



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Smart Cities και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων:
Ευρυζωνική συνδεσιμότητα δημοτικών υπηρεσιών

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΨΑΛΤΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

Λαμία 2023



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Smart Cities and the Internet of Things:
Broadband connectivity for municipal services

DIMITRIOS-PANAGIOTIS PSALTIS

FINAL THESIS
ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS

TUTOR – ASSOCIATE

Lamia 2023

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

*1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάσθηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.*

*2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.*

3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια

4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 06/03/2023

Ο – Η Δηλ.

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το να γίνει μια πόλη "έξυπνη" αναδύεται ως στρατηγική για τον μετριασμό των προβλημάτων που δημιουργούνται από την αύξηση του αστικού πληθυσμού και την ταχεία αστικοποίηση. Ωστόσο, μια έξυπνη πόλη χρειάζεται και τις κατάλληλες υποδομές, ώστε να μπορέσει να αναπτυχθεί και να είναι βιώσιμη. Τα θεμέλια για μία έξυπνη πόλη είναι τα δίκτυα τελευταίας γενιάς. Στην παρούσα εργασία αναλύεται αρχικά η εξέλιξη των ασυρμάτων δικτύων από την 1^η Γενιά έως και την 5^η, καθώς επίσης γίνεται αναφορά στις προοπτικές της μελλοντικής 6^{ης} Γενιάς ασύρματων επικοινωνιών. Στο 2^ο Κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά του Πληροφοριακού Συστήματος με σκοπό την κατανόηση και στην συνέχεια την ανάλυση το τι είναι μια Έξυπνη Πόλη. Κατόπιν γίνεται μια ιστορική αναδρομή στις έξυπνες πόλεις και μια εκτενή αναφορά στους τομείς προόδου και τους παράγοντες δημιουργίας μιας πόλης με αυτά τα χαρακτηριστικά. Στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο μελλοντικό διαδίκτυο και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αρχιτεκτονική NDN, καθώς στη συνέχεια παρουσιάζονται μια πλατφόρμα υπηρεσιών και οι τρόποι χρήσης σε σημαντικές υπηρεσίες στα μελλοντικά αστικά περιβάλλοντα. Τα πεδία εφαρμογών που διερευνώνται στην συγκεκριμένη ενότητα, αντικατοπτρίζουν αυτά που μελετήθηκαν και προτάθηκαν στο πλαίσιο ερευνητικών έργων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στο 4^ο Κεφάλαιο προβάλλονται οι προδιαγραφές ασύρματης επικοινωνίας των φορητών συσκευών παρακολούθησης της υγείας και στη συνέχεια αναλύεται ένα σενάριο εργασίας. Αυτό είναι βασισμένο σε πρόσφατη μελέτη του επιβλέποντος, πάνω στην επίδραση των εγγενών χαρακτηριστικών διάδοσης για τον χαρακτηρισμό του καναλιού uplink όσο αφορά μια ευρυζωνική υπηρεσία παρακολούθησης που προσφέρεται στους πολίτες για την μέτρηση μιας βιοφυσιολογικής παραμέτρου, όπως η γλυκόζη. Τέλος, συνοψίζονται τα συμπεράσματα και παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την περάτωση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας.

ABSTRACT

Making a city "smart" is emerging as a strategy to mitigate the problems created by urban population growth and rapid urbanisation. However, a smart city also needs the right infrastructure to enable it to grow and be sustainable. The foundation for a smart city is the latest generation of networks. In this paper, the evolution of wireless networks from 1st Generation to 5th Generation is first analysed, and the prospects for future 6th Generation wireless communications are also discussed. Chapter 2 gives the definition and characteristics of Information System in order to understand and then analyze what a Smart City is. Then a historical review of Smart Cities is given and an extensive discussion of the areas of progress and factors in creating a city with these characteristics. In Chapter 3, the future internet is discussed and special emphasis is given to the NDN architecture, and then a service platform and the ways to use it in important services in future urban environments are presented. The application areas explored in this section reflect those studied and proposed in European Union research projects. In Chapter 4, the wireless communication specifications of portable health monitoring devices are presented and then a working scenario is analysed. This is based on a recent study by the supervisor, on the influence of the intrinsic propagation characteristics for the characterization of the uplink channel as far as a broadband monitoring service offered to citizens for the measurement of a biophysiological parameter such as glucose is concerned. Finally, the conclusions are summarized and the literature used to complete this thesis is listed.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
<u>ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ</u>	6
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.1.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	6
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2) ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	7
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2.1) Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	7
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2.2) ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 1 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (1G)	8
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2.3) ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 2 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (2G)	9
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2.4) ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 3 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (3G)	11
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2.5) ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 4 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (4G)	11
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2.6) ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 5 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (5G)	13
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.3) ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 6G	15
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.3.1)	15
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ 6 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (6G).....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
<u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΎΞΥΠΙΝΗΣ ΠΟΛΗΣ.....</u>	19
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1) ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	19
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.1.1) ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	19
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2) ΎΞΥΠΙΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	22
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.2.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΎΞΥΠΙΝΕ ΠΟΛΕΙΣ	22
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.2.2) Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΎΞΥΠΙΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ.....	24
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.2.3) ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΙΑΣ ΎΞΥΠΙΝΗΣ ΠΟΛΗΣ.....	25
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.2.4) ΤΟΜΕΙΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΙΑΣ ΎΞΥΠΙΝΗΣ ΠΟΛΗΣ.	27
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.2.5) ΑΝΑΛΥΣΗ ΎΞΥΠΙΝΗΣ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ.....	31
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.2.6) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΤΟΜΕΩΝ ΎΞΥΠΙΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	36
<u>ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΙΣ ΎΞΥΠΙΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ</u>	36
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	36
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.1.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	36
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2) ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΎΞΥΠΙΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ.....	40
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.1) ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (NDN)	40
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3) ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΎΞΥΠΙΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ.....	44

(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.1) ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	44
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.2) ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	45
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.3) ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΕΝΤΡΟΥ ΟΝΟΜΑΤΩΝ	46
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.4) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΡΥΠΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ	50
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.5) ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ	53
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</u>	<u>72</u>
<u>ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</u>	<u>72</u>
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.1) ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	72
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.1) ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΓΙΑ WHMS	72
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.2) ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	78
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.2.1) ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΓΓΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ UPLINK ΓΙΑ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΒΙΟ-ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΞΥΠΙΝΗΣ ΠΟΛΗΣ.....	78
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</u>	<u>84</u>
<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	<u>84</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u>	<u>86</u>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας

(Υποκεφάλαιο 1.1) Εισαγωγή

(Ενότητα 1.1.1) Εισαγωγή στα δίκτυα επικοινωνιών

Μια από τις πιο επιτυχημένες τεχνολογικές εξελίξεις στη σύγχρονη ιστορία είναι η κινητή επικοινωνία. Μέχρι σήμερα έχουν εγκριθεί πέντε δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας. Από το 1980, μια νέα γενιά δικτύων ασύρματης επικοινωνίας εμφανίζεται περίπου κάθε δεκαετία. Οι κινητές συσκευές ξεκίνησαν με μονοπώλιο το δίκτυο 1^{ης} γενιάς (1G), ακολούθησε το δίκτυο 2^{ης} γενιάς (2G) που είχε αρκετές βελτιώσεις σε σχέση με το πρώτο, όπου ακολουθήθηκε από την επιτυχία του δικτύου 3^{ης} γενιάς (3G). Όσον αφορά τις υπηρεσίες που περιείχαν, το 1G και το 2G παρείχαν μόνο υπηρεσίες φωνής και σταδιακά άρχισαν περιέχουν υπηρεσίες δεδομένων. Οι υπηρεσίες δεδομένων άρχισαν κυρίως να χρησιμοποιούνται από το δίκτυο 3G και αργότερα παρουσίασαν μεγαλύτερη ανάπτυξη και χρησιμότητα με το δίκτυο 4G. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν εξελιχθεί δραματικά τα τελευταία πέντε χρόνια, επιτρέποντας εφαρμογές που βασίζονται στα δεδομένα, όπως τα πολυμέσα, υπηρεσίες δικτυακών παιχνιδιών με πολλούς παίχτες από διάφορα σημεία του κόσμου και μετάδοση εκπομπών και γενικά διάφορων ροών σε υψηλή ανάλυση. Κατά συνέπεια, εκτός από την ποσότητα της κίνησης δεδομένων έχει αυξηθεί πολύ και ο αριθμός των χρηστών κινητής τηλεφωνίας [1.1]. Ο αριθμός των χρηστών που έχουν στην κατοχή τους μία κινητή συσκευή με έξυπνες λειτουργίες “smartphone” έφτασε τα 7,75 δισεκατομμύρια τον Ιανουάριο του 2020, με κάθε χρήστη να ζητάει κατά μέσο όρο 10GB δεδομένων ετησίως. Η χρήση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα αυξηθεί στα 82GB ανά χρήστη ετησίως, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το ήμισυ της παγκόσμιας κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας, λόγω των

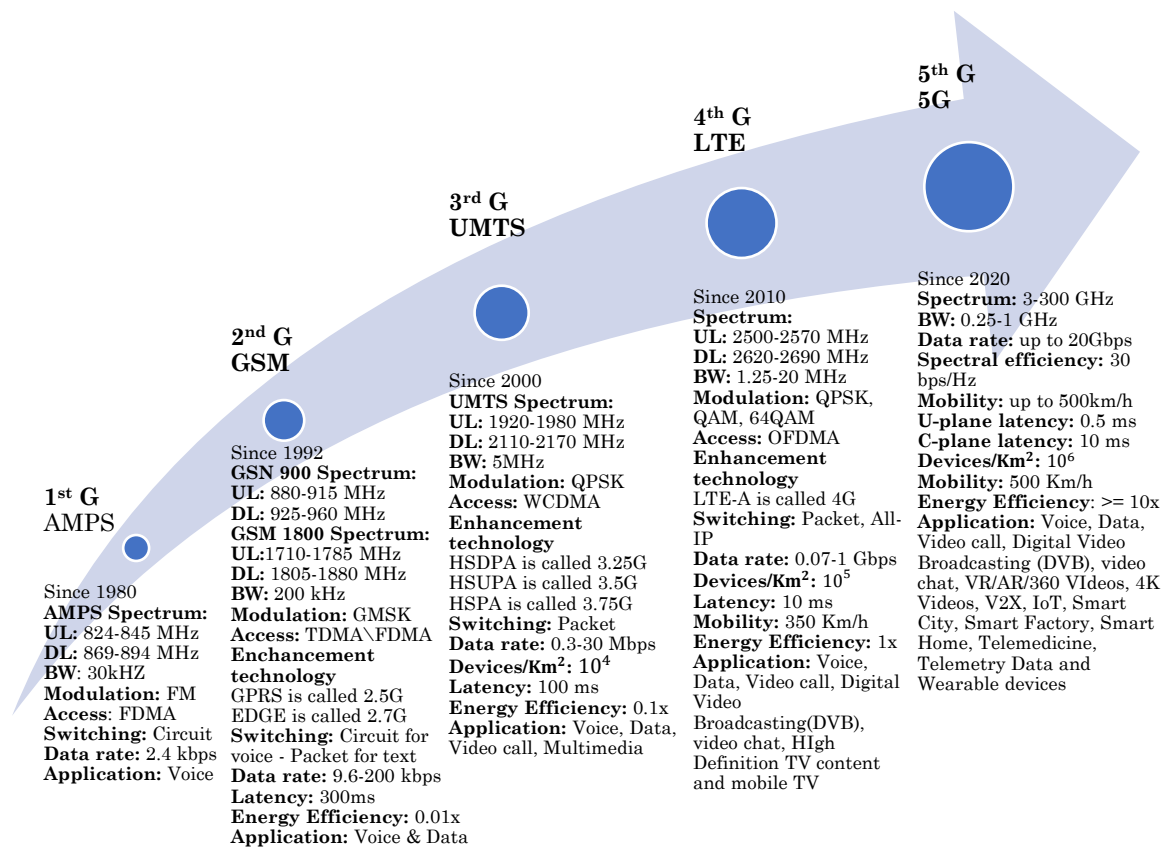
υψηλών αιτημάτων για δεδομένα ροής βίντεο υψηλής ανάλυσης και μέσω κοινωνικής δικτύωσης. Επιπλέον, η αύξηση της χρήσης του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) θα προκαλέσει τεράστια αύξηση της διαδικτυακής κίνησης. Αυτή η αύξηση της χρήσης του δικτύου θα έχει ως συνέπεια η κάλυψη των ασυρμάτων δικτύων να μην επαρκεί και να χρειάζονται νέες τεχνολογίες. Έτσι δημιουργούνται τα κίνητρα για την ανάπτυξη κινητών ασυρμάτων δικτύων 5^{ης} γενιάς (5G).

Αναλόγως την κάλυψη και τις προϋποθέσεις επέκτασης που προσφέρει το 5G, το 6G θα βελτιωθεί και θα επεκταθεί περαιτέρω για να επιτύχει έως και 100 φορές μεγαλύτερη απόδοση, υψηλότερη χωρητικότητα συστήματος, μεγαλύτερη αποδοτικότητα φάσματος, χαμηλότερη καθυστέρηση και κάλυψη που θα είναι τόσο ευρύτερη όσο και βαθύτερη για να υποστηρίξει την αυξημένη ταχύτητα κίνησης. Ο κύριος στόχος του 6G θα είναι η εξυπηρέτηση του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και η πλήρης υποστήριξη της επέκτασης της έξυπνης ζωής μέσα σε μία έξυπνη πόλη, αλλά και η περαιτέρω ψηφιακοποίηση μιας αναπτυσσόμενης.

(Υποκεφάλαιο 1.2) Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνίας

(Ενότητα 1.2.1) Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας

Όπως αναφέρθηκε και αρχικά, κάθε 10 χρόνια εμφανίζεται μια νέα γενιά δικτύου ασύρματης επικοινωνίας [1.9], [1.10]. Παρακάτω στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζονται τα επιτεύγματα των 5 γενεών (1G έως 5G) που υπάρχουν μέχρι σήμερα.



Σχήμα 1.1: Τα επιτεύγματα στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας έως και την 5^η γενιά

Για να γίνει πιο κατανοητό το σχήμα στα επόμενα στα υποκεφάλαια θα αναλυθεί ο τρόπος ανάπτυξης και εξέλιξης των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας 1^{ης} έως και 5^{ης} γενιάς.

(Ενότητα 1.2.2) Κινητές επικοινωνίες 1^{ης} Γενιάς (1G)

Στη δεκαετία του 1970, ανακοινώθηκαν οι κινητές επικοινωνίες 1G. Το προηγμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας της Βόρειας Αμερικής (AMPS), το σκανδιναβικό κινητό τηλέφωνο της Σκανδιναβίας (NMT), το σύστημα

επικοινωνιών ολικής πρόσβασης του Ηνωμένου Βασιλείου (TACS) και το σύστημα επικοινωνιών ολικής πρόσβασης της Ιαπωνίας (JTACS) είναι οι πρωταρχικοί χρήστες της τεχνολογίας 1G. Η τεχνολογία 1G είναι ένα απλό αναλογικό σύστημα με ταχύτητες δεδομένων έως 2,4 kbps βελτιστοποιημένο για συνομιλίες φωνής. Έχει εύρος ζώνης 30 kHz (BW) και χρησιμοποιεί τεχνολογίες επικοινωνίας διαμόρφωσης συχνότητας (FM) και πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA). Όμως, η τεχνολογία 1G παρουσιάζει αρκετές ελλείψεις, όπως [1.11],[1.12],[1.13]:

- Η μη υποστήριξη κρυπτογράφησης, η κακή ποιότητα και η κακή ασφάλεια λόγω της χρήσης αναλογικής διαμόρφωσης.
- Η υποστήριξη περιορισμένου αριθμού χρηστών λόγω της χρήσης της τεχνολογίας FDMA.
- Η μη ασφαλής ακτινοβολία ισχύος σταθμού βάσης και η έλλειψη διαδικασιών μεταφοράς.
- Η υποστήριξη μόνο υπηρεσιών φωνής.
- Ο αποκλεισμός συστημάτων λόγω έλλειψης συνεκτικών διεθνών προτύπων.

(Ενότητα 1.2.3) Κινητές επικοινωνίες 2^{ης} Γενιάς (2G)

Οι παγκόσμιες κινητές επικοινωνίες (GSM), οι οποίες εισήχθησαν τη δεκαετία του 1990, ήταν το πρώτο σύστημα δεύτερης γενιάς (2G). Το GSM είναι ένα απλό ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα που χρησιμοποιεί Γκαουσιανή διαμόρφωση ελάχιστης μετατόπισης συχνότητας (GMSK), τεχνολογία μετάδοσης πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA), με εύρος ζώνης = 200 kHz για επικοινωνίες φωνής. Τα χαρακτηριστικά αυτής της γενιάς είναι:

- Διαμορφώθηκε ένα ενοποιημένο διεθνές πρότυπο κινητών επικοινωνιών και προωθήθηκε η ανάπτυξη της παγκόσμιας τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών.
- Βελτιστοποιήθηκαν οι υπηρεσίες.

- Βελτιώθηκε η ασφάλεια του δικτύου μέσω κρυπτογραφημένων αριθμών.
- Βελτιώθηκε η χωρητικότητα του συστήματος.
- Αυξήθηκε η διάρκεια ζωής της μπαταρίας του κινητού τηλεφώνου, επειδή χρησιμοποιήθηκε λιγότερη ενέργεια από το ραδιοσήμα.

Ωστόσο, ο χαμηλότερος ρυθμός δεδομένων του GSM οδήγησε σε βελτιώσεις στα κυψελοειδή συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία γενικής ραδιοφωνικής υπηρεσίας πακέτων (GPRS) [1.11],[1.12],[1.13].

Το GPRS ταξινομείται ως 2,5G. Χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου και μεταγωγής κυκλώματος του GSM. Ο ρυθμός δεδομένων του μπορεί να αυξηθεί έως και 50 kbps και χρησιμοποιεί μετάδοση και διαμόρφωση που είναι παρόμοια με το GSM. Βασικά, το GPRS είναι η πρώτη φάση στην πορεία προς το περιβάλλον GSM που υποστηρίζει βελτιωμένα δεδομένα (EDGE). Το EDGE είναι μια ραδιοτεχνολογία που προηγείται του 3G. Οι χρήστες μπορούν να μεταδίδουν και να λαμβάνουν δεδομένα με ρυθμό έως και 200 kbps. Η τεχνολογία EDGE βασίζεται στο προηγούμενο πρότυπο GSM και χρησιμοποιεί πανομοιότυπο μηχανισμό μετάδοσης και εύρος ζώνης όπως το GSM, αλλά χρησιμοποιεί διαμόρφωση με οκτώ κλειδιά μετατόπισης φάσης (8PSK) και διαμόρφωση GMSK αντί του GSM. Τα οκτώ κλειδιά μετατόπισης φάσης (8PSK) έχουν υψηλότερο ρυθμό δεδομένων αλλά περιορισμένη περιοχή κάλυψης, ενώ το GMSK είναι ένα αξιόπιστο μοντέλο για ευρεία κάλυψη. Το GMSK αναπτύχθηκε για να βελτιώσει τις υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων και να επιτρέψει τις μελλοντικές εφαρμογές να χρησιμοποιούν δεδομένα υψηλής ταχύτητας, όπως τα πολυμέσα [1.12], [1.13].

(Ενότητα 1.2.4) Κινητές επικοινωνίες 3^{ης} Γενιάς (3G)

Το σύστημα 3^{ης} Γενιάς (3G) χρησιμοποιεί τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα ευρείας ζώνης (WCDMA) και τεχνολογία πρόσβασης πακέτων υψηλής ταχύτητας (HSPA) για να παρέχει γρήγορη πρόσβαση στο Διαδίκτυο, καθώς και σημαντικά βελτιωμένες δυνατότητες μετάδοσης βίντεο και ήχου. Η τεχνολογία πρόσβασης πακέτων υψηλής ταχύτητας (HSPA) συνδυάζει δύο πρωτόκολλα κινητής τηλεφωνίας, την πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας στην κατερχόμενη ζεύξη (HSDPA) και την πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας στην ανερχόμενη ζεύξη (HSUPA), για να ενισχύσει και να βελτιώσει την απόδοση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας 3G που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο WCDMA. Το ανεπτυγμένο HSPA (η αλλιώς HSPA+) είναι ένα αναβαθμισμένο πρότυπο του οργανισμού 3rd Generation Partnership Project (3GPP) που ξεκίνησε στα τέλη του 2008 και χρησιμοποιήθηκε διεθνώς το 2010. Από την άλλη πλευρά, το 3.9G Long-Term Evolution (LTE) περιέχει χαρακτηριστικά που υπερβαίνουν αυτά που συναντώνται στις συνηθισμένες κινητές επικοινωνίες 3G [1.12], [1.13]. Ωστόσο, η ITU και η 3GPP κατέληξαν τελικά στο συμπέρασμα ότι η τεχνολογία LTE μπορεί να ονομαστεί τεχνολογία 4^{ης} Γενιάς (4G) [1.14].

(Ενότητα 1.2.5) Κινητές επικοινωνίες 4^{ης} Γενιάς (4G)

Το LTE είναι μια τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης που βασίζεται στην ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM), η οποία επιτρέπει την προηγμένη μετάδοση πολλαπλών κεραιών καθώς και επεκτάσιμη μετάδοση εύρους ζώνης έως και 20 MHz. Η MIMO είναι μια πολύ σημαντική τεχνολογία συστήματος που επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, καθώς και μετάδοση πολλαπλών ροών για την επίτευξη μεγάλης φασματικής απόδοσης, τη βελτίωση της ποιότητας σύνδεσης και την μεταβολή των μοτίβων ακτινοβολίας για ενίσχυση και μετρίασμό του σήματος. Η

προσαρμοστική διαμόρφωση δέσμης της κεραίας χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της συστοιχίας παρεμβολής. Η τεχνολογία LTE αυξάνει τις ταχύτητες δεδομένων μέσω κινητής τηλεφωνίας στα 100Mbps. Το σχέδιο δράσης για τις ασύρματες τεχνολογίες έχει επεκταθεί στην προηγμένη τεχνολογία LTE (LTEA) [1.14], η οποία θεωρητικά μπορεί να φτάσει σε μέγιστο ρυθμό μετάδοσης άνω του 1Gbps. Η ανάγκη για πιο αναπτυγμένο LTE δίκτυο προκλήθηκε λόγω της τεράστιας ζήτησης για χωρητικότητα κινητών ευρυζωνικών επικοινωνιών.

Παρέχοντας μια ολοκληρωμένη και συνεκτική λύση βασισμένη στο πρωτόκολλο IP του Διαδικτύου, η τεχνολογία 4G βελτιώνει το σημερινό δίκτυο επικοινωνίας. Παρακάτω αναφέρονται τρία ερευνητικά θέματα που έχει διερευνήσει σε βάθος η ασύρματη κοινότητα για την ικανοποίηση των δυνατοτήτων του δικτύου 4G:

- Πυκνότητα του δικτύου: Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε καταστάσεις όπου υπάρχει πολύς κόσμος, όπως στάδια, συναυλίες, δημόσιοι χώροι και εμπορικά κέντρα. Με την ανάπτυξη συμπαγών, χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους κυψελών, η τεχνική αυτή σκοπεύει να μειώσει την απόσταση μεταξύ των κινητών τερματικών και των σταθμών βάσης (BS), αυξάνοντας έτσι την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και ενισχύοντας την κάλυψη του δικτύου. Λόγω της χρήσης δρομολόγησης χαμηλών απωλειών, ο μικρός σταθμός βάσης έχει ακτίνα κάλυψης από 50 έως 150 m και εκπέμπει σε χαμηλή ισχύ (0,110 W), γεγονός που βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση και τον λόγο παρεμβολής σήματος συν θορύβου (SINR). Επιπλέον, οι φορείς εκμετάλλευσης εργάζονται για να καταστήσουν τους μικρούς σταθμούς βάσης «plug-and-play», πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να διαμορφώσουν όλες τις βασικές παραμέτρους και δεν θα χρειάζονται τακτική συντήρηση [1.15], [1.16].
- Βελτιωμένη φασματική απόδοση: Συντονισμένες μέθοδοι και λύσεις μετάδοσης/λήψης για τη μείωση των παρεμβολών μεταξύ των κυψελών χρησιμοποιούν σύγχρονη επεξεργασία σήματος και χωρική

ποικιλομορφία για τη μείωση των παρεμβολών μεταξύ των καναλιών (συν-καναλιών) και βελτίωση της αποδοτικότητας του φάσματος [1.17], [1.18].

- Η τεχνική Carrier που χρησιμοποιείται στο LTE-A για την καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος, για να διευκολυνθεί η αύξηση του εύρους ζώνης (έως 100 MHz). Παρόλο που ο συνδυασμός εκτέλεσης αυτών των τεχνολογιών μπορεί θεωρητικά να παρέχει στους πελάτες σταθερής τηλεφωνίας ρυθμούς δεδομένων που υπερβαίνουν το 1 Gbps, η περαιτέρω επέκταση περιορίζεται λόγω του περιορισμένου αριθμού των προσβάσιμων συχνοτήτων [1.14], [1.19].

(Ενότητα 1.2.6) Κινητές επικοινωνίες 5^{ης} Γενιάς (5G)

Η διαδικασία τυποποίησης των επικοινωνιών 5G πρόσφατα ολοκληρώθηκε και εφαρμόζεται σε παγκόσμια βάση [1.20]. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) ορίζει την οπτική και τα πρότυπα της νέας γενιάς κινητών ασύρματων δικτύων. Το 5G θα πρέπει να πληροί τρία κοινά σενάρια και οκτώ βασικούς δείκτες αποδόσεων (KPI) [1.2]. Το σύστημα 5G περιλαμβάνει:

- Εκατομμύρια συνδέσεις ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (1 M/km²)
- Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB)
- Ρυθμός δεδομένων Gb/s
- Εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης (URLLC)
- Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC).

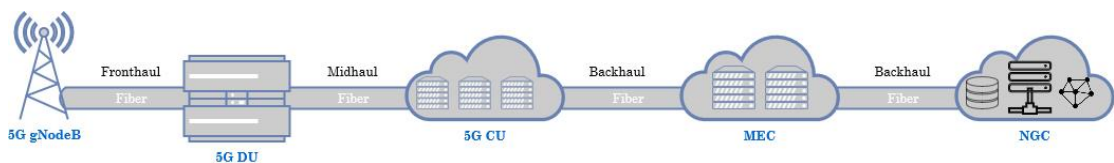
Έχουν αναπτυχθεί πολλές ικανές τεχνολογίες, οι οποίες εξετάζονται στην τυποποίηση, και υλοποιούνται σε τεχνικές δοκιμές προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPI) [1.3].

Κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες είναι [1.4], [1.5]:

- Μαζική πολλαπλή είσοδος, πολλαπλή έξοδος (MIMO)

- Εξελιγμένη κωδικοποίηση και διαμόρφωση
- Επικοινωνίες χιλιοστομετρικών κυμάτων (mmWave)
- Εξαιρετικά πυκνά δίκτυα (UDN)
- Μη ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση
- Ευέλικτη δομή πλαισίου
- Αρχιτεκτονική διπλής συνδεσιμότητας και άλλες ασύρματες τεχνολογίες.

Όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 1.2, ο κύριος κορμός στο δίκτυο 5G περιλαμβάνει διάφορα στοιχεία που είναι ευρέως τοποθετημένα σε όλο το δίκτυο, όπως η αρχιτεκτονική Multi-Access Edge Computing (MEC), η αρχιτεκτονική Next Generation Core (NGC) και η Active Antenna System (AAS) (με 5G NR υποστήριξη) [1.22]. Η MEC είναι μια αρχιτεκτονική δικτύου που περισσότερη επεξεργασία, κυρίως για εφαρμογές που επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την καθυστέρηση, παραμένει πιο κοντά στην κορυφή του κινητού δικτύου. Η αρχιτεκτονική NGC είναι το τμήμα του δικτύου που παρέχει υπηρεσίες στους συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας μέσω του δικτύου ράδιο πρόσβασης (RAN). Επίσης θεωρείται η πύλη προς άλλα δίκτυα, για παράδειγμα προς το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής ή τα δημόσια νέφη.



Σχήμα 1.2: 5G Υποδομές Fronthaul-Midhaul-Backhaul

Η δομή που χρησιμοποιείται για το 5G AAS, δηλαδή το δίκτυο ράδιο πρόσβασης (RAN) Fronthaul των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, απαιτεί την κοινή χρήση πολλαπλών τεχνολογιών, όπως το Next Generation Passive Optical Network (NGPON), Lengthy Division of Thick Wave Multiplexing (CWDM), Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) και enhanced

Common Public Radio Interface (eCPRI). Όλες αυτές οι τεχνολογίες απαιτούν συμβατή υποδομή οπτικών ινών. Επειδή τα κινητά δίκτυα 5G απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης και ταχύτητα [1.23], η υποδομή χρειάζεται καλώδια οπτικών ινών για να εγκατασταθεί στην κεραία. Ως αποτέλεσμα, εκτός από την ενίσχυση της χωρητικότητας των οπτικών ινών του κορμού [1.24], απαιτείται επίσης η ανάπτυξη του κινητού δικτύου 5G όσο το δυνατόν πιο κοντά στις κεραίες της υποδομής οπτικών ινών, καθώς και η εγκατάσταση νέας υποδομής καλωδίων οπτικών ινών ώστε να είναι εφικτό να ενεργοποιηθούν επιπλέον κεραίες όταν η χωρητικότητα δεν επαρκεί.

Ωστόσο, λόγω της σημαντικής αύξησης του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών, η κίνηση δεδομένων έχει αυξηθεί εκθετικά και μπορεί να φτάσει σε εκατοντάδες συσκευές ανά κυβικό μέτρο. Εκτός από τον αυξανόμενο αριθμό καινοτόμων εφαρμογών, όπως η εικονική πραγματικότητα και η επαυξημένη πραγματικότητα (VR και AR), τα αυτοκινούμενα οχήματα, η τηλεμετρία, οι ολοκληρωμένες τρισδιάστατες επικοινωνίες, και άλλες νέες εφαρμογές που δεν έχουν ακόμη μελετηθεί [1.4], [1.6] θα χρειάζονται ρυθμούς δεδομένων που θα απαιτούν υψηλότερη ταχύτητα και χαμηλότερη καθυστέρηση από τα δίκτυα 5G. Αυτές οι προκλήσεις θεωρούνται τα κύρια κίνητρα για την ανάπτυξη των τεχνολογιών επικοινωνίας 6^{ης} γενιάς (6G) όπου αναμένεται να αναπτυχθούν έως το 2030 [1.7], [1.8].

