι Yu et al. [13] με βάση αυτές τις πληροφορίες ανέπτυξαν ένα σύστημα για προτάσεις ταξιδιωτικών πακέτων προς τους χρήστες, βρίσκοντας τα σημεία ενδιαφέροντός τους (points of interest-POIs) και δημιουργώντας ένα προφίλ για κάθε έναν ξεχωριστά.

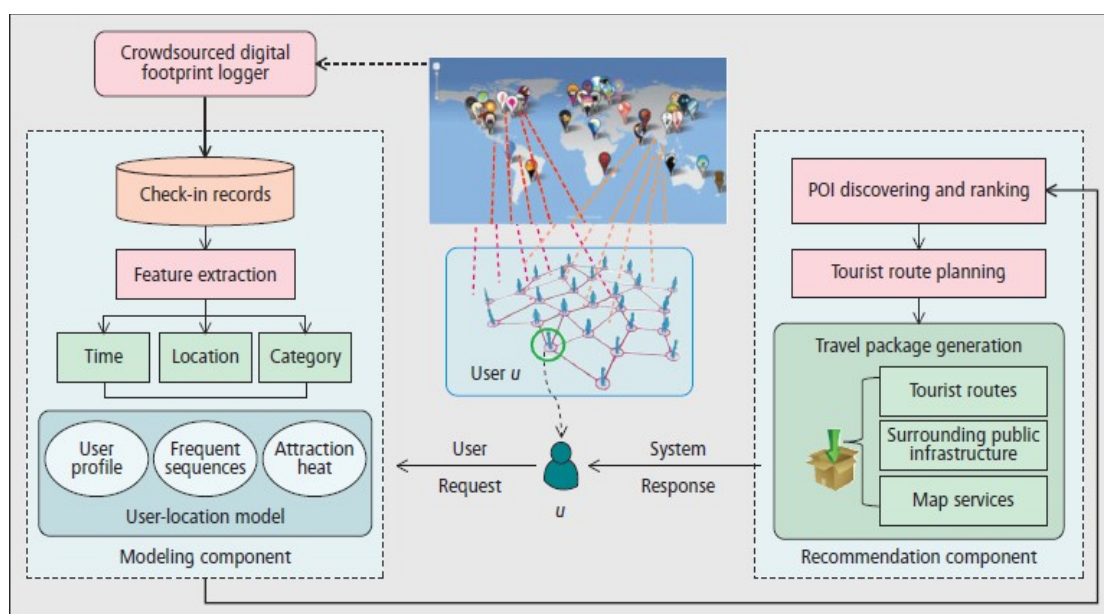
5.3.2 Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από τρία μέρη, τα οποία παρουσιάζονται στην εικόνα 5: α) μοντελοποίηση των χρηστών και των τοποθεσιών, β) μηχανή προτάσεων και γ) διεπαφή/περιβάλλον του συστήματος στις κινητές

ΣΥΣΚΕΥΕΣ.

α) Μοντελοποίηση Χρηστών και Τοποθεσιών

Η μοντελοποίηση αυτή χρησιμοποιείται για να εξάγουμε τα χωρο-χρονικά χαρακτηριστικά από τις κοινοποιήσεις τοποθεσίας (check-in records) του χρήστη, όπως τον χρόνο, την ακριβή τοποθεσία και την κατηγορία τοποθεσίας. Η κατηγοριοποίηση των τοποθεσιών γίνεται σε δύο επίπεδα, όπου κάθε σημείο ενδιαφέροντος (Point of Interest- POI) ανήκει σε μία κλάση, η οποία είναι υποκλάση μίας άλλης. Για παράδειγμα, ένα POI “p” ανήκει στην κλάση “Ζυμαρικά”, και τα “Ζυμαρικά” είναι υποκλάση του “Φαγητό”. Ακόμη, μετράμε και τη δημοτικότητα του POI για τη χρονική περίοδο που μας ενδιαφέρει, η οποία καλείται Heat of POI, καθώς γνωρίζουμε ότι ανάλογα με την περίοδο του χρόνου διαμορφώνεται και η επισκεψιμότητα ενός σημείου ενδιαφέροντος.



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική Συστήματος Προτάσεων Ταξιδιωτικών Πακέτων.

