



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Εξατομικευμένες εφαρμογές digital health monitoring σε πλέγμα δικτύου έξυπνης πόλης

Καρδαμίτση Ευαγγελία

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Εξατομικευμένες εφαρμογές digital health monitoring σε πλέγμα δικτύου έξυπνης πόλης

Καρδαμίτση Ευαγγελία

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Personalized digital health monitoring applications in a smart city network grid

Kardamitsi Evangelia

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS

TUTOR – ASSOCIATE UNIVERSITY OF THESSALY

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:
6/3/2023

Η Δηλούσα
ΚΑΡΔΑΜΙΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

(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

Οι έξυπνες πόλεις υπολογίζεται ότι θα αποτελέσουν ένα επιτυχές παράδειγμα αστικών υποδομών στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον. Η ραγδαία πρόοδος τεχνολογιών όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων, οι κινητές επικοινωνίες, η διασυνδεσιμότητα, οι υποδομές νέφους και η τεχνητή νοημοσύνη έχουν συμβάλει σημαντικά στη μετάβαση από το σχεδιασμό μιας έξυπνης πόλης στην πράξη. Ιδιαίτερα οι σύγχρονες τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών, όπως για παράδειγμα το 5G αναμένεται να μετασχηματίσουν ριζικά τον τρόπο διασύνδεσης συσκευών και ανθρώπων, επιφέροντας μεγάλες βελτιώσεις στην ως τώρα λειτουργία των έξυπνων πόλεων. Ένας σημαντικός τομέας που επωφελείται από τα σύγχρονα τεχνολογικά επιτεύγματα στα πλαίσια των έξυπνων πόλεων είναι η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη. Μέσω μεγάλων χρηματικών και τεχνολογικών επενδύσεων στον τομέα αυτό, ο χώρος της υγείας αναμένεται να βελτιωθεί σημαντικά στο άμεσο μέλλον, αναβαθμίζοντας πληθώρα παραδοσιακών συστημάτων και υποδομών μέσω έξυπνων μετασχηματισμών. Επίσης μελετάτε μια νέα μεθοδολογία για την ευρυζωνική συνδεσιμότητα των έξυπνων πόλεων μέσω των δυνατοτήτων που παρέχει το 5G.

ABSTRACT

Smart cities are expected to be a successful example of urban infrastructure in the not-so-distant future. The rapid advancement of technologies such as the internet of things, mobile communications, interconnectivity, cloud infrastructure and artificial intelligence have greatly contributed to the transition from smart city design to practice. In particular, modern mobile communication technologies, such as 5G, are expected to radically transform the way devices and people are interconnected, bringing great improvements to the operation of smart cities so far. An important area benefiting from modern technological achievements in the context of smart cities is smart healthcare. Through large financial and technological investments in this area, the healthcare space is expected to improve significantly soon, upgrading a multitude of traditional systems and infrastructures through smart transformations. Also a study is being done on a new methodology for the broadband connectivity of smart cities through the possibilities provided by 5G.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ABSTRACT	IV
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Έξυπνες πόλεις	2
1.1 Εισαγωγή.....	2
1.2 Τεχνολογικοί τομείς γύρω από τις έξυπνες πόλεις.....	3
1.3 Τάσεις για έξυπνες πόλεις σε παγκόσμιο επίπεδο.....	6
1.4 Βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων πόλεων.....	10
1.5 Διαστάσεις της έξυπνης πόλης.....	11
1.6 Προβλήματα που καλείται να επιλύσει η έξυπνη πόλη.....	13
1.7 Μετατροπή μιας πόλης σε έξυπνη.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 5G και Έξυπνες πόλεις	24
2.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία 5G.....	24
2.2 Τεχνολογίες που απαρτίζουν το 5G.....	26
2.3 Ανοιχτά ζητήματα και πιθανοί κίνδυνοι.....	29
2.4 Η τρέχουσα χρήση του 5G.	31
2.5 Έξυπνες πόλεις με χρήση 5G	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Έξυπνη υγεία και υγειονομική περίθαλψη	45
3.1. Εισαγωγή της έξυπνης υγείας στην πράξη.....	45
3.2. Τεχνολογίες σχετιζόμενες με την έξυπνη υγεία.....	47
3.3. Τηλεϊατρική και eHealth – Χρήση ΤΠΕ για καλύτερη υγειονομική περίθαλψη	51
3.4. mHealth – Κάνοντας την υγειονομική περίθαλψη πιο κινητή.....	52
3.5. AAL – Αντιμετώπιση των προκλήσεων της τρίτης ηλικίας.....	53
3.6. Εφαρμογή της έξυπνης υγείας στην πράξη.....	54
3.7. Προκλήσεις, προβληματισμοί και εύρεση λύσεων.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Μια νέα μεθοδολογία για την κάλυψη ευρυζωνικής συνδεσιμότητας έξυπνων πόλεων με δυνατότητα 5G.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα.....	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Έξυπνες πόλεις

1.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή τεχνολογικά εξελιγμένη εποχή, όπου οι άνθρωποι και οι πόροι που αυτοί αξιοποιούν είναι σε μεγάλο βαθμό διασυνδεδεμένοι μέσω διαδικτύου, δημιουργείται ένα αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον αναφορικά με το μέλλον των πόλεων. Το ενδιαφέρον αυτό ενισχύεται από τις έντονες τάσεις αστικοποίησης του παγκόσμιου πληθυσμού, καθώς και τις γενικότερες δημογραφικές μεταβολές. Τα ποικίλα σύγχρονα τεχνολογικά επιτεύγματα μπορούν να συνεισφέρουν προς την αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος, τόσο από πλευράς υλικού (αισθητήρες, ηλεκτρονικές συσκευές, κι άλλα σχετικά), όσο κι από πλευράς δεδομένων κι επεξεργασίας αυτών.

Η αξιοποίηση των διαφόρων συστατικών που συνιστούν μια τέτοια 'έξυπνη πόλη' (smart city) μπορούν να παρέμβουν σε πληθώρα τομέων από την εκπαίδευση, την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών, μέχρι ζητήματα διαχείρισης, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος της κατανάλωσης ρεύματος, νερού και καυσίμων ή η διαχείριση απορριμμάτων και η ανακύκλωση. Άλλοι τομείς που επίσης μπορούν να επωφεληθούν είναι οι μεταφορές εντός της πόλης με τη χρήση έξυπνων διασυνδεδεμένων οχημάτων και σχετικών υπηρεσιών, μέχρι και η λήψη πολιτικών αποφάσεων, καθώς οι κυβερνητικοί εκπρόσωποι θα μπορούν να σχεδιάζουν, να αναλύουν και να προβλέπουν τον αντίκτυπο των διάφορων αποφάσεων βάσει των συλλεγμένων δεδομένων. Φυσικά, η έννοια μιας έξυπνης πόλης δε βασίζεται αποκλειστικά στην εισαγωγή τεχνολογικών λύσεων, αλλά αποτελεί μια ολιστική προσέγγιση, απαιτώντας ένα καινοτόμο πολεοδομικό σχεδιασμό με γνώμονα τη βελτίωση του επιπέδου ζωής των πολιτών της [1],[2].

Διαφαίνεται λοιπόν η αξία και το ενδιαφέρον που γεννάται γύρω από τις έξυπνες πόλεις: ο ορθός σχεδιασμός και στη συνέχεια η δημιουργία ενός τέτοιου περιβάλλοντος συμπεριλαμβάνει τη συνεργασία ποικίλων φορέων και

επαγγελματικών δεξιοτήτων, με σκοπό τη βελτίωση της καθημερινής ζωής των ανθρώπων που καλούνται να διαβιώσουν στο περιβάλλον αυτό. Κάποιοι κύριοι τομείς πάνω στους οποίους πρακτικά βασίζεται η ιδέα των έξυπνων πόλεων είναι οι τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ), σε συνδυασμό με τη διασυνδεσιμότητα φυσικών συσκευών μέσω του λεγόμενου 'διαδικτύου των πραγμάτων' (Internet of Things). Πράγματι, η ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογικών αυτών τομέων έχει οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των έξυπνων πόλεων στο πέρασμα του χρόνου. Η ανάλυση των βασικών τομέων που συνεισφέρουν στην ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Παράλληλα, εγείρονται πολλαπλά ζητήματα αναπόφευκτα συνδεδεμένα με την τεχνολογία. Για παράδειγμα, πολλοί κίνδυνοι συμπεριλαμβάνουν την ιδιωτικότητα των δεδομένων, τη σωστή και ανθρωποκεντρική χρήση αυτών, καθώς και την προστασία των σχετικών έξυπνων υποδομών από κακόβουλες επιθέσεις. Στο ίδιο μήκος κύματος υπάρχει ανάγκη για διαφάνεια αναφορικά με τη λήψη 'έξυπνων' αποφάσεων, ώστε οι πολίτες να μπορούν να εμπιστευτούν την εισαγωγή των τεχνολογιών και των διεργασιών στα πλαίσια μιας έξυπνης πόλης. Στις λιγότερο κρίσιμες προκλήσεις συμπεριλαμβάνονται οι λειτουργικότητα των φυσικών συσκευών και των διασυνδέσεών τους, η γρήγορη απόκριση των συσκευών σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος και η βελτιστοποίηση των σχετικών διεργασιών.