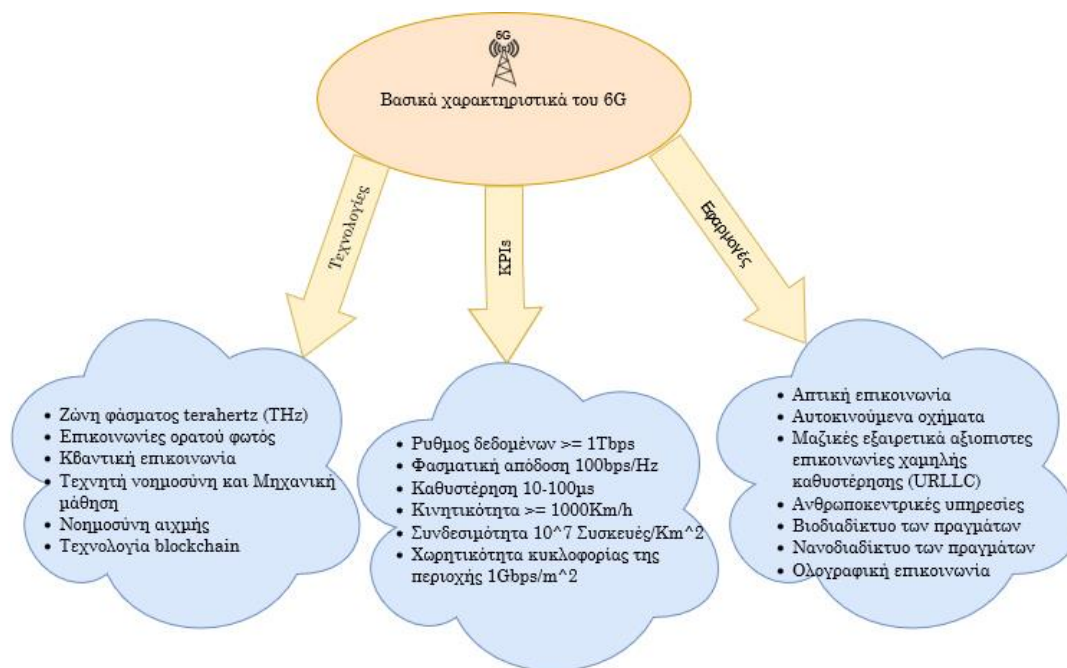
(Υποκεφάλαιο 1.3) Προοπτικές δικτύων 6G

(Ενότητα 1.3.1)

Προοπτικές των δικτύων ασύρματης επικοινωνίας 6^{ης} Γενιάς (6G)

Το 6G θα επικαιροποιηθεί και θα διευρυνθεί με βάση την οπτικοποίηση και την επέκταση του 5G δικτύου, ώστε να επιτευχθεί έως και 100 φορές μεγαλύτερη απόδοση δεδομένων, υψηλότερη χωρητικότητα συστήματος, μειωμένη καθυστέρηση, υψηλότερη αποδοτικότητα φάσματος και ευρύτερη

και βαθύτερη κάλυψη. Όλα αυτά θα έχουν ως αποτέλεσμα να καταστεί δυνατή η ταχύτερη μετακίνηση, η εξυπηρέτηση του διαδικτύου των πάντων (IoE) και η πλήρης προώθηση της εξέλιξης της ευφυούς ζωής και της βιομηχανικής πανταχού παρούσας ευφυούς κινητής κοινωνίας. Το Σχήμα 1.3 παρακάτω συνοψίζει τα κυριότερα σημεία του ασύρματου δικτύου 6G όσον αφορά την τεχνολογία, τις εφαρμογές και τους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPIs).



Σχήμα 1.3: Σημαντικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων 6G όσον αφορά τις τεχνολογίες, τους KPIs και τις εφαρμογές

Παρακάτω περιγράφονται λεπτομερώς οι απαιτήσεις που θα έχει το δίκτυο 6^{ης} γενιάς (6G) όπως αυτές έχουν προβλεφθεί :

- Το 6G θα πρέπει να είναι ένα ολοκληρωμένο δίκτυο με ολόενα και ευρύτερη κάλυψη, το οποίο θα περιλαμβάνει επίγεια, δορυφορική και μικρής απόστασης επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Χάρη στις εξελιγμένες τεχνολογίες διαχείρισης κινητής τηλεφωνίας, το 6G μπορεί να εξυπηρετεί ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων, συμπεριλαμβανομένου του εναέριου χώρου, της ξηράς και της

θάλασσας, με αποτέλεσμα να γίνει το πρώτο ευρέως διαδεδομένο σύστημα κινητής ευρυζωνικής επικοινωνίας στον κόσμο [1.25].

- Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης, το 6G σχεδιάζεται να λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες, όπως τα χιλιοστομετρικά κύματα (mmWave), τα terahertz (THz) [1.26] και το ορατό φως. Σε σύγκριση με το 5G, οι ρυθμοί δεδομένων μπορούν να ενισχυθούν στο 6G έως και εκατό φορές, επιτρέποντας το μεγαλύτερο ρυθμό δεδομένων Tb/s και ένα ρυθμό δεδομένων εμπειρίας χρήστη 10 Gb/s.
- Το 6G είναι ένα έξυπνο δίκτυο που μπορεί να προσαρμοστεί. Όταν συνδυάζεται με την τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης, το 6G θα επιτρέψει την εικονικοποίηση (virtualization) της κινητής επικοινωνίας [1.28], το δίκτυο θα μεταφερθεί από έναν κλασικό τύπο κεντρικού δικτύου σε ένα νέο τύπο 3 κεντρικού δικτύου, το οποίο είναι επικεντρωμένο στον χρήστη, στα δεδομένα, και παρέχει εξ ολοκλήρου συγκεντρωτικό περιεχόμενο.
- Στο δίκτυο 6G θα χρησιμοποιηθεί μια ενδογενής λύση ασφάλειας ή ένας ολοκληρωμένος λειτουργικός σχεδιασμός ασφάλειας. Το 6G έχει δυνατότητες αυτοαντίληψης, δυνατότητες δυναμικής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητες προσαρμογής στον κίνδυνο και δυνατότητες αξιολόγησης εμπιστευτικότητας.
- Ο υπολογισμός, η πλοήγηση και η ανίχνευση συνδυάζονται στο 6G. Το 6G θα περιλαμβάνει, για παράδειγμα, δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας καθώς και συστήματα εντοπισμού θέσης και δορυφορικής πλοήγησης, καθώς και συστήματα ανίχνευσης ραντάρ. Στην 6^η γενιά δικτύων θα χρησιμοποιηθεί πιο ανοικτή αρχιτεκτονική, με ένα δίκτυο πυρήνα που χρησιμοποιεί αλγόριθμους καθορισμένους από λογισμικό και ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να επιτευχθεί ταχεία αυτόνομη έξυπνη ανάπτυξη καθώς και ταχεία και δυναμική ανάπτυξη των δυνατοτήτων του δικτύου.
- Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να παράγει τεράστιους όγκους δεδομένων, έτσι το 6G μπορεί να ενσωματωθεί για την επίλυση

τυχόν προβλημάτων με νέες τεχνολογίες όπως Edge Computing, η υπολογιστική νέφος, η τεχνητή νοημοσύνη και το blockchain [1.29]. Το δίκτυο 6G έχει τη δυνατότητα να υλοποιήσει πολλαπλές νοημοσύνες καθώς επίσης και ομαδική νοημοσύνη. Αν επιτευχθούν οι παραπάνω απαιτήσεις μπορεί η τεχνολογία 6G να καταφέρει τελικά να υποστηρίξει την ευρέως διαδεδομένη έξυπνη κοινωνία κινητής τηλεφωνίας.

Η ασύρματη επικοινωνία 6G θα έχει την δυνατότητα να αποκτά πρόσβαση σε διάφορες μορφές δεδομένων μέσω μη συμβατικών δικτύων επικοινωνίας και να τις αποστέλλει μέσω παραδοσιακών και αναβαθμισμένων δικτύων ραδιοσυχνοτήτων, με αποτέλεσμα μια νέα επικοινωνιακή εμπειρία εικονικής παρουσίας και συμμετοχής ανά πάσα στιγμή και από οποιαδήποτε τοποθεσία. Οι ολογραφικές κλήσεις, τα ιπτάμενα δίκτυα, τα αυτοκινούμενα οχήματα και το απτικό Διαδίκτυο είναι μεταξύ των μελλοντικών σεναρίων επικοινωνίας που προβλέπονται έως το 2030 [1.6],[1.25]. Επιπλέον, οι μελλοντικές ασύρματες επικοινωνίες αναμένεται να παρέχουν το ίδιο επίπεδο αξιοπιστίας με τις παραδοσιακές επικοινωνίες. Ωστόσο, οι επικοινωνίες σε υψηλότερες συχνότητες terahertz (THz) [1.30], η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και οι αναδιαμορφώσιμες έξυπνες επιφάνειες προσφέρουν τις περισσότερες υποσχέσεις από όλες τις τεχνικές προσπάθειες που συνδέονται με την τεχνολογία 6G [1.31].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανάλυση Έξυπνης Πόλης

(Υποκεφάλαιο 2.1) Πληροφοριακά συστήματα

(Ενότητα 2.1.1) Ορισμός Πληροφοριακό Σύστημα

Η σημερινή εποχή μπορεί αδιαμφισβήτητα να χαρακτηριστεί ως εποχή της πληροφορίας και της έρευνας. Η διείσδυση της τεχνολογίας σε πολλούς τομείς έχει κάνει την καθημερινότητα του ανθρώπου πιο αποδοτική και έχει φέρει πολλές νέες προοπτικές. Για να μπορέσει όμως η πληροφορία να συλλεχτεί, να εγγραφεί, να ανακτηθεί, να επεξεργαστεί, να αποθηκευτεί και να αναλυθεί θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα σύστημα. Το σύστημα αυτό ονομάζεται Πληροφοριακό Σύστημα.

Ως σύστημα μπορούμε να ορίσουμε μια οργανωμένη διαδικασία ή ένα καλά οργανωμένο σύνολο από αλληλεξαρτώμενα και αλληλοεπιδρώντα συστατικά στοιχεία, τα οποία συνεργάζονται για να επιτύχουν ένα κοινό στόχο. Κάθε σύστημα αποτελείται από συστατικά στοιχεία που ονομάζονται υποσυστήματα.

Ως πληροφορία ορίζουμε τα δεδομένα τα οποία έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να είναι χρήσιμα σε ανθρώπους ή άλλα συστήματα.

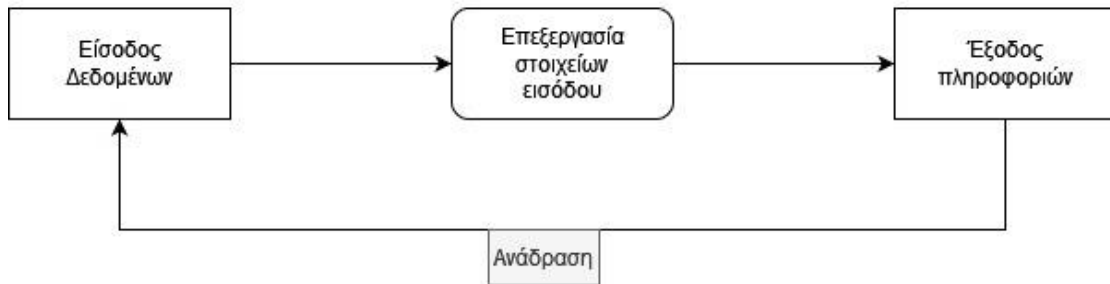
Έτσι ως Πληροφοριακό Σύστημα μπορούμε να ορίσουμε ένα σύνολο ανθρωπίνων διαδικασιών, οι οποίες μέσω ενός συνόλου ειδικών συσκευών και μηχανισμών, εφαρμόζονται σε ένα σύνολο εισερχομένων πληροφοριακών δεδομένων με πρωτεύοντα σκοπό την πληροφόρηση, στη συνέχεια την γνώση και τελικά την δυνατότητα λήψης αποφάσεων.

Σύμφωνα με τον Rolland Hurlbut, τα πληροφοριακά συστήματα είναι συστήματα που παρέχουν ειδική υποστήριξη πληροφοριών κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε κάθε επίπεδο ενός οργανισμού. [Managing Information Systems (1984)]

Τα Πληροφοριακά Συστήματα:

- Πραγματοποιούν υψηλής ταχύτητας και μεγάλης ποσότητας αριθμητικούς υπολογισμούς.
- Παρέχουν γρήγορη, ορθή και χαμηλού κόστους επικοινωνία εσωτερικά και μεταξύ διαφορετικών οργανισμών.
- Αποθηκεύουν μεγάλο όγκο πληροφοριών σε ένα εύκολο προσβάσιμο και σχετικά μικρό χώρο.
- Επιτρέπουν γρήγορη και φθηνή πρόσβαση σε μεγάλο πλήθος πληροφοριών, παγκοσμίως.
- Επιταχύνουν τις διαδικασίες εκτύπωσης και σύνταξης.
- Αυτοματοποιούν τόσο ημι-αυτοματοποιημένες επιχειρηματικές διαδικασίες όσο και χειρωνακτικά καθήκοντα.
- Αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα της ομαδικής εργασίας τόσο σε ένα μέρος όσο και σε περισσότερες τοποθεσίες.
- Παρουσιάζουν με οργανωμένο και ζωντανό τρόπο τις πληροφορίες έτσι ώστε να δημιουργούν γνώση και να προκαλούν το ανθρώπινο μυαλό για να λειτουργεί πιο αποτελεσματικά.
- Μπορούν να λειτουργούν και να επικοινωνούν ασύρματα (wireless), κι έτσι να υποστηρίζουν πρωτοποριακές εφαρμογές.

Πληροφοριακό Σύστημα



Σχήμα 2.1: Πληροφοριακό Σύστημα

Επομένως τα πληροφοριακά συστήματα μπορούν να περιλαμβάνουν λογισμικό, υλικό και τηλεπικοινωνιακό σκέλος.

Κάποια από τα πιο γνωστά Πληροφοριακά Συστήματα είναι το Πληροφοριακό Σύστημα Υγείας (ΠΣΥ), το Πληροφοριακό Σύστημα Ναυσιπλοΐας (SIS) και το Πληροφοριακό Σύστημα Έξυπνων Πόλεων (SCIS).

Τα Πληροφοριακά Συστήματα Υγείας μπορούν να οριστούν ως ένα σύνολο από διαδικασίες και υποσυστήματα τα οποία οργανώνονται με σκοπό την δημιουργία πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές βελτιώνουν τις αποφάσεις της διοίκησης σε όλα τα επίπεδα του συστήματος υγείας για την καλύτερη παροχή υπηρεσιών, αυτοματοποιώντας διαδικασίες και συναλλαγές μεταξύ των διαφορετικών εμπλεκόμενων.

Τα Πληροφοριακά Συστήματα Ναυσιπλοΐας αποτελούνται από πολλά ανεξάρτητα υποδίκτυα (όπως δίκτυα αισθητήρων και άλλα) και συνολικά δίκτυα επικοινωνίας πλοίου που μπορεί να ανταλλάσσει πληροφορίες μεταξύ υποδικτύων και συστημάτων [2.63]. Οι βασικές δυνατότητες οποιουδήποτε πληροφοριακού συστήματος ναυσιπλοΐας κατηγοριοποιείται σε δύο μέρη:

α) Πρώτον, την μετάδοση πληροφοριών. Γίνεται δηλαδή μελέτη και έρευνα σε δίκτυα και επικοινωνίες, ώστε να είναι κατάλληλα για ανταλλαγή πληροφοριών με βάση τον τύπο επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθεί.

β) Δεύτερον, την επεξεργασία των πληροφοριών που έχουν συλλεχτεί. Αυτή η δυνατότητα του Πληροφοριακού Συστήματος Ναυσιπλοΐας ασχολείται περισσότερο με το σχεδιασμό του συστήματος των πλοίων για την βελτιστοποίηση της συλλογής δεδομένων και την δημοσίευση πληροφοριών όπως για παράδειγμα η συγχώνευση πληροφοριών, η απόφαση που παίρνει το σύστημα με βάση τις πληροφορίες που του παρέχεται, η εμφάνιση ειδοποιήσεων και τέλος ο έλεγχος του πλοίου [2.64].

Τέλος τα Πληροφοριακά Συστήματα Έξυπνων Πόλεων αποτελούνται από παραδοσιακά δίκτυα και υπηρεσίες που γίνονται πιο αποτελεσματικά με τη χρήση ψηφιακών λύσεων προς όφελος των κατοίκων και των επιχειρήσεων των πόλεων αυτών. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο έξυπνη πόλη ορίζουμε μια πόλη που διαθέτει υψηλή και προηγμένη τεχνολογία για την διασύνδεση των ανθρώπων, για τον διαμοιρασμό πληροφοριών και στοιχείων της πόλης και δημιουργεί μια βιώσιμη, πιο πράσινη πόλη, με ανταγωνιστικό και καινοτόμο εμπόριο και αυξημένη ποιότητα ζωής.

(Υποκεφάλαιο 2.2) Έξυπνες πόλεις

(Ενότητα 2.2.1) Εισαγωγή στις Έξυπνες Πόλεις

Σύμφωνα με τα στατιστικά της ευρωπαϊκής ένωσης περίπου το 75% του ευρωπαϊκού πληθυσμού ζει στις πόλεις, ενώ αναμένεται μέχρι το 2050 το 66% του παγκόσμιου πληθυσμού να έχει εγκατασταθεί στον αστικό ιστό. Τέτοιες μεγάλες συναθροίσεις ανθρώπων σε πόλεις και μεγαλουπόλεις δημιουργούν νέα είδη προβλημάτων. Η δυσκολία στη διαχείριση των αποβλήτων, η έλλειψη πόρων, η ατμοσφαιρική ρύπανση, οι ανησυχίες για την ανθρώπινη υγεία, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι ανεπαρκείς, υποβαθμισμένες και γερασμένες υποδομές είναι μεταξύ των βασικότερων

τεχνικών, φυσικών και υλικών προβλημάτων [2.10],[2.40],[2.56],[2.58]. Όλα αυτά έχουν τεράστιο αντίκτυπο και στην κλιματική αλλαγή. Η εξασφάλιση βιώσιμων συνθηκών διαβίωσης στο πλαίσιο μιας τόσο ταχείας αύξησης του αστικού πληθυσμού παγκοσμίως απαιτεί βαθύτερη κατανόηση της έννοιας της έξυπνης πόλης, μιας έννοιας που θα μελετηθεί εκτενώς παρακάτω. Ο επείγων χαρακτήρας αυτών των προκλήσεων ωθεί πολλές πόλεις σε όλο τον κόσμο να βρουν πιο έξυπνους τρόπους διαχείρισής τους. Οι πόλεις αυτές περιγράφονται όλο και περισσότερο με τον όρο έξυπνη πόλη. Ένας τρόπος για να αντιληφθούμε μια έξυπνη πόλη είναι ως εικόνα μιας βιώσιμης και κατοικήσιμης πόλης.

Έτσι από την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν τεθεί σε εφαρμογή πολλές προτάσεις και στρατηγικές ώστε οι πολίτες της να έχουν ένα πιο βιώσιμο, πιο ασφαλές και υγιέστερο περιβάλλον να ζουν, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζουν και τις κλιματικές προκλήσεις με καινοτόμους και σύγχρονους τρόπους.

Κάποιες από αυτές τις προτάσεις είναι:

- Η στρατηγική της ενεργειακής ένωσης που καθορίζει τους στόχους και τις δράσεις για την μετατροπή του ενεργειακού ευρωπαϊκού συστήματος στο πιο βιώσιμο στον κόσμο, που λόγω της ενεργειακής κρίσης η στρατηγική αυτή είναι πιο επιτακτική από ποτέ.
- Οι οδηγίες για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προωθεί τις έξυπνες τεχνολογίες στα κτίρια και έχει ως σκοπό να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση τους με έξυπνο και αποδοτικό τρόπο.
- Το Ευρωπαϊκό Στρατηγικό Σχέδιο Ενεργειακής Τεχνολογίας (SET Plan) προωθεί την έρευνα και την καινοτομία με την ανάπτυξη τεχνολογιών που έχουν ως σκοπό την μετάβαση της Ε.Ε. σε ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα.
- Το Σύστημα πληροφοριών Έξυπνων Πόλεων (SCIS) είναι μια πλατφόρμα γνώσης με αποθηκευμένες πληροφορίες για διάφορα ολοκληρωμένα, εν εξελίξει και μελλοντικά έργα έξυπνων πόλεων. Το σύστημα αυτό έχει ως στόχο την ανταλλαγή δεδομένων, εμπειριών και τεχνογνωσίας πάνω στην δημιουργία και στην

υποστήριξη μιας έξυπνης πόλης, με σκοπό να παρέχει στους πολίτες της υψηλή ποιότητα ζωής σε ένα καθαρό, ενεργειακά αποδοτικό και φιλικό προς το κλίμα αστικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα το Σύστημα πληροφοριών Έξυπνων Πόλεων παρουσιάζει λύσεις στους τομείς της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, της ενοποίησης των ενεργειακών συστημάτων, της παροχής βιώσιμων λύσεων στην ενέργεια των περιοχών, στις έξυπνες πόλεις και στις βιώσιμες στρατηγικές του αστικού σχεδιασμού.

(Ενότητα 2.2.2) Η ιστορία των έξυπνων πόλεων

Η έννοια και η ύπαρξη των έξυπνων πόλεων μοιάζει με μια τάση της σύγχρονης αστικοποίησης. Όλα όμως ξεκίνησαν το 1974 στο Λος Άντζελες, που δημιουργήθηκε το πρώτο αστικό έργο “big data” γνωστό με το όνομα «A Cluster Analysis of Los Angeles». Αυτό το έργο υλοποιήθηκε με την χρήση υπολογιστικών βάσεων δεδομένων, υπέρυθρες αεροφωτογραφίες και ανάλυση πολεοδομικών συμπλεγμάτων, με σκοπό την δημιουργία αναφορών σχετικά με τα δημογραφικά στοιχεία της πόλης και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσε να γίνει καλύτερη διαχείριση των πόρων για την αποτροπή και την καταπολέμηση της φτώχειας.

Ως έννοια όμως ακούστηκε πρώτη φορά το 1994 όπου το Amsterdam στην προσπάθεια του να προωθήσει την χρήση του Διαδικτύου δημιούργησε μια ψηφιακή πόλη με όνομα “De Digital Stad” (DDS). Από εκεί και έπειτα ακολούθησαν πολλές μελέτες κυρίως από εταιρείες όπως η Cisco και η IBM, οι οποίες εξέτασαν τρόπους να αντιμετωπίσουν αστικά προβλήματα με χρήση αισθητήρων, δικτύων και στατιστικών, αλλά και το πως θα μπορούσαν οι πόλεις να είναι πιο αποδοτικές.

Η έννοια χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο με διαφορετικές ονοματολογίες, πλαίσιο και έννοιες. Μια σειρά από εννοιολογικές παραλλαγές που δημιουργούνται με την αντικατάσταση της λέξης έξυπνη με επίθετα όπως ψηφιακή ή ευφυής χρησιμοποιούνται συχνά, με την ουσία όμως της έννοιας να παραμένει ίδια. Για να μπορέσει μια πόλη να έχει τον χαρακτηρισμό έξυπνη θα πρέπει να χρησιμοποιεί όλες τις διαθέσιμες τεχνολογίες και όλους τους πόρους με έξυπνο και συντονισμένο τρόπο για την ανάπτυξη αστικών κέντρων που είναι συγχρόνως ολοκληρωμένα, κατοικήσιμα και βιώσιμα. Υπάρχουν διάφορες απόπειρες ορισμών για τον όρο έξυπνη πόλη, που έχουν προταθεί και υιοθετηθεί τόσο στην πρακτική όσο και στην ακαδημαϊκή χρήση. Ο ορισμός των Giffinger et al. [2.24] θεωρεί ότι το έξυπνο λειτουργεί με προοδευτικό τρόπο. Η μακροπρόθεσμη αναπτυξιακή προσέγγιση μιας έξυπνης πόλης εξετάζει ζητήματα, όπως η ευαισθητοποίηση, η ευελιξία, η δυνατότητα μετασχηματισμού, η συνέργεια, η ατομικότητα και η στρατηγική συμπεριφορά [2.24]. Στη μελέτη των Harrison et al [2.29], η έξυπνη πόλη δηλώνει μια εννοχρηστωμένη, διασυνδεδεμένη και ευφυή πόλη. Η εννοχρηστωμένη επιτρέπει την καταγραφή και ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, του αληθινού κόσμου μέσω της χρήσης αισθητήρων, ειδικών περιπτέρων, μετρητών, προσωπικών συσκευών, οικιακών συσκευών, καμερών, έξυπνων τηλεφώνων, εμφυτευμένων ιατρικών συσκευών, του διαδικτύου και άλλων παρόμοιων συστημάτων συλλογής δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών δικτύων ως δικτύων ανθρώπινων αισθητήρων. Ως διασύνδεση νοείται η ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων σε μια επιχειρησιακή υπολογιστική πλατφόρμα και η επικοινωνία αυτών των πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων υπηρεσιών της πόλης. Η ευφυΐα αναφέρεται στην ενσωμάτωση σύνθετων αναλύσεων, μοντελοποίησης, βελτιστοποίησης και οπτικοποίησης στις λειτουργικές επιχειρησιακές διαδικασίες για τη λήψη καλύτερων επιχειρησιακών αποφάσεων. Αντίθετα, το Συμβούλιο Άμυνας Φυσικών Πόρων [2.45] ορίζει την έξυπνότερη πόλη στο αστικό πλαίσιο ως πιο αποτελεσματική, βιώσιμη, δίκαιη και κατοικήσιμη. Η

Toppeta [2.56] δίνει έμφαση στη βελτίωση της βιωσιμότητας και της κατοικησιμότητας. Οι Washburn et al. [2.58] θεωρούν μια έξυπνη πόλη ως μια συλλογή από έξυπνες τεχνολογίες πληροφορικής που εφαρμόζονται σε κρίσιμα τμήματα υποδομών και υπηρεσιών. Η έξυπνη πληροφορική αναφέρεται σε μια νέα γενιά ολοκληρωμένων τεχνολογιών υλικού, λογισμικού και δικτύων που παρέχουν συστήματα πληροφορικής «IT Systems» και αντίληψη του πραγματικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο, καθώς επίσης και προηγμένες αναλύσεις και δράσεις που βελτιστοποιούν τις επιχειρηματικές διαδικασίες [2.58].

Δεδομένης της εννοιολογικής πληρότητας μιας έξυπνης πόλης, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα μεγάλο οργανικό σύστημα που συνδέει πολλά υποσυστήματα και συνιστώσες όπως αυτά που περιγράφονται παραπάνω. Οι Dirks και Keeling [2.19] θεωρούν μια έξυπνη πόλη ως οργανική ενοποίηση συστημάτων. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των βασικών συστημάτων μιας έξυπνης πόλης λαμβάνεται υπόψη για να γίνει το σύνολο των συστημάτων πιο έξυπνο. Κανένα σύστημα δεν λειτουργεί μεμονωμένα. Υπό αυτή την έννοια, οι Kanter και Litow [2.34] θεωρούν μια έξυπνη πόλη ως ένα οργανικό σύνολο με ένα δίκτυο και ένα συνδεδεμένο σύστημα. Οι έξυπνες πόλεις είναι σαν οργανισμοί που αναπτύσσουν ένα τεχνητό νευρικό σύστημα, το οποίο τους επιτρέπει να συμπεριφέρονται με έξυπνα συντονισμένους τρόπους [2.42]. Η νέα νοημοσύνη των πόλεων, έγκειται στον ολοένα και πιο αποτελεσματικό συνδυασμό ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών δικτύων (τα νεύρα), της ευρέως ενσωματωμένης νοημοσύνης (οι εγκέφαλοι), των αισθητήρων και σημάτων (τα αισθητήρια όργανα) και του λογισμικού (η γνώση και η γνωστική ικανότητα).

(Ενότητα 2.2.4) Τομείς προόδου και παράγοντες για την δημιουργία μιας έξυπνης πόλης.

Με βάση τους πλούσιους, αλλά αρκετά διαφορετικούς, εννοιολογικούς ορισμούς της έξυπνης πόλης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, θα μπορούσε να θεωρηθεί με απλά λόγια ότι μια έξυπνη πόλη είναι ένα μέρος που ο αέρας του είναι καθαρός, που οι έξυπνες τεχνολογίες βοηθάνε να γίνει η ζωή του ανθρώπου καλύτερη και που οι άνθρωποι είναι χαρούμενοι και ζουν σε κατοικίες φιλικές προς το περιβάλλον. Επίσης θεωρείται ένα αστικό περιβάλλον που είναι προσβάσιμο και εύκολο στην μετακίνηση, με δημόσιες πράσινες συγκοινωνίες, ηλεκτρικά οχήματα και ένα εκτεταμένο δίκτυο ποδηλατοδρόμων.

Οι Giffinger κ.ά. [2.24] προτείνουν ένα πλαίσιο έξυπνης πόλης που θα πρέπει να παρουσιάζει πρόοδο στους έξι παρακάτω βασικούς τομείς της αστικής ανάπτυξης:

- Έξυπνη Οικονομία,
- Έξυπνη Κινητικότητα,
- Έξυπνο Περιβάλλον,
- Έξυπνοι Άνθρωποι,
- Έξυπνη Διαβίωση,
- Έξυπνη Διακυβέρνηση

Αυτοί οι βασικούς τομείς θα πρέπει να μπορούν να συνδυάζονται μεταξύ τους, να συνδέονται με την πόλη και να παρέχουν στους πολίτες επικοινωνία με αυτήν.

Αναλυτικότερα προκύπτει ότι:

- Μια έξυπνη πόλη βασίζεται, μεταξύ άλλων, σε μια συλλογή από «έξυπνες τεχνολογίες πληροφορικής» που εφαρμόζονται σε σημαντικά τμήματα υποδομών και σε υπηρεσίες. Η έξυπνη πληροφορική αναφέρεται σε μια νέα γενιά ολοκληρωμένων

τεχνολογιών υλικού, λογισμικού και δικτύων που παρέχουν στα συστήματα πληροφορικής επίγνωση του πραγματικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο και προηγμένες αναλύσεις με σκοπό να βοηθήσουν τους ανθρώπους να λαμβάνουν πιο έξυπνες αποφάσεις σχετικά με εναλλακτικές λύσεις και δράσεις που θα βελτιστοποιήσουν τις επιχειρηματικές διαδικασίες και τα αποτελέσματα του ισολογισμού των επιχειρήσεων. [2.58]. Οι ΤΠΕ αποτελούν βασικούς κινητήριους μοχλούς των πρωτοβουλιών για έξυπνες πόλεις [2.31]. Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ στα αναπτυξιακά έργα μπορεί να αλλάξει το αστικό τοπίο μιας πόλης [2.57] και να προσφέρει μια σειρά από πιθανές ευκαιρίες [2.48]. Επίσης μπορούν να βελτιώσουν τη διαχείριση και τη λειτουργία μιας πόλης [2.48]. Παρά τα διακηρυγμένα πλεονεκτήματα και οφέλη από τη χρήση των ΤΠΕ στις πόλεις, ο αντίκτυπός τους είναι ακόμη ασαφής [2.48]. Πράγματι, μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών, αλλά μπορούν επίσης να αυξήσουν τις ανισότητες και να προωθήσουν το ψηφιακό χάσμα [2.48]. Έτσι, οι υπεύθυνοι των πόλεων(οι δήμαρχοι) θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ορισμένους παράγοντες κατά την εφαρμογή των ΤΠΕ όσον αφορά τη διαθεσιμότητα πόρων, την ικανότητα, τη θεσμική προθυμία και επίσης όσον αφορά την ανισότητα, το ψηφιακό χάσμα και την αλλαγή της κουλτούρας και των συνηθειών [2.48].

- Η οικονομία είναι ο κύριος μοχλός των πρωτοβουλιών για έξυπνες πόλεις και μια πόλη με υψηλό βαθμό οικονομικής ανταγωνιστικότητας θεωρείται ότι έχει μία από τις ιδιότητες μιας έξυπνης πόλης. Επίσης, ένας από τους βασικούς δείκτες για τη μέτρηση του αυξανόμενου ανταγωνισμού των πόλεων είναι η ικανότητα της πόλης ως οικονομική μηχανή [2.25]. Ο επιχειρησιακός ορισμός των Giffinger κ.ά. [2.24] για την «έξυπνη οικονομία» περιλαμβάνει παράγοντες γύρω από την οικονομική ανταγωνιστικότητα, όπως η καινοτομία, η επιχειρηματικότητα, τα εμπορικά σήματα, η παραγωγικότητα και η ευελιξία της αγοράς

εργασίας, καθώς και η ενσωμάτωση στην εθνική και παγκόσμια αγορά. Επίσης, με τον όρο έξυπνη οικονομία δηλώνεται η ηλεκτρονική επιχειρηματικότητα και το ηλεκτρονικό εμπόριο, η αυξημένη παραγωγή, η διαδικασία παραγωγής και διανομής προϊόντων με γνώμονα την Τεχνολογία Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Τα οικονομικά αποτελέσματα των πρωτοβουλιών για τις έξυπνες πόλεις είναι η δημιουργία επιχειρήσεων, η δημιουργία θέσεων εργασίας, η ανάπτυξη του εργατικού δυναμικού και η βελτίωση της παραγωγικότητας.