Δημιουργία προφίλ χρηστών

Οι προτιμήσεις των χρηστών σχετικά με τις τοποθεσίες διαφέρουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για παράδειγμα, συνηθίζουν να επισκέπτονται αξιοθέατα τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες, ενώ το μεσημέρι και το βράδυ γευματίζουν. Χωρίζουμε τη μέρα σε έξι διαφορετικές περιόδους και χαρακτηρίζουμε τις προτιμήσεις των χρηστών για κάθε μία από αυτές (δηλαδή 0:00–8:00, 8:00–12:00, 12:00–14:00, 14:00–18:00, 18:00–20:00, και 20:00–24:00). Οι προτάσεις του συστήματος εστιάζουν κυρίως σε τρεις κατηγορίες τοποθεσιών: φαγητό, αξιοθέατα/εκδηλώσεις και διασκέδαση.

Το προφίλ του χρήστη παρουσιάζεται σαν ένα *διάνυσμα χαρακτηριστικών* (feature vector). Κάθε στοιχείο υποδεικνύει την προτίμηση του χρήστη για κάποια κατηγορία τοποθεσίας. Περιγράφουμε την προτίμηση του χρήστη για την χρονική περίοδο r της τοποθεσίας i ως $F_{r,i}$, που υπολογίζεται ως ο λόγος των φορών που ο χρήστης επισκέφτηκε τοποθεσία τύπου i προς τις φορές που ο χρήστης επισκέφτηκε όλους τους τύπους τοποθεσιών στη χρονική περίοδο r . Σύμφωνα με τα παραπάνω

εξάγουμε το προφίλ του χρήστη, δηλαδή τις προτιμήσεις του για διαφορετικές κατηγορίες τοποθεσιών σε διαφορετικές ώρες της ημέρας.

Δημοτικότητα των POIs

Όπως είναι λογικό, η επισκεψιμότητα των σημείων ενδιαφέροντος ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο του χρόνου, π.χ. ένας βοτανικός κήπος δέχεται πολλούς επισκέπτες κατά την άνοιξη, ενώ πολύ λιγότερους κατά τον χειμώνα, παράμετρος η οποία λαμβάνεται υπόψη κατά την πρόταση POIs στους χρήστες.

Το μέγεθος Heat of POI που προαναφέραμε υπολογίζεται για κάθε μήνα ξεχωριστά. Ορίζεται ως Heat του POI ο για τον μήνα m και υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (1) :

$$H(o,m) = \alpha * \frac{VT(o,m)}{\sum_{m=1}^{12} VT(o,m)} + \beta * \frac{rating(o)}{10} \quad (1)$$

όπου το $VT(o,m)$ αντιπροσωπεύει τον αριθμό επισκέψεων του POI ο τον μήνα m και το $rating(o)$ αντιπροσωπεύει το μέσο όρο της βαθμολογίας του POI ο. Πολλές εφαρμογές LBSN επιτρέπουν στους χρήστες να βαθμολογήσουν την τοποθεσία σύμφωνα με την εμπειρία που είχαν εκεί, από το 1 έως το 10. Έτσι λοιπόν χρειαζόμαστε τον μέσο όρο των βαθμολογιών αυτών για να πραγματοποιήσουμε τους υπολογισμούς. Τα α και β αποτελούν συντελεστές βαρύτητας για το κάθε μέρος της εξίσωσης, που ορίζονται ως 1.5 και 1 εμπειρικά για το συγκεκριμένο σύστημα.

Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι υπάρχουν συσχετίσεις μεταξύ των τοποθεσιών, καθώς συνήθως οι χρήστες προτιμούν μετά το δείπνο τους να επισκεφθούν ένα γειτονικό καφέ ή μπαρ. Γι αυτό είναι χρήσιμο να εξερευνήσουμε τις συχνές ακολουθίες επισκέψεων, ώστε να συστήνουμε τα σχετικά σημεία ενδιαφέροντος μαζί.

β) Ταξιδιωτικές προτάσεις

Για να κάνουμε πρόταση τοποθεσιών στους χρήστες, πρώτα ανακαλύπτουμε ενδιαφέρουσες τοποθεσίες γύρω από την τρέχουσα του χρήστη και τις βαθμολογούμε με βάση το ιστορικό των κοινοποιήσεων τοποθεσίας από χρήστες εκεί. Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία μέχρι να εξάγουμε μία λίστα τοποθεσιών για κάθε χρονική περίοδο της ημέρας. Συνεπώς, θα έχουμε μια λίστα από βαθμολογημένα POIs για διαφορετικές χρονικές περιόδους μίας ημέρας.