1.2 Τεχνολογικοί τομείς γύρω από τις έξυπνες πόλεις

Ένα αναπόσπαστο κομμάτι του ορισμού και της ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων αποτελεί η εξέταση των μεμονωμένων τομέων οι οποίοι συνεργάζονται και εξελίσσονται με σκοπό τη μετάβαση από ένα θεωρητικό πλάνο έξυπνης πόλης στη χειροπιαστή υλοποίησή του.

Τεχνολογία πληροφορικής και επικοινωνιών(ΤΠΕ)

Η τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) είναι ένας όρος 'ομπρέλα' για την τεχνολογία πληροφορικής (ΤΠ) η οποία τονίζει τον ρόλο των ενοποιημένων επικοινωνιών και την ενσωμάτωση των τηλεπικοινωνιών (τηλεφωνικές γραμμές και ασύρματα σήματα) και των υπολογιστών, καθώς και του απαραίτητου εταιρικού

λογισμικού, του ενδιάμεσου λογισμικού (middleware), την αποθήκευση πληροφοριών και οπτικοακουστικού υλικού, που επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση, αποθήκευση, μετάδοση, κατανόηση και χειρισμό πληροφοριών.

Οι ΤΠΕ χρησιμοποιούνται επίσης για να αναφερθούν στη σύγκλιση οπτικοακουστικών και τηλεφωνικών δικτύων με δίκτυα υπολογιστών μέσω ενός συστήματος καλωδίωσης ή ζεύξης. Αποτελούν ένα γενικό όρο που περιλαμβάνει οποιαδήποτε συσκευή επικοινωνίας, όπως για παράδειγμα ραδιόφωνο, τηλεόραση, κινητά τηλέφωνα, υλικό υπολογιστών και δικτύου, δορυφορικά συστήματα κα, καθώς και τις διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές που συνδέονται με αυτά, όπως τηλεδιάσκεψη και εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Επίσης περιλαμβάνουν αναλογική τεχνολογία, όπως η έντυπη επικοινωνία (πχ fax), και οποιαδήποτε λειτουργία που μεταδίδει την επικοινωνία [3]-[9].

Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) είναι ένας όρος που περιστρέφεται γύρω από την ικανότητα συσκευών να ‘μαθαίνουν’ και να ‘συλλογίζονται’ με τρόπο παρόμοιο με τους ανθρώπους. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς το ρητό προγραμματισμό των συσκευών για να επιτελούν συγκεκριμένες ενέργειες, αλλά μέσω της αξιοποίησης δεδομένων (ιδανικά μεγάλων σε πλήθος) προκειμένου να εξαχθούν μοτίβα, τα οποία τελικά συνεισφέρουν στη λήψη αποφάσεων. Αν και ο ακριβής ορισμός της τεχνητής νοημοσύνης επιδέχεται αρκετή κριτική, ωστόσο τα τελευταία χρόνια σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα έχουν εδραιώσει τη συνεισφορά του κλάδου αυτού σε πολλούς τομείς της σύγχρονης ζωής.

Αυτού του είδους η ‘ευφυΐα’ είναι ένα αναπόσπαστο συστατικό μιας έξυπνης πόλης, όπως φυσικά προκύπτει από τη συνάφεια των χρησιμοποιούμενων λέξεων. Παραδείγματα χρήσης τεχνητής νοημοσύνης στα πλαίσια μιας έξυπνης πόλης είναι η ενσωμάτωση σχετικού λογισμικού σε κάμερες παρακολούθησης οι οποίες αυτομάτως αναγνωρίζουν αντικείμενα, πρόσωπα ή ενέργειες προκειμένου να συνεισφέρουν στα διασυνδεδεμένα συστήματα παρακολούθησης με σκοπό την ασφάλεια των πολιτών [8].

Υπολογισμός νέφους

Με τον όρο του υπολογισμού νέφους (cloud computing) εννοούμε την κατ' απαίτηση διαθεσιμότητα πόρων του συστήματος υπολογιστή, ιδίως αποθήκευσης δεδομένων (αποθήκευση στο σύννεφο) και υπολογιστικής ισχύος, χωρίς άμεση ενεργή διαχείριση από τον χρήστη. Τα μεγάλα clouds συχνά έχουν λειτουργίες καταναμημένες σε πολλαπλές τοποθεσίες, με κάθε τοποθεσία να είναι ένα κέντρο δεδομένων, προσφέροντας έτσι γεωγραφική ανεξαρτησία.

Παράλληλα, για τους ίδιους τους οργανισμούς που αξιοποιούν υπηρεσίες cloud computing επιτυγχάνεται ανεξαρτησία από το απαιτούμενο υπολογιστικό hardware, καθώς πλέον δεν είναι αναγκαίες οι επενδύσεις σε εξοπλισμό για επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων, καθώς το ρόλο αυτό επιτελεί το cloud. Κατ' αυτόν τον τρόπο μάλιστα εξασφαλίζεται αξιοπιστία στην αποθήκευση δεδομένων τα οποία βρίσκονται εκεί, αφού αποκόπτεται η εξάρτηση από τοπικά αποθηκευτικά μέσα, οδηγώντας μάλιστα σε καλύτερη συντήρηση λογισμικού [10].

Δεδομένου ότι το cloud computing συγκεντρώνει διάσπαρτους υπολογιστικούς πόρους, τα πλεονεκτήματα κόστους είναι ξεκάθαρα, επιτρέποντάς του να αναδειχθεί ως η βέλτιστη αρχιτεκτονική επιλογή σε συστήματα πληροφορικής και κατ' επέκταση στις έξυπνες πόλεις. Κάθε έργο έξυπνης πόλης λοιπόν θα πρέπει να έχει μια ισχυρή πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους που θα του παρέχει πλήρη υποστήριξη back-end.

Σήμερα, ωστόσο, η ανάπτυξη του συμβατικού υπολογιστικού νέφους έχει φτάσει σε ένα επαναστατικό σταυροδρόμι: διάφορες προκλήσεις όπως το εύρος ζώνης μετάδοσης, η ασφάλεια και η κατανάλωση ενέργειας, απαιτούν τη δημιουργία μιας νέας υπολογιστικής δομής η οποία θα συνδυάζει το cloud computing με την τεχνητή νοημοσύνη. Στο πλαίσιο αυτό, όλο και περισσότερες ενσωματωμένες τεχνητές νοημοσύνη θα ενσωματώνονται σε συσκευές, καθιστώντας μια μεγάλη ποσότητα τέτοιων συσκευών 'έξυπνες' [8].

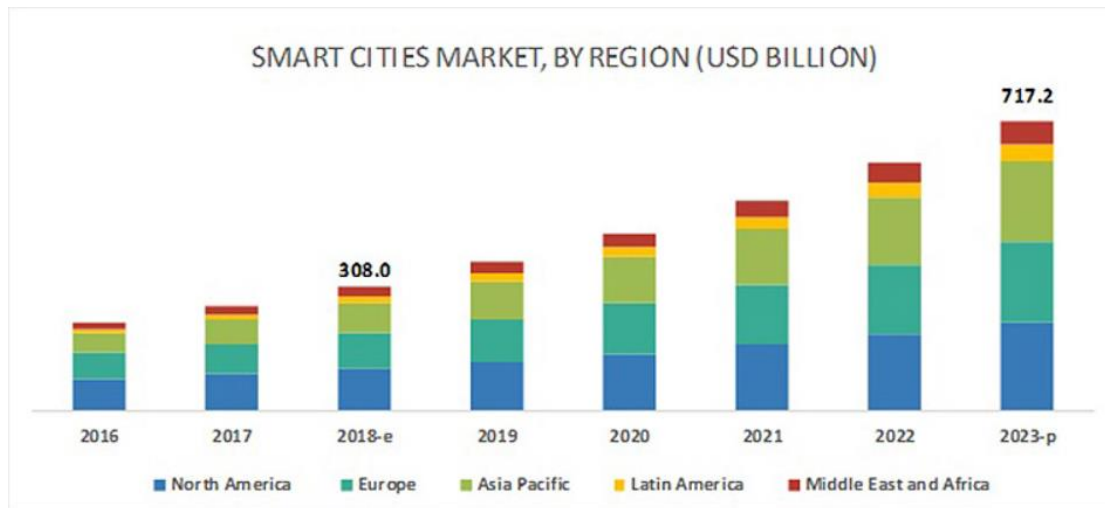
Διαδίκτυο των πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things – IoT) είναι ένας ιδιαίτερα δημοφιλής και κύριος όρος τα τελευταία χρόνια. Το IoT περιγράφει φυσικά αντικείμενα (ή ομάδες τέτοιων αντικειμένων) με αισθητήρες, ικανότητα επεξεργασίας, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες που συνδέουν και ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του Διαδικτύου ή άλλων δικτύων επικοινωνιών. Το πεδίο αυτό έχει εξελιχθεί λόγω της σύγκλισης πολλαπλών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των ολοένα και ισχυρότερων υπολογιστών, των αισθητήρων, των συνεχώς ποιοτικότερων ενσωματωμένων συστημάτων και της μηχανικής μάθησης.