- Με τον όρο «έξυπνη Κινητικότητα» δίνεται προτεραιότητα στις μη ρυπογόνες και χωρίς κινητήρες εσωτερικής καύσης επιλογές. Τα μη ρυπογόνα ή αλλιώς καθαρά συστήματα μετακίνησης περιλαμβάνουν τραμ, ηλεκτρικά λεωφορεία, μετρό, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ποδήλατα και πεζούς, τα οποία χρησιμοποιούν περισσότερους από έναν τρόπους μετακίνησης. Επιπλέον, θα πρέπει να παρέχεται άμεση ενημέρωση στους πολίτες έτσι ώστε να εξοικονομούνται χρήματα και χρόνος, να βελτιώνεται η απόδοση των μετακινήσεων, με σκοπό την μείωση των εκπομπών CO₂.
- Οι πρωτοβουλίες για τις έξυπνες πόλεις είναι προοδευτικές στο περιβαλλοντικό μέτωπο [2.24]. Βασικός πυρήνας της έννοιας της έξυπνης πόλης είναι η χρήση της τεχνολογίας για την αύξηση της βιωσιμότητας και την καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων [2.45]. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προστασία των φυσικών πόρων και των σχετικών υποδομών [2.28], όπως οι υδάτινες οδοί και οι αποχετεύσεις και οι χώροι πρασίνου, όπως τα πάρκα. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μαζί έχουν αντίκτυπο στη βιωσιμότητα και τη κατοικησιμότητα μιας πόλης, οπότε θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εξέταση των πρωτοβουλιών για την έξυπνη πόλη. Το «Έξυπνο Περιβάλλον» περιλαμβάνει μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές πηγές και έργα που βοηθάνε στην προστασία του περιβάλλοντος και στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συγκεκριμένα περιλαμβάνονται οι

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης με «έξυπνους» μηχανισμούς, ο έλεγχος της περιβαλλοντικής μόλυνσης με αισθητήρες μέτρησης ρύπων και ποιότητας αέρα, η ανακαίνιση των κτιρίων ώστε να βελτιστοποιηθεί η ενεργειακή απόδοσή τους, ο πράσινος αστικός σχεδιασμός και τέλος η αποδοτική χρήση των πόρων.

- Η αντιμετώπιση του θέματος των ανθρώπων και των κοινοτήτων ως μέρος των έξυπνων πόλεων είναι κρίσιμης σημασίας και παραδοσιακά έχει υποβαθμιστεί προς όφελος της κατανόησης των πιο τεχνολογικών και πολιτικών πτυχών των έξυπνων πόλεων. Τα εγχειρήματα των έξυπνων πόλεων έχουν αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των πολιτών και αποσκοπούν στην προώθηση πιο ενημερωμένων, μορφωμένων και συμμετοχικών πολιτών. Επιπλέον, οι πρωτοβουλίες έξυπνων πόλεων επιτρέπουν στα μέλη της πόλης να συμμετέχουν στη διακυβέρνηση και τη διαχείριση της πόλης και να γίνουν ενεργοί πολίτες. Έτσι στα πλαίσια μιας έξυπνης πόλης με τον όρο «Έξυπνοι Άνθρωποι» ορίζεται η πρόσβαση στην εκπαίδευση και η τεχνογνωσία που διαθέτουν οι πολίτες της πόλης αυτής ώστε να κατέχουν τις ηλεκτρονικές δεξιότητες και την δυνατότητα εργασίας στα πλαίσια της ΤΠΕ, όπως επίσης και η ικανότητα διαχείρισης του ανθρώπινου δυναμικού μέσα σε μια κοινωνία που προωθεί την ευρηματικότητα και την καινοτομία είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν το προφίλ του έξυπνου ανθρώπου.
- Ο όρος «Έξυπνη Διαβίωση» ή αλλιώς έξυπνη ζωή περιλαμβάνει τρόπους ζωής και συμπεριφορές σύμφωνα με τις αρχές των ΤΠΕ. Ακόμα περιλαμβάνει μια υγιή και ασφαλή ζωή σε μια δραστήρια πολιτιστικά πόλη, με ποικίλες πολιτιστικές επιρροές, αλλά και σύγχρονες και ποιοτικές κατοικίες ή διαμερίσματα. Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των υποδομών ΤΠΕ είναι σημαντική για τις έξυπνες πόλεις [2.24]. Πράγματι, τα δίκτυα έξυπνων αντικειμένων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση

των έξυπνων πόλεων [2.57]. Οι υποδομές ΤΠΕ περιλαμβάνουν ασύρματες υποδομές (κανάλια οπτικών ινών, δίκτυα Wi-Fi, ασύρματα hotspots) [2.1] [2.2] [2.3] και πληροφοριακά συστήματα προσανατολισμένα στις υπηρεσίες [2.4], [2.5], με σκοπό την βελτίωση της ζωής των πολιτών.

- Ο όρος «έξυπνη διακυβέρνηση» συμπεριλαμβάνεται στην Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση. Η Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση, με την σειρά της, αφορά τον εκσυγχρονισμό του κράτους και την αναβάθμιση των δημόσιων υπηρεσιών με γνώμονα τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Έχει ως στόχο τον μετασχηματισμό όλων των διαδικασιών και την μετατροπή όλων των υπηρεσιών σε ψηφιακές υπηρεσίες, προκειμένου να καταστεί αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη η διακυβέρνηση και να έχουν οι πολίτες πιο ενεργή συμμετοχή με μεγαλύτερη διαφάνεια και δημόσιο έλεγχο στις όλες διαδικασίες. Σύμφωνα με τη Forrester, η έξυπνη διακυβέρνηση αποτελεί τον πυρήνα των πρωτοβουλιών για τις έξυπνες πόλεις [2.8], [2.24]. Συνεπώς, αποτελεί σημαντική πρόκληση για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων.

(Ενότητα 2.2.5) Ανάλυση έξυπνης διακυβέρνησης

Η έξυπνη διακυβέρνηση περιγράφεται ως ένα σημαντικό χαρακτηριστικό μιας έξυπνης πόλης που βασίζεται στη συμμετοχή των πολιτών [2.24] και στις συμπράξεις ιδιωτικού/δημόσιου τομέα [2.48]. Σύμφωνα με τους Johnston και Hanssen [2.33], η έξυπνη διακυβέρνηση εξαρτάται από την εφαρμογή μιας έξυπνης υποδομής διακυβέρνησης η οποία θα πρέπει να είναι υπεύθυνη, ευέλικτη και διαφανής [2.43]. Η υποδομή αυτή συμβάλλει στη δυνατότητα συνεργασίας, ανταλλαγής δεδομένων, ενσωμάτωσης υπηρεσιών και επικοινωνίας [2.48].

Έτσι ορίζονται τεχνολογίες και υποδομές που θα κάνουν την καθημερινότητα των πολιτών ποιοτικότερη και ευκολότερη. Κάποιες από αυτές είναι η δημιουργία υποδομής διαδικτύωσης και η δωρεάν πρόσβαση σε αυτό για τους πολίτες. Η ψηφιοποίηση όλων των δημόσιων υπηρεσιών ώστε οι πολίτες να πληρώνουν τους λογαριασμούς και να κάνουν τις συναλλαγές τους με τις δημόσιες υπηρεσίες ηλεκτρονικά χωρίς να απαιτείται η προσέλευση τους στις εκάστοτε υπηρεσίες. Επιπλέον η δυνατότητα των πολιτών να μπορούν να εκφράσουν την γνώμη τους, να μπορούν να ενημερώσουν τον δήμο σχετικά με ζημιές που προκλήθηκαν σε κάποιο σημείο της πόλης ή να μπορούν να εκφράσουν τα παράπονα τους σχετικά με τις υφιστάμενες υποδομές σε ζωντανή σύνδεση. Τέλος και πιο σημαντικό είναι η μεγαλύτερη συμμετοχή των πολιτών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων με δυνατότητες ηλεκτρονικής αλληλεπίδρασης με τον δήμο και με τις επιχειρήσεις της περιοχής, παρέχοντας τους την δυνατότητα να ορίσουν τα θέματα που είναι σημαντικότερα να συζητηθούν στο δημοτικό συμβούλιο, να εκφράσουν τις απόψεις τους σχετικά με αυτά αλλά και να συμμετάσχουν ηλεκτρονικά στην ψηφοφορία ώστε να συνδράμουν στο τελικό αποτέλεσμα μέσω ηλεκτρονικής συμμετοχής στο δημοτικό συμβούλιο.

Οι παραπάνω τεχνολογίες και υποδομές ποικίλλουν και άπτονται τόσο ενσύρματων όσο και ασύρματων φυσικών μέσων μετάδοσης, πάντοτε όμως θα πρέπει να παρέχουν ευρυζωνική συνδεσιμότητα ανά συσκευή χρήστη τουλάχιστον 2Mbps/συσκευή, ώστε να υπάρχει εύρωστη πρόσβαση και εξυπηρέτηση των πολιτών-χρηστών από τις εκάστοτε προσφερόμενες υπηρεσίες.

Για να μπορέσει μια έξυπνη πόλη να παρουσιάζει πρόοδο στους παραπάνω τομείς της αστικής ανάπτυξης θα πρέπει να υπάρχει το κατάλληλο ανθρώπινο δυναμικό με το απαραίτητο υπόβαθρο ώστε να βγάλει εις πέρας αυτό το έργο. Στην χώρα μας έχουν δημιουργηθεί κάποιες εταιρείες που έχουν ως σκοπό να παρέχουν λύσεις σε θέματα έξυπνων εφαρμογών. Μία από αυτές τις εταιρείες είναι η FTS-SmartCities. Η Smart Cities FTS φιλοδοξεί

να παρέχει λύσεις έξυπνης συνδεσιμότητας για εφαρμογές και υπηρεσίες που σχετίζονται με την δημοτική ηλεκτρονική διακυβέρνηση, την παροχή δημοτικών υπηρεσιών, τις δημόσιες συγκοινωνίες και τις εφαρμογές ευρυζωνικής συνδεσιμότητας, την ποιότητα ζωής στο πλαίσιο των Έξυπνων Πόλεων καθώς και κοινοτικές υπηρεσίες που μπορούν να εξυπηρετήσουν όλη την πόλη σε αστικές και προαστιακές περιοχές. Η Smart Cities FTS στοχεύει αρχικά σε μικρές-έξυπνες πόλεις με αναθέσεις σε εξωτερικούς συνεργάτες και πρόβλεψη επεκτασιμότητας για επέκταση έξυπνων λύσεων σε μεγαλύτερες μητροπολιτικές περιοχές. Ο σχεδιασμός δικτύου και οι διασυνδεδεμένες συσκευές ως οικοσύστημα Smart City IoT έχουν διερευνηθεί από τον ερευνητικό τους κέντρο.

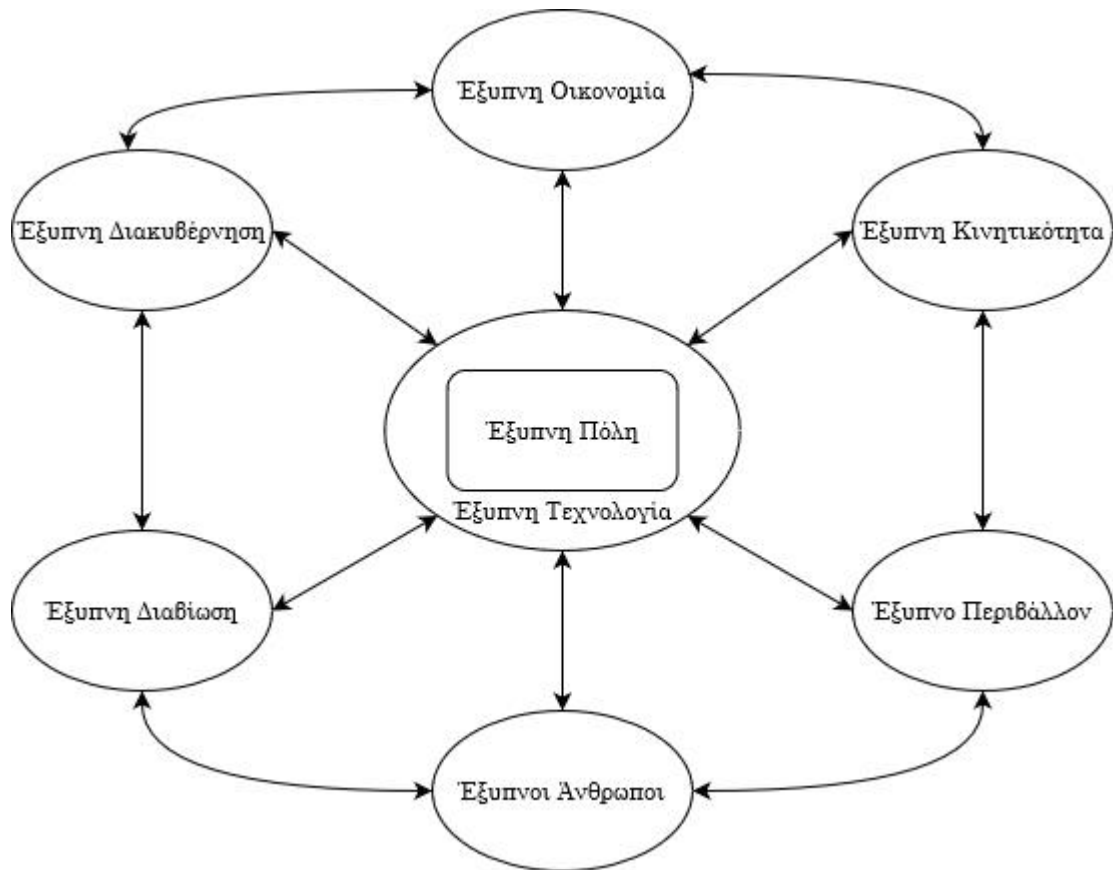
Κάποιες από τις υπηρεσίες που προσφέρουν είναι:

- Λύσεις ψηφιακής καινοτομίας για Έξυπνες Πόλεις
- Υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης για πανδημία/επιτήρηση ηλεκτρονικής υγείας για τους πολίτες
- Smart City Hub: IoT σε κλίμακα πόλης για δημοτικές υπηρεσίες και εφαρμογές
- Ηλεκτρονική διακυβέρνηση/Συμμετοχή πολιτών/Δημοτική διαφάνεια
- Κοινοτική διασύνδεση και ευρυζωνική εμπειρία βελτιωμένη από τον χρήστη
- Μακροπρόθεσμες στρατηγικές για τις μελλοντικές πράσινες πόλεις: «Quality of Life» (QoL)
- Ανάθεση σε εξωτερικό συνεργάτη και δυνατότητα επέκτασης: Τεχνοοικονομική ανάλυση και βιωσιμότητα των έξυπνων πόλεων.

(Ενότητα 2.2.6) Συμπεράσματα σχετικά με την επιρροή των τομέων Έξυπνων Πόλεων

Με βάση την εννοιολογική βιβλιογραφία για τις έξυπνες πόλεις και τους τομείς που περιγράφονται παραπάνω, συμπεραίνεται ότι όλοι οι τομείς

έχουν αμφίδρομη επίδραση στις πρωτοβουλίες έξυπνων πόλεων, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και σε διαφορετικά πλαίσια. Επίσης ορισμένοι τομείς ή παράγοντες μπορεί να έχουν μεγαλύτερη επιρροή από άλλους. Προκειμένου να απεικονιστούν τα διαφορετικά επίπεδα επιρροής, οι τομείς στο Σχήμα 2.1 αναπαρίστανται σε δύο διαφορετικά επίπεδα. Οι εξωτερικοί τομείς (έξυπινη διακυβέρνηση, έξυπνοι άνθρωποι, έξυπινο περιβάλλον, έξυπινη κινητικότητα, έξυπινη διαβίωση και έξυπινη οικονομία) φιλτράρονται κατά κάποιο τρόπο ή επηρεάζονται περισσότερο από τους εσωτερικούς τομείς επιρροής, στην προκειμένη περίπτωση από την έξυπινη τεχνολογία, πριν επηρεάσουν την πρόοδο των δράσεων για την δημιουργία της έξυπνης πόλης. Η τεχνολογία μπορεί να θεωρηθεί ως μετα-παράγοντας στις δράσεις για δημιουργία έξυπνων πόλεων, δεδομένου ότι μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό καθέναν από τους άλλους έξι τομείς. Λόγω του γεγονότος ότι πολλά εγχειρήματα έξυπνων πόλεων χρησιμοποιούν εντατικά την τεχνολογία, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως παράγοντας που επηρεάζει κατά κάποιο τρόπο όλους τους άλλους τομείς επιτυχίας σε αυτό το εγχείρημα.



Σχήμα 2.2: Τομείς προόδου μιας Έξυπνης Πόλης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Υπηρεσίες πληροφοριών στις Έξυπνες Πόλεις

(Υποκεφάλαιο 3.1) Εισαγωγή

(Ενότητα 3.1.1) Εισαγωγή στο μελλοντικό διαδίκτυο

Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο λόγο της αύξησης του πληθυσμού στον αστικό ιστό και της δημογραφικής πίεσης που θα έχει ως συνέπεια, μια έξυπνη πόλη θα πρέπει να παρουσιάζει πρόοδο στους έξι βασικούς τομείς την αστικής ανάπτυξης. Με αυτόν τον τρόπο, μια έξυπνη πόλη θα μπορεί να γίνει ένα επιχειρηματικά ανταγωνιστικό και ελκυστικό περιβάλλον, με στόχο την ευημερία των πολιτών της. Στα μελλοντικά αστικά περιβάλλοντα, οι άνθρωποι θα περιβάλλονται από ένα ευρύ ψηφιακό οικοσύστημα που θα αποτελείται από συνδεδεμένα με το διαδίκτυο οχήματα, έξυπνα κτίρια και μυριάδες άλλους εξοπλισμούς, όπως υπολογιστές, τάμπλετ, έξυπνα τηλέφωνα, συσκευές πλοήγησης του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS), αισθητήρες κ.ο.κ., πρόθυμους να αλληλοεπιδράσουν μεταξύ τους (Σχήμα 3.1). Κατά συνέπεια, οι πλατφόρμες Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αποτέλεσαν το θεμέλιο ίδρυσης της έξυπνης πόλης, χάρη στην ικανότητά τους να προσφέρουν προηγμένες υπηρεσίες στους τομείς των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (ITS), της περιβαλλοντικής και ενεργειακής παρακολούθησης, της διαχείρισης κτιρίων, της υγειονομικής περίθαλψης, της δημόσιας ασφάλειας και προστασίας, της εργασίας από απόσταση και του ηλεκτρονικού εμπορίου [3.1],[3.2]. Με άλλα λόγια, οι ΤΠΕ διαδραματίζουν βασικό ρόλο διασυνδέοντας όλους τους φορείς μιας έξυπνης πόλης [3.3] και υποστηρίζοντας την παροχή απρόσκοπτων ευρέως διαδομένων υπηρεσιών για τους πολίτες [3.4].



Σχήμα 3.1: Οπτική απεικόνιση μιας έξυπνης πόλης.

Μέσα σε μία έξυπνη πόλη θα συνυπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός συσκευών, οι οποίες, έχοντας διαφορετικές τεχνολογίες, θα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους για να εκτελούν και να συμμετέχουν σε μια πληθώρα υπηρεσιών. Η τρέχουσα αρχιτεκτονική του Διαδικτύου ενώ υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ πολλών τεχνολογιών (όπως 5G, LTE, LTE-A, WiMAX, WAVE, κ.α.), παρουσιάζει πολλές προκλήσεις που σχετίζονται με [3.11]:

- Ζήτημα διαθεσιμότητας: οι χρήστες πρέπει να αντλούν περιεχόμενο με γρήγορο, αξιόπιστο και αποτελεσματικό τρόπο.
- Ζήτημα εξάρτησης από την τοποθεσία: δεν είναι πλέον απαραίτητο για πολλές υπηρεσίες να προσδιορίζουν την τοποθεσία ενός συγκεκριμένου δεδομένου (δηλαδή, δεν χρειάζονται διευθύνσεις IP).
- Ζήτημα ασφάλειας: σύμφωνα με την προηγούμενη απαίτηση, είναι απαραίτητο να εμπιστεύονται τα περιεχόμενα ανεξάρτητα από την τοποθεσία και την ταυτότητα αυτού που τα παρέχει.
- Ζήτημα κινητικότητας: είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη υποστήριξη των κινητών χρηστών, οι οποίοι δεν πρέπει να αντιμετωπίζουν καμία διακοπή της υπηρεσίας κατά τη μετακίνησή τους σε διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης.
- Ζήτημα επεκτασιμότητας: τα προβλήματα που σχετίζονται με την περιορισμένο χώρο, το εύρος ζώνης και τις υπολογιστικές δυνατότητες

και επηρεάζουν τους παρόχους υπηρεσιών όταν χειρίζονται τεράστιο αριθμό χρηστών, καθώς δεν πρέπει να επηρεάζεται η συμπεριφορά και η ποιότητα των υπηρεσιών.

- Ζήτημα ανεκτικότητας σε σφάλματα: για όλα τα πεδία εφαρμογών υπάρχει η ανάγκη αύξησης της ανεκτικότητας των υπηρεσιών ΤΠΕ σε σφάλματα του συστήματος.

Όλα αυτά τα ζητήματα ενθάρρυναν τον σχεδιασμό νέων αρχιτεκτονικών δικτύων, οι οποίες βασίζονται σε ριζικά διαφορετικά πρωτόκολλα του Διαδικτύου. Μεταξύ αυτών των αρχιτεκτονικών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το αναδυόμενο δίκτυο με επίκεντρο την πληροφορία (ICN), το οποίο προτείνει νέα πρωτόκολλα δικτύωσης για το μελλοντικό Διαδίκτυο [3.5]. Η προσέγγιση του δικτύου με επίκεντρο την πληροφορία έχει διερευνηθεί και έχει αναπτυχθεί σε διάφορες αρχιτεκτονικές, όπως το Data-Oriented Network Architecture (DONA) [3.6], το Publish Subscribe Internet Technology (PURSUIT) [3.7], το Scalable and Adaptive Internet Solutions (SAIL) [3.8], το CONVERGENCE [3.9] και το Name Data Networking (NDN) [3.10]. Παρά το γεγονός ότι όλες οι προτεινόμενες αρχιτεκτονικές διαφέρουν σε ορισμένες πτυχές, όλες τους προϋποθέτουν ένα μοντέλο ανταλλαγής δεδομένων με γνώμονα τον παραλήπτη, το οποίο βασίζεται στο περιεχόμενο, την πληροφορία και τα δεδομένα.

Σε σχέση με την κλασική αρχιτεκτονική TCP/IP, η αρχιτεκτονική ICN εισάγει τα ακόλουθα νέα και χρήσιμα χαρακτηριστικά [3.12]:

- Διευθυνσιοδότηση των περιεχομένων μέσω ονομάτων που δεν περιέχουν πλέον καμία αναφορά στη θέση τους.
- Στρατηγικές προσωρινής αποθήκευσης εντός του δικτύου που θα καθιστούσαν όλο και ταχύτερη τη διανομή του περιεχομένου μεταξύ των χρηστών, καθώς και τη μείωση του φόρτου κίνησης από την πλευρά του διακομιστή.

- Παράδοση των αιτημάτων των χρηστών προς την πλησιέστερη συσκευή που μπορεί να ικανοποιήσει το αίτημα με την υιοθέτηση προσεγγίσεων δρομολόγησης με βάση το όνομα.
- Απλοποιημένη διαχείριση της κινητικότητας (π.χ., οι χρήστες που τροποποιούν το σημείο πρόσβασης δεν εκτελούν εκ νέου την αρχικοποίηση της σύνδεσης, αλλά μπορούν να συνεχίσουν τα αιτήματα διαδοχικών τμημάτων του ζητούμενου περιεχομένου).
- Εγγενής υποστήριξη χαρακτηριστικών ασφαλείας (π.χ. στο ICN είναι δυνατή η κρυπτογράφηση και η αυθεντικοποίηση απευθείας των ονομάτων και του περιεχομένου, χωρίς να απαιτείται η μεταφορά σε εξελιγμένα συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για την προστασία της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων).
- Απλοποιημένη υποστήριξη peer-to-peer επικοινωνιών.
- Δυνατότητα εφαρμογής άριστων στρατηγικών με γνώμονα την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για τη δρομολόγηση των αιτημάτων και της παράδοσης των πακέτων δεδομένων.
- Εγγενής υποστήριξη επικοινωνιών πολλαπλής μετάδοσης.

Παρά το γεγονός ότι το ICN αντιπροσωπεύει μια πολλά υποσχόμενη αρχιτεκτονική για το μελλοντικό Διαδίκτυο γενικά, πιστεύεται ότι η υιοθέτησή του στο πλαίσιο της έξυπνης πόλης θα μπορούσε να προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα για τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών που προσφέρονται σε όλους τους πολίτες και για τη διάδοση αυτών των έξυπνων υπηρεσιών. Σύμφωνα με αυτή την θέση, ορισμένα από τα πρότζεκτ της ΕΕ αναπτύσσουν ήδη τις προτάσεις τους σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Μελλοντικού Διαδικτύου. Παρακάτω θα γίνει αναφορά σε μια πλήρη πλατφόρμα υπηρεσιών που θα επιτρέπει τις υπηρεσίες έξυπνης πόλης μέσω της αρχιτεκτονικής ICN που σχεδιάστηκε στο πλαίσιο του πρότζεκτ NDN.

(Υποκεφάλαιο 3.2) Αρχιτεκτονική έξυπνων πόλεων

(Ενότητα 3.2.1) Ονομαστική Δικτύωση Δεδομένων (NDN)

Η αρχιτεκτονική ICN που σχεδιάστηκε στο πλαίσιο του έργου NDN, γνωστή με την ονομασία Content-Centric Networking (CCN), βασίζεται σε μια "δεδομενοκεντρική" προσέγγιση: όλα τα περιεχόμενα αναγνωρίζονται από ένα μοναδικό όνομα, επιτρέποντας στους χρήστες να ανακτούν πληροφορίες χωρίς να έχουν καμία επίγνωση της φυσικής θέσης των διακομιστών (π.χ. διεύθυνση IP). Επιπλέον, στοχεύει σε επικοινωνίες με γνώμονα τον παραλήπτη, με βάση την ανταλλαγή τμημάτων περιεχομένου, τη δρομολόγηση με βάση το όνομα και την αυτοπιστοποίηση πακέτων [3.13]. Ένα δίκτυο NDN μπορεί να αναπτυχθεί υιοθετώντας μια προσέγγιση "καθαρής κατάστασης" ή εξετάζοντας ένα επίπεδο "επικάλυψης". Στην πρώτη περίπτωση, ολόκληρο το σύστημα επανασχεδιάζεται από την αρχή, συνδέοντας έτσι την αρχιτεκτονική NDN απευθείας με το κατώτερο τεχνολογικό επίπεδο [3.14]. Στην άλλη περίπτωση, αντιθέτως, θεωρείται μια εφικτή λύση που επιτρέπει τον γρήγορο σχεδιασμό, τον πειραματισμό και την ανάπτυξη της προτεινόμενης νέας αρχιτεκτονικής πάνω στην τρέχουσα δομή του Διαδικτύου [3.15]. Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις, το NDN εισάγει στη συλλογή πρωτοκόλλων επικοινωνίας δύο νέα επίπεδα: το επίπεδο στρατηγικής, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διάδοση των μηνυμάτων εντός του δικτύου [3.16], και το επίπεδο ασφάλειας, το οποίο χειρίζεται όλες τις πτυχές της ασφάλειας [3.17]. Οι επικοινωνίες NDN καθοδηγούνται από τον χρήστη δεδομένων και ανταλλάσσονται μόνο δύο είδη μηνυμάτων: ενδιαφέροντα και δεδομένα. Ένας χρήστης μπορεί να ζητήσει ένα περιεχόμενο με την έκδοση ενός ενδιαφέροντος, το οποίο δρομολογείται προς τους κόμβους που διαθέτουν τις απαιτούμενες πληροφορίες, στην συνέχεια οι κόμβοι αυτοί καλούνται να απαντήσουν με πακέτα δεδομένων. Κάθε περιεχόμενο προσδιορίζεται μοναδικά από το όνομα περιεχομένου. Το NDN υιοθετεί μια ιεραρχική δομή για τα ονόματα, συγκεκριμένα εισάγεται ένα δέντρο ονομάτων. Σχηματίζεται από διάφορα στοιχεία, καθένα από τα οποία

αποτελείται από έναν αριθμό τυχαίων οκτάδων (προαιρετικά κρυπτογραφημένων), έτσι ώστε κάθε πρόθεμα ονόματος να προσδιορίζει ένα υποδέντρο στο χώρο ονομάτων. Ένα πακέτο ενδιαφέροντος μπορεί να καθορίσει το πλήρες όνομα του περιεχομένου ή το πρόθεμά του, αποκτώντας έτσι πρόσβαση σε ολόκληρη τη συλλογή στοιχείων κάτω από αυτό το πρόθεμα.

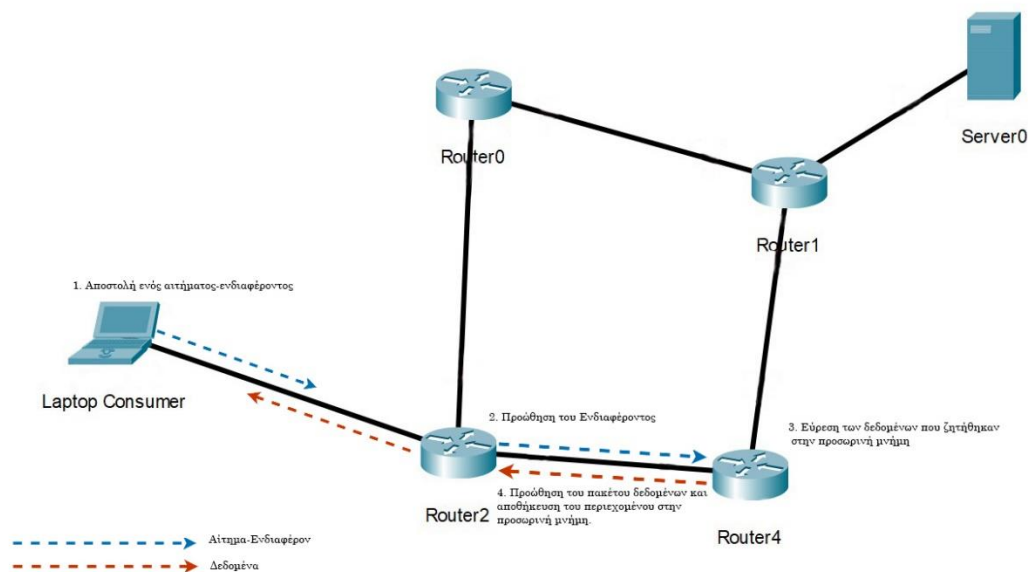
Άλλες δύο νέες πτυχές που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά ενός δικτύου NDN είναι η δρομολόγηση και ο μηχανισμός καταναμημένης προσωρινής αποθήκευσης. Οι λειτουργίες δρομολόγησης εκτελούνται από το επίπεδο στρατηγικής μόνο για τα πακέτα ενδιαφέροντος. Τα μηνύματα δεδομένων, αντιθέτως, ακολουθούν απλώς την αντίστροφη διαδρομή προς τον αιτούντα χρήστη, επιτρέποντας σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο να αποθηκεύει στην κρυφή μνήμη το προωθούμενο περιεχόμενο. Επιπλέον, κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο δεδομένων αποφασίζει να το αποθηκεύσει στην κρυφή μνήμη, σύμφωνα με την τεχνική κρυφής αποθήκευσης που έχει υιοθετηθεί. Με αυτόν τον τρόπο, η διαδικασία διάδοσης του περιεχομένου απλοποιείται, με σημαντική μείωση τόσο του υπολογιστικού φορτίου του διακομιστή όσο και της κατανάλωσης εύρους ζώνης. Επιπλέον, δεδομένου ότι η ανταλλαγή περιεχομένου βασίζεται στα ίδια τα ονόματα περιεχομένου, πολλοί χρήστες που ενδιαφέρονται για ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο μπορούν να το μοιραστούν χρησιμοποιώντας τεχνικές καταστολής πολλαπλής διανομής μέσω ενός μέσου εκπομπής [3.18]. Για να επιτύχει τις παραπάνω λειτουργίες, ένας κόμβος NDN εκμεταλλεύεται τρεις βασικές δομές:

- Το Content Store (CS), δηλαδή μια κρυφή μνήμη που εφαρμόζει διαφορετικές πολιτικές αντικατάστασης, όπως Λιγότερο Πρόσφατα Χρησιμοποιημένο (Least Recently Used), Λιγότερο Συχνά Χρησιμοποιημένο (Least Frequently Used) ή Τυχαία (Random), όπου μπορούν να αποθηκευτούν ορισμένα περιεχόμενα που έχουν ληφθεί.
- Η Βάση Πληροφοριών Προώθησης (Forwarding Information Base - FIB), η οποία είναι παρόμοια με την κλασική IP FIB, εκτός από τη δυνατότητα να υπάρχει ένας κατάλογος προσώπων για κάθε

καταχώρηση ονόματος περιεχομένου. Με την FIB, τα πακέτα ενδιαφέροντος μπορούν να προωθηθούν προς πολλές πιθανές πηγές των απαιτούμενων δεδομένων.