Αυτό γίνεται αρχικά διαιρώντας τη συνολική διάρκεια του ταξιδιού σε χρονικές περιόδους, από την έναρξη του ταξιδιού έως τη λήξη. Έχουμε λοιπόν τη λίστα χρόνου (Timelist), η οποία είναι μια λίστα από τις χρονικές περιόδους στις οποίες πραγματοποιείται το ταξίδι. Για κάθε περίοδο αυτής της λίστας αποφασίζουμε το είδος της κατηγορίας που θα προτείνουμε σύμφωνα με το ιστορικό των κοινοποιήσεων τοποθεσίας του χρήστη. Τελικά, ορίζουμε μια περιοχή γύρω από την τοποθεσία εκκίνησης του ταξιδιού του χρήστη, η οποία στην περίπτωση μας θεωρείται κυκλική, με το κέντρο του κύκλου να είναι το σημείο εκκίνησης, και όλες τις τοποθεσίες εντός του κύκλου να είναι το σύνολο-στόχος πιθανών τοποθεσιών για

πρόταση.

Επόμενο βήμα είναι η κατάταξη των τοποθεσιών αυτών με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη. Ορίζεται το μέγεθος $Like(u, r, j)$ που υποδηλώνει το ενδιαφέρον του χρήστη u για την τοποθεσία j τη χρονική περίοδο r , και υπολογίζεται όπως φαίνεται στην εξίσωση (2), όπου το $Sim(u, v, i)$ αναφέρεται στην ομοιότητα του χρήστη u με τον v για την τοποθεσία i , και $U(u, I)$ είναι το σύνολο παρόμοιων χρηστών u για την τοποθεσία i .

$$Like(u, r, j) = \frac{\sum_{v \in U(u, i)} Sim(u, v, i) Like(v, r, j)}{\sum_{v \in U(u, i)} Sim(u, v, i)} \quad (2)$$

Ακόμη, χρήστες που παρουσιάζουν παρόμοια γούστα στα ταξίδια, κάνουν και παρόμοιες επιλογές τοποθεσιών, οπότε μας ενδιαφέρουν για τους υπολογισμούς μας και οι προτιμήσεις “παρόμοιων” χρηστών.

γ) Διεπαφή Χρήστη

Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε τρέχει σε λειτουργικό Android. Ο χρήστης βάζει χειροκίνητα τα στοιχεία του ταξιδιού, συμπεριλαμβανομένων και των ημερομηνιών έναρξης και λήξης, ενώ τα αποτελέσματα των ταξιδιωτικών πακέτων παρουσιάζονται στην οθόνη του. Για κάθε αντικείμενο στη λίστα προτάσεων υπάρχει σύντομη περιγραφή, διάρκεια καθώς και ένας ηλεκτρονικός χάρτης για μια πιο εύκολη περιήγηση στις προτεινόμενες τοποθεσίες. Ο server του συστήματος και ο πελάτης επικοινωνούν μέσω HTTP πρωτοκόλλου.

5.3.3 Συμπεράσματα

Σε αυτή την ενότητα μελετήσαμε την εξατομικευμένη πρόταση ταξιδιωτικών πακέτων, βασισμένα σε δεδομένα από το Mobile Crowdsourcing. Το σύστημα αυτό όχι μόνο βοηθά τους χρήστες να βρουν ενδιαφέρουσες τοποθεσίες σύμφωνα με το ιστορικό των τοποθεσιών που συνήθως επισκέπτονται, αλλά και δημιουργεί ολόκληρα ταξιδιωτικά πακέτα που αποτελούνται από διαφορετικούς τύπους τοποθεσιών και ακολουθίες επισκέψεων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία ερευνήσαμε την τεχνολογία του Mobile Crowdsensing, τόσο από τη σκοπιά του σχεδιασμού των συστημάτων αυτών, όσο και από την πλευρά της εφαρμογής της στην πράξη. Αρχικά, μπορέσαμε μελετώντας τα ευκαιριακά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης κινητικότητας να χρησιμοποιήσουμε δύο μονάδες μέτρησης, το inter-cover time και το opportunistic coverage ratio, για να χαρακτηρίσουμε τις δυνατότητες ανίχνευσης και για να αξιολογήσουμε την ποιότητα ανίχνευσης των εφαρμογών MCS αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, συμπεράναμε ότι με τη δημιουργία του κύκλου λειτουργίας της εφαρμογής και με τη βοήθεια του 4W1H σε κάθε στάδιο του κύκλου ξεχωριστά, έρχονται στην επιφάνεια πιο εύκολα διάφορα ερευνητικά ζητήματα και μπορούν να επιλυθούν πιο μεθοδικά και οργανωμένα.