Η κύρια λειτουργία του IoT είναι ότι δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας αποτελεσματικής και αξιόπιστης ασύρματη σύνδεσης μεταξύ του cloud και των συσκευών του δικτύου, διασφαλίζοντας τη μετάδοση δεδομένων και την αλληλεπίδραση. Κατά την περίοδο ανάπτυξης των πρώτων έξυπνων πόλεων υπήρχαν μόνο λίγες ασύρματες τεχνολογίες προς επιλογή, καθώς πολλές εξακολουθούσαν να είναι τεχνολογίες τοπικών δικτύων με αυστηρή έννοια, καθιστώντας την κάλυψη σε μεγαλύτερη κλίμακα (κλίμακα πόλης) σαφώς ανέφικτη [8].

1.3 Τάσεις για έξυπνες πόλεις σε παγκόσμιο επίπεδο

Η ραγδαία ροπή προς τη δημιουργία έξυπνων πόλεων έχει σημειωθεί κατά την τελευταία δεκαετία, σύμφωνα με επίσημες αναφορές. Στην τελευταία έκθεση παγκόσμιας ανάπτυξης έξυπνων πόλεων που δημοσιεύθηκε από την MarketsandMarkets, το παγκόσμιο μέγεθος της αγοράς για έξυπνες πόλεις αναμένεται να αυξηθεί από 308 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2018 σε 717,2 δολάρια ΗΠΑ έως το 2023, με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 18,4%. Από τη στιγμή της δημοσίευσής της, η έκθεση αυτή έχει αναφερθεί ευρέως στη σχετική βιβλιογραφία για τη συνολική ανάλυση των τάσεων της έξυπνης πόλης. Στην εικόνα 1 δίνεται ένα διάγραμμα που εκφράζει τις αυξητικές τάσεις προς τη δημιουργία έξυπνων πόλεων ανά γεωγραφική περιοχή:

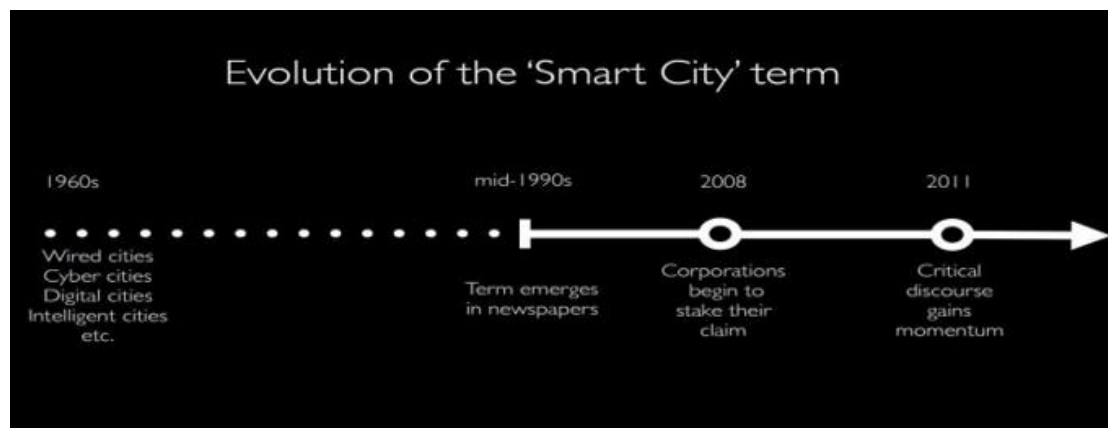


Εικόνα 1: Τάσεις για ανάπτυξη έξυπνων πόλεων σε παγκόσμιο επίπεδο [8]

Οι πρώτες αναφορές σχετικά με τις ‘έξυπνες πόλεις’ μπορούν να βρεθούν πίσω στα τέλη της δεκαετίας του 1990, με αφορμή εγχειρήματα αναφορικά με τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και ανάπτυξης σύγχρονων αστικών κέντρων, αν και συναφείς έννοιες είχαν αναδυθεί πολύ παλαιότερα. Βέβαια, ο ορισμός αυτός αποκλίνει αρκετά από τα σημερινά δεδομένα, κυρίως λόγω της έλλειψης αντίστοιχων τεχνολογικών υποδομών, τα οποία απολαμβάνει σε πληθώρα ο σύγχρονος πληθυσμός. Η αναβίωση του όρου υπό το νέο πρίσμα της τεχνολογικής ανάπτυξης πραγματοποιήθηκε στα μέσα της πρώτης δεκαετίας του 21ου αιώνα, με εταιρείες όπως η IBM, η Siemens και η Cisco να θέτουν σε πρακτικό επίπεδο τα θεμέλια για τη συγκρότηση των έξυπνων πόλεων του σήμερα [7].

Κατά καιρούς διάφοροι ερευνητές έχουν επιχειρήσει να συγκροτήσουν έναν ενιαίο ορισμό του τι είναι και τι περιλαμβάνει μια έξυπνη πόλη, οδηγώντας σε σύγχυση του όρου και ποικίλες επεξηγήσεις του.[3] Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μια έξυπνη πόλη μπορεί να οριστεί από πολλαπλές οπτικές γωνίες, δίνοντας διαφορετικές διαστάσεις στον ορισμό, χάρη στις τεχνολογικές και βιομηχανικές επαναστάσεις, αλλά και στην κοινωνική ανάπτυξη σε παγκόσμιο επίπεδο. [4][5][6] Επιπλέον, η εξέλιξη του τεχνολογικού πλαισίου που κινητοποιεί τη δημιουργία έξυπνων πόλεων, δηλαδή η ανάπτυξη των ΤΠΕ, της υπολογιστικής νοημοσύνης, των τεχνολογιών διασυνδέσεων όπως για παράδειγμα το 5G και η δημιουργία υψηλής ποιότητας αισθητήρων, αποτελούν παράγοντες οι οποίοι συνεισφέρουν έντονα στην απόκλιση του όρου ‘έξυπνη πόλη’ από την αρχική της μορφή [8].

Μια εξέλιξη του όρου της έξυπνης πόλης μπορεί να δοθεί οπτικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 2: Χρονολογική εξέλιξη του όρου έξυπνη πόλη [12]

Μπορούν να εντοπιστούν τρεις διακριτές περιόδους στη χρονική εξέλιξη των έξυπνων πόλεων:

Η πρώτη περίοδος δίνει έμφαση στη χρήση τεχνολογίας (Smart city 1.0: technology – driven) και αφορά το διάστημα 1990 - 2012. Οι μεγάλες εταιρείες τεχνολογίας, όντας υπεύθυνες σε σημαντικό βαθμό για τη συγκρότηση και την υλοποίηση της ιδέας των έξυπνων πόλεων, δίνουν βαρύτητα στην επίλυση προβλημάτων στα μεγάλα αστικά κέντρα με χρήση πληροφορικής.

Το 1999, η Σιγκαπούρη ανακοίνωσε το 'Intelligent Island Initiative', με στόχο στην προώθηση της χρήσης της πληροφορικής σε τομείς όπως η αστική κατανάλωση ενέργειας, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και περιβαλλοντική ρύπανση. Το 2007, η Γαλλία ξεκίνησε ολοκληρωμένα αναπτυξιακά σχέδια για το 'Μεγάλο Παρίσι', συμπεριλαμβάνοντας μεταρρυθμίσεις του δικτύου κλειστής κυκλοφορίας του Παρισιού μέσω έξυπνης διαχείρισης ποδηλάτων με χρήση του συστήματος 'Public Bicycle Management System'. Το 2010, για το PlanIT Valley Initiative της Πορτογαλίας, η Cisco ανέλαβε την ανάπτυξη ενός IoT οικοσυστήματος με έξυπνες συσκευές, το οποίο στη συνέχεια ενσωμάτωσε στα πλαίσια της αστικής ανάπτυξης για την αντιμετώπιση ενεργειακών ζητημάτων, αλλά και για τη διαχείριση απορριμμάτων.

Η δεύτερη περίοδος εστιάζει περισσότερο στο ρόλο των κυβερνητικών θεσμών (Smart city 2.0: government – driven) και αφορά το διάστημα 2013 – 2016. Με βάση τις αστικές απαιτήσεις ανάπτυξης, οι κυβερνήσεις καταρτίζουν σχέδια για την συνολική χρήση τεχνολογικών λύσεων με σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας της λειτουργίας των πόλεων σε δημοτικό επίπεδο.

Το 2013, το Λονδίνο στο Ηνωμένο Βασίλειο εισήγαγε το πρώτο ανθρωποκεντρικό πλάνο έξυπνης πόλης, το οποίο ενθαρρύνει τις αστικές λειτουργικότητες στο να αξιοποιούν αποτελεσματικά προϊόντα τεχνολογίας. Το 2014 η κυβέρνηση της Κορέας διατύπωσε την ιδέα του «Big Data for small problems» με στόχο την οικοδόμηση μιας έξυπνης πόλης με επίκεντρο τον άνθρωπο, με γνώμονα την πληροφορική, αξιοποιώντας παράλληλα την έννοια της δημιουργικότητας. Το 2015 η κυβέρνηση των Η.Π.Α παρουσίασε μια νέα πρόταση έξυπνης πόλης με ενεργά σχέδια για έξυπνες μεταφορές, διανομή ενέργειας και ευρυζωνικές συνδέσεις, προκειμένου να αντιμετωπίσει αστικά προβλήματα γύρω από τις μεταφορές και την ενέργεια. Το 2015, η Ινδία σχεδίαζε να κατασκευάσει εκατό έξυπνες πόλεις με την ανακοίνωση προγραμματισμένων επενδύσεων της τάξης των 7,5 δισεκατομμυρίων δολαρίων σε ορίζοντα πενταετίας ώστε να υλοποιηθεί το πλάνο αυτό.