- Ο Πίνακας Εκκρεμούς Ενδιαφέροντος (Pending Interest Table - PIT), είναι ένας πίνακας που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των πακέτων ενδιαφέροντος που έχουν προωθηθεί προηγουμένως προς τις πηγές περιεχομένου. Με αυτόν τον τρόπο, τα προς τα πίσω πακέτα Δεδομένων μπορούν να παραδοθούν σωστά στους σωστούς αιτούντες.

Για να υπάρξει περαιτέρω κατανόηση του μοντέλου NDN, στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα που αναδεικνύει τις κύριες λειτουργίες του. Σε ένα τέτοιο παράδειγμα, υποτίθεται ότι ένας χρήστης θέλει να κατεβάσει ένα περιεχόμενο που προσδιορίζεται από το όνομα /τομέας/ περιεχόμενο. Ως εκ τούτου, εκφράζει ένα πακέτο ενδιαφέροντος το οποίο θα προωθηθεί από τους δρομολογητές NDN σύμφωνα με τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στους πίνακες FIB προς τη συσκευή που έχει το ζητούμενο περιεχόμενο στο CS της. Σε αυτή τη λειτουργία, ένας ενδιάμεσος δρομολογητής NDN αποθηκεύει όλα τα προωθούμενα αιτήματα στον πίνακα PIT, αποφεύγοντας έτσι την αποστολή πολλαπλών πακέτων ενδιαφέροντος που ζητούν το ίδιο περιεχόμενο. Μόλις το πακέτο ενδιαφέροντος φτάσει σε έναν κόμβο που μπορεί να ικανοποιήσει ένα τέτοιο αίτημα, θα δημιουργηθεί ένα αντίστοιχο πακέτο δεδομένων και θα παραδοθεί στον χρήστη προς την αντίστροφη διαδρομή. Οποιοσδήποτε ενδιάμεσος δρομολογητής, όπως φαίνεται στο σχήμα, μπορεί να αποθηκεύσει το περιεχόμενο, με αυτόν τον τρόπο είναι σε θέση να ικανοποιήσει μελλοντικά αιτήματα για τα ίδια δεδομένα.



Σχήμα 3.2: Παράδειγμα των λειτουργιών της αρχιτεκτονικής NDN

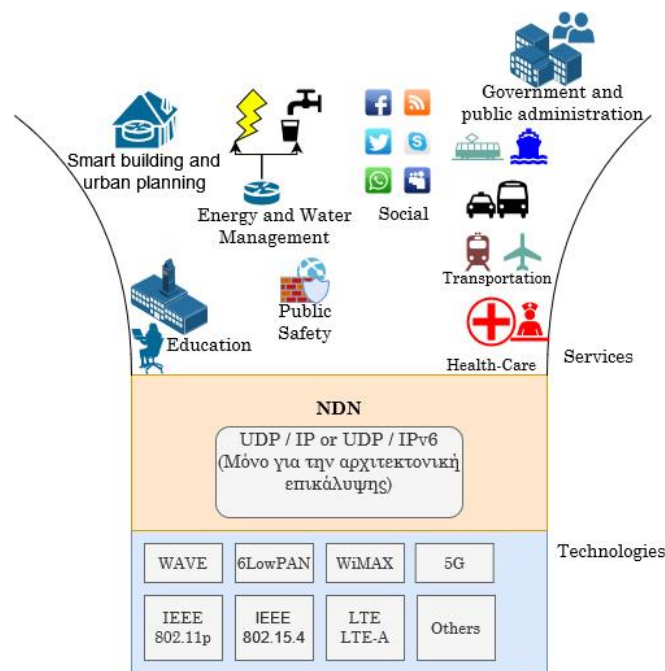
Ορισμένα προαιρετικά πεδία που αποθηκεύονται τόσο στα πακέτα ενδιαφέροντος όσο και στα πακέτα δεδομένων μπορούν να τροποποιήσουν την εκτέλεση του πρωτοκόλλου NDN σε κάθε κόμβο. Για παράδειγμα, μια συσκευή μπορεί να απαγορεύσει την προσωρινή αποθήκευση των περιεχομένων που παράγει στο δίκτυο, καθώς και μια συσκευή που στέλνει το πακέτο ενδιαφέροντος μπορεί να επιβάλει ότι η απάντηση θα πρέπει να παράγεται απαραίτητα από τον δημιουργό, παρακάμπτοντας έτσι τυχόν ενδιάμεσες προσωρινές αποθηκεύσεις. Από τη στιγμή που ένα πακέτο δεδομένων αποστέλλεται μόνο ως απάντηση σε ένα συγκεκριμένο πακέτο ενδιαφέροντος, το NDN εγγυάται την ισορροπία ροής δεδομένων. Επιπλέον, η αποτροπή των διπλών μεταδόσεων δεδομένων επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός κρυφού κωδικού (nonce) στο πακέτο ενδιαφέροντος. Όταν το ζητούμενο περιεχόμενο δεν λαμβάνεται μέχρι ένα δεδομένο χρονικό όριο, ο χρήστης θα μπορούσε να ενεργοποιήσει την αναμετάδοση του πακέτου ενδιαφέροντος. Αυτή η λειτουργία παρέχει ένα ελάχιστο επίπεδο αξιοπιστίας στην επικοινωνία. Τέλος, το NDN υποστηρίζει επίσης ορισμένα χαρακτηριστικά ασφαλείας, όπως η κρυπτογράφηση και η επαλήθευση τόσο του ονόματος του

περιεχομένου (ή μέρους αυτού) όσο και του περιεχομένου που αποθηκεύεται στο πακέτο δεδομένων [3.13], [3.17].

(Υποκεφάλαιο 3.3) Υπηρεσίες έξυπνων πόλεων

(Ενότητα 3.3.1) Πλατφόρμα Υπηρεσιών

Η πλατφόρμα υπηρεσιών που θα αναλυθεί παρακάτω βασίζεται σε δύο επίπεδα: Το επίπεδο υπηρεσιών και το τεχνολογικό επίπεδο, τα οποία αλληλεπιδρούν μέσω μιας διεπαφής NDN(Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Η πλατφόρμα υπηρεσιών προσαρμοσμένη στο NDN.

Στην περίπτωση που η αρχιτεκτονική του Μελλοντικού Διαδικτύου θα επανασχεδιαστεί από το μηδέν, η διεπαφή NDN, η οποία αξιοποιείται για την ενεργοποίηση βελτιωμένων υπηρεσιών, μπορεί να εγκατασταθεί απευθείας πάνω από το τεχνολογικό επίπεδο. Από την άλλη πλευρά, εάν υιοθετηθεί η προσέγγιση επικάλυψης[3.15] για μια ομαλή μετάβαση στο μελλοντικό Διαδίκτυο, η πλατφόρμα υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου

NDN, μπορεί να αναπτυχθεί, χωρίς δυσκολίες, πάνω από την υπάρχουσα συλλογή πρωτοκόλλων TCP/IP.

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι πολύπλευρες απαιτήσεις των σεναρίων έξυπνης πόλης, σχεδιάζονται τρεις διαδοχικές φάσεις στην παροχή υπηρεσιών: (1) η φάση ανακάλυψης, (2) η φάση αρχικοποίησης της ασφάλειας και (3) η φάση χρήσης της υπηρεσίας. Επιπλέον, ο χώρος ονομάτων έχει σχεδιαστεί για να ταξινομεί και να χαρτογραφεί όλες τις υπηρεσίες με διατεταγμένο και ιεραρχικό τρόπο, με συνακόλουθα τεράστια πλεονεκτήματα για τις λειτουργίες δρομολόγησης και την επεξεργασία πακέτων. Στην παρακάτω πλατφόρμα υπηρεσιών, ένας χρήστης θα μπορεί να εκμεταλλευτεί μια συγκεκριμένη υπηρεσία χρησιμοποιώντας μια συσκευή συνδεδεμένη με το διαδίκτυο χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη ασύρματη τεχνολογία. Ένα ειδικό λογισμικό, κατάλληλα αναπτυγμένο και διαμορφωμένο για τη εκτέλεση μιας ή περισσότερων υπηρεσιών, είναι εγκατεστημένο στην εξεταζόμενη συσκευή και ότι είναι σε θέση να εκτελέσει όλα τα χαρακτηριστικά και τις εργασίες που αναμένονται για κάθε φάση εκτέλεσης της υπηρεσίας. Ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτό το λογισμικό με μια γραφική διεπαφή για την επιλογή του τύπου της υπηρεσίας που τον ενδιαφέρει, καθώς και του συνόλου των προτιμήσεών του.

(Ενότητα 3.3.2) Διαχείριση παροχής υπηρεσιών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η παροχή υπηρεσιών αναλύεται σε τρεις διαδοχικές φάσεις.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης προαιρετικής φάσης Ανακάλυψης, είναι εφικτό να βρεθούν απομακρυσμένοι εκδότες που θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τα αιτήματα των χρηστών. Γενικά, η φάση αυτή εκτελείται όταν το ζητούμενο περιεχόμενο δεν μπορεί να βρεθεί στις μνήμες προσωρινής αποθήκευσης των

ενδιάμεσων κόμβων ή στην περίπτωση που πρέπει να αρχικοποιηθεί μια ασφαλής επικοινωνία με τον εκδότη.

Η φάση αρχικοποίησης ασφάλειας επιτρέπει στον χρήστη να ανακτήσει ορισμένες πληροφορίες ασφαλείας, όπως το κλειδί που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση του περιεχομένου, το δημόσιο κλειδί που υιοθετείται για την επικύρωση του πακέτου δεδομένων. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα εγκατάστασης του ασφαλούς καναλιού επικοινωνίας, δηλαδή με τη διαμόρφωση ενός κλειδιού ασφαλείας, μεταξύ χρήστη και εκδότη. Ομοίως με τη διαδικασία ανακάλυψης, και αυτή η εργασία δεν είναι υποχρεωτική και πρέπει να εκτελείται μόνο όταν τα δεδομένα που ανταλλάσσονται πρέπει να κρυπτογραφούνται. Αφού ο χρήστης βρει τον απομακρυσμένο εκδότη και αρχικοποιήσει μαζί του έναν ασφαλή μηχανισμό για την ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων, μπορεί να αξιοποιήσει την υπηρεσία στέλνοντας και λαμβάνοντας κάποια πακέτα πληροφοριών και δεδομένων από και προς το δίκτυο.

Ενίστε, η φάση χρήση υπηρεσίας μπορεί να επικαλύπτεται με τη φάση Ανακάλυψη. Αυτό συμβαίνει όταν το πακέτο δεδομένων που παράγεται από τον εκδότη κατά τη διαδικασία ανακάλυψης περιέχει ήδη όλες τις πληροφορίες που θα ήθελε να λάβει ο χρήστης.

(Ενότητα 3.3.3) Δημιουργία του δέντρου ονομάτων

Ο ορισμός του δέντρου ονομάτων αποτελεί βασική πτυχή ενός δικτύου NDN, επειδή το πεδίο Όνομα περιεχομένου επηρεάζει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζονται τα πακέτα ενδιαφέροντος και δεδομένων. Επιπλέον, ένας βελτιστοποιημένος χώρος ονομάτων θα μπορούσε να προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα για τις λειτουργίες δρομολόγησης και

την επεξεργασία πακέτων. Ο ορισμός του χώρου ονομάτων βασίζεται τόσο σε συμβατικά ονόματα όσο και σε έννοιες δημοσίευσης κατά περίπτωση, που προτάθηκαν αρχικά στους Jacobson et al. 2009b [3.19]. Η πρώτη έννοια προϋποθέτει ότι κάθε χρήστης είναι σε θέση να κατασκευάσει το όνομα ενός επιθυμητού περιεχομένου μέσω συγκεκριμένων αλγορίθμων (π.χ. γνωρίζει τη δομή του δέντρου ονομάτων και την τιμή που μπορεί να λάβει κάθε πεδίο του ονόματος περιεχομένου). Η δεύτερη, αντιθέτως, περιγράφει τη δυνατότητα αίτησης ενός περιεχομένου που δεν έχει ξανά δημοσιευτεί, αλλά πρέπει να δημιουργηθεί ως απάντηση στο ληφθέν αίτημα.

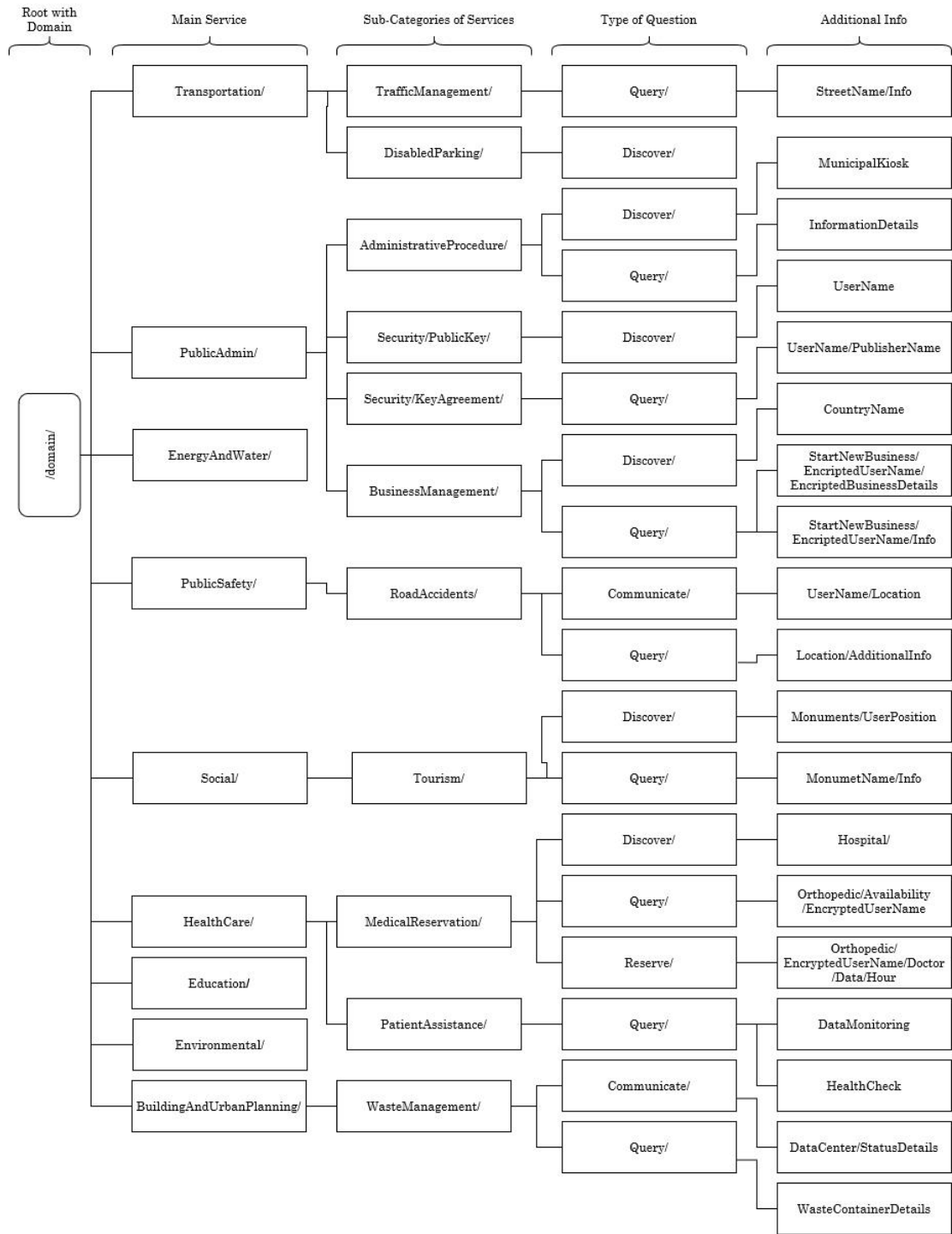
Παρακάτω δίνεται η δομή δέντρου ονομάτων που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια:

```
/domain/main-service/sub-categories-of-services/type-of-question  
/additional-info
```

Ξεκινώντας από τη ρίζα του δέντρου, η οποία προσδιορίζεται με το "/", εισάγεται το πεδίο "domain" προκειμένου να δηλωθεί ρητά ότι μια συγκεκριμένη υπηρεσία μπορεί να προσφέρεται από μια συγκεκριμένη οντότητα (η οποία μπορεί να είναι η δημόσια διοίκηση ή μια ιδιωτική εταιρεία) και εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής κάλυψης μιας πόλης. Το πεδίο "main-service" προσδιορίζει τη μακρο-κατηγορία στην οποία ανήκει η υπηρεσία. Στη συνέχεια, το σύνολο των στοιχείων που παρατίθενται στο πεδίο "sub-categories-of-services" επιτρέπει την επιλογή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας σε μια ιεραρχική δομή υποκατηγοριών. Το πεδίο "type-of-question" επεξηγεί το αίτημα του χρήστη. Για να δοθούν μερικά σημαντικά παραδείγματα, μπορεί να οριστεί ίσο με την τιμή "discover", "reserve", "query" και "communicate" στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να ανακαλύψει έναν κόμβο που προσφέρει μια συγκεκριμένη υπηρεσία, να κάνει κράτηση μιας υπηρεσίας, να ζητήσει πληροφορίες από έναν απομακρυσμένο κόμβο και να κοινοποιήσει κάτι σε μια άλλη συσκευή,

αντίστοιχα. Τέλος, τα στοιχεία που ανήκουν στο πεδίο “additional-info” χρησιμοποιούνται για την προσθήκη στο όνομα περιεχομένου (Content Name) συγκεκριμένων προαιρετικών τιμών που μπορούν να ανταλλάσσονται μεταξύ των κόμβων κατά τη διάρκεια της διαπραγμάτευσης και της εκτέλεσης της ίδιας της υπηρεσίας. Γενικά, το τμήμα του ονόματος περιεχομένου πριν από το πεδίο “additional-info” χρησιμεύει για σκοπούς δρομολόγησης, δηλαδή για την παράδοση του πακέτου ενδιαφέροντος σε έναν κόμβο που είναι σε θέση να ικανοποιήσει το αίτημα του χρήστη. Το πεδίο “additional-info” θα μπορούσε να παρέχει περαιτέρω λεπτομέρειες χρήσιμες για τον εκδότη ώστε να επεξεργαστεί και να δημιουργήσει μια πιο συγκεκριμένη πρόταση που θα συμπεριληφθεί στο πακέτο δεδομένων.

Παρακάτω στο Σχήμα 3.4 απεικονίζεται ένα παράδειγμα του δέντρου ονομάτων που δημιουργείται με την υιοθέτηση της προτεινόμενης ιεραρχικής δομής. Στον σχεδιασμό που χρησιμοποιείται, οι λειτουργίες ασφάλειας θεωρούνται μια πιθανή υποκατηγορία υπηρεσιών. Ωστόσο, λόγω έλλειψης χώρου, αναφέρεται στο σχήμα αυτή η υπηρεσία μόνο για εφαρμογές δημόσιας διοίκησης, υπονοώντας όμως ότι μπορεί να υιοθετηθεί σε όλες τις μακρο-κατηγορίες. Προφανώς, το δέντρο ονομάτων που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4 πρέπει να θεωρηθεί ως ένα πιθανό σημείο αναφοράς για τη διαμόρφωση πληρέστερων δομών χώρου ονομάτων, οι οποίες θα περιλάμβαναν έναν πολύ μεγάλο αριθμό έξυπνων υπηρεσιών που, πιθανώς, δεν έχουν ακόμη σχεδιαστεί ούτε προβλεφθεί. Χάρη στην υψηλή ευελιξία του είναι δυνατή η επέκταση του δέντρου ονομάτων με την εισαγωγή νέων κατηγοριών και υποκατηγοριών υπηρεσιών, καθώς και διαφορετικού είδους ερωτήσεων και πρόσθετων λεπτομερειών που θα προσαρτώνται στο τέλος του ονόματος. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο χώρος ονομάτων επιτρέπει όλες τις υπηρεσίες που πρέπει να εφαρμόζονται κατά τη διαχείριση του life-event, υποστηρίζει πλήρως την ανάπτυξη κάθε είδους στρατηγικής για το life-event που έχει σχεδιαστεί κατάλληλα για τις έξυπνες πόλεις.



Σχήμα 3.4: Δομή Δέντρου ονομάτων

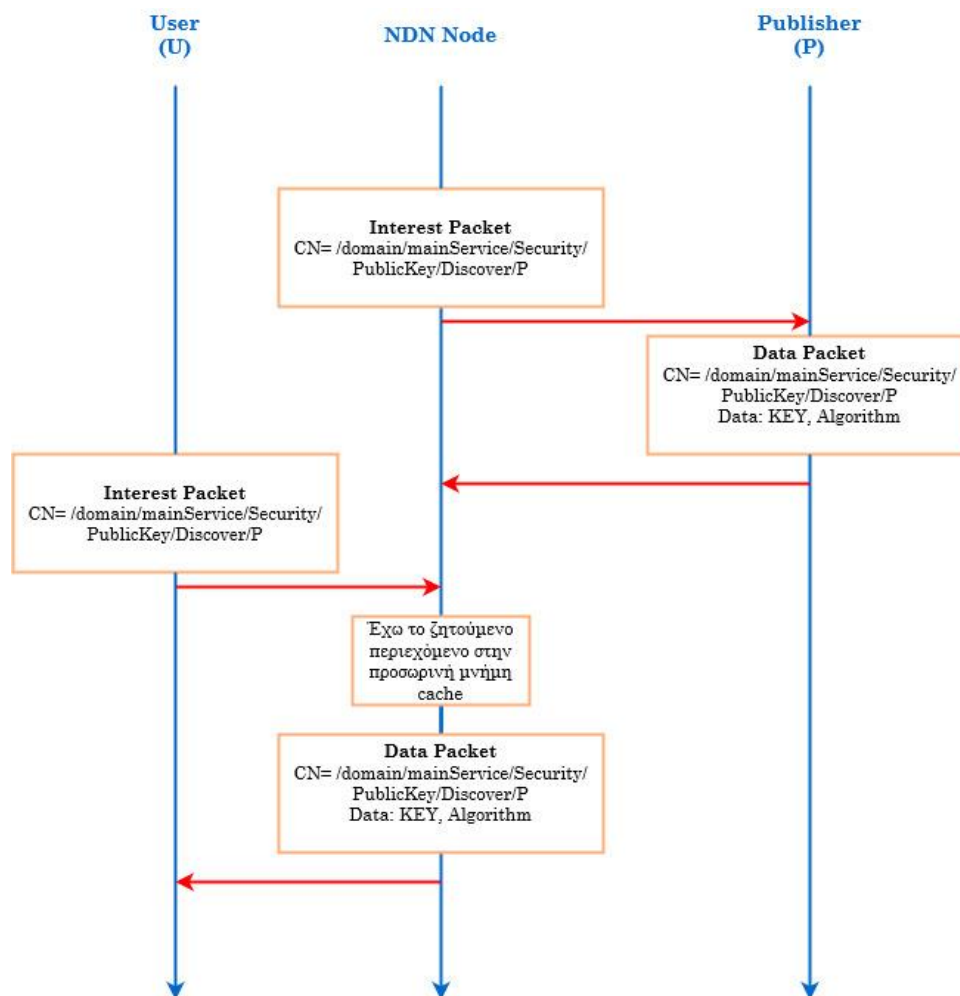
Οι απαιτήσεις ασφαλείας είναι υποχρεωτικές για ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών. Η κρυπτογράφηση περιεχομένου, καθώς και η επαλήθευση της ταυτότητας ενός πακέτου δεδομένων, δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν χωρίς την υιοθέτηση ενός κλειδιού ασφαλείας. Η βασική αρχιτεκτονική του NDN δεν καθορίζει ούτε έναν αλγόριθμο κρυπτογράφησης ούτε έναν ξεχωριστό μηχανισμό για τη διανομή του κλειδιού [3.13]. Όσον αφορά την προστασία του πακέτου δεδομένων, ένας κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει το προτιμώμενο σχήμα του για την κρυπτογράφηση του περιεχομένου που έχει δημιουργήσει. Το μόνο που πρέπει να κάνει είναι να κοινοποιήσει στον χρήστη τον αλγόριθμο και τον τύπο του κλειδιού που χρησιμοποιεί για το σκοπό αυτό. Όπως προτείνεται στα [3.13],[3.19], η διανομή ενός κλειδιού μπορεί να αντιμετωπιστεί όπως κάθε άλλο δεδομένο με τη χρήση του μηχανισμού επικοινωνίας που βασίζεται στην ανταλλαγή πακέτων ενδιαφέροντος και δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, η κρυπτογράφηση περιεχομένων, ή ακόμη και ονομάτων ή στοιχείων ονομάτων, γίνεται εντελώς διαφανής στο δίκτυο NDN.

Με στόχο τον καλύτερο χαρακτηρισμό της φάσης αρχικοποίησης της ασφάλειας που παρουσιάστηκε προηγουμένως, παρουσιάζονται παρακάτω ορισμένα απλά σχήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανταλλαγή ή και τη διαπραγμάτευση των υλικών ασφάλειας (δηλαδή κλειδί, παράμετροι, αλγόριθμοι κ.ο.κ.). Ως σημείο εκκίνησης, δίνεται περισσότερο προσοχή στη δυνατότητα ελέγχου ταυτότητας των μηνυμάτων που παράγονται από τους κόμβους του δικτύου. Έχοντας ως δεδομένο ότι ένας εκδότης μπορεί να εκμεταλλευτεί ένα ζευγάρι κλειδιών (δηλ. το ιδιωτικό κλειδί και το δημόσιο κλειδί) για τον έλεγχο ταυτότητας του περιεχομένου των πακέτων δεδομένων του. Σημειώνεται ότι ένα τέτοιο χαρακτηριστικό έχει ήδη σχεδιαστεί στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής NDN: το πεδίο της Υπογραφής (Signature) του πακέτου δεδομένων χρησιμοποιείται απλώς για

τον έλεγχο ταυτότητας ολόκληρου του μηνύματος. Συγκεκριμένα, ο εκδότης μπορεί να λάβει την Υπογραφή κρυπτογραφώντας, μέσω του ιδιωτικού κλειδιού του, μια συνάρτηση κατακερματισμού με “digest” αποτελέσματα του πακέτου δεδομένων που έχει δημιουργήσει. Ένας γενικός κόμβος που χρειάζεται να επαληθεύσει τη γνησιότητα ενός πακέτου δεδομένων, θα πρέπει να διαθέτει το δημόσιο κλειδί του εκδότη. Παρακάτω στο σχήμα Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται ένας τρόπος για την ανάκτηση του δημόσιο κλειδιού σε ένα δίκτυο NDN. Ο χρήστης στέλνει ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το όνομα περιεχομένου ίσο με:

`/domain/main-service/Security/PublicKey/Discover/PublicName`

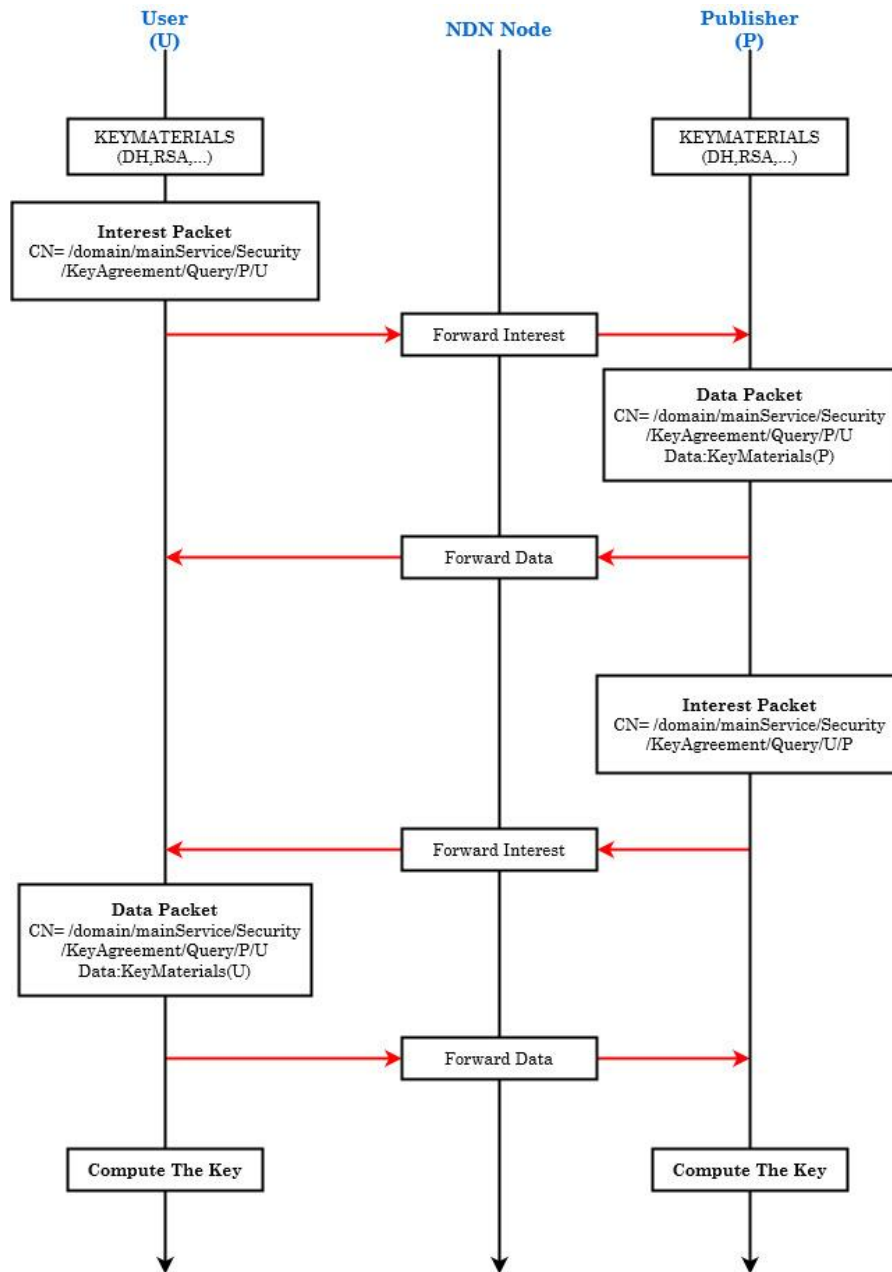
όπου το όνομα έχει δημιουργηθεί ακολουθώντας το δέντρο ονομάτων που περιγράφεται στην ενότητα 3.3.3 .