Ένα ακόμη συμπέρασμα, το οποίο σχετίζεται με το ζήτημα της προστασίας της ιδιωτικότητας των χρηστών, είναι ότι αυτή μπορεί να προστατευθεί με την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως είναι τα *PDS* και *PETs*, αλλά ταυτόχρονα και με τη σωστή ενημέρωση και καθοδήγηση του χρήστη καθόλη την διάρκεια της crowdsensing διαδικασίας.

Τέλος, μελετώντας αναλυτικά τις τρεις MCS εφαρμογές Crowd++ [11], MCNet [12] και Travel Packages Recommending [13], ανακαλύψαμε στην πράξη πως πράγματι η τεχνολογία του Mobile Crowdsensing μπορεί, μεταξύ άλλων, να παρέχει πληροφορίες που βοηθούν στην επίλυση κοινωνικών ζητημάτων, στην ανίχνευση προβλημάτων στα ασύρματα δίκτυα που ως τώρα παρέμεναν στην αφάνεια, αλλά και στην διευκόλυνση την οργάνωσης της καθημερινότητας των χρηστών αντίστοιχα.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

MCS	Mobile Crowdsensing
WSN	Wireless Sensor Networks
DTN	Delay-tolerant Networks
4W1H	4 What 1 How
PET	Privacy-enhancing Technologies
PDS	Personal Data Service
MFCC	Mel Frequency Cepstrum Coefficients
WLAN	Wireless Local Area Network
MCNet	Mobile Crowdsourcing Network for Wireless Network Management
RSSI	Received Signal Strength Indicator
HTTP	HyperText Transfer Protocol
POI	Point of Interest

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] G. Merlino et al., "Mobile crowdsensing as a service: A platform for applications on top of sensing Clouds", *Future Generation Computer Systems*, vol. 56, pp. 623-639, 2016.
- [2] N. Lane et al., "Urban Sensing Systems: Opportunistic or Participatory?," *Proc. HotMobile*, 2008, pp. 11–16.
- [3] Huadong Ma et al., "Opportunities in Mobile Crowd Sensing", *IEEE Communications Magazine* (Volume: 52, Issue: 8, Aug. 2014)
- [4] D. Zhao et al., "COUPON: A Cooperative Framework for Building Sensing Maps in Mobile Opportunistic Networks," *IEEE Trans. Parallel and Distrib. Sys.*, Feb. 2014
- [5] Zhang et al. "4W1H in mobile crowd sensing", *IEEE Communications Magazine* (Volume: 52, Issue: 8, Aug. 2014)
- [6] M. R. Ra et al., "Medusa: A Programming Framework for Crowd-Sensing Applications," *Proc. MobiSys*, 2012, pp. 337–50.
- [7] A. Acquisti et al., "My Life, Shared' — Trust and Privacy in the Age of Ubiquitous Experience Sharing (Dagstuhl Seminar 13312)," *Dagstuhl Reports*, vol. 3, no. 7, 2013, pp. 74–107.
- [8] P. Mohan, V. Padmanabhan, and R. Ramjee, "Nericell: Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones," in *Proc. of ACM SenSys*, 2008, pp. 323–336.
- [9] S. Mathur et al., "Parknet: Drive-by sensing of road-side parking statistics," in *Proc. of ACM MobiSys*, 2010, pp. 123–136
- [10] . B. Eisenman et al, "The bikenet mobile sensing system for cyclist experience mapping," in *Proc. of SenSys*, November 2007
- [11] Xu et al. "Crowdsensing the speaker count in the wild: implications and applications", *IEEE Communications Magazine* (Volume: 52, Issue: 10, October 2014)
- [12] Rosen et al. "MCNet: Crowdsourcing wireless performance measurements through the eyes of mobile devices", *IEEE Communications Magazine* (Volume: 52, Issue: 10, October 2014)
- [13] Yu et al. "Recommending travel packages based on mobile crowdsourced data", *IEEE Communications Magazine* (Volume: 52, Issue: 8, Aug. 2014)
- [14] "The Crowd++ Android App Source Code Repository", <https://github.com/lendlice/crowdpp>.