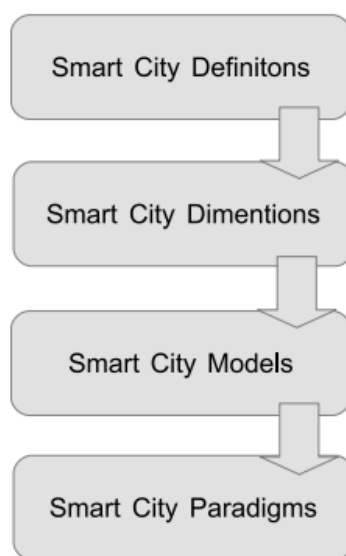
Η τρίτη περίοδος που εκτείνεται χρονικά από το 2017 έως και σήμερα δίνει πλέον περισσότερη βαρύτητα στον άνθρωπο (Smart city 3.0: society – backed). Οι κυβερνήσεις παρέχουν καθοδήγηση και ενθάρρυνση στους πολίτες και στις εταιρείες ώστε να συμμετέχουν πιο άμεσα στην ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων, εξυπηρετώντας το κοινό μέσω της ευρείας χρήσης δεδομένων.

Από το 2016, η Βιέννη συνεργάζεται με τοπική ενεργειακή εταιρεία WienEnergy ενθαρρύνοντας τους πολίτες να αγοράζουν εξαρτήματα από την εταιρεία αυτή με σκοπό ουσιαστικά την επένδυση στις λεγόμενες 'μονάδες ηλιακής ενέργειας πολιτών'. Το 2017, το Άμστερνταμ διεξήγαγε διαγωνισμό για την ενσωμάτωση έργων κοινής ωφέλειας στο σχέδιο έξυπνης πόλης, παρέχοντας κίνητρα στις εταιρείες για ενεργό συμμετοχή στην οικοδόμηση συστημάτων έξυπνων μεταφορών και έξυπνων δικτύων.

Το 2018 το Λονδίνο ανακοίνωσε τη δράση ‘Smarter London Together’ με σκοπό τη βελτίωση της ζωής στην πόλη, επιτρέποντας στις εταιρείες να συμμετέχουν σε ερευνητικές (R&D) δραστηριότητες και εφαρμόζοντας νέες ψηφιακές τεχνολογίες προς την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων. Το 2019, ο Καναδάς ανακοίνωσε ένα σχέδιο ανοικοδόμησης μιας έξυπνης πόλης στο Τορόντο, με μια επένδυση δισεκατομμυρίων δολαρίων συγχρηματοδοτούμενη από εταιρείες, με σκοπό την εισαγωγή των απαραίτητων τεχνολογιών και του σχετικού εξοπλισμού [15].

1.4 Βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων πόλεων

Οι ποικίλες ερμηνείες που μπορεί να πάρει ο ορισμός της έξυπνης πόλης στην πραγματικότητα οδηγεί σε διαφορετικά μοντέλα, μέσα από τις διαφορετικές διαστάσεις του ορισμού, καταλήγοντας παρόλα αυτά σε μια ενιαία δομή που ακολουθείται κατά τη δημιουργία έξυπνων πόλεων, όπως φαίνεται στην εικόνα 3:



. Εικόνα 3: Βήματα προς τη δημιουργία παραδειγμάτων έξυπνων πόλεων. [2]

Παρά τις διαφωνίες πάνω στον ακριβή ορισμό, η πρόοδος των σχετιζόμενων τεχνολογιών επιτάσσει τρία βασικά συστατικά στοιχεία στην εξέλιξη των έξυπνων πόλεων [2]:

1.Βιωσιμότητα (sustainability): βελτίωση της σχέσης πόλης/περιβάλλοντος και χρήση πράσινης οικονομίας.

2.Εξυπνάδα (smartness): οικονομία και διακυβέρνηση οι οποίες ακολουθούν πιστά το πλαίσιο της έξυπνης πόλης.

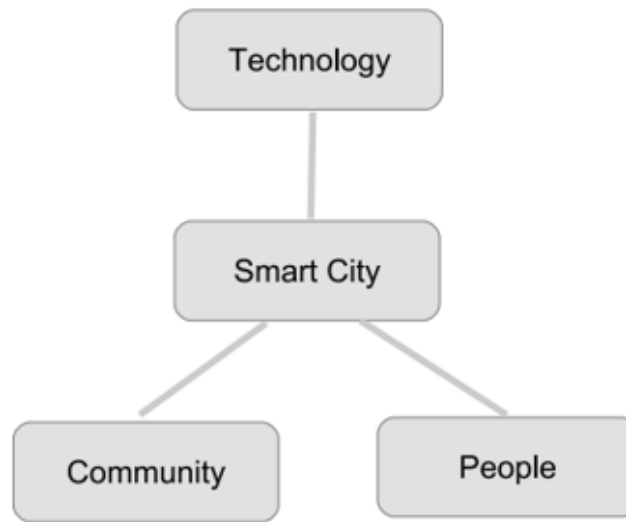
3.Συμμετοχικότητα (inclusiveness): με την προώθηση μιας οικονομίας υψηλής απασχόλησης, η οποία στοχεύει στην κοινωνική και εδαφική συνοχή.

Γενικότερα, η χρήση σύγχρονων τεχνολογικών εξειδικεύσεων στη μετατροπή οποιουδήποτε αντικειμένου σε 'έξυπνο' συνεπάγεται την προσθήκη δύο επιπλέον συστατικών, την ανίχνευση (sensing) και τον αυτοματισμό (automation). Συσκευές όπως ασύρματοι αισθητήρες, κάμερες, GPS κι άλλα σχετικά αποτελούν εξαρτήματα τα οποία είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται και να συλλέγουν πληροφορίες όπως η θερμοκρασία, η τοποθεσία και η ρύπανση. Μια κατηγορία τεχνολογιών αυτοματισμού περιλαμβάνει τα λεγόμενα ενσωματωμένα συστήματα, τα οποία έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στη βελτίωση της λειτουργίας ενός αντικειμένου [2].

Η μετάβαση από το επίπεδο ενός έξυπνου αντικειμένου στην κλίμακα ενός έξυπνου συστήματος απαιτεί κάποιες περαιτέρω τροποποιήσεις, δεδομένου ότι ποικίλα αντικείμενα καλούνται να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους. Συνεπώς, προστίθενται δύο ακόμη χαρακτηριστικά. Το πρώτο είναι η προσθήκη ταυτοτήτων στα αντικείμενα, όπως για παράδειγμα η τεχνολογία RFID (Radio Frequency IDentification) η οποία καταστά δυνατή την αναγνώριση ενός αντικειμένου σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο. Το δεύτερο χαρακτηριστικό ενός έξυπνου συστήματος είναι η συνδεσιμότητα (connectivity), η οποία επιτρέπει την αποστολή και τη λήψη δεδομένων [2].

1.5 Διαστάσεις της έξυπνης πόλης

Οι διαστάσεις (dimensions) οι οποίες καλύπτονται μέσω ενός ορισμού της έξυπνης πόλης είναι η τεχνολογία και οι άνθρωποι (σε ατομικό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο κοινότητας), όπως αποτυπώνεται στο διάγραμμα της εικόνας 4:



Εικόνα 4: Διαστάσεις που συμπεριλαμβάνει μία έξυπνη πόλη [2]

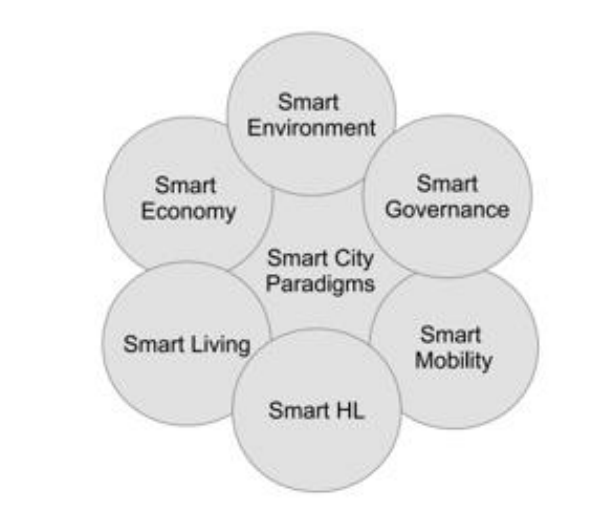
Από πλευράς τεχνολογίας, είναι φανερό ότι έννοιες όπως οι τεχνολογίες πληροφορικής κι επικοινωνιών, η τεχνητή νοημοσύνη, το διαδίκτυο των πραγμάτων και ο υπολογισμός νέφους έχουν συνεισφέρει σημαντικά στη μετάβαση από ένα θεωρητικό πλάνο, στην ουσιαστική υλοποίησή τους σε πρακτικό επίπεδο, και για το λόγο αυτό αποτελούν αναπόσπαστα κομμάτια της έξυπνης πόλης. Συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες αυτές σε ένα πιο αρχικό στάδιο συνεισφέρουν στη δημιουργία έξυπνων σπιτιών, τα οποία φυσικά αποτελούν τα συστατικά στοιχεία της έξυπνης πόλης. Τα έξυπνα σπίτια διαθέτουν αισθητήρες συνδεδεμένους με ενσωματωμένες συσκευές, οι οποίες αποφασίζουν για ενέργειες βάσει σχετικού λογισμικού [12].