Σχήμα 3.5: Παράδειγμα ανάκτησης δημόσιου κλειδιού του εκδότη

Κάθε κόμβος που έχει αυτά τα δεδομένα στην κρυφή μνήμη μπορεί να απαντήσει στον χρήστη παρέχοντας ένα πακέτο δεδομένων που περιέχει το δημόσιο κλειδί, τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης που έχει υιοθετηθεί και ενδεχομένως άλλες πληροφορίες που σχετίζονται με την ασφάλεια. Επιπλέον καλό είναι να εξεταστεί μια αρχή για την πιστοποίηση του δημόσιου κλειδιού κάθε κόμβου, αποτρέποντας έτσι το ενδεχόμενο ένας κακόβουλος χρήστης να προσποιηθεί ότι είναι ένας συγκεκριμένος εκδότης και να τροποποιήσει την ορθή εκτέλεση μιας υπηρεσίας. Στην περίπτωση αυτή, για να αποφευχθεί ένα τέτοιο ενδεχόμενο, θα πρέπει να περιέχει ένα πιστοποιητικό του δημόσιου κλειδιού του εκδότη υπογεγραμμένο από την αρχή. Το πρότυπο ITU-T X.509 [3.20] μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό.

Το προηγούμενο παράδειγμα (Σχήμα 3.5) έχει έναν σημαντικό περιορισμό: όλοι οι χρήστες/κόμβοι του δικτύου είναι σε θέση να αποκρυπτογραφήσουν κάθε τι που αποστέλλεται από έναν συγκεκριμένο εκδότη. Αυτό το χαμηλό επίπεδο ασφάλειας μπορεί να είναι αποδεκτό όταν, για παράδειγμα, ο εκδότης θέλει να εγγυηθεί μόνο τη γνησιότητα του πακέτου δεδομένων και τη σωστή αντιστοιχία μεταξύ του ονόματος περιεχομένου και του περιεχομένου. Ωστόσο, μερικές φορές απαιτείται η δημιουργία ασφαλούς σύνδεσης μεταξύ χρήστη και εκδότη, αποτρέποντας έτσι την υποκλοπή της επικοινωνίας τους από οποιονδήποτε τρίτο. Σε αυτή τη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι απαραίτητη η διαπραγμάτευση ενός κλειδιού μέσω γνωστών μηχανισμών επαλήθευσης κλειδιών, π.χ. αλγόριθμος RSA, Diffie-Hellman, χρήση πιστοποιητικών κ.ο.κ. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6, ο υπολογισμός ενός κλειδιού μπορεί να γίνει μετά την ανταλλαγή μερικών σημαντικών πακέτων και δεδομένων.



Σχήμα 3.6: Διαδικασία Επαλήθευσης κλειδιών

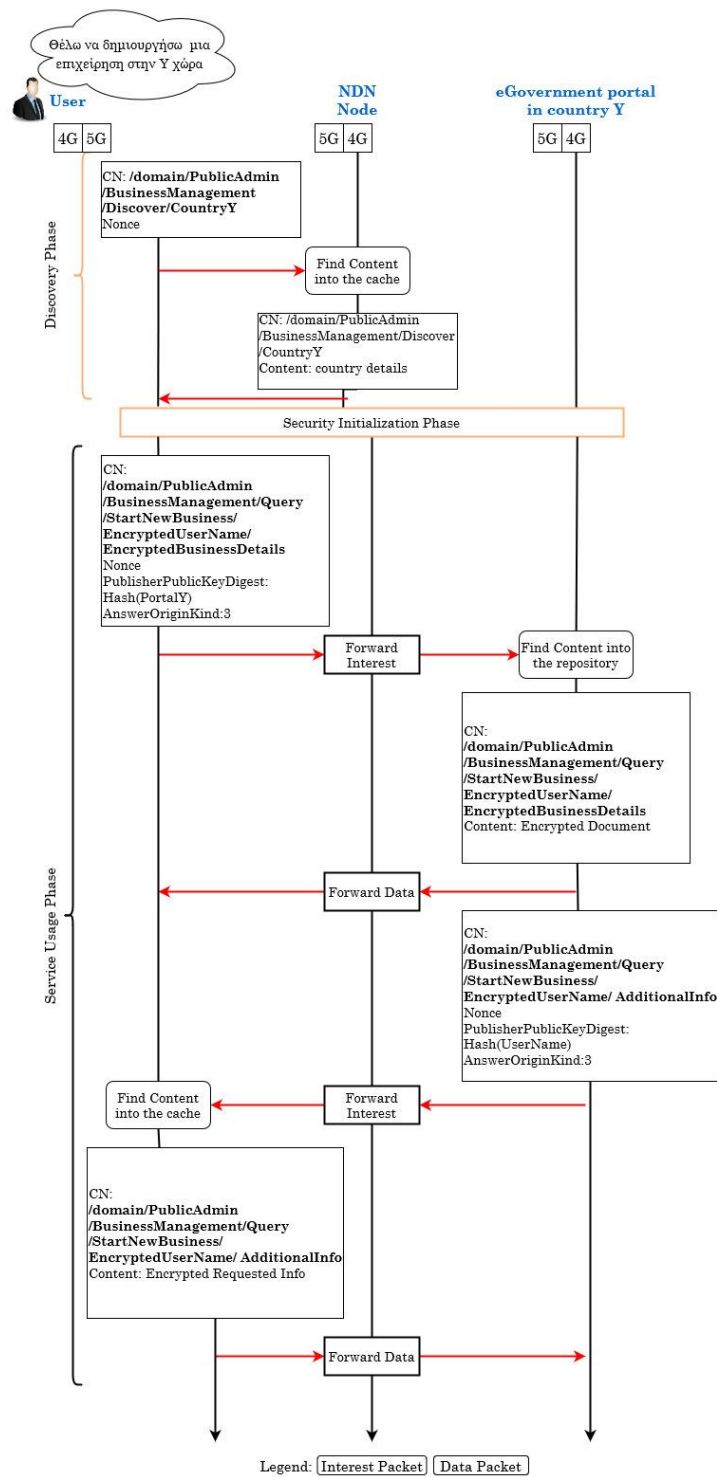
(Ενότητα 3.3.5) Περιοπτώσεις χρήσης της πλατφόρμας

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα παρουσιαστούν ένα σύνολο σημαντικών περιπτώσεων χρήσης της πλατφόρμας που απεικονίζουν ορισμένες σημαντικές υπηρεσίες που μπορούν να διεκπεραιωθούν σε μελλοντικά αστικά περιβάλλοντα. Τα πεδία εφαρμογών που θα διερευνηθούν

παρακάτω αντικατοπτρίζουν αυτά που μελετήθηκαν και προτάθηκαν στο πλαίσιο ερευνητικών έργων της Ε.Ε. Επιπλέον, για λόγους σαφήνειας, τα σενάρια που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια είναι πολύ βασικά και αποτελούνται από περιορισμένο αριθμό συσκευών.

1. Κυβερνητικές υπηρεσίες και υπηρεσίες δημόσιας διοίκησης: έναρξη νέας επιχείρησης σε ξένη χώρα και ανάκτηση εγγράφου από δημοτικό περίπτερο

Η ενδυνάμωση των επιχειρήσεων σημαίνει την παροχή ενός περιβάλλοντος που προάγει την ανταγωνιστικότητα και τις ορθές επιχειρηματικές πρακτικές. Στο πλαίσιο αυτό, οι κυβερνήσεις στην Ευρώπη έχουν κληθεί να εξορθολογήσουν τις γραφειοκρατικές διαδικασίες, ώστε να διασφαλιστεί ότι όλες οι διαδικασίες και οι διατυπώσεις που σχετίζονται με την πρόσβαση σε μια δραστηριότητα παροχής υπηρεσιών και την άσκησή της μπορούν εύκολα να ολοκληρωθούν εξ αποστάσεως και με ηλεκτρονικά μέσα μέσω του σχετικού ενιαίου κέντρου εξυπηρέτησης [3.21]. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το σκεπτικό, η πρώτη περίπτωση χρήσης που παρουσιάζεται σχετίζεται με τη διαχείριση ενός σημαντικού γεγονότος της ζωής: απεικονίζει έναν πολίτη που θα ήθελε να ξεκινήσει μια νέα επιχείρηση σε μια ξένη χώρα (το παράδειγμα αυτό έχει προταθεί στο [3.21]). Αυτή η περίπτωση χρήσης έχει ως σκοπό να καταδείξει ότι η πλατφόρμα μπορεί να είναι χρήσιμη ως βάση για ισχυρές, απλοποιημένες και βιώσιμες υπηρεσίες ηλεκτρονικής διακυβέρνησης.



Σχήμα 3.7: Περίπτωση χρήσης 1: έναρξη νέας επιχείρησης σε ξένη χώρα

Σύμφωνα με μία από τις κύριες ιδιότητες μιας στρατηγικής για το συμβάν της ζωής (δηλαδή, ο χρήστης δεν γνωρίζει ακριβώς με ποια οντότητα πρέπει να επικοινωνήσει για να ξεκινήσει τις διοικητικές διαδικασίες), η φάση της

ανακάλυψης αξιοποιείται για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με πιθανές πύλες που μπορούν να υποστηρίξουν τις διοικητικές διαδικασίες που απαιτούνται για την επίτευξη του προαναφερθέντος στόχου. Υποθέτοντας ότι ο χρήστης θέλει να ξεκινήσει μια επιχείρηση στη χώρα Υ, θα ανακαλύψει μια πύλη μεταδίδοντας ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το όνομα περιεχομένου να έχει οριστεί ως

```
/domain/PublicAdmin/BusinessManagement/Discover/CountryY.
```

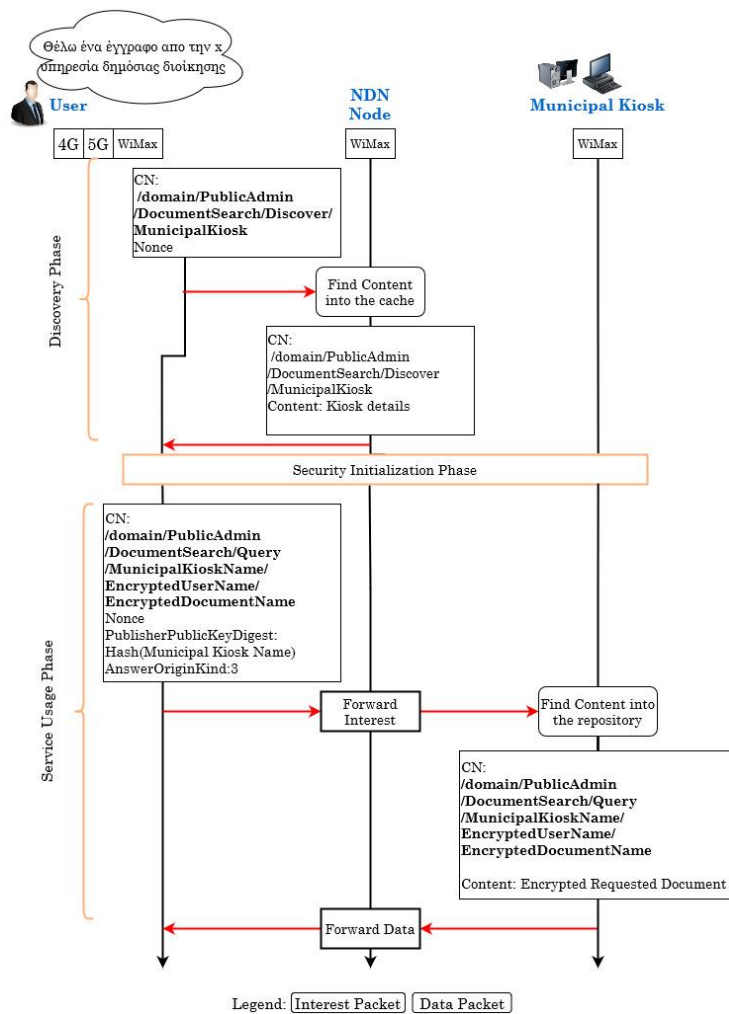
Αυτό το μήνυμα λαμβάνεται από έναν ενδιάμεσο δρομολογητή που είναι σε θέση να παράσχει τις ζητούμενες πληροφορίες δημιουργώντας ένα συγκεκριμένο πακέτο δεδομένων. Όταν ο πολίτης λάβει όλες τις λεπτομέρειες σχετικά με την απομακρυσμένη πύλη ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, διεκπεραιώνεται η φάση ασφαλούς αρχικοποίησης για τη δημιουργία ασφαλούς επικοινωνίας μεταξύ τους. Για το σκοπό αυτό, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η διαδικασία επαλήθευσης κλειδιών που αναφέρεται στο Σχήμα 3.6. Τώρα, ο χρήστης μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία για την έναρξη μιας επιχείρησης στέλνοντας ένα πακέτο ενδιαφέροντος, το όνομα περιεχομένου του οποίου αποθηκεύει όλες τις λεπτομέρειες που απαιτούνται για την εκτέλεση αυτής της εργασίας:

```
/domain/PublicAdmin/BusinessManagement/Query/StartNewBusiness/  
EncryptedUserName/EncryptedBusinessDetails.
```

Για να διασφαλιστεί ότι η αίτηση αυτή θα διεκπεραιωθεί μόνο από την πύλη που ανακαλύφθηκε, τα πεδία `PublisherPublicKeyDigest` και `AnswerOriginKind` του πακέτου ενδιαφέροντος περιέχουν τη συνάρτηση κατακερματισμού του δημόσιου κλειδιού της πύλης και την αριθμητική τιμή 3, αντίστοιχα. Επιπλέον, όλα τα πεδία πρόσθετων πληροφοριών του ονόματος έχουν κρυπτογραφηθεί με τη χρήση του κλειδιού που συμφωνήθηκε κατά τη φάση ασφαλούς αρχικοποίησης που προηγήθηκε. Απαντώντας σε αυτό το αίτημα, η πύλη ηλεκτρονικής διακυβέρνησης θα επισημοποιήσει τη

διοικητική διαδικασία και θα δημιουργήσει ένα πακέτο δεδομένων που θα περιέχει το έγγραφο (π.χ. απόδειξη) για να ανατροφοδοτήσει τον πολίτη.

Εκτός από το προηγούμενο σημαντικό παράδειγμα, υπάρχει το όραμα μιας έξυπνης πόλης που σχεδιάστηκε στο έργο FIREBALL [3.22], σύμφωνα με το οποίο μια έξυπνη διακυβέρνηση θα μπορούσε να επιτευχθεί με την αξιοποίηση δημοτικών περιπτέρων που παρέχουν ανοικτές πληροφορίες στους πολίτες για την επιτάχυνση κάθε είδους διοικητικής διαδικασίας και για τη μείωση, ταυτόχρονα, της γραφειοκρατίας. Έτσι με βάση το παραπάνω όραμα παρουσιάζεται παρακάτω μια άλλη περίπτωση χρήσης όπου χρησιμοποιείται από έναν πολίτη για την ανάκτηση ενός διοικητικού εγγράφου. Στο σενάριο που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.8 φαίνεται ότι η επικοινωνία γίνεται με τη χρήση της τεχνολογίας WiMAX, η οποία αντιπροσωπεύει την ασύρματη διεπαφή που είναι κοινή για κάθε συσκευή στο εξεταζόμενο δίκτυο.



Σχήμα 3.8: Περίπτωση χρήσης 2: Ανάκτηση εγγράφου από δημοτικό περίπτερο (κυβερνητική υπηρεσία και υπηρεσία δημόσιας διοίκησης).

Για λόγους ασφαλείας, είναι προτιμότερο όλα τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ του χρήστη και του δημοτικού περιπτέρου να κρυπτογραφούνται με τη χρήση ενός κλειδιού συνόδου. Για το λόγο αυτό, η υπηρεσία ξεκινά με την υποχρεωτική φάση ανακάλυψης, κατά την οποία ο χρήστης προσπαθεί να ανακαλύψει το δημοτικό περίπτερο στη γειτονιά του, ανακτώντας έτσι όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την εκτέλεση της φάσης αρχικοποίησης ασφάλειας (π.χ. το όνομα που σχετίζεται με το δημοτικό περίπτερο). Για το σκοπό αυτό, στέλνει ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το όνομα περιεχομένου να έχει οριστεί σε:

/domain/PublicAdmin/DocumentSearch/Discover/MunicipalKiosk

Το αίτημα του χρήστη φτάνει σε έναν ενδιάμεσο δρομολογητή NDN, ο οποίος, έχοντας τις ζητούμενες πληροφορίες στην κρυφή μνήμη του, παράγει ένα πακέτο δεδομένων που αποθηκεύει όλες τις λεπτομέρειες σχετικά με το εύχρηστο δημοτικό περίπτερο. Η ασφαλής επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και του δημοτικού περιπτέρου δημιουργείται στη συνέχεια με τη χρήση της διαδικασίας επαλήθευσης κλειδιών που αναφέρεται στο Σχήμα 3.6. Τώρα, ο χρήστης μπορεί να ζητήσει ένα συγκεκριμένο έγγραφο εκδίδοντας ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το ακόλουθο όνομα περιεχομένου:

```
/domain/PublicAdmin/DocumentSearch/Query/MunicipalKioskName/  
EncryptedUserName/DocumentName.
```

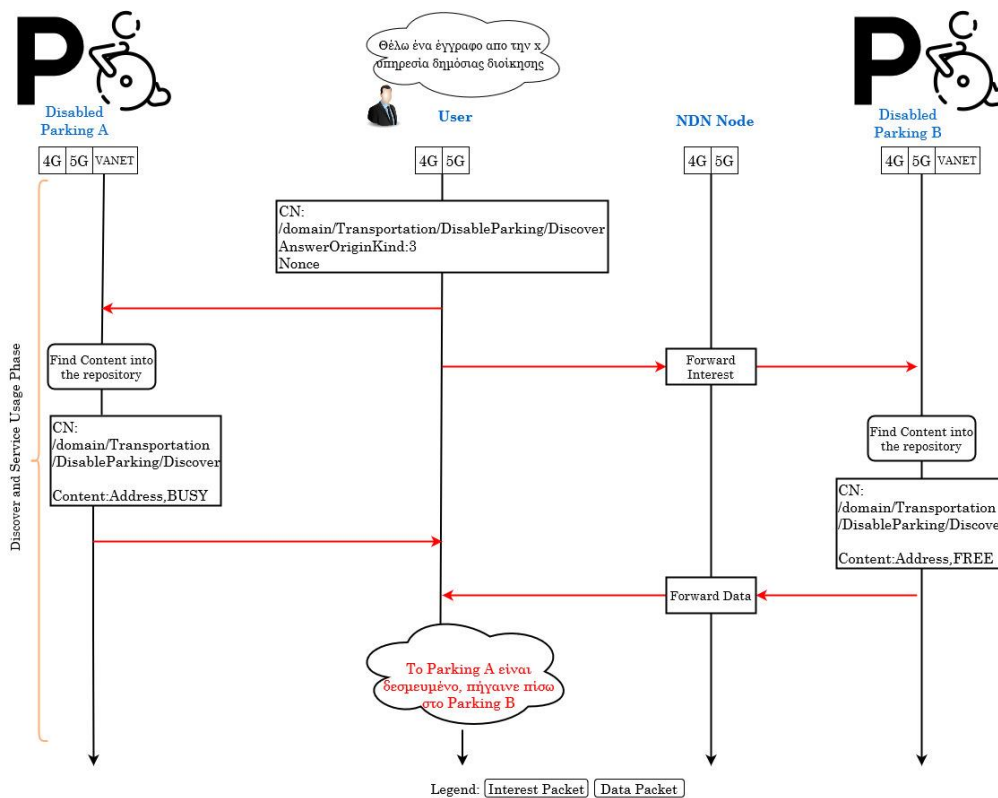
Ομοίως με το προηγούμενο παράδειγμα, τα πεδία `PublisherPublicKeyDigest` και `AnswerOriginKind` του πακέτου ενδιαφέροντος έχουν οριστεί κατάλληλα για να διασφαλιστεί ότι μόνο το επιλεγμένο δημοτικό περίπτερο παράγει την απάντηση. Σε απάντηση στο αίτημα του χρήστη, το δημοτικό περίπτερο αποστέλλει ένα πακέτο δεδομένων με κρυπτογραφημένο ωφέλιμο φορτίο που αποθηκεύει το ζητούμενο έγγραφο. Το `Freshness Second` του τελευταίου παραγόμενου μηνύματος μηδενίζεται, ώστε να απαγορεύονται τυχόν διαδικασίες προσωρινής αποθήκευσης.

2. Υπηρεσίες μεταφορών: στάθμευση για άτομα με ειδικές ανάγκες και βοήθεια πλοήγησης

Οι μεταφορές αποτελούν έναν από τους πυλώνες της σύγχρονης κοινωνίας και οι ΤΠΕ ενσωματώνουν διάφορα τεχνολογικά στοιχεία προκειμένου να προσφέρουν λύσεις για τον γενικό έλεγχο των μεταφορών και την παροχή υπηρεσιών πληροφόρησης για τις μεταφορές [3.23], [3.24], [3.25], [3.26]. Για το λόγο αυτό πρέπει να υποστηριχθεί και να βελτιωθεί σε τεράστιο βαθμό στα μελλοντικά αστικά περιβάλλοντα. Η πρώτη περίπτωση χρήσης που παρουσιάζεται στον τομέα των εφαρμογών ΤΠΕ σχετίζεται με τη διαχείριση

των χώρων στάθμευσης για άτομα με αναπηρία, η οποία έχει μελετηθεί στο πλαίσιο του έργου Smartsantander [3.27]. Το σενάριο που περιγράφεται στο Σχήμα 3.9 υποθέτει ότι ένας χρήστης με αναπηρία θέλει να φτάσει σε έναν ειδικό χώρο στάθμευσης όπου αφήνει το αυτοκίνητό του. Με στόχο την ανακάλυψη των διαθέσιμων χώρων στάθμευσης εκείνη τη χρονική στιγμή, ο χρήστης δημιουργεί ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το όνομα περιεχομένου ίσο με:

/domain/Transportation/DisableParking/Discover/



Σχήμα 3.9: Περίπτωση χρήσης 3: στάθμευση για άτομα με ειδικές ανάγκες (υπηρεσία μεταφοράς).

Σε αυτό το παράδειγμα, τυχόν αποθηκευμένα στην προσωρινή μνήμη δεδομένα δεν θα μπορούσαν να είναι πιο χρήσιμα, επειδή θα μπορούσαν να είναι μη ενημερωμένα. Για το λόγο αυτό, η τιμή του πεδίου AnswerOriginKind του προαναφερθέντος πακέτου ενδιαφέροντος ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να διασφαλίζεται ότι η απάντηση πρέπει να είναι

απαραίτητη και να παράγεται από τον εκδότη (δηλαδή, ένα γενικό πάρκινγκ). Το αίτημα θα φτάσει σε δύο διαφορετικά πάρκινγκ, δηλαδή τα DisableParkingA και DisableParkingB, τα οποία θα παρέχουν ένα πακέτο δεδομένων που θα περιέχει τη διεύθυνση και την κατάσταση (δηλαδή, ελεύθερο ή απασχολημένο). Μόλις ο χρήστης λάβει αυτά τα μηνύματα, μπορεί να αποφασίσει να κατευθυνθεί προς τον πλησιέστερο και ελεύθερο χώρο στάθμευσης για άτομα με ειδικές ανάγκες, στην προκειμένη περίπτωση στο DisableParkingB.

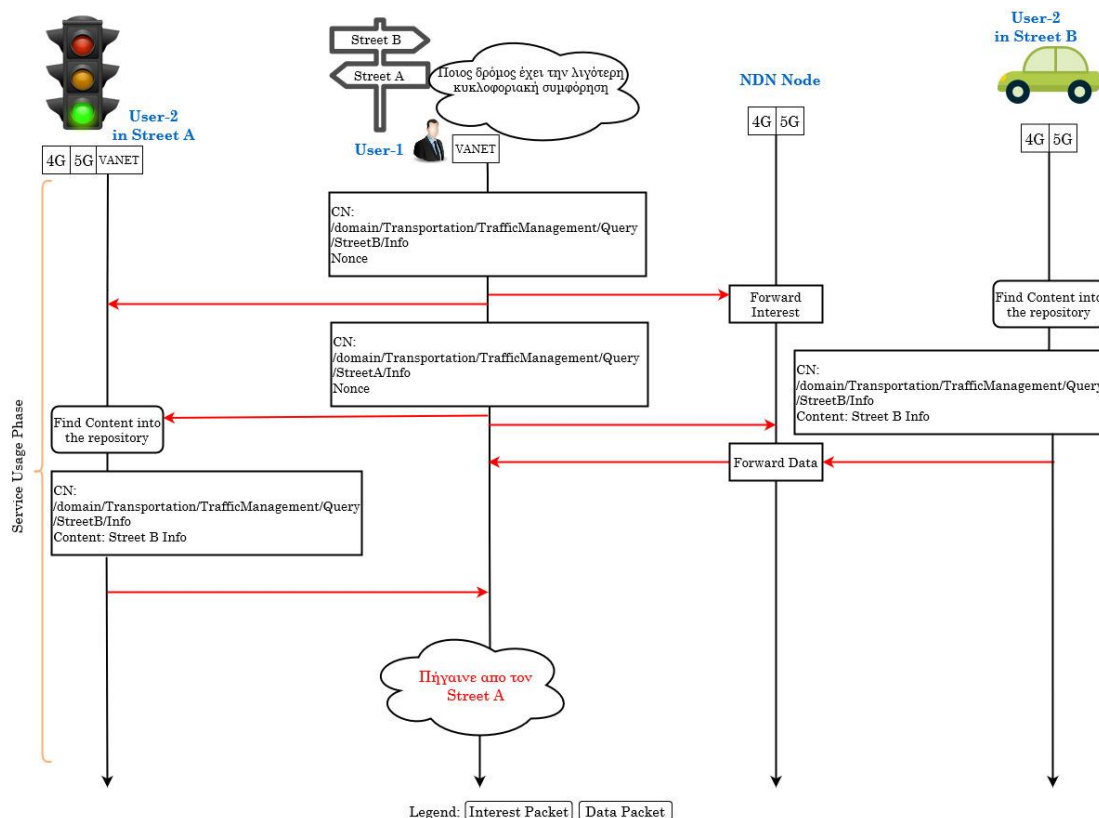
Μια άλλη σημαντική περίπτωση χρήσης σε αυτή την κατηγορία υπηρεσιών επικεντρώθηκε στη βοήθεια πλοήγησης, η οποία είναι ένα θέμα που αξίζει να διερευνηθεί από τα περισσότερα ερευνητικά έργα της ΕΕ. Γενικά, απαιτεί την εκτέλεση μόνο της φάσης Service Usage, αλλά υπάρχει η δυνατότητα να ενισχυθεί η υπηρεσία με πρόσθετα χαρακτηριστικά (όπως αυτά που σχετίζονται με την ασφάλεια). Εστιάζοντας την προσοχή σε ένα δίκτυο Vehicular Ad-Hoc Network (VANET) που αποτελείται από έναν αριθμό οχημάτων και σταθερών αντικειμένων (όπως ένα φανάρι), καθένα από τα οποία είναι εξοπλισμένο με μια συσκευή GPS, θεωρείται ότι κάθε κόμβος που χρησιμοποιεί την υπηρεσία ΤΠΕ έχει στον αποθηκευτικό του χώρο τις πληροφορίες που σχετίζονται με τον δρόμο στον οποίο βρίσκεται (π.χ. μέσος χρόνος περιπάτου, τυχόν εργασίες σε εξέλιξη, ατυχήματα κ.ο.κ.). Τα υπόλοιπα, αντιθέτως, θα μπορούσαν να αποθηκεύουν κάποιες πληροφορίες στην κρυφή τους μνήμη. Όπως σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις χρήσης, οι ενδιαμέσοι δρομολογητές NDN είναι υπεύθυνοι για την προώθηση τόσο των πακέτων ενδιαφέροντος όσο και των πακέτων δεδομένων. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.10, ο χρήστης-1, ο οποίος φτάνει σε μια διασταύρωση, πρέπει να επιλέξει ποιον δρόμο θα ακολουθήσει, δηλαδή τον δρόμο Α ή τον δρόμο Β. Στη συνέχεια ο χρήστης μεταδίδει δύο πακέτα ενδιαφέροντος που ζητούν πληροφορίες.

```
/domain/Transportation/TrafficManagement/Query/StreetA/Info
```

Και

/domain/Transportation/TrafficManagement/Query/StreetB/Info.

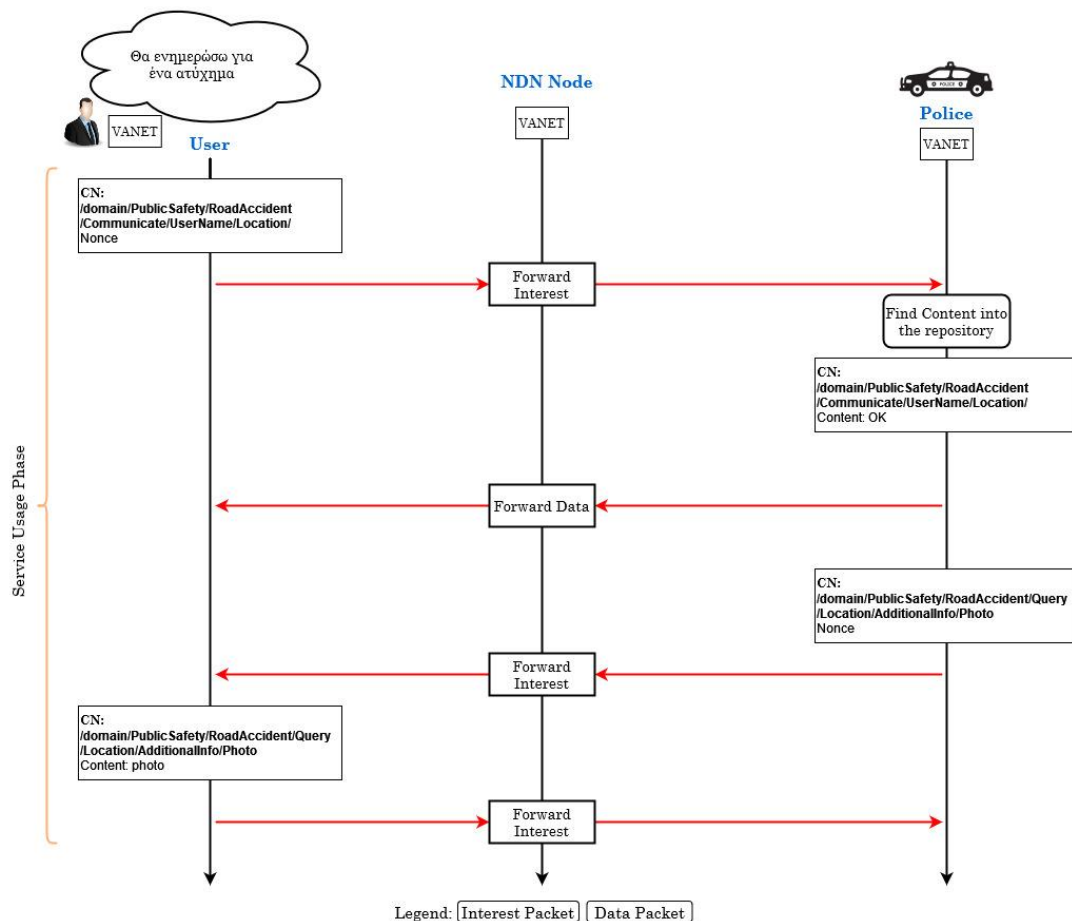
Ο χρήστης-2 και ο χρήστης-3 θα απαντήσουν σε αυτά τα αιτήματα δημιουργώντας τα δικά τους πακέτα δεδομένων που παρέχουν πληροφορίες για τις οδούς StreetA και StreetB, αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι όλοι οι κόμβοι μεταξύ της αντιστροφής διαδρομής προς τον χρήστη-1 μπορούν να αποθηκεύσουν την κατάσταση των εξεταζόμενων οδών. Με αυτόν τον τρόπο, η ανταλλαγή πληροφοριών (συμπεριλαμβανομένης της ειδοποίησης έκτακτης ανάγκης) γίνεται ταχύτερη και αποτελεσματικότερη. Τέλος οι ληφθείσες πληροφορίες ερμηνεύονται τελικά από το σύστημα δορυφορικής πλοήγησης, προκειμένου να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή διαδρομή.