Βέβαια μια έξυπνη πόλη δημιουργείται για να εξυπηρετεί τους κατοίκους της, καθιστώντας το ανθρώπινο δυναμικό ένα θεμελιώδη παράγοντα. Οι έξυπνες πόλεις καλούνται να διασυνδέσουν αποτελεσματικά τους κατοίκους, παρέχοντάς τους αναβαθμισμένες υπηρεσίες όσον αφορά την εκπαίδευση, τα συστήματα υγείας, τις γραφειοκρατικές διαδικασίες, τη μετακίνηση, την εργασία, την ανάπτυξη δεξιοτήτων και διαπροσωπικών σχέσεων. Επίσης θα πρέπει να προωθεί την ισότητα και την ισότιμη πρόσβαση σε υπηρεσίες, να προστατεύει την ιδιωτικότητα, να μειώνει τα οποιαδήποτε χάσματα μεταξύ των πολιτών ενσωματώνοντας άτομα με διαφορετική γλώσσα, κουλτούρα, ειδικές ανάγκες και γενικότερο υπόβαθρο. Η ανθρωποκεντρική προσέγγιση μπορεί να επιτευχθεί μέσω κατάλληλης αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπων και τεχνολογιών [12].

Σε ένα πιο συνολικό επίπεδο, οι θεσμοί και οι κυβερνήσεις καλούνται να εξυπηρετήσουν πιο καθολικά τους πολίτες, με σκοπό την 'έξυπνη' ανάπτυξη κι άλλους κατάλληλους κοινωνικούς μετασχηματισμούς. Οι τοπικοί κυβερνητικοί φορείς θα πρέπει να διασφαλίσουν την κατάλληλη διασύνδεση ατόμων και τεχνολογιών και να παρακολουθούν ότι η διασύνδεση αυτή συνεχίζει να διεξάγεται με ομαλό τρόπο στο πέρασμα του χρόνου [12].

1.6 Προβλήματα που καλείται να επιλύσει η έξυπνη πόλη

Με γνώμονα τις διαστάσεις που περιλαμβάνει μια έξυπνη πόλη, δηλαδή την τεχνολογία, τους ανθρώπους και τις κοινότητες, διαφαίνονται τα προβλήματα που καλείται να επιλύσει η αναβάθμιση μιας πόλης σε 'έξυπνη', τα οποία αναλύονται στη συνέχεια. Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 5) παρουσιάζονται οι συνιστώσες οι οποίες συνεισφέρουν στην επίλυση προβλημάτων στα πλαίσια των έξυπνων πόλεων: έξυπνο περιβάλλον (smart environment), έξυπνη διακυβέρνηση (smart governance), έξυπνη κινητικότητα (smart mobility), έξυπνη υγεία (smart health), έξυπνη διαβίωση (smart living), έξυπνη οικονομία (smart economy).



Εικόνα 5: Επίλυση προβλημάτων μέσω έξυπνων πόλεων

Για καθέναν από τους τομείς που εστιάζουν τα συστατικά στοιχεία της παραπάνω εικόνας, περιγράφουμε το προς επίλυση πρόβλημα, τις απαντήσεις και το σχεδιασμό λύσεων στα πλαίσια μιας έξυπνης πόλης και τέλος τα τεχνολογικά εργαλεία που συνεισφέρουν στην επίλυση του εκάστοτε προβλήματος.

Περιβαλλοντικές προκλήσεις και έξυπνο περιβάλλον (smart environment)

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η περιβαλλοντική καταστροφή είναι ένα από τα πιο γνωστά και πολυσυζητημένα θέματα, άρρηκτα συνδεδεμένα με τη σύγχρονη αστική ζωή. Μεγάλο μέρος του προβλήματος οφείλεται στην παραγωγή αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το όζον, τα οποία οφείλονται στη βιομηχανία, τις μεταφορές, την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, εν ολίγοις σε μεγάλο ποσοστό στην αστικοποίηση. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 6) παρουσιάζονται οι πιο μολυσμένες πόλεις του πλανήτη, οι οποίες αποτελούν πολυπληθή αστικά κέντρα χωρίς κάποιο σχεδιασμό προς έξυπνες λύσεις:



Εικόνα 6: Οι πιο μολυσμένες μητροπόλεις παγκοσμίως [7]

Το έξυπνο περιβάλλον καλείται να αντισταθμίσει τις τάσεις αστικοποίησης προσφέροντας φιλικές στο περιβάλλον ενεργειακές λύσεις για τις εκπομπές των κτιρίων, χώρους πρασίνου και όγκους νερού στα πλαίσια της πόλης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κρίνονται προτιμητέες έναντι των παραδοσιακών λύσεων, με την

αιολική και την ηλιακή ενέργεια να αποτελούν κύριες προτεραιότητες για ένα πιο πράσινο περιβάλλον. Μια σημαντική συνεισφορά στα πλαίσια της έξυπνης πόλης αποτελεί η χρήση τεχνητής νοημοσύνης ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία παραγωγής, διανομής, αποθήκευσης και κατανάλωσης ενέργειας, μειώνοντας σημαντικά τις ανούσιες σπατάλες σε όλο τον κύκλο παραγωγής. Η έξυπνη διαχείριση ενέργειας βασίζεται στην έννοια του έξυπνου δικτύου (smart grid), το οποίο κατανέμει αποδοτικά την ενέργεια στους χρήστες με αξιοποίηση υπάρχοντων υποδομών επικοινωνίας, όπως για παράδειγμα η διαχείριση πακέτων δεδομένων στο διαδίκτυο [2]-[7].

Διοίκηση και έξυπνη διακυβέρνηση (smart governance)

Το σύνολο των έργων που απαρτίζουν μία έξυπνη πόλη περιλαμβάνει τη συμμετοχή πολλών ενδιαφερομένων, ενώ παράλληλα σε παγκόσμιο επίπεδο πραγματοποιείται μια μετάβαση από εθνική κλίμακα σε τοπική κλίμακα. Για το λόγο αυτό, οι έξυπνες πόλεις καλούνται να διαχειριστούν καλύτερα αυτά τα έργα και τις πρωτοβουλίες μέσω της βελτίωσης της ποιότητας διακυβέρνησης, με σκοπό την αυξημένη ελευθερία που παρέχεται μέσω των τοπικών συστημάτων διακυβέρνησης. Γενικότερα, ο παραδοσιακός τρόπος διακυβέρνησης συμπεριλαμβάνει νομικά καθεστάτα, διοικητικούς κανόνες, δικαστικές αποφάσεις και πρακτικές που περιορίζουν, κατευθύνουν και ενεργοποιούν την κρατική δραστηριότητα, όπου η δραστηριότητα αυτή ορίζεται ως η παραγωγή και η παράδοση δημοσίως υποστηριζόμενων αγαθών και υπηρεσιών.

Χάρη στην εμφάνιση των ΤΠΕ, οι πόλεις προσπαθούν να αναβαθμίσουν τον τρόπο διακυβέρνησής τους, έτσι ώστε όλες οι δραστηριότητες διακυβέρνησης να συνιστούν τη λεγόμενη 'έξυπνη διακυβέρνηση', μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογίας. Ουσιαστικά ο όρος της έξυπνης διακυβέρνησης αντιπροσωπεύει μια συλλογή τεχνολογιών, ανθρώπων, πολιτικών, πρακτικών, πόρων, κοινωνικών κανόνων και πληροφοριών που αλληλεπιδρούν για να υποστηρίξουν διοικητικές δραστηριότητες της πόλης. Τα πληροφοριακά συστήματα και τα συστήματα επικοινωνιών ολοένα και βελτιώνονται στα πλαίσια της έξυπνης πόλης προκειμένου να υποστηρίξουν τη χρήση καινοτόμων πολιτικών, τεχνολογίας και επιχειρηματικών μοντέλων, συνιστώντας τελικά το λεγόμενο e - governance.

Αυτό πρακτικά τους επιτρέπει να ελέγχουν όλες τις σχετικές λειτουργίες και τα έργα ανάπτυξης στα πλαίσια της έξυπνης πόλης παρέχοντας ακρίβεια, διαφάνεια και αποδοτικότητα, στοιχεία τα οποία σε συνολικό επίπεδο υποδεικνύουν το βαθμό αυτάρκειας μιας έξυπνης πόλης.

Μετακινήσεις και έξυπνη κινητικότητα (smart mobility)

Η ανάπτυξη των προτύπων και του μεγέθους των πόλεων προκαλεί προβλήματα αναφορικά με την κινητικότητα των πολιτών, επηρεάζοντας έτσι την ευημερία στις αστικές περιοχές. Μια μεγάλη μερίδα πολιτών αξιοποιεί ιδιωτικά οχήματα για τις μετακινήσεις τους, καθιστώντας τα αυτοκίνητα το κυρίαρχο μέσο μεταφοράς. Ένα τέτοιο μοντέλο κινητικότητας ενέχει σημαντικές μελλοντικές επιπτώσεις σε επίπεδο πόλης αλλά και γενικότερα, αν ληφθεί υπ όψιν η ποσότητα καυσίμου και ενέργειας που απαιτείται για τη μετακίνηση των αυτοκινήτων, ο θόρυβος, η μόλυνση της ατμόσφαιρας με τις γνωστές κλιματολογικές επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα, συνιστώντας έναν ακόμη παράγοντα κινδύνου στην πρόκληση προβλημάτων υγείας στους πολίτες.

Στα πλαίσια της έξυπνης κινητικότητας (Smart Mobility) προωθούνται νέοι αποτελεσματικοί τρόποι αστικής μετακίνησης οι οποίοι θεωρούνται βιώσιμοι και φιλικόι προς το περιβάλλον. Οι τρόποι έξυπνης κινητικότητας περιλαμβάνουν τη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς, ποδηλάτων ή ακόμα και μετακίνησης με τα πόδια, ενισχύοντας όμως τις μεθόδους αυτές με κάποια έξυπνα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, ο πολεοδομικός και αρχιτεκτονικός σχεδιασμός της πόλης εξ αρχής καλείται να προωθήσει διαδρομές με τα πόδια, οδηγώντας σε κάποια πρότυπα έξυπνης κινητικότητας.

Για παράδειγμα, το πρότυπο των walking cities τοποθετεί τους πολίτες σε σημεία αυξημένης πληθυσμιακής πυκνότητας, με σημεία ενδιαφέροντος να βρίσκονται εντός μισής ώρας με τα πόδια από τις κατοικίες τους. Εστιάζοντας στα μέσα μαζικής μεταφοράς, το πρότυπο των transit cities προωθεί τη βελτιωμένη σύνδεση των γραμμών των τρένων και τραμ με σκοπό την πιο ισορροπημένη κατανομή του πληθυσμού εντός της πόλης, ώστε να μην παρατηρούνται δυσανάλογες πυκνότητες πληθυσμών σε μεμονωμένα σημεία της πόλης.

Το πρότυπο των automobile cities αφορά στο διαχωρισμό μιας πόλης σε λειτουργικά κομμάτια, με τρόπο τέτοιο ώστε να προωθείται η γρήγορη μετάβαση προς κάθε κατεύθυνση, πάλι με γνώμονα μια ισορροπημένη κατανομή του πληθυσμού.

Σε επίπεδο μέσων μετακίνησης η εισαγωγή τεχνολογικών λύσεων μπορεί να βοηθήσει σημαντικά την αποδοτικότητα των μεταφορών. Η συλλογή ετερογενών δεδομένων για την κίνηση στους δρόμους μέσω αισθητήρων, ραντάρ, καμερών, μέσων κοινωνικής δικτύωσης, εφαρμογές smartphone κλπ, η επεξεργασία και ο συνδυασμός των πληροφοριών αυτών μέσω κατάλληλων αλγορίθμων, παρέχει στους χρήστες χρήσιμες πληροφορίες, οδηγώντας σε βελτιωμένες αποφάσεις αναφορικά με το μέσο και τον τρόπο μετακίνησης.

Οι πληροφορίες είναι απαραίτητο να συλλέγονται, να αναλύονται και να παρέχονται στους πολίτες σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας ταυτόχρονα μια βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη για την κίνηση. Τα μέσα μαζικής μεταφοράς συνδέονται με εφαρμογές smartphone, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες πραγματικού χρόνου αναφορικά με την τοποθεσία του οχήματος, καθώς και τον αναμενόμενο χρόνο αναμονής [2]-[7].

Συστήματα υγείας και έξυπνη περίθαλψη (smart healthcare)

Ο τομέας της υγείας θεωρείται ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τη βελτίωση της ευημερίας των πολιτών. Η ηλεκτρονική υγεία (e – health) είναι η λύση που στοχεύει στη χρήση της τεχνολογίας στον τομέα της υγείας και της περίθαλψης παρέχοντας τεχνολογικές λύσεις για νοσοκομειακές προκλήσεις. Από την πλευρά των επαγγελματιών υγείας, των γιατρών και των πολιτικών, η ηλεκτρονική υγεία αποτελεί έναν απαραίτητο τρόπο για την προώθηση της βιομηχανίας υγειονομικής περίθαλψης ιδιαίτερα για όσους ζουν με χρόνιες παθήσεις.

Πολλές λύσεις και έργα βρίσκονται υπό ανάπτυξη σε διάφορους άξονες όπως η τηλεϊατρική και η τηλεφροντίδα. Οι σχετικές υπηρεσίες περιλαμβάνουν συνήθως τηλεδιαβούλευση και τηλεδιάγνωση, η οποία επιτρέπει στους ειδικούς να πραγματοποιούν διάγνωση της ασθένειας χωρίς την ανάγκη φυσικής παρουσίας του ασθενούς. Αυτή η λύση έχει αποδειχθεί ιδιαίτερη αποτελεσματικότητα σε ασθενείς με χρόνιες ασθένειες και περιορισμούς κινητικότητας.

Επιπλέον, η χρήση της τεχνολογίας έχει αποδείξει την αποτελεσματικότητά της στην αποθήκευση, έρευνα και ανάλυση δεδομένων στο πλαίσιο της υγειονομικής περίθαλψης, όπως το πλήρες ιστορικό διαγνώσεων και τα αρχεία ενός ασθενούς (Ηλεκτρονικός Φάκελος Υγείας). Μία άλλη μορφή ηλεκτρονικής υγείας είναι η κινητή υγεία (m-Health), η οποία καλείται να βελτιώσει το κομμάτι της επικοινωνίας, της ανίχνευσης, της παρακολούθησης της υγείας μέσω δεδομένων, προκειμένου να παρέχονται πληροφορίες και αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο σε ασθενείς, ερευνητές και γιατρούς μέσω κινητού.

Καθημερινότητα και έξυπνη διαβίωση (smart living)

Σε επίπεδο καθημερινής ζωής οι πολίτες μιας έξυπνης πόλης ανακαλύπτουν τρόπους να διαβιώνουν με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Δεδομένου ότι τα πάντα είναι διασυνδεδεμένα με συσκευές, και κατ' αυτόν τον τρόπο πολλές εργασίες γίνονται ευκολότερες, ασφαλέστερες και φθηνότερες. Τα τελευταία χρόνια, αναπτύχθηκαν καινοτόμες λύσεις οι οποίες έτειναν να κάνουν τη ζωή των ατόμων που διαβιώνουν στο περιβάλλον αυτό πιο παραγωγική, βιώσιμη και αποτελεσματική. Για παράδειγμα, η λειτουργία του έξυπνου κτιρίου ολοένα και κέντρισε το ενδιαφέρον για μια γενικότερη στροφή προς αυτό το πλάνο ανάπτυξης.

Ένα έξυπνο κτίριο είναι εξοπλισμένο με εξαρτήματα και ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες στοχεύουν στη δημιουργία μιας συλλογικής νοημοσύνης και στη συλλογή ενός συνόλου χαρακτηριστικών για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ασφάλειας και της άνεσης των κατοίκων. Στο πλαίσιο αυτό προστίθεται ένας διαχειριστής κτιρίου ο οποίος περιλαμβάνει ένα σύνολο αυτοματισμών για τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση, την παρακολούθηση και τη διαχείριση του έξυπνου κτιρίου, ακολουθώντας το πρότυπο του IoT [2].

Διαχείριση οικονομικών ζητημάτων και έξυπνη οικονομία (smart economy)

Καθώς πληθώρα ερευνών έχει εστιάσει στην έννοια της έξυπνης οικονομίας, έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα διφορούμενο ορισμό, από τον οποίο προκύπτουν ποικίλες διαφορετικές επεξηγήσεις του. Επί πλέον, η έννοια της έξυπνης οικονομίας περιλαμβάνει έξυπνες εταιρείες (smart companies) που

παράγουν καινοτόμες ιδέες και βελτιώσεις προς την αναλογία τιμής - ποιότητας με βάση την ιδέα της βελτιστοποίησης πόρων (resource optimization). Ωστόσο, αυτή η έκφραση του ορισμού δε μπορεί να αποκαλύψει όλες τις υπάρχουσες πλευρές της έξυπνης οικονομίας. Για αυτό το λόγο, οι ερευνητές συνεχίζουν να αναπτύσσουν περισσότερους ορισμούς.