Σχήμα 3.10: Περίπτωση χρήσης 4: βοήθεια πλοήγησης (υπηρεσία μεταφοράς).

3. Υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας: σηματοδότηση τροχαίου ατυχήματος

Σε μια έξυπνη πόλη είναι απαραίτητο να προωθηθεί η αυθόρμητη συμμετοχή των πολιτών σε επεισόδια που αφορούν το αστικό περιβάλλον [3.28]. Για παράδειγμα, μπορούν να συνεργαστούν για να αναφέρουν την παρουσία κατάλληλων ανωμαλιών, ανεπαρκειών και καταστάσεων κινδύνου στις αρμόδιες αρχές. Μεταξύ όλων των δυνατοτήτων, αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν πραγματικά να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση της δημόσιας ασφάλειας, όπως έχει επισημανθεί στο έργο SafeCity [3.29]. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται (Σχήμα 3.11) μια περίπτωση χρήσης στην οποία ένας χρήστης αναφέρει ένα οδικό ατύχημα στην αστυνομία.



Σχήμα 3.11: Περίπτωση χρήσης 5: σηματοδότηση οδικού ατυχήματος

Λόγω του μοντέλου επικοινωνίας του NDN με γνώμονα τον δέκτη, εάν ένας πολίτης θέλει να αναφέρει ένα συγκεκριμένο επεισόδιο που μπορεί να επηρεάσει την ασφάλεια άλλων ανθρώπων, πρέπει να διαδώσει ένα πακέτο ενδιαφέροντος με όνομα περιεχομένου που έχει οριστεί σε:

```
/domain/PublicSafety/RoadAccident/Communicate/UserName
```

Αυτό το μήνυμα θα προωθηθεί από ενδιάμεσους κόμβους NDN προς το πλησιέστερο περιπολικό, το οποίο θα απαντήσει με ένα πακέτο δεδομένων επιβεβαίωσης. Επιπλέον, η αστυνομία μπορεί επίσης να ζητήσει από τον χρήστη πρόσθετες λεπτομέρειες σχετικά με το ατύχημα (π.χ. μια φωτογραφία του δρόμου). Για το σκοπό αυτό, δημιουργεί ένα νέο πακέτο ενδιαφέροντος του οποίου το όνομα περιεχομένου έχει οριστεί ως:

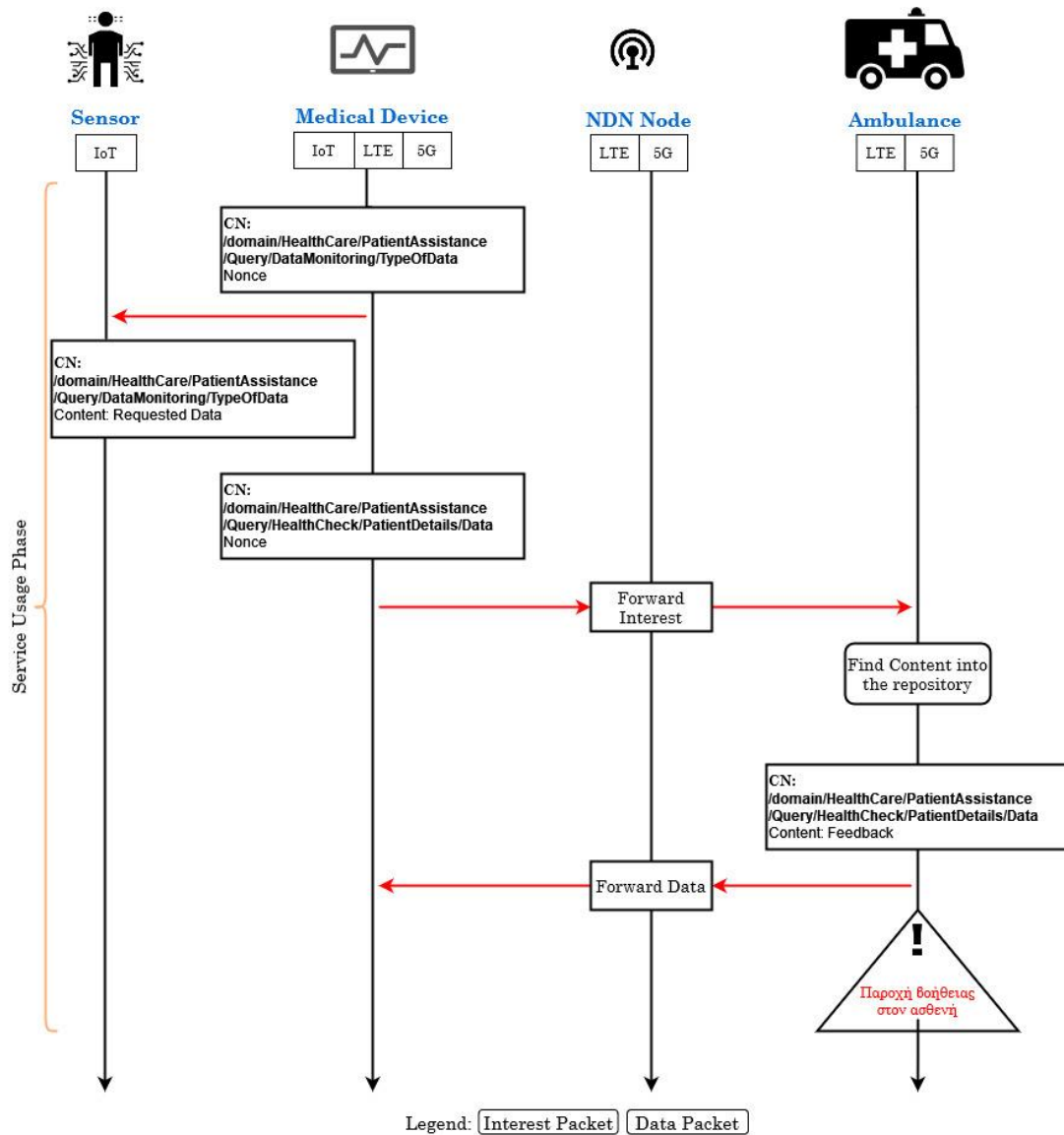
```
/domain/PublicSafety/RoadAccident/Query/UserName/AdditionalInfo  
/Photo.
```

Ένα τέτοιο μήνυμα θα προωθηθεί προς τον χρήστη, ο οποίος θα απαντήσει με ένα πακέτο δεδομένων που θα αποθηκεύει το ζητούμενο περιεχόμενο.

4. Υπηρεσίες ηλεκτρονικής υγειονομικής περίθαλψης: Ραντεβού ιατρικής εξέτασης και εξ αποστάσεως βοήθεια των ασθενών.

Η εξ αποστάσεως βοήθεια του ασθενούς είναι μια σημαντική εφαρμογή υγειονομικής περίθαλψης που λαμβάνει όλο και μεγαλύτερη προσοχή στην κοινωνία. Αυτό δικαιολογεί το λόγο για τον οποίο ορισμένα έργα, όπως το ELLIOT και το TEFIS, αναπτύσσουν εξελιγμένες λύσεις και υπηρεσίες στον τομέα αυτό για να βελτιώσουν την ποιότητα της ζωής των πολιτών σε μελλοντικά αστικά περιβάλλοντα [3.30], [3.31]. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται (Σχήμα 3.12) μια περίπτωση χρήσης που σχεδιάστηκε από το έργο ELLIOT, η οποία έχει αναθεωρηθεί στο πλαίσιο του ICN. Σε αυτό το

παράδειγμα, μια ιατρική συσκευή αλληλεπιδρά με αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία στο σώμα ενός ασθενούς για να συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τις παραμέτρους ζωής του (όπως πίεση, ΗΚΓ, μέτρηση παλμών κ.ο.κ.) και τις κοινοποιεί σε απομακρυσμένο ιατρικό κέντρο εάν εντοπιστούν κάποιες ανωμαλίες.



Σχήμα 3.12: Περίπτωση χρήσης 6: Εξ αποστάσεως βοήθεια ασθενών (υπηρεσία ηλεκτρονικής υγείας).

Όπως αναφέρεται στο Σχήμα 3.12, η ιατρική συσκευή και οι αισθητήρες ανταλλάσσουν μηνύματα μέσω της τεχνολογίας IoT, ενώ η επικοινωνία με ένα

απομακρυσμένο ιατρικό κέντρο, δηλαδή ένα ασθενοφόρο στο παράδειγμά μας, γίνεται μέσω της υποδομής LTE/5G. Η ιατρική συσκευή ζητά περιοδικά από τους αισθητήρες σώματος να δημιουργήσουν μια αναφορά σχετικά με τις παραμέτρους ζωής, εκδίδοντας ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το όνομα περιεχομένου να έχει οριστεί σε:

```
/domain/HealthCare/PatientAssistance/Query/DataMonitoring  
/TypeOfData.
```

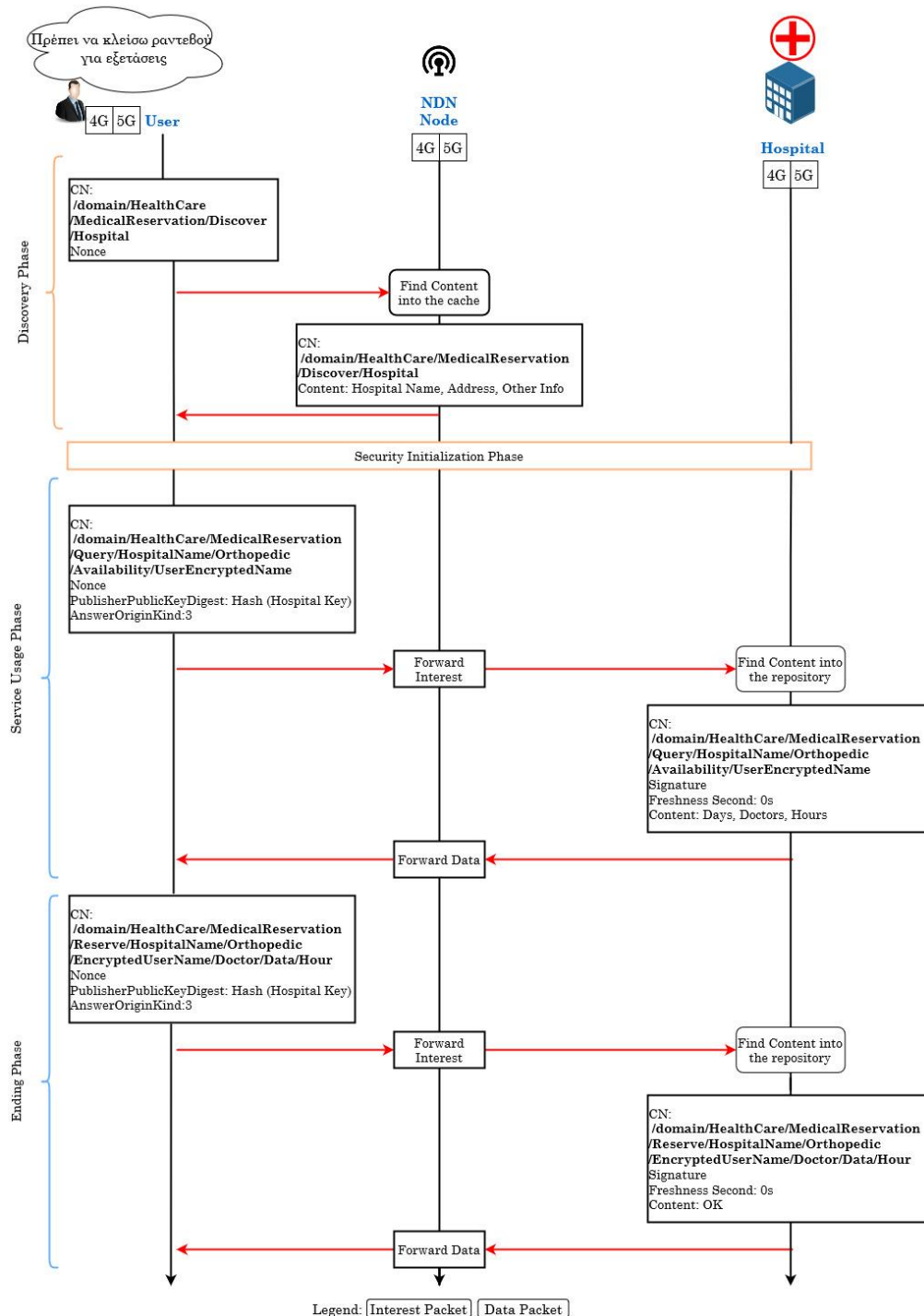
Συλλέγοντας όλες τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε όλα τα λαμβανόμενα πακέτα δεδομένων, θα μπορούσε να εντοπίσει την παρουσία μιας ανωμαλίας. Εάν εντοπιστεί μια ανωμαλία, θα επικοινωνήσει αμέσως με την πλησιέστερη ιατρική μονάδα, ενεργοποιώντας την έτσι ώστε να παράσχει επείγουσα βοήθεια στον ασθενή. Για το σκοπό αυτό, παράγεται και αποστέλλεται από τη διεπαφή LTE/5G ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το ακόλουθο όνομα περιεχομένου:

```
/domain/HealthCare/PatientAssistance/Query/HealthCare/PatientDetails  
/Data.
```

Αυτό το αίτημα φτάνει στο κοντινότερο ασθενοφόρο που θα αναπαράγει ένα πακέτο δεδομένων επιβεβαίωσης και θα φτάσει στον ασθενή για να του παράσχει βοήθεια.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα υπηρεσία στον τομέα των εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης σχετίζεται με το κλείσιμο ενός ραντεβού για μία ιατρική εξέταση. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα (Σχήμα 3.13) αποτελείται από έναν χρήστη που θέλει να κλείσει μια ορθοπεδική εξέταση σε ένα δημόσιο νοσοκομείο της πόλης του. Επιπλέον, θεωρείται δεδομένο στην συγκεκριμένη περίπτωση ότι ο χρήστης είναι συνδεδεμένος με το Διαδίκτυο

χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που βασίζεται στην τεχνολογία LTE/5G.



Σχήμα 3.13: Περίπτωση χρήσης 7: Ραντεβού ιατρικής εξέτασης (υπηρεσία ηλεκτρονικής υγειονομικής περίθαλψης).

Προκειμένου να ενημερωθεί για τις δομές υγειονομικής περίθαλψης που μπορούν να ικανοποιήσουν το αίτημά του, ο χρήστης ξεκινά τη φάση Ανακάλυψης διαχέοντας ένα πακέτο ενδιαφέροντος με το όνομα περιεχομένου ίσο με:

```
/domain/HealthCare/MedicalReservation/Discover/Hospital.
```

Αρκετοί κόμβοι NDN (π.χ. νοσοκομεία και συσκευές NDN που έχουν το περιεχόμενο αποθηκευμένο στην κρυφή μνήμη) μπορούν να απαντήσουν στο αίτημα. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να λάβει πολλαπλά πακέτα δεδομένων και στην συνέχεια να επιλέξει το νοσοκομείο της προτίμησής του, δηλαδή το HospitalName. Η φάση αρχικοποίησης ασφάλειας πραγματοποιείται για τη δημιουργία ασφαλούς επικοινωνίας και εγγυάται τον σεβασμό της ιδιωτικότητας, η οποία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες απαιτήσεις για την εξεταζόμενη περίπτωση χρήσης. Σε αυτό το σημείο, ο χρήστης είναι έτοιμος για το χειρισμό της φάσης χρήσης της υπηρεσίας: αποστέλλεται ένα νέο πακέτο ενδιαφέροντος που ζητά τις ημερομηνίες των απομακρυσμένων νοσοκομείων και τους διαθέσιμους γιατρούς για την εξέταση του αιτήματος. Το όνομα περιεχομένου ορίζεται σε:

```
/domain/HealthCare/MedicalReservation/      Query/      HospitalName/  
Orthopedic/Availability/UserEncryptedName.
```

Διατηρώντας αναλλοίωτα τα στοιχεία του ονόματος που υιοθετούνται κατά τη διαδικασία ανακάλυψης, τόσο το type-of-question όσο και το additional-info έχουν ενημερωθεί προκειμένου να αναφέρουν καλύτερα το αίτημα του χρήστη. Επιπλέον, τα πεδία PublisherPublicKeyDigest και AnswerOriginKind του πακέτου ενδιαφέροντος έχουν οριστεί κατάλληλα για να εξασφαλιστεί ότι μόνο το επιλεγμένο νοσοκομείο θα παράγει την απάντηση. Ως απάντηση στο αίτημα του χρήστη, το νοσοκομείο θα στείλει ένα πακέτο δεδομένων με κρυπτογραφημένο φορτίο. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη περίπτωση το Freshness Second θα οριστεί στο μηδέν για να

απαγορευτούν τυχόν διαδικασίες προσωρινής αποθήκευσης. Τέλος, ο χρήστης θα δημιουργήσει άλλο ένα πακέτο ενδιαφέροντος για την κράτηση της εξέτασης. Τώρα, οι πρόσθετες πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στο Όνομα Περιεχομένου χρησιμοποιούνται για τη συγκεκριμένη επιλογή που πραγματοποιεί ο χρήστης:

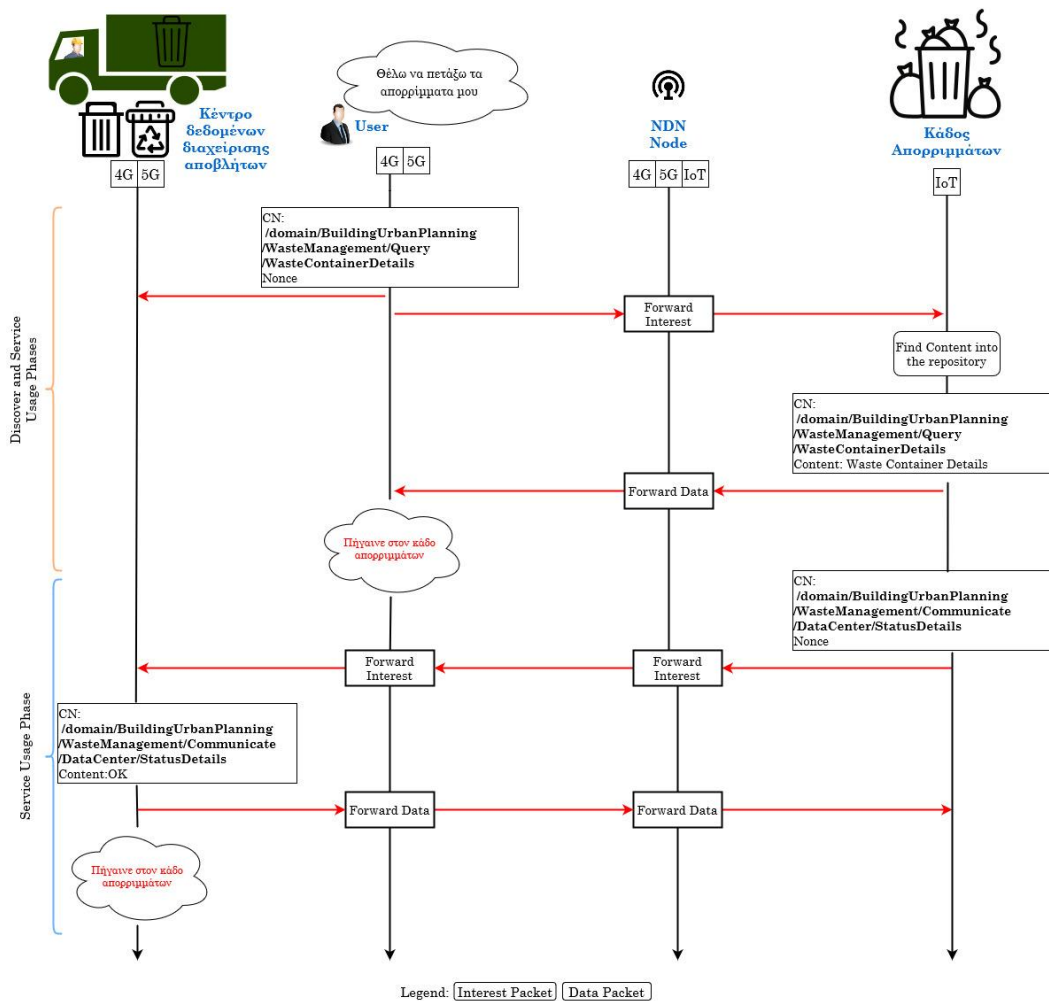
```
/domain/HealthCare/MedicalReservation/Reserve/HospitalName/  
Orthopedic/UserEncryptedName/Doctor/Data/Hour.
```

Αφού υλοποιηθούν όλα τα παραπάνω το νοσοκομείο θα επιβεβαιώσει την κράτηση στέλνοντας ένα νέο πακέτο δεδομένων.

5. Υπηρεσία πολεοδομικού σχεδιασμού: διαχείριση αποβλήτων σε αστικό περιβάλλον

Ένας αποτελεσματικός πολεοδομικός σχεδιασμός μπορεί, χωρίς καμία αμφιβολία, να βελτιώσει την ποιότητα ζωής όλων των πολιτών. Ένα αναδυόμενο ζήτημα που επηρεάζει τις σύγχρονες αστικές περιοχές είναι η διαχείριση των αποβλήτων [3.32]. Η τελευταία περίπτωση χρήσης που θα αναλυθεί σε αυτή την ενότητα σχετίζεται με την έξυπνη διαχείριση των απορριμμάτων σε μια πόλη. Το σενάριο στο Σχήμα 3.14 απεικονίζει έναν χρήστη που θέλει να γνωρίζει τον κάδο απορριμμάτων στον οποίο μπορεί να πετάξει τα σκουπίδια του. Για το σκοπό αυτό, στέλνει ένα πακέτο ενδιαφέροντος με όνομα περιεχομένου ίσο με:

```
/domain/BuildingUrbanPlanning/WasteManagement/Query  
/WasteContainerDetails.
```



Σχήμα 3.14: Περίπτωση χρήσης 8: Διαχείριση αποβλήτων σε αστικό περιβάλλον

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το πεδίο `additional-info` είναι κατάλληλα κατασκευασμένο ώστε να ζητά όχι μόνο τη θέση του δοχείου απορριμμάτων, αλλά και να καταλαβαίνει αν είναι άδειο ή όχι. Αυτές οι λεπτομέρειες θα παρέχονται από το δοχείο απορριμμάτων εντός του παραγόμενου πακέτου δεδομένων. Επιπλέον, ο κάδος απορριμμάτων μπορεί να κοινοποιεί σε ένα απομακρυσμένο κέντρο δεδομένων το επίπεδο πλήρωσής του. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται απευθείας στο όνομα περιεχομένου του πακέτου ενδιαφέροντος: `/domain/BuildingUrbanPlanning/WasteManagement/Communicate/DataCenter/StatusDetails`.

Τέλος το κέντρο δεδομένων διαχείρισης αποβλήτων απαντά με ένα πακέτο δεδομένων επιβεβαίωσης και στη συνέχεια ανταποκρίνεται κατάλληλα στο μήνυμα που έλαβε (π.χ. προγραμματίζοντας το άδειασμα του δοχείου απορριμμάτων).

Εν κατακλείδι, το μελλοντικό Διαδίκτυο μπορεί να προσφέρει λύσεις σε πολλές προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν οι Έξυπνες Πόλεις- αλλά, αντίθετα, και οι Έξυπνες Πόλεις μπορούν να αποτελέσουν ένα εξαιρετικό πειραματικό περιβάλλον για τη διερεύνηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των αρχιτεκτονικών του μελλοντικού Διαδικτύου σε διάφορους τομείς εφαρμογών [3.1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

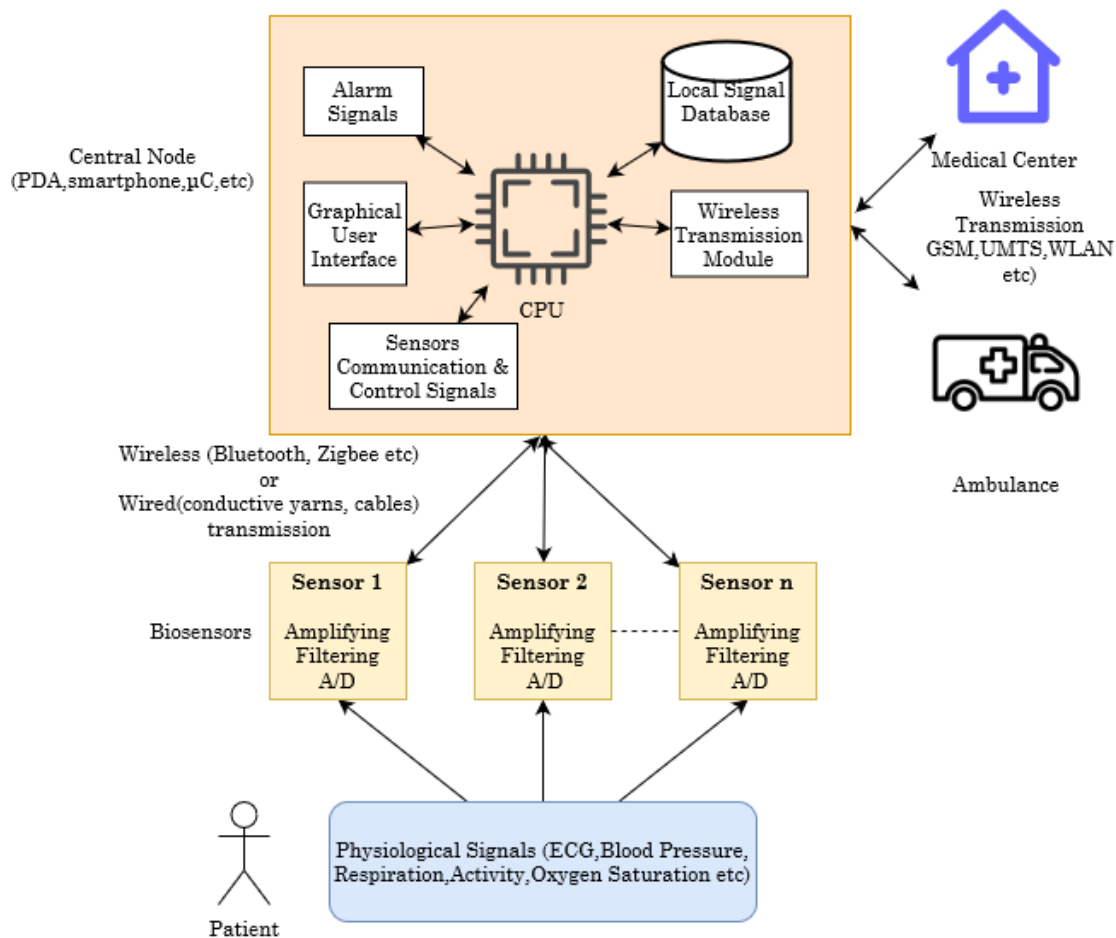
Σενάριο Εργασίας

(Υποκεφάλαιο 4.1) Προδιαγραφές σεναρίου εργασίας

(Ενότητα 4.1.1) Προδιαγραφές Ασύρματης Επικοινωνίας για WHMS

Οι φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγείας (WHMS) έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας και της βιομηχανίας σε μεγάλο βαθμό [4.1], [4.2], [4.3]. Καθώς το κόστος της υγειονομικής περίθαλψης αυξάνεται και ο παγκόσμιος πληθυσμός γερνάει [4.4], δημιουργήθηκε η ανάγκη παρακολούθησης της κατάστασης της υγείας ενός ασθενούς μετά το εξιτήριο από το νοσοκομείο και καθώς νοσηλεύεται στο προσωπικό του περιβάλλον.

Όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 4.1, η μεταφορά δεδομένων μέτρησης στο γενικό πλαίσιο των φορητών συσκευών παρακολούθησης της υγείας, πρέπει να πραγματοποιείται για δύο διαφορετικούς σκοπούς: 1) για την κοινοποίηση των συλλεγόμενων φυσιολογικών σημάτων από τους βιοαισθητήρες στον κεντρικό κόμβο του συστήματος και 2) για την αποστολή των συγκεντρωτικών μετρήσεων από την φορητή συσκευή σε έναν απομακρυσμένο ιατρικό κέντρο ή στην κινητή συσκευή ενός γιατρού.



Σχήμα 4.1 Αρχιτεκτονική μιας φορητής συσκευής παρακολούθησης της υγείας

Η μετάδοση δεδομένων τύπου 1) ή αλλιώς η μετάδοση μικρής εμβέλειας μπορεί να μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με καλώδια είτε με πολλαπλές ασύρματες συνδέσεις. Στην πρώτη περίπτωση, η κινητικότητα και η άνεση του χρήστη μπορεί να παρεμποδιστεί σοβαρά από τη χρήση καλωδίων και επιπλέον υπάρχει αυξημένος κίνδυνος αστοχίας του συστήματος [4.9].

Μια πιο ευνοϊκή προσέγγιση στο θέμα αυτό είναι η χρήση αγωγίμων νημάτων για τη μετάδοση των μετρήσεων που συλλέγονται από αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε κάποιο είδος εύκαμπτου έξυπνου υφάσματος ένδυσης [4.10].

Εναλλακτικά, στην τελευταία περίπτωση, οι αυτόνομοι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να σχηματίσουν ένα δίκτυο περιοχής σώματος (BAN) ή ένα δίκτυο

αισθητήρων σώματος (BSN) μεταδίδοντας τα δεδομένα στον κεντρικό κόμβο του κεντρικού κόμβου του δικτύου περιοχής σώματος ή αλλιώς του σωματικού δικτύου, ο οποίος μπορεί να είναι ένα PDA, ένα έξυπνο τηλέφωνο, ένας υπολογιστής τσέπης ή μια ειδικά σχεδιασμένη συσκευή βασισμένη σε μικροελεγκτή.

Όσον αφορά τον τύπο 2) μετάδοση δεδομένων ή αλλιώς επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας μεταξύ του WHMS και ενός απομακρυσμένου σταθμού ή συσκευής, θεωρείται ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων ασύρματων τεχνολογιών που μπορούν να εξυπηρετήσουν αυτόν τον στόχο. Τέτοιες τεχνολογίες είναι το WLAN, το GSM, το GPRS, το UMTS και το WiMAX, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν ευρεία κάλυψη και καθολική πρόσβαση στο δίκτυο. Επιπλέον, η υλοποίηση σε διεθνή κλίμακα της νέας γενιάς κινητής τηλεφωνίας 5G, μαζί με τα υφιστάμενα ευρυζωνικά κινητά δίκτυα 4G/4G+ [4.11] αναμένεται να αποτελέσουν την βασική υποδομή συστημάτων έξυπνης υγείας και, συνεπώς, να διευκολύνουν αποτελεσματικότερα την αναγκαιότητα συλλογής μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο από μία φορητή συσκευή παρακολούθησης της υγείας σε απομακρυσμένη τοποθεσία.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας στα σωματικά δίκτυα είναι το IEEE 802.15.1 (Bluetooth) και το 802.15.4 (ευρέως αναφερόμενο ως Zigbee, αν και το Zigbee περιλαμβάνει τις προδιαγραφές των επιπέδων δικτύου, ασφάλειας και εφαρμογής πάνω από το επίσημο πρότυπο), που αρχικά αποτελούσαν μέρος της ομάδας εργασίας 802.15 για το ασύρματο δίκτυο προσωπικής περιοχής (WPAN).