Σύμφωνα με τους ερευνητές, υπάρχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά της έξυπνης οικονομίας [2]:

- Καινοτόμα (Innovative): η συμπερίληψη ιδεών που αυξάνουν την παραγωγικότητα και μειώνουν το κόστος.
- Ψηφιακή (Digital): ευρεία χρήση των ΤΠΕ στην οικονομία.
- Ανταγωνιστική (Competitive): η οικονομία καλείται να είναι ανοιχτή, να χρησιμοποιεί τη γνώση και την καινοτομία για την απόκτηση υψηλής ποιότητας και αυξημένων κερδών, παραγωγικών πόρων και μειωμένου κόστους.
- Πράσινη (Green): εστίαση σε βιώσιμα βασικά στοιχεία, χρήση φυσικών ενεργειακών πόρων και προστασία του περιβάλλοντος
- Κοινωνικά υπεύθυνα (socially responsible): η έξυπνη οικονομία έχει ως κύριο άξονα την επιδίωξη της προώθησης της ευημερίας των ατόμων

Επιπλέον, ένας από τους κύριους σκοπούς μιας έξυπνης οικονομίας θα πρέπει να στρέφεται γύρω από την αποφυγή αποτιμήσεων, κάτι που κρίνεται αναγκαίο καθώς οι πόλεις υπολογίζεται να προσελκύσουν ολοένα και περισσότερους κατοίκους. Στην αντίθετη περίπτωση, μια έξυπνη πόλη γρήγορα θα γινόταν μη βιώσιμη. Μια τέτοια απαίτηση φυσικά συμπεριλαμβάνει τη συνεργασία περισσότερων φορέων, με απώτερο σκοπό την προστασία των κατοίκων, καθώς οι άνθρωποι είναι αυτοί που παρέχουν το απαραίτητο έργο σε πολλαπλά επίπεδα για την επιβίωση ενός τέτοιου εγχειρήματος. Συνεπώς, για την επιβίωση και την ανάπτυξη της έξυπνης οικονομίας διαμέσου της ευημερίας των ατόμων, κρίνεται απαραίτητη η σύσταση ενός αποδοτικού συστήματος υγειονομικής περίθαλψης, απαιτώντας ουσιαστικά την πρακτική βελτίωση της έξυπνης υγείας. Ακόμη, είναι αναγκαίο να απλοποιηθούν διαδικασίες και γραφειοκρατικοί κανονισμοί εκ μέρους της κυβέρνησης, συνεπώς η ανάπτυξη της έξυπνης διακυβέρνησης ανάγεται σε ένα μείζον ζήτημα. Η επίλυση

του προβλήματος της γραφειοκρατίας από μόνη της θα επιφέρει μείωση των διοικητικών δαπανών, επιτρέποντας έτσι μια άμεση παρέμβαση[7].

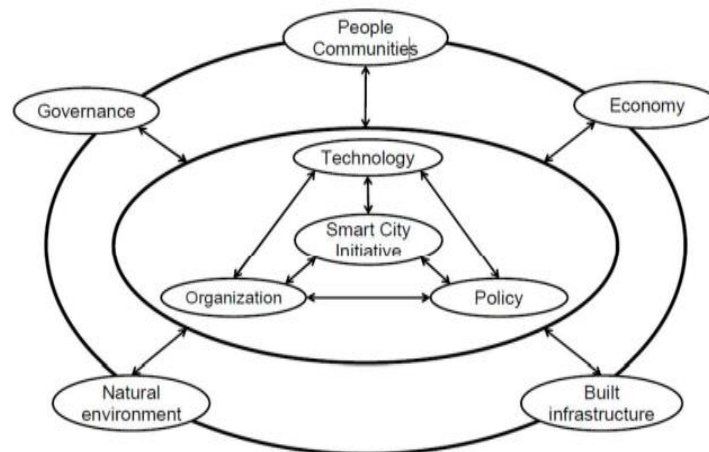
Γενικότερες προκλήσεις και προβληματισμοί

Αν και οι προαναφερθείσες τακτικές για τη μετατροπή μιας πόλης σε έξυπνη πόλη αναδεικνύουν ποικίλα πλεονεκτήματα και εφαρμόσιμες λύσεις σε πληθώρα προβλημάτων, ωστόσο στην πραγματικότητα αφορούν κατά κύριο λόγο χώρες του ανεπτυγμένου κόσμου. Σε αναπτυσσόμενες χώρες οι συνθήκες δεν είναι ιδιαίτερα ελκυστικές προς την εύρεση επενδύσεων προς την αξιοποίηση έξυπνων λύσεων. Το γεγονός αυτό δημιουργεί ένα φαύλο κύκλο, αποτρέποντας τους ανθρώπους να δημιουργήσουν προς την αναβάθμιση μιας τέτοιας πόλης, απομακρύνοντας ολοένα και περισσότερο την προοπτική καινοτόμων επενδύσεων.

Κατ' αυτόν τον τρόπο εντείνεται ένας κόσμος δύο ταχυτήτων, όπου η εκ των προτέρων οικονομική και κοινωνική ευημερία συγκεκριμένων πόλεων προσελκύει αναπτυξιακά σχέδια, παράλληλα αυξάνοντας τον ανταγωνισμό για μετανάστευση σε μια τέτοια πόλη. Συνεπώς, αν και παρατηρείται ιδιαίτερος ενθουσιασμός προς τη δημιουργία έξυπνων πόλεων, χρειάζεται μια πιο συνολική προσέγγιση του ζητήματος ώστε να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί και οι προκλήσεις που εισάγονται με την εφαρμογή του συστήματος των έξυπνων πόλεων σε ολοένα και περισσότερες πόλεις.

Φυσικά, ακόμη και η ίδια η δημιουργία των έξυπνων πόλεων μπορεί να ενθαρρύνει την ακόμα εντονότερη αστικοποίηση, εντείνοντας τα προβλήματα τα οποία καλείται να επιλύσει η τεχνολογία και ο έξυπνος σχεδιασμός. Ο συνωστισμός, οι μεγάλες εκτάσεις ανά πόλη, ο αυξανόμενος ανταγωνισμός στην εύρεση κατοικίας και εργασίας, οι μετακινήσεις κλπ αποτελούν κάποια προβλήματα τα οποία επιλύονται αλλά και ταυτόχρονα εντείνονται. Το γεγονός αυτό καθιστά ακόμη περισσότερο απαραίτητη την αξιοποίηση μιας πιο ολιστικής προσέγγισης στη στροφή προς έξυπνες πόλεις με γνώμονα τα μακροπρόθεσμα ζητήματα που ενδέχεται να εμφανιστούν.

Τελικά, δομείται ένα σύνολο με παράγοντες που συνεισφέρουν στην επιτυχία του εγχειρήματος, με την κατάλληλη συνεργασία όλων των 'έξυπνων' τομέων που αναπτύσσονται στα πλαίσια αυτής. Εκτός αυτών, στους παράγοντες επιτυχίας συμμετέχουν οι ίδιοι οι άνθρωποι και οι κοινότητες που αυτοί σχηματίζουν, η τεχνολογία και οι υποδομές, και τέλος η οργάνωση και διοίκηση, μαζί με την πολιτική (policy) που ενοποιεί όλα τα παραπάνω. Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 7) δίνεται σχηματικά το διάγραμμα των παραγόντων επιτυχίας μιας έξυπνης πόλης [12]:



Εικόνα 7: Παράγοντες επιτυχίας μιας έξυπνης πόλης

1.7 Μετατροπή μιας πόλης σε έξυπνη

Σε πρακτικό επίπεδο, υπάρχουν κάποια απαραίτητα συστατικά στοιχεία για να μεταβεί μια πόλη από την αρχική της κατάσταση σε 'έξυπνη πόλη'. Φυσικά, ένα από τα βασικότερα βήματα είναι η ενσωμάτωση της τεχνολογίας σε πληθώρα τομέων της καθημερινής ζωής.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, παραδοσιακά συστήματα καλούνται να αναβαθμιστούν μέσω της βελτιστοποίησης διεργασιών και της διασυνδεσιμότητας, μαζί με την ικανότητα λήψης έξυπνων αποφάσεων. Η ψηφιοποίηση των συστημάτων είναι ένα πρώτο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση, όμως δεν επαρκεί στη σύγχρονη εποχή, καθώς οι ΤΠΕ, το IoT και η τεχνητή νοημοσύνη παίζουν πλέον αναπόσπαστο ρόλο.

Βεβαίως, τον πρώτο και τον τελευταίο λόγο στη διαδικασία μετατροπής έχουν οι αρμόδιες αρχές, οι οποίες καλούνται να δομήσουν ένα ενιαίο πλαίσιο ανάπτυξης, λαμβάνοντας υπ' όψη τα ιδιαίτερα κοινωνικά, οικονομικά και οργανωτικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης πόλης, αναγνωρίζοντας τόσο τις ευκαιρίες και τα πλεονεκτήματα, όσο και τις αδυναμίες και τους κινδύνους που προκύπτουν κατά το σχεδιασμό αυτό.

Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τη βάση ενός στρατηγικού σχεδιασμού για την ομαλή μετάβαση στην έξυπνη πόλη. Οι ευκαιρίες θα πρέπει να συμπεριλάβουν τους ανθρώπους, τους πόρους, το νομοθετικό πλαίσιο, το περιβάλλον και την κατάσταση της οικονομίας. Οι κίνδυνοι ενδεχομένως να μην είναι εμφανείς στο αρχικό στάδιο. Παρόλα αυτά, η εμπειρική γνώση και τα παραδείγματα άλλων διαδικασιών μετατροπής έξυπνων πόλεων θα πρέπει να δρουν ως πηγές αναγνώρισης κινδύνων.