Το πρότυπο Zigbee [4.12] στοχεύει σε λύσεις χαμηλού κόστους, χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων με διάρκεια ζωής μπαταρίας από πολλούς μήνες έως πολλά χρόνια και πολύ χαμηλή πολυπλοκότητα. Λειτουργεί σε 16 κανάλια στη βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική (ISM) ζώνη των 2,4 GHz (250 kb/s, διαμόρφωση OQPSK), σε 10 κανάλια στη ζώνη των 915 MHz (40 kbps, διαμόρφωση BPSK) και σε ένα κανάλι στη ζώνη των 868 MHz (20

kb/s, διαμόρφωση BPSK). Χρησιμοποιεί πρόσβαση σε κανάλι με δυνατότητα ανίχνευσης σύγκρουσης πολλαπλής πρόσβασης με αίσθηση φέροντος (CSMA-CA) ή συγχρονισμένη πρόσβαση σε κανάλι με βάση μηχανισμό ραδιοφάρου και κωδικοποίηση φάσματος διασποράς άμεσης ακολουθίας (DSSS).

Η μέγιστη εμβέλεια μετάδοσης είναι περίπου 75m και οι αρχιτεκτονικές δικτύου που υποστηρίζονται περιλαμβάνουν τοπολογίες αστέρα, συστοιχίας δέντρων και πλέγματος. Τέλος, το Zigbee χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο προηγμένου προτύπου κρυπτογράφησης (AES) με 128-bit για να εγγυηθεί την ακεραιότητα και την ιδιωτικότητα των μηνυμάτων και για την πραγματοποίηση ελέγχου ταυτότητας.

Το Bluetooth [4.3] είναι μια βιομηχανική προδιαγραφή για συνδεσιμότητα μικρής εμβέλειας με βάση τα ραδιοκύματα μεταξύ φορητών και σταθερών συσκευών. Είναι ένα πρότυπο RF χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους, που λειτουργεί στο μη αδειοδοτημένο φάσμα 2,4 GHz. Χρησιμοποιεί τεχνική frequency hopping (FHSS) σε 79 κανάλια στη ζώνη ISM για την καταπολέμηση των παρεμβολών και της εξασθένισης και μπορεί να υποστηρίξει έως και 3Mb/s στη λειτουργία ενισχυμένου ρυθμού δεδομένων και μέγιστη απόσταση μετάδοσης 100 m (αν και τα 10 m είναι η πιο συνηθισμένη λειτουργία). Η βασική του διαμόρφωση είναι το piconet, πιο συγκεκριμένα ένα δίκτυο τοπολογίας αστέρα με έναν κύριο και επτά υποτελείς, όπου ο κύριος παρέχει την αναφορά συγχρονισμού (κοινό ρολόι και μοτίβο άλματος συχνότητας).

Η κρυπτογράφηση είναι προαιρετική και παρέχεται από έναν αλγόριθμο SAFER+ 64 ή 128 bit, ωστόσο, το πλαίσιο Bluetooth συναντάται συχνά να είναι ευάλωτο σε πιθανές επιθέσεις και κινδύνους [4.14], [4.15]. Τέλος, η Bluetooth SIG ανακοίνωσε λίγο αργότερα την προσθήκη δύο εναλλακτικών στοιβών πρωτοκόλλων, π.χ. το Bluetooth low energy, μια τεχνολογία εξαιρετικά χαμηλής ισχύος για συσκευές με περιορισμένη χωρητικότητα μπαταρίας και την προδιαγραφή Bluetooth 5.2 που υιοθετεί τα Wi-Fi

PHY/MAC στρώματα για υψηλότερη απόδοση δεδομένων. Η τεχνολογία Bluetooth χαμηλής ενέργειας επιτρέπει την κατανάλωση μόνο ενός μικρού κλάσματος της ισχύος των αρχικών προϊόντων Bluetooth και μεταξύ άλλων στοχεύει σε συσκευές αθλητισμού και ευεξίας και σε συσκευές υγειονομικής περιθάλψης.

Εναλλακτικές τεχνολογίες για ενδο-σωματική δικτυακή επικοινωνία μικρής εμβέλειας περιλαμβάνουν τις υπέρυθρες (IrDA), την επικοινωνία ιατρικών εμφυτευμάτων (MICS) και την υπερ-ευρυζωνικότητα (UWB). Το IrDA είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας χαμηλού κόστους για ανταλλαγή δεδομένων μικρής εμβέλειας μέσω υπέρυθρου φωτός. Παρά το γεγονός ότι είναι μια τεχνολογία χαμηλής ισχύος που υποστηρίζει ταχύτητες έως και 16 Mb/s, έχει το κύριο μειονέκτημα ότι απαιτεί επικοινωνία σε οπτική επαφή, καθιστώντας την έτσι μη πρακτική για εφαρμογές WHMS.

Το MICS είναι μια μη αδειοδοτημένη κινητή ραδιοφωνική υπηρεσία εξαιρετικά χαμηλής ισχύος για τη μετάδοση δεδομένων χαμηλού ρυθμού για την υποστήριξη διαγνωστικών ή θεραπευτικών λειτουργιών που σχετίζονται με ιατρικές συσκευές [4.16]. Χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων 402-405 MHz, με κανάλια 300 kHz. Η αποτελεσματική ιστροπική επαναδιαχειριρόμενη ισχύς (EIRP) περιορίζεται στα 25 μ W και απευθύνεται κυρίως σε συσκευές όπως βηματοδότες και απινιδωτές. Παρά τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά του, το MICS δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από τους ερευνητές λόγω της έλλειψης εμπορικά διαθέσιμων λύσεων MICS. Τέλος, το UWB, που λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων 3.1-10.6 GHz, είναι ένα πρότυπο που είναι ακατάλληλο για τα σωματικά δίκτυα (BANs) λόγω της υψηλής πολυπλοκότητάς του και της ακατάλληλης διαμόρφωσης μεγάλου εύρους ζώνης [4.4].

Ο πίνακας 4.1 παρακάτω παρέχει μια αναφορά στα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των επικρατέστερων ασύρματων τεχνολογιών για τις φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγείας.

Προηγουμένως, έγινε φανερό ότι τα υπάρχοντα πρότυπα δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των δικτύων περιοχής σώματος, είτε λόγω προβλημάτων παρεμβολών [4.17] είτε λόγω ανησυχιών για την ασφάλεια είτε λόγω του παράγοντα μορφής των μονάδων υλικού ή της κατανάλωσης ενέργειας.

Ως απάντηση σε αυτά τα ζητήματα, η ομάδα εργασίας 802.15.6 IEEE [4.18] σχεδίασε την ανάπτυξη ενός προτύπου επικοινωνίας βελτιστοποιημένου για συσκευές χαμηλής ισχύος και λειτουργία πάνω, μέσα ή γύρω από το ανθρώπινο σώμα. Σύμφωνα με τις εκθέσεις της TG6, το υπό ανάπτυξη πρότυπο θα πρέπει να υποστηρίζει κλιμακούμενους ρυθμούς μετάδοσης (από 1 kb/s έως εκατοντάδες Mb/s), θα πρέπει να είναι πρωτόκολλο μικρών αποστάσεων (2 m έως το πολύ 5 m), θα επιτρέπει εύρος δικτύου έως και 100 συσκευές και θα πρέπει να εγγυάται πολύ χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, π.χ. 0.1-1 mW.

Τέλος, η ζώνη 2360-2400 MHz έχει προταθεί για τις ιατρικές υπηρεσίες σωματικών δικτύων (BAN), για να αξιοποιηθεί η ενσωμάτωση έτοιμων στοιχείων και να αποφευχθούν παρεμβολές από άλλες ασύρματες τεχνολογίες.

Πίνακας 4.1: Προδιαγραφές Ασύρματων Επικοινωνιών

	Range (Typical)	Data Rate (Max)	Power Consumption	Cost per Chip	Frequency
Zigbee	10-75m	20kbps/	30mW	2\$	868MHz/
		40kbps/			915MHz/
		250kbps			2.4GHz
Bluetooth	10-100m	1-3Mbps	2.5-100mW	3\$	2.4GHz
IrDA	1m	16Mbps	-	2\$	Infrared
MICS	2m	500kbps	25μW	-	402-405MHz
802.11g	200m	54Mbps	1W	9\$	2.4GHz

(Υποκεφάλαιο 4.2) Υλοποίηση σεναρίου εργασίας

(Ενότητα 4.2.1) Επίδραση των εγγενών χαρακτηριστικών διάδοσης για τον χαρακτηρισμό του καναλιού uplink για ευρυζωνική υπηρεσία παρακολούθησης βιο-φυσιολογικών παραμέτρων στα πλαίσια υλοποίησης έξυπνης πόλης

Σε αυτή την ενότητα εξετάζουμε την επίδραση των συνθηκών του καναλιού στην επιλογή σεναρίου διαμόρφωσης και την απόδοση του εν λόγω σεναρίου διαμόρφωσης για την περίπτωση τοπολογίας που εξετάζουμε, της εφαρμογής έξυπνης υγείας ενός σεναρίου κάλυψης έξυπνης πόλης. Αυτό το σενάριο προϋποθέτει την καταγραφή τιμών σε βιοαισθητήρα στο σπίτι ενός πολίτη. Εστιάζουμε στο κανάλι ανοδικής ζεύξης (uplink) το οποίο πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες της τοπολογίας διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους, καθώς και τις απώλειες διείσδυσης από εσωτερικό σε εξωτερικό χώρο.

Υποθέτουμε ότι στους πολίτες προσφέρεται μια υπηρεσία παρακολούθησης που μετρά μια βιοφυσιολογική μετρική, όπως για παράδειγμα η γλυκόζη. Ο βιοαισθητήρας, που λειτουργεί ως συσκευή Internet-of-Medical-Things (IoMT), καταγράφει αυτές τις βιοφυσιολογικές τιμές σε τακτά χρονικά διαστήματα, η συχνότητα των οποίων καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα μνήμης του βιοαισθητήρα και από την ανθεκτικότητα του στοιχείου ADC, έτσι ώστε οι συλλεγόμενες τιμές γλυκόζης να μετατρέπονται σε ψηφιακό σήμα βασικής ζώνης με βάση μια τυπική τεχνική PCM [4.20].

Προκειμένου να διατηρηθεί η προδιαγραφή των εξαιρετικά αξιόπιστων επικοινωνιών χαμηλής καθυστέρησης (URLLCs) που θέτει η τεχνολογία 5G, με μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης 1 ms, τότε, ο ρυθμός μετάδοσης, R_s (ρυθμός συστήματος), πρέπει να λάβει μια ελάχιστη τιμή που να επικυρώνει το όριο του 1 ms όσον αφορά την καθυστέρηση [4.21].

Η καθυστέρηση μετάδοσης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φορτωθούν όλα τα bits του πακέτου στη ζεύξη μετάδοσης. Εξαρτάται από το μέγεθος των δεδομένων και το ρυθμό του καναλιού (σε bps). Ο τύπος για την καθυστέρηση μετάδοσης δίνεται από τον [4.22]:

$$t = \frac{L}{R_s} \quad (4.1)$$

όπου L είναι το μήκος του πακέτου και Rs είναι ο ρυθμός μετάδοσης (του συστήματος).

Προκειμένου να διατηρηθούν οι προδιαγραφές των εξαιρετικά αξιόπιστων επικοινωνιών χαμηλής καθυστέρησης (URLLCs) που θέτει η τεχνολογία 5G, με μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης 1 ms, ο ρυθμός μετάδοσης, Rs (ρυθμός συστήματος), θέτει ένα ανώτατο όριο στο μέγιστο μήκος των πληροφοριών που μεταδίδονται εντός του εν λόγω χρονικού πλαισίου του 1 ms [4.21].

Πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη δύο διαφορετικές τοπολογίες και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του καναλιού τους: τοπολογία εσωτερικού χώρου από τον βιοαioθητήρα προς το κινητό τερματικό 5G και από το τερματικό 5G προς τον υπαίθριο σταθμό βάσης 5G (μέσω διείσδυσης στον εξωτερικό τοίχο της πολυκατοικίας).

Το εσωτερικό σενάριο διάδοσης μπορεί να παρέχει δύο πιθανά σχήματα: οπτική επαφή (LOS) μεταξύ του βιοαioθητήρα και του κινητού τερματικού 5G και παρεμπόδιση της LOS (OLOS/NLOS) παρουσία εμποδίων.

Το σενάριο διάδοσης από εσωτερικό σε εξωτερικό χώρο, δεδομένου ότι υπάρχει διείσδυση του εξωτερικού τοίχου του διαμερίσματος προκειμένου να δημιουργηθεί μια σύνδεση μεταξύ του κινητού τερματικού 5G (σε εσωτερικό χώρο) και της δημοτικής κεραίας έξυπνης πόλης με δυνατότητα 5G (σε εξωτερικό χώρο)- το σχήμα είναι αυστηρά NLOS, με έντονο βάθος σκίασης ίσο με 10 dB [4.23]-[4.25].

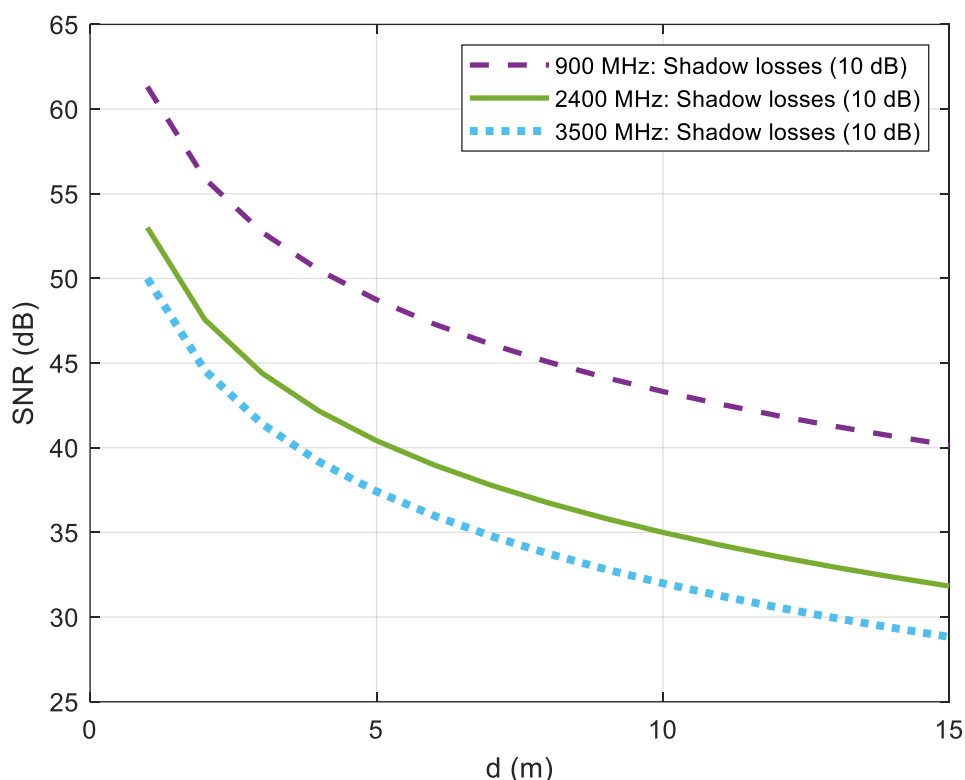
Ως εκ τούτου, εξετάζουμε αρχικά το σενάριο ασύρματης μετάδοσης δεδομένων από τον βιοαισθητήρα στο κινητό τερματικό 5G εντός του περιβάλλοντος ενός δωματίου με μέγιστη εμβέλεια 15 m. Όπως αναφέρθηκε, διακρίνουμε δύο πιθανές συνθήκες διάδοσης- στο πρώτο σενάριο, η μετάδοση πραγματοποιείται υπό ιδανικές συνθήκες, με απώλειες βάση της απόστασης, δηλαδή ντετερμινιστικές απώλειες. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι δεν λαμβάνουμε υπόψη κανένα εμπόδιο μεταξύ πομπού και δέκτη, υποθέτοντας την ύπαρξη οπτικής επαφής (LOS) μεταξύ των δύο κεραιών [4.21].

Στο δεύτερο σενάριο, θεωρούμε μια απώλεια σκίασης 10 dB λόγω του γεγονότος των εμποδίων και των συνολικών φαινομένων διάδοσης που επηρεάζουν και παραμορφώνουν το σήμα, απομακρυνόμενοι από το μοντέλο της ιδανικής ασύρματης διάδοσης [4.26]. Στην περίπτωση αυτή, για απόκλιση σκίασης 6 dB, τιμή αρκετά "μέτρια" για δεδομένη παρουσία εμποδίων [4.27], παρατηρείται σημαντική πτώση της στάθμης του σήματος.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι απόκλιση σκίασης 6 dB μπορεί επίσης να παρουσιαστεί εάν ένας φορητός βιοαισθητήρας εμποδίζεται προσωρινά από ένα κομμάτι ύφασμα από τα ρούχα του ασθενούς. Επομένως, δεν είναι απίθανο να εμφανιστούν τέτοιες απώλειες σκίασης ακόμη και αν δεν υπάρχουν μεγάλα εμπόδια στο δωμάτιο που να δημιουργούν ένα τυπικό εμπόδιο LOS μεταξύ των δύο κεραιών [4.21]. Για το λόγο αυτό, προχωράμε στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων SNR για το δεύτερο σενάριο.

Για να εξετάσουμε περαιτέρω τον αντίκτυπο αυτής της πιο ρεαλιστικής θεώρησης, παράγουμε τα αποτελέσματα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.2. Διερευνήθηκαν τρία διαφορετικά συστήματα φορέων, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ασύρματου δικτύου περιοχής σώματος (WBAN) [4.26]: 900, 2400 και 3500 MHz. Η ζώνη των 900 MHz, ενώ χρησιμοποιείται ακόμη από ορισμένα συστήματα GSM, χρησιμοποιείται ευρέως για τη μετάδοση βιοαισθητήρων εντός ενός δωματίου, όπως και η ζώνη ISM (2,4 GHz).

Τέλος, εξετάσαμε την πιθανότητα ο βιοιοθητήρας να μεταδίδει στο κινητό τερματικό απευθείας στο κανάλι 5G 3,5 GHz. Για τη ζώνη 900 MHz και τη ζώνη ISM θεωρήθηκε επίπεδο θορύβου -80 dBm, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [4.26], ενώ για το κανάλι 3,5 GHz θεωρήθηκε επίπεδο θορύβου -85 dBm, όπως προκύπτει από εκτενείς μετρήσεις [4.27].



Σχήμα 4.2 Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) για ασύρματη διάδοση σε ένα δωμάτιο (εμβέλεια 15 μέτρων) για βάθος σκίασης 10 dB στα 900, 2400 και 3500 MHz

Με βάση τα ευρήματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2, ακόμη και για τη χειρότερη τιμή SNR για το κανάλι των 3,5 GHz, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σενάριο διαμόρφωσης QAM-16 [4.21]. Αυτό είναι ένα σενάριο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται και στο πρωτόκολλο 5G [4.27].

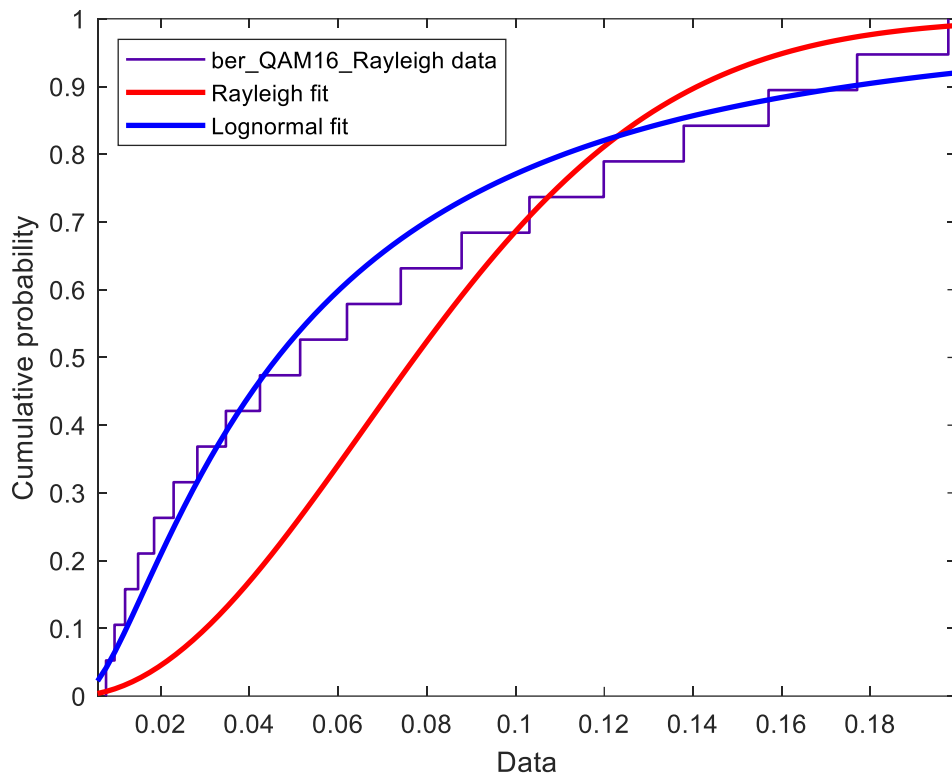
Όσον αφορά την ζεύξη από εσωτερικό σε εξωτερικό χώρο, η οποία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μπορεί να περιγραφεί αξιόπιστα μόνο ως σενάριο καναλιού NLOS, τα αποτελέσματα προσομοίωσης, που διεξήχθησαν στο MATLAB για τον ρυθμό σφάλματος bit (BER) λαμβάνοντας υπόψη τη διαμόρφωση QAM-16, παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.3.

Μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα ότι η κατανομή log-normal παρέχει μια ελαφρώς καλύτερη προσαρμογή από την προσαρμογή Rayleigh. Και οι δύο κατανομές συμμορφώνονται με ένα σενάριο καναλιού NLOS [4.23]-[4.25].

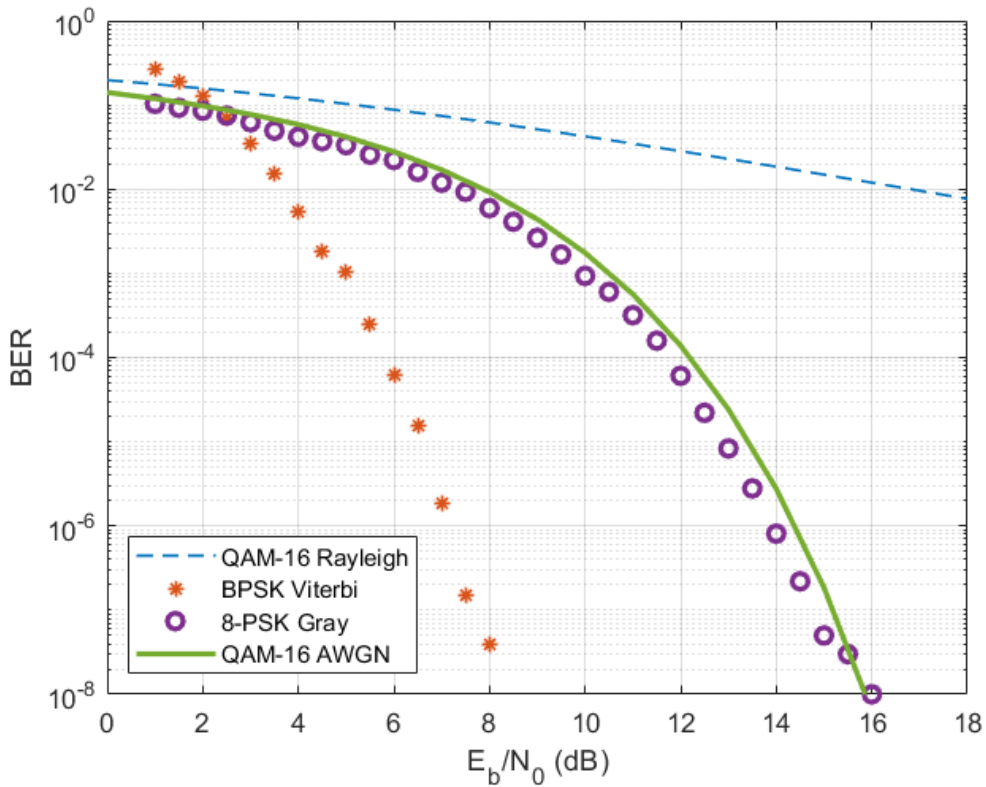
Το Σχήμα 4.4 παρέχει τις επιδόσεις των προσομοιώσεων BER vs. Eb/No που εκτελούνται για διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης και ποικίλες υποθέσεις καναλιού (Rayleigh vs. AWGN). Πρέπει να σημειωθεί ότι το AWGN σε αυτό το πλαίσιο δεν αναιρεί την υποχρεωτική συνθήκη NLOS που εξετάζεται για την τοπολογία διάδοσης από εσωτερικό σε εξωτερικό χώρο- απλώς δίνει προτεραιότητα στις απώλειες εξασθένισης μεγάλης κλίμακας (λόγω του γεγονότος της απώλειας σκίασης) έναντι της εξασθένισης μικρής κλίμακας (λόγω του γεγονότος της πολυδιαδρομής), επιτρέποντας ένα ευρύτερο περιθώριο εξασθένισης.

Αυτό μπορεί να ισχύει για τα ημι-στατικά κανάλια εξασθένισης Rayleigh, όπου τα χαρακτηριστικά του καναλιού παραμένουν σταθερά (αν και εξακολουθούν να παρέχουν ένα σενάριο NLOS) για τη μετάδοση ενός ολόκληρου μήκους πληροφορίας. Επιλέγουμε να εργαστούμε με ένα "αυστηρότερο" σχήμα διαμόρφωσης στο κανάλι ανοδικής ζεύξης, επειδή σε αυτή τη ροή έχουμε τα πιο ευαίσθητα βιοϊατρικά δεδομένα (ψηφιακή βασική ζώνη που προέρχεται από τα βιοφυσικά δεδομένα)- ως εκ τούτου, οι απαιτήσεις είναι υψηλότερες όσον αφορά την ευρωστία και την αξιοπιστία, συμμορφούμενες επίσης με τις προδιαγραφές URLLC.

Στην περίπτωση μας, ένα Eb/No των 16 dB με χειρότερο σενάριο 10 dB SNR μπορεί να οδηγήσει σε ρυθμό 500-600 Kbps για εύρος ζώνης 2 MHz που διατίθεται ανά χρήστη εντός του φάσματος έξυπνης πόλης ενός δικτύου με δυνατότητα 5G. Αυτό οδηγεί σε περίπου 500-600 bits μήκους πληροφορίας που μεταδίδονται εντός του χρονικού πλαισίου της καθυστέρησης 1 ms που ορίζεται από το URLLC.



Σχήμα 4.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης BER για NLOS κανάλι με σενάριο διαμόρφωσης QAM-16



Σχήμα 4.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης BER vs E_b/N_0 για διαφορετικά σενάρια διαμόρφωσης και συνθήκες καναλιού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος του "ολοκληρωμένου οράματος" των έξυπνων πόλεων είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών με βιώσιμο τρόπο. Για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι σημαντικό να υπάρχει πολύ καλός συντονισμός μεταξύ των διαφόρων ενδιαφερομένων στο οικοσύστημα της έξυπνης πόλης. Τα ασύρματα συστήματα 3G/4G δεν μπορούν να υποστηρίξουν τις αναδυόμενες υπηρεσίες εφαρμογών, οι οποίες επιδιώκουν να παρέχουν συναρπαστική εμπειρία στόχου, όπως αξιοπιστία, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και ενεργειακή αποδοτικότητα της συσκευής, όπως απαιτείται στο πλήρες δυναμικό του οράματος μιας έξυπνης πόλης.

Το 5G μπορεί να συνδέσει ασύρματα δίκτυα με χιλιάδες διαφορετικές έξυπνες συσκευές, όπως αυτοκίνητα, οικιακές συσκευές, μηχανήματα και τεχνολογία κινητών συσκευών. Οι δήμοι μπορούν να χρησιμοποιούν τεχνολογίες έξυπνης πόλης, όπως συνδεδεμένους αισθητήρες και δεδομένα, για να παρέχουν υπηρεσίες πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά.

Το 5G μπορεί να μετασχηματίσει τις αλυσίδες αξίας και να επιτρέψει νέες ευκαιρίες σε πρωτοφανή κλίμακα για την επιτυχή υλοποίηση των έξυπνων πόλεων. Το 5G μπορεί να επιτρέψει νέες ευκαιρίες στις έξυπνες πόλεις δημιουργώντας θέσεις εργασίας λόγω του γεγονότος της υλοποίησης της δικής του δικτυακής υποδομής και ως αποτέλεσμα της ενεργοποίησης νέων εφαρμογών λόγω της ανάπτυξής του. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης, η οποία αυξάνει το ετήσιο ΑΕΠ της πόλης.

Οι φορείς εκμετάλλευσης έξυπνων πόλεων θα πρέπει να διασφαλίσουν ότι όλοι οι πολίτες είναι σε θέση να επωφεληθούν πλήρως από τις νέες ευκαιρίες

και τις βελτιωμένες υπηρεσίες που παρέχει το 5G. Οι υπηρεσίες αυτές θα πρέπει να είναι προσβάσιμες και προσυτές σε όλους. Θα πρέπει επίσης να θεοπιστούν σαφείς κανόνες για την απόκτηση και τη χρήση των δεδομένων των πολιτών, ώστε να αποτραπεί ο κακός χειρισμός και να προστατευθεί η ιδιωτική ζωή.

Οι φορείς εκμετάλλευσης έξυπνων πόλεων θα πρέπει επίσης να υιοθετήσουν σχέδια ψηφιακής ενσωμάτωσης για να διασφαλίσουν ότι όλα τα κοινοτικά τμήματα της πόλης θα επωφεληθούν εξίσου από τις ευκαιρίες που παρέχει το 5G. Το πλήρες δυναμικό των έξυπνων πόλεων μπορεί να απελευθερωθεί από τα δίκτυα 5G, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και νέες επιχειρήσεις. Οι έξυπνες πόλεις με δυνατότητα 5G μπορούν να προωθήσουν την οικονομική ανάπτυξη και να βελτιώσουν τις υπηρεσίες και την ποιότητα ζωής για όλες τις αστικές κοινότητες.

Στην παρούσα εργασία, καθιερώσαμε μια νέα μέθοδο για την ανάπτυξη κεραιών με στόχο την ευρυζωνική συνδεσιμότητα για ένα δημοτικό σύστημα σταθμών βάσης με δυνατότητα 5G με την παροχή ρυθμού bit downlink προς τους πολίτες που μένουν στο σπίτι. Εστιάζουμε στην μελέτη του uplink channel (ροή δεδομένων ανοδικής ζεύξης) του κινητού τερματικού 5G προς το σταθμό βάσης μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως την κατανομή του φάσματος υποφερόντων 2 MHz.

Για το uplink τμήμα της μετάδοσης, εξετάστηκε η διαμόρφωση QAM-16. Η εξασθένιση μεγάλης κλίμακας λόγω του γεγονότος των απωλειών σκιών μπορεί να έχει προτεραιότητα έναντι της εξασθένισης πολλαπλών διαδρομών, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις ενέργειας ανά bit, διατηρώντας παράλληλα ένα πολύ χαμηλό BER. Έτσι, για μια worst-case περίπτωση SNR "άκρου κυπέλης", ένα κλάσμα της ευρυζωνικής συνδεσιμότητας είναι διαθέσιμο για τη μετάδοση σήματος, οδηγώντας σε περιορισμούς στη σηματοδοσία βασικής ζώνης, για τη διατήρηση των υποχρεωτικών προδιαγραφών URLCC.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.1] M. H. Alsharif and R. Nordin, “Evolution towards fifth generation (5G) wireless networks: Current trends and challenges in the deployment of millimetre wave, massive MIMO, and small cells,” *Telecommunication Systems*, vol. 64, no. 4, pp. 617–637, Apr. 2017, doi: 10.1007/s11235-016-0195-x.
- [1.2] H. Benn, *Vision and key features for 5th generation (5G) Cellular*. Samsung R&D Institute UK, 2014.
- [1.3] Z. Zhang et al., “6G wireless networks: vision, requirements, architecture, and key technologies,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 14, no. 3, pp. 28–41, Sep. 2019, doi: 10.1109/MVT.2019.2921208.
- [1.4] S. Chen, Y.-C. Liang, S. Sun, S. Kang, W. Cheng, and M. Peng, “Vision, requirements, and technology trend of 6G: how to tackle the challenges of system coverage, capacity, user data-rate and movement speed,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 27, no. 2, pp. 218–228, Apr. 2020, doi: 10.1109/MWC.001.1900333.
- [1.5] M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena, “Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1617–1655, 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2532458.
- [1.6] S. Dang, O. Amin, B. Shihada, and M.-S. Alouini, “What should 6G be?,” *Nature Electronics*, vol. 3, no. 1, pp. 20–29, Jan. 2020, doi: 10.1038/s41928-019-0355-6.
- [1.7] E. C. Strinati et al., “6G: The next frontier: from holographic messaging to artificial intelligence using subterahertz and visible light communication,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 14, no. 3, pp. 42–58, Sep. 2019, doi: 10.1109/MVT.2019.2921162.
- [1.8] M. Latva-aho and K. Leppänen, *Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence*. University of Oulu, White Paper, 2019.
- [1.9] J. A. del Peral-Rosado, R. Raulefs, J. A. López-Salcedo, and G. Seco-Granados, “Survey of cellular mobile radio localization methods: from 1G to 5G,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 2, pp. 1124–1148, 2017, doi: 10.1109/COMST.2017.2785181.

- [1.10] S. Onoe, “1.3 evolution of 5G mobile technology toward 1 2020 and beyond,” in 2016 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), Jan. 2016, pp. 23–28, doi: 10.1109/ISSCC.2016.7417891.
- [1.11] T. S. Rappaport et al., “Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: it will work!,” *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013, doi: 10.1109/ACCESS.2013.2260813.
- [1.12] A. Abrol and R. K. Jha, “Power optimization in 5G networks: A step towards GrEEEn communication,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1355–1374, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2549641.
- [1.13] A. Gupta and R. K. Jha, “A survey of 5G network: architecture and emerging technologies,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206–1232, 2015, doi:10.1109/ACCESS.2015.2461602.
- [1.14] I. F. Akyildiz, D. M. Gutierrez-Estevez, and E. C. Reyes, “The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced,” *Physical Communication*, vol. 3, no. 4, pp. 217–244, Dec. 2010, doi: 10.1016/j.phycom.2010.08.001.
- [1.15] J. Hoydis and M. Debbah, “Green, cost-effective, flexible, small cell networks,” *IEEE Communications Society MMTC*, vol. 5, no. 5, pp. 23–26, 2010.
- [1.16] J. Xu et al., “Cooperative distributed optimization for the hyper-dense small cell deployment,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 5, pp. 61–67, May 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6815894.
- [1.17] S. Xu, J. Han, and T. Chen, “Enhanced inter-cell interference coordination in heterogeneous networks for LTE-advanced,” in 2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), May 2012, pp. 1–5, doi: 10.1109/VETECS.2012.6240203.
- [1.18] L. Lindbom, R. Love, S. Krishnamurthy, C. Yao, N. Miki, and V. Chandrasekhar, “Enhanced inter-cell interference coordination for heterogeneous networks in LTE-advanced: A survey,” arXiv preprint arXiv:1112.1344, Dec. 2011.
- [1.19] H. Lee, S. Vahid, and K. Moessner, “A survey of radio resource management for spectrum aggregation in LTE-advanced,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 745–760, 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.101813.00275.
- [1.20] M. H. Alsharif, A. H. Kelechi, M. A. Albreem, S. A. Chaudhry, M. S. Zia, and S. Kim, “Sixth generation (6G) wireless networks: vision, research activities, challenges and potential solutions,” *Symmetry*, vol. 12, no. 4, Apr. 2020, doi: 10.3390/sym12040676.

- [1.21] K. David and H. Berndt, "6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G?," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 13, no. 3, pp. 72–80, Sep. 2018, doi: 10.1109/MVT.2018.2848498.
- [1.22] R.-J. Essiambre and R. W. Tkach, "Capacity trends and limits of optical communication networks," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 5, pp. 1035–1055, May 2012, doi: 10.1109/JPROC.2012.2182970.
- [1.23] D. Semrau et al., "Achievable information rates estimates in optically amplified transmission systems using nonlinearity compensation and probabilistic shaping," *Optics Letters*, vol. 42, no. 1, pp. 121–124, Jan. 2017, doi: 10.1364/OL.42.000121.
- [1.24] T. Xu et al., "Modulation format dependence of digital nonlinearity compensation performance in optical fibre communication systems," *Optics Express*, vol. 25, no. 4, pp. 3311–3326, Feb. 2017, doi: 10.1364/OE.25.003311.
- [1.25] K. B. Letaief, W. Chen, Y. Shi, J. Zhang, and Y.-J. A. Zhang, "The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 8, pp. 84–90, Aug. 2019, doi: 10.1109/MCOM.2019.1900271.
- [1.26] M. H. Alsharif, M. A. M. Albreem, A. A. A. Solyman, and S. Kim, "Toward 6G communication networks: terahertz frequency challenges and open research issues," *Computers, Materials & Continua*, vol. 66, no. 3, pp. 2831–2842, 2021, doi:10.32604/cmc.2021.013176.
- [1.27] H. Elayan, O. Amin, B. Shihada, R. M. Shubair, and M.-S. Alouini, "Terahertz band: the last piece of RF spectrum puzzle for communication systems," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 1, pp. 1–32, 2020, doi:10.1109/OJCOMS.2019.2953633.
- [1.28] P. Yang, Y. Xiao, M. Xiao, and S. Li, "6G wireless communications: vision and potential techniques," *IEEE Network*, vol. 33, no. 4, pp. 70–75, Jul. 2019, doi: 10.1109/MNET.2019.1800418.
- [1.29] T. S. Rappaport et al., "Wireless communications and applications above 100 GHz: opportunities and challenges for 6G and beyond," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78729–78757, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2921522.
- [1.30] A. A. A. Solyman and I. A. Elhaty, "Potential key challenges for terahertz communication systems," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 11, no. 4, pp. 3403–3409, Aug. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i4.pp3403-3409.

- [1.31] H. H. Attar, A. A. A. Solyman, M. R. Khosravi, L. Qi, M. Alhihi, and P. Tavallali, "Bit and packet error rate evaluations for half cycle stage cooperation on 6G wireless networks," *Physical Communication*, vol. 44, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.phycom.2020.101249.
- [2.1] M. Al-Hader and A. Rodzi, "The smart city infrastructure development & monitoring", *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, vol. 4, no. 2, pp. 87-94, 2009.
- [2.2] M. Al-Hader, A. Rodzi, A. R. Sharif and N. Ahmad, "Smart city components architecture", *Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence Modelling and Simulation*, 2009.
- [2.3] M. Al-Hader, A. Rodzi, A. R. Sharif and N. Ahmad, "SOA of smart city geospatial management", *Proceedings of the 3rd UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, 2009.
- [2.4] L. Anthopoulos and P. Fitsilis, "From digital to ubiquitous cities: Defining a common architecture for urban development", *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Environments*, 2010.
- [2.5] L. Anthopoulos and P. Fitsilis, "From online to ubiquitous cities: The technical transformation of virtual communities" in *Next Generation Society: Technological and Legal Issues*, Berlin, Germany:Springer, vol. 26, pp. 360-372, 2010.
- [2.6] K. Barzilai-Nahon, "Gaps and bits: Conceptualizing measurements for digital divide/s", *The Information Society*, vol. 22, no. 5, pp. 269-278, 2006.
- [2.7] K. Barzilai-Nahon, "Gatekeeping: A critical review", *Annual Review of Information Science and Technology*, vol. 43, no. 1, pp. 1-79, 2009.
- [2.8] J. Belissent, *The Core of a Smart City Must Be Smart Governance*, Cambridge, MA:Forrester Research, Inc, 2011.
- [2.9] C. Bellamy, "The politics of public information systems" in *Handbook of Public Information Systems*, New York:Marcel Dekker, 2000.
- [2.10] J. Borja, "Counterpoint: Intelligent cities and innovative cities", *Universitat Oberta de Catalunya (UOC) Papers: E-Journal on the Knowledge Society*, vol. 5, 2007.
- [2.11] A. Boulton, S. D. Brunn and L. Devriendt, "Cyberinfrastructures and "smart" world cities: Physical human and soft infrastructures" in *International Handbook of Globalization and World Cities*, Cheltenham, UK:Edward Elgar, 2011.

- [2.12] Z. Bronstein, "Industry and the smart city", *Dissent*, vol. 56, no. 3, pp. 27-34, 2009.
- [2.13] M. M. Brown and J. L. Brudney, "Learning organizations in the public sector? A study of police agencies employing information and technology to advance knowledge", *Public Administration Review*, vol. 63, no. 1, pp. 30-43, 2003.
- [2.14] T. Cairney and G. Speak, *Developing a 'Smart City': Understanding Information Technology Capacity and Establishing an Agenda for Change*, Sydney, Australia:Centre for Regional Research and Innovation, University of Western Sydney, 2000.
- [2.15] M. Castells, *Rise of the Network Society: The Information Age*, Cambridge, MA:Blackwell, 1996.
- [2.16] S. S. Dawes, A. M. Cresswell and T. A. Pardo, "From "need to know" to "need to share": Tangled problems information boundaries and the building of public sector knowledge networks", *Public Administration Review*, vol. 69, no. 3, pp. 392-402, 2009.
- [2.17] S. S. Dawes and T. A. Pardo, "Building collaborative digital government systems" in *Advances in Digital Government: Technology Human Factors and Policy*, Norwell, MA:Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2.18] S. Dirks, C. Gurdgiev and M. Keeling, *Smarter Cities for Smarter Growth: How Cities Can Optimize Their Systems for the Talent-Based Economy*, Somers, NY:IBM Global Business Services, 2010.
- [2.19] S. Dirks and M. Keeling, *A Vision of Smarter Cities: How Cities Can Lead the Way into a Prosperous and Sustainable Future*, Somers, NY:IBM Global Business Services, 2009.
- [2.20] S. Dirks, M. Keeling and J. Dencik, *How Smart is Your City?: Helping Cities Measure Progress*, Somers, NY:IBM Global Business Services, 2009.
- [2.21] Z. Ebrahim and Z. Irani, "E-government adoption: Architecture and barriers", *Business Process Management Journal*, vol. 11, no. 5, pp. 589-611, 2005.
- [2.22] J. M. Eger and A. Maggipinto, "Technology as a tool of transformation: e-Cities and the rule of law" in *Information Systems: People Organizations Institutions and Technologies*, Berlin/Heidelberg, Germany:Physica-Verlag, pp. 23-30, 2010.
- [2.23] R. Florida, *The Rise of the Creative Class: And How It's Transforming Work Leisure Community and Everyday life*, New York:Basic Books, 2002.

- [2.24] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-MilanoviÄ‡ and E. Meijers, *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities*, Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology, 2007.
- [2.25] R. Giffinger, H. Kramar and G. Haindl, "The role of rankings in growing city competition", *Proceedings of the 11th European Urban Research Association (EURA) Conference*, 2008.
- [2.26] J. R. Gil-García and T. A. Pardo, "E-government success factors: Mapping practical tools to theoretical foundations", *Government Information Quarterly*, vol. 22, no. 2, pp. 187-216, 2005.
- [2.27] J. C. Griffith, "Smart governance for smart growth: The need for regional governments", *Georgia State University Law Review*, vol. 17, no. 4, pp. 1019-1062, 2001.
- [2.28] R. E. Hall, "The vision of a smart city", *Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop*, 2000.
- [2.29] C. Harrison, B. Eckman, R. Hamilton, P. Hartswick, J. Kalagnanam, J. Paraszczak, et al., "Foundations for Smarter Cities", *IBM Journal of Research and Development*, vol. 54, no. 4, 2010.
- [2.30] J. Hartley, "Innovation in governance and public services: Past and present", *Public Money & Management*, vol. 25, no. 1, pp. 27-34, 2005.
- [2.31] R. G. Hollands, "Will the real smart city please stand up?", *City*, vol. 12, no. 3, pp. 303-320, 2008.
- [2.32] B. Johnson, "Cities systems of innovation and economic development", *Innovation: Management Policy & Practice*, vol. 10, no. 2–3, pp. 146-155, 2008.
- [2.33] E. W. Johnston and D. L. Hansen, "Design lessons for smart governance infrastructures" in *American Governance 3.0: Rebooting the Public Square?*, National Academy of Public Administration.
- [2.34] R. M. Kanter and S. S. Litow, "Informed and interconnected: A manifesto for smarter cities", *Harvard Business School General Management Unit Working Paper 09–141*, 2009.
- [2.35] W. Lam, "Barriers to e-government integration", *The journal of Enterprise Information Management*, vol. 18, no. 5, pp. 511-530, 2005.
- [2.36] D. J. Landsbergen and G. Wolken, "Realizing the promise: Government information systems and the fourth generation of information technology", *Public Administration Review*, vol. 61, no. 2, pp. 206-220, 2001.

- [2.37] L. F. Luna-Reyes, J. R. Gil-García and C. B. Cruz, "Collaborative digital government in Mexico: Some lessons from federal Web-based interorganizational information integration initiatives", *Government Information Quarterly*, vol. 24, no. 4, pp. 808-826, 2007.
- [2.38] L. E. Lynn, C. J. Heinrich and C. J. Hill, "Studying governance and public management: Challenges and prospects", *Journal of Public Administration Research and Theory*, vol. 10, no. 2, pp. 233-262, 2000.
- [2.39] J. Mahler and P. M. Regan, "Learning to govern online: Federal agency Internet use", *American Review of Public Administration*, vol. 32, no. 3, pp. 326-349, 2002.
- [2.40] J. Marceau, "Introduction: Innovation in the city and innovative cities", *Innovation: Management Policy & Practice*, vol. 10, no. 2-3, pp. 136-145, 2008.
- [2.41] M. Mauher and V. Smokvina, "Digital to intelligent local government transition framework", *Proceedings of the 29th International Convention of MIPRO*, 2006.
- [2.42] W. J. Mitchell, *Smart City 2020 Metropolis*, March 2006.
- [2.43] J. Mooij, "Smart governance? Politics in the policy process in Andhra Pradesh India", *ODI Working Papers*, vol. 228, 2003.
- [2.44] T. Nam and T. A. Pardo, "Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology People and Institutions", *Proceedings of the 12th Annual Digital Government Research Conference*, 2011.
- [2.45] What are smarter cities?.
- [2.46] E. N. Nfuka and L. Rusu, "Critical success factors for effective IT governance in the public sector organizations in a developing country: The case of Tanzania", *Proceedings of the 18th European Conference on Information Systems (ECIS)*, 2010.
- [2.47] P. Norris, *Digital Divide: Civic Engagement Information Poverty and the Internet Worldwide*, New York:Cambridge University Press, 2001.
- [2.48] N. Odendaal, "Information and communication technology and local governance: Understanding the difference between cities in developed and emerging economies. Computers", *Environment and Urban Systems*, vol. 27, no. 6, pp. 585-607, 2003.
- [2.49] H. Partridge, "Developing a human perspective to the digital divide in the smart city", *Proceedings of the Biennial Conference of Australian Library and information Association (ALIA)*, pp. 21-24, September 2004.

- [2.50] P. Rios, Creating “the smart city”, 2008.
- [2.51] H. W. J. Rittel and M. Webber, "Dilemmas in a general theory of planning", *Policy Sciences*, vol. 4, pp. 155-169, June 1973.
- [2.52] B. Rocheleau, "Politics accountability and government information systems" in *Public Information Technology: Policy and Management Issues*, Hershey, PA:Idea Group Publishing, 2003.
- [2.53] H. J. Scholl, K. Barzilai-Nahon, J.-H. Ahn, P. Olga and R. Barbara, "E-commerce and e-government: How do they compare? What can they learn from each other?", *Proceedings of the 42nd Hawaiian International Conference on System Sciences (HICSS 2009)*, 2009.
- [2.54] W. R. Scott, *Institutions and Organizations*, Thousand Oaks, CA:Sage Publications, 2000.
- [2.55] L. J. Servon, *Bridging the Digital Divide: Technology Community and Public Policy*, Malden, MA:Blackwell Publishing, 2002.
- [2.56] D. Toppeta, "The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart “Livable”" in *Sustainable Cities*, The Innovation Knowledge Foundation, 2010.
- [2.57] J. Vasseur, J. Vasseur and A. Dunkels, "Smart cities and urban networks" in *Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet*, Burlington, MA:Morgan Kaufmann, pp. 360-377, 2010.
- [2.58] D. Washburn, U. Sindhu, S. Balaouras, R. A. Dines, N. M. Hayes and L. E. Nelson, "Helping CIOs Understand “Smart City” in Initiatives: Defining the Smart City Its Drivers and the Role of the CIO", Cambridge, MA:Forrester Research, Inc, 2010.
- [2.59] E. P. Weber and A. M. Khademian, "Wicked problems knowledge challenges and collaborative capacity builders in network settings", *Public Administration Review*, vol. 68, no. 2, pp. 334-349, 2008.
- [2.60] T. Yigitcanlar and K. Velibeyoglu, "Knowledge-based urban development: The local economic development path of Brisbane Australia", *Local Economy*, vol. 23, no. 3, pp. 195-207, 2008.
- [2.61] H. Chourabi et al., “Understanding Smart Cities: An Integrative Framework,” in *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, USA, Jan. 2012, pp. 2289–2297. doi: 10.1109/HICSS.2012.615.
- [2.62] K. Demertzis, “Η Στρατηγική των «Έξυπνων Πόλεων» με Σκοπό την Αειφόρο Ανάπτυξη,” 2018, doi: 10.13140/RG.2.2.15364.01925.

- [2.63] S. Liu, B. Xing, B. Li, and M. Gu, "Ship information system: overview and research trends," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 670–684, Sep. 2014, doi: 10.2478/IJNAOE-2013-0204.
- [2.64] Martins PT., Lobo V.S. Real-Time decision support system for managing ship stability under damage IEEE OCEANS Conference, Santander, Spain (6–9 June 2011), pp. 1-7
- [3.1] Hernandez-Muoz et al., 2011
 J.M. Hernandez-Muoz, J.B. Vercher, L. Muoz, J.A. Galache, M. Presser, L.A.H. Gmez, J. Pettersson
 Smart Cities at the forefront of the future internet
 The Future Internet, Springer-Verlag (2011), pp. 447-462
- [3.2] Schaffers et al., 2011
 H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson, A. Oliveira
 Smart Cities and the future internet: towards cooperation frameworks for open innovation
 The Future Internet, Springer-Verlag (2011), pp. 431-446
- [3.3] Anthopoulos and Fitsilis, 2010
 L. Anthopoulos, P. Fitsilis
 From digital to ubiquitous cities: defining a common architecture for urban development
 Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Environments (IE), Kuala Lumpur, Malaysia (2010)
- [3.4] Kwon and Kim, 2007
 O. Kwon, J. Kim
 A methodology of identifying ubiquitous smart services for U-city development
 Proc. of Int. Conf. on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC), Hong Kong, China (2007)
- [3.5] Matsubara et al., 2013
 D. Matsubara, T. Egawa, N. Nishinaga, V. Kafle, M.-K. Shin, A. Galis
 Toward future networks: a viewpoint from ITU-T
 IEEE Communication Magazine, 51 (3) (2013), pp. 112-118
- [3.6] Koponen et al., 2007

- T. Koponen, M. Chawla, B.-G. Chun, A. Ermolinskiy, K.H. Kim, S. Shenker, I. Stoica
A data-oriented (and beyond) network architecture
Proc. of ACM Conf. on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM), Kyoto, Japan (2007)
- [3.7] Fotiou et al., 2010
N. Fotiou, P. Nikander, D. Trossen, G.C. Polyzos
Developing information networking further: from PSIRP to PURSUIT
Proc. of Int. Conf. on Broadband Communications, Networks, and Systems (BROADNETS), Athens, Greece (2010)
- [3.8] Dannewitz et al., 2013
C. Dannewitz, D. Kutscher, B. Ohlman, S. Farrell, B. Ahlgren, H. Karl
Network of information (NetInf), an information-centric networking architecture
Computer Communications, 36 (7) (2013), pp. 721-735
Article
- [3.9] Melazzi et al., 2012
N. Melazzi, S. Salsano, A. Detti, G. Tropea, L. Chiariglione, A. Difino, A. Anadiotis, A. Mousas, I. Venieris, C. Patrikakis
Publish/subscribe over information centric networks: a standardized approach in CONVERGENCE
Proc. of Future Network Mobile Summit (FutureNetw), Berlin, Germany (2012)
- [3.10] NDN, 2012
NDN
The named data networking project
(2012)
<http://www.named-data.net/>
- [3.11] Piro et al., 2013
G. Piro, L.A. Grieco, G. Boggia, P. Chatzimisios
Information-centric networking and multimedia services: present and future challenges
Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (2013), 10.1002/ett.2741
- [3.12] Melazzi and Chiariglione, 2013

N.B. Melazzi, L. Chiariglione

The potential of information centric networking in two illustrative use scenarios: mobile video delivery and network management in disaster situations
IEEE COMSOC MMTC E-letter (2013), pp. 17-20

[3.13] Jacobson et al., 2009a

V. Jacobson, D.K. Smetters, J.D. Thornton, M.F. Plass, N.H. Briggs, R.L. Braynard

Networking named content

Proc. of ACM Int. Conf. on Emerging Networking Experiments and Technologies (CONEXT), Rome, Italy (2009)

[3.14] Feldmann, 2007

A. Feldmann

Internet clean-slate design: what and why?

ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 37 (3) (2007), pp. 59-64

[3.15] Clark et al., 2006

D. Clark, B. Lehr, S. Bauer, P. Faratin, R. Sami, J. Wroclawski

Overlay networks and future of the internet

Journal of Communications and Strategies, 63 (1) (2006), pp. 1-21

[3.16] Tortelli et al., 2014

M. Tortelli, L.A. Grieco, G. Boggia, K. Pentikousis

COBRA: lean intra-domain routing in NDN

Proc. of IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC, Special Session on Research and Case Study for Designing and Deploying Information-centric Networks, Las Vegas, NV, USA (2014)

[3.17] Smetters and Jacobson, 2009

D.K. Smetters, V. Jacobson

Securing network content

PARC Tech. Rep. TR-2009-1 (2009)

[3.18] Adamson et al., 2008

B. Adamson, C. Bormann, M. Handley, J. Macker

RFC 5401 – Multicast Negative-Acknowledgment (NACK) Building Blocks (2008)

[3.19] Jacobson et al., 2009b

V. Jacobson, D.K. Smetters, N.H. Briggs, M.F. Plass, P. Stewart, J.D. Thornton, R.L. Braynard

- VoCCN: voice-over content-centric networks
Proc. of the Workshop on Re-architecting the Internet (ReArch), Rome, Italy
(2009)
- [3.20] Cooper et al., 2008
D. Cooper, S. Santesson, S. Farrell, S. Boeyen, R. Housley, W. Polk
RFC 5280 – Internet X. 509 Public Key Infrastructure Certificate and
Certificate Revocation List (CRL) Profile. Tech. rep.
(2008)
- [3.21] D. G. European Commission, 2010
D. G. European Commission
Digitizing Public Services in Europe: Putting ambition into action, Tech. rep.
(Dec. 2010)
(2010)
http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/document.cfm?action=display&doc_id=747
- [3.22] FIREBALL, 2012
FIREBALL website
Smart Cities as innovation ecosystems sustained by the future internet
(2012)
<http://www.fireball4smartcities.eu/>
- [3.23] Barba et al., 2012
C. Barba, M. Mateos, P. Soto, A. Mezher, M. Igartua
Smart city for VANETs using warning messages, traffic statistics and
intelligent traffic lights
Proc. of IEEE Symposium on Intelligent Vehicles (IV), Alcal de Henares,
Spain (2012)
- [3.24] Drilo et al., 2009
B. Drilo, D. Saric, R. Filjar
The role of telecommunications in development of new-generation intelligent
transport systems
Proc. of Int. Conf. on Wireless VITAE, Aalborg, Denmark (2009)
- [3.25] Ferreira and Afonso, 2011
J. Ferreira, J. Afonso
Mobi_System: a personal travel assistance for electrical vehicles in Smart
Cities

Proc. of IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Gdask, Poland (2011)

[3.26] Khekare and Sakhare, 2013

G. Khekare, A. Sakhare

A smart city framework for intelligent traffic system using VANET

Proc. of IEEE Int. Conf. on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s), Kerala, India (2013)

[3.27] Sanchez et al., 2011

L. Sanchez, J.A. Galache, V. Gutierrez, J. Hernandez, J. Bernat, A. Gluhak, T. Garcia

Smartsantander: the meeting point between future internet research and experimentation and the Smart Cities

Proc. of IEEE Future Network and Mobile Summit (FutureNetw), Warsaw, Poland (2011)

[3.28] Cardone et al., 2013

G. Cardone, L. Foschini, P. Bellavista, A. Corradi, C. Borcea, M. Talasila, R. Curtmola

Fostering participation in Smart Cities: a geo-social crowdsensing platform

IEEE Communication Magazine, 51 (6) (2013), pp. 112-119

[3.29] SafeCity, 2013

SafeCity website

Future Internet Applied to Public Safety in Smart Cities

(2013)

<http://www.safecity-project.eu/>

[3.30] ELLIOT, 2010

ELLIOT website

Experiential living lab for the internet of things

(2010)

<http://www.elliott-project.eu/>

[3.31] Leguay et al., 2011

J. Leguay, A. Sällström, B. Pickering, E. Borrelli, F. Benbadis

Travel eCommerce experiment – through TEFIS, a single access point to different testbed resources

Proc. of the 4th European Conference on Towards a Service-based Internet, Poznan, Poland (2011)

[3.32] OUTSMART, 2013

OUTSMART website

Outsmart

(2013)

<http://www.fi-ppp-outsmart.eu/>

[4.1] L. Gatzoulis and I. Iakovidis, "Wearable and portable ehealth systems," *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 26, no. 5, pp. 51–56, Sep.–Oct. 2007.

[4.2] A. Lympers and A. Dittmar, "Advanced wearable health systems and applications, research and development efforts in the european union," *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 26, no. 3, pp. 29–33, May/Jun. 2007.

[4.3] G. Tröster, "The Agenda of Wearable Healthcare," in *IMIA Yearbook of Medical Informatics*. Stuttgart, Germany: Schattauer, 2005, pp. 125–138.

[4.4] Y. Hao and R. Foster, "Wireless body sensor networks for health monitoring applications," *Phys. Meas.*, vol. 29, pp. R27–R56, Nov. 2008.

[4.5] P. Bonato, "Advances in wearable technology and applications in physical medicine and rehabilitation," *J. NeuroEng. Rehabil.*, vol. 2, p. 2, Feb.2005.

[4.6] P. Bonato, "Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering," *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 22, no. 3, pp. 18–20, May/Jun. 2003.

[4.7] D. Raskovic, T. Martin, and E. Jovanov, "Medical monitoring applications for wearable computing," *Comput. J.*, vol. 47, pp. 495–504, Apr. 2004.

[4.8] U. Anliker, J. Beutel, M. Dyer, R. Enzler, P. Lukowicz, L. Thiele, and G. Tröster, "A systematic approach to the design of distributed wearable systems," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 53, no. 8, pp. 1017–1033, Aug.2004.

[4.9] K. A. Townsend, J. W. Haslett, T. K. K. Tsang, M. N. El-Gamal, and K. Iniewski, "Recent advances and future trends in low power wireless systems for medical applications," in *Proc. 5th Int. Conf. Workshop Syst.-on-Chip Real-Time Appl.*, 2005, pp. 476–481.

[4.10] S. L. P. Tang, "Recent developments in flexible wearable electronics for monitoring applications," *Trans. Ins.Meas. Control*, vol. 29, pp. 283–300,2007.

[4.11] J. Govil and J. Govil, "4G mobile communication systems: Turns, trends and transition," in *Proc. Int. Conf. Convergence Inf. Tech.*, 2007, pp. 13–18.

[4.12] Zigbee Alliance. (2009, Jun. 15). [Online]. Available: www.zigbee.org

[4.13] Bluetooth. (2009, Jun. 15). [Online]. Available: www.bluetooth.com

- [4.14] R. Bouhenguel, I. Mahgoub, and M. Ilyas, “Bluetooth security in wearable computing applications,” in Proc. Int. Symp. High Capacity Opt. Net. Enabling Tech., 2008, pp. 182–186.
- [4.15] C. T. Hager and S. F. Midkiff, “An analysis of bluetooth security vulnerabilities,” in Proc. IEEE WCNC, 2003, pp. 1825–1831.
- [4.16] M. R. Yuce, S.W. P. Ng, N. L. Myo, C. H. Lee, J. Y. Khan, and W. Liu, “A MICS band wireless body sensor network,” in Proc. IEEE WCNC, 2007, pp. 2473–2478.
- [4.17] A. Sikora and V. Groza, “Coexistence of IEEE802.14 with other systems in the 2.4 GHz ISM-band,” in Proc. IEEE IMTC, 2005, pp. 1786–1791.
- [4.18] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6. (2009, Jun. 15). [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
- [4.19] A. Pantelopoulos and N. G. Bourbakis, “A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis,” IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C, vol. 40, no. 1, pp. 1–12, Jan. 2010, doi: 10.1109/TSMCC.2009.2032660.
- [4.20] Available online: <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/2380> (accessed on 1 November 2022).
- [4.21] Li, Z.; Uusitalo, M.A.; Shariatmadari, H.; Singh, B. 5G URLLC: Design challenges and system concepts. In Proceedings of the 2018 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Lisbon, Portugal, 28–31 August 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 1–6.
- [4.22] Tanenbaum, A.S. *Computer Networks*; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA, 2003.
- [4.23] Seybold, J.S. *Introduction to RF Propagation*; Wiley Interscience: Hoboken, NJ, USA, 2005.
- [4.24] Rappaport, T. *Wireless Communications: Principles & Practice*; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 1999.
- [4.25] Chrysikos, T.; Kotsopoulos, S. Characterization of large-scale fading for the 2.4 GHz channel in obstacle-dense indoor propagation topologies. In Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall 2012), Quebec City, QC, Canada, 3–6 September 2012.
- [4.26] Hämäläinen, M.; Taparugssanagorn, A.; Iinatti, J. On the WBAN radio channel modelling for medical applications. In Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Rome, Italy, 11–15 April 2011; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2011; pp. 2967–2971.

[4.27] Chrysikos, T.; Galiotos, P.; Kotsopoulos, S.; Dagiuklas, T. Techno-economic analysis for the deployment of PPDR services over 4G/4G+ Networks. In Proceedings of the 2016 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU), Heraklion, Greece, 25–27 July 2016; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2016; pp. 1–7.