Ποικίλοι φορείς μπορούν να συμμετάσχουν στη μετατροπή μιας πόλης σε έξυπνη, όπως για παράδειγμα κυβερνήσεις, τοπικές διοικήσεις, μη κερδοσκοπικές οργανώσεις και ιδιώτες, καθώς και πληθώρα επαγγελματιών. Η συνεργασία των φορέων αυτών μαζί με τη χρήση της τεχνολογίας σε όλα τα στάδια είναι τα απαραίτητα δομικά στοιχεία για τη μετατροπή. Όσον αφορά την τεχνολογία, υπάρχουν κάποιοι βασικοί άξονες πάνω στους οποίους δομείται κάθε σύγχρονη έξυπνη πόλη, στηριζόμενοι κυρίως στη χρήση του διαδικτύου. Αρχικά, θα πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη υποδομή δεδομένων πάνω στην οποία θα βασιστεί όλο το σύστημα διασύνδεσης της έξυπνης πόλης, για το λόγο αυτό και αποτελεί την 'καρδιά' κάθε αναπτυξιακού σχεδίου. Η κατασκευή των κτιρίων καλείται να σεβαστεί αυτή την απαίτηση, παρέχοντας κατά τη φάση της κατασκευής υψηλής ταχύτητας συνδέσεις με χρήση οπτικής ίνας.

Επιπροσθέτως, το δίκτυο θα πρέπει να παρέχει τηλεφωνικές υπηρεσίες και τη δυνατότητα αποστολής και προβολής βίντεο, μηνυμάτων κλπ. Πάνω σε αυτό το βασικό στοιχείο χτίζονται τα υπόλοιπα συστατικά στοιχεία προς την κατασκευή της έξυπνης πόλης, εξυπηρετώντας τους τομείς γύρω από τους οποίους περιστρέφεται.

Αυτά περιλαμβάνουν τις συσκευές και αισθητήρες για παρακολούθηση του περιβάλλοντος και των μεταφορών, έξυπνα ενεργειακά δίκτυα για την εξυπηρέτηση των έξυπνων κτιρίων και πολλά άλλα. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο στους κυβερνητικούς υπεύθυνους, οι οποίοι βάσει αυτών προχωρούν στη λήψη κατάλληλων αποφάσεων. Τα ίδια δεδομένα μπορούν να παρέχονται ανοιχτά και στους πολίτες μέσω εφαρμογών. Κατ' αυτόν τον τρόπο παρέχεται άμεση ενημέρωση, ψυχαγωγία, εκπαίδευση, πολιτισμός, ασφάλεια, εμπορικές συναλλαγές και γενικότερη αλληλεπίδραση στα πλαίσια της έξυπνης πόλης.

Η επικοινωνία της έξυπνης πόλης βασίζεται σε μια αλληλουχία στρώματων. Το πρώτο στρώμα που απευθύνεται στον τελικό χρήστη, δηλαδή στους πολίτες και τους παρόχους έξυπνων υπηρεσιών ονομάζεται επίπεδο χρήση (user layer) . Το επόμενο επίπεδο συμπεριλαμβάνει το πλήθος ηλεκτρονικών υπηρεσιών και ονομάζεται επίπεδο υπηρεσιών (service layer). Τέλος, το τελικό στρώμα που περιλαμβάνει δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και δεδομένων, συστήματα πληροφοριών και συναφείς εγκαταστάσεις αποτελεί το επίπεδο υποδομής (infrastructure layer) [7]-[12].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

5G και Έξυπνες πόλεις

2.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία 5G

Η τεχνολογία 5G αφορά την 5η γενιά κινητών δικτύων ακολουθώντας προότερες τεχνολογίες όπως τα δίκτυα 1G, 2G, 3G, 4G τα οποία ευρέως χρησιμοποιήθηκαν τις προηγούμενες δεκαετίες. Συγκεκριμένα, τα δίκτυα 1G εισήχθησαν τη δεκαετία του 1980 και επέτρεπαν την αναλογική μετάδοση φωνής. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 έγινε η μετάβαση από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα για τη μετάδοση φωνής με τη μετάβαση σε δίκτυα 2G. Μία δεκαετία αργότερα προχωρώντας στο 3G επετράπη η χρήση δεδομένων διαδικτύου από κινητές συσκευές. Πλέον από το 2010 και μετά έχει επικρατήσει σταδιακά η χρήση 4G, με την τεχνολογία αυτή να επιτρέπει πιο ευρεία και αποδοτική χρήση δεδομένων από κινητές συσκευές.

Η αρχή λειτουργίας όλων αυτών των δικτύων βασίζεται στη διαίρεση γεωγραφικών περιοχών σε μικρότερα κελιά (cells) από τα οποία και προκύπτει ο αγγλικός όρος του cellular network. Το 5G επιτρέπει νέες δυνατότητες αφού είναι σχεδιασμένο να συνδέει όλους και όλα, συμπεριλαμβανομένων μηχανών, αντικειμένων και συσκευών. Η τεχνολογία 5G είναι φυσικά ασύρματη και επιτρέπει ταχεία μεταφορά δεδομένων στη μέγιστη επίδοσή του, προσφέροντας παράλληλα χαμηλή ολική καθυστέρηση μετάδοσης, υψηλή χωρητικότητα δικτύου και μια πιο ομοιόμορφη εμπειρία χρήσης στους περιλαμβανόμενους χρήστες.

Δεδομένης της υψηλής επίδοσης και της βελτιωμένης αποδοτικότητας του 5G, νέες δυνατότητες χρήσης έχουν προκύψει, οδηγώντας στη διασύνδεση επιχειρησιακών τομέων νέου τύπου. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα κατεβάσματος δεδομένων (download speed) μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 10 gigabits per second (Gbit/s), καθιστώντας το, το ταχύτερο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων ως τώρα. Παράλληλα, η αυξημένη χωρητικότητα δικτύου (bandwidth) σε σχέση με παλαιότερες τεχνολογίες επιτρέπει τη διασύνδεση περισσότερων διαφορετικών συσκευών, βελτιώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις υπηρεσίες παροχής διαδικτύου σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Η χρήση συγκεκριμένων εφαρμογών όπως είναι οι τεχνολογίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (VR & AR) μπορεί να γίνει περισσότερο διαδεδομένη ακόμα και με χρήση κατάλληλων κινητών τηλεφώνων τα οποία υποστηρίζουν το 5G. Τέτοιες κοστοβόρες εφαρμογές πλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν με χαμηλότερο κόστος, μεγαλύτερη ταχύτητα και μειωμένη ολική καθυστέρηση. Η ευέλικτη φύση αυτής της τεχνολογίας επιτρέπει ακόμα και τη μελλοντική ενσωμάτωση συσκευών οι οποίες δεν είναι ακόμα υπαρκτές, εισάγοντας τη δυνατότητα της εμπρόσθιας συμβατότητας (forward compatibility).

Από την άλλη, όσον αφορά τα κινητά τηλέφωνα, απαιτείται μια αλλαγή σχεδιασμού των δυνατοτήτων τους, αφού όσες κινητές συσκευές διαθέτουν μόνο 4G τεχνολογία δε θα μπορούν να επωφεληθούν από τις δυνατότητες του 5G. Για πρώτη φορά ανοίγουν νέες δυνατότητες για τη διασύνδεση διαφορετικών συσκευών, επιτρέποντας συνδεσιμότητες device-to-device και multi-hop mesh. Ένα ακόμη τεχνικό πλεονέκτημα του 5G αφορά τη χρήση του σε συστήματα κρίσιμης επικοινωνίας διασυνδεδεμένα σε μεγάλα IoT δίκτυα.

Μεγάλος αριθμός αισθητήρων μπορεί πλέον να ενσωματωθεί προς εξυπηρέτηση τέτοιων αναγκών, εισάγοντας μια νέα εποχή για τους βιομηχανικούς τομείς ενδιαφέροντος, όπως ο απομακρυσμένος έλεγχος για ιατρικές υπηρεσίες, κρίσιμες υποδομές, οχήματα και άλλα. Οι σύνδεσμοι των κρίσιμων συστημάτων μπορούν να πραγματοποιηθούν με αξιοπιστία και ασφάλεια, υψηλή διαθεσιμότητα και χαμηλή ολική καθυστέρηση, χαρακτηριστικά ζωτικής σημασίας για κρίσιμα συστήματα.

Ακόμα και σε συστήματα που δε χρήζουν υψηλής κρισιμότητας, το 5G επιτρέπει την κλιμάκωσή τους, επιτρέποντας τη διασύνδεση τεράστιου αριθμού ενσωματωμένων συσκευών και αισθητήρων, οι οποίοι μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε και σε οτιδήποτε. Η συνδεσιμότητα αυτών των τεράστιων συστημάτων μπορεί να γίνει πιο οικονομικά από ποτέ και με επαρκή ευκολία, αφού είναι δυνατή η μείωση του κόστους για μεταφορά δεδομένων, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και φορητότητα.

Χάρη στις δυνατότητες αυτές, αναμένεται ότι τα επόμενα χρόνια θα αξιοποιηθεί ευρέως ως γενικός πάροχος υπηρεσιών διαδικτύου για σταθερούς αλλά και φορητούς υπολογιστές, οδηγώντας σε έντονο ανταγωνισμό σε σχέση με άλλους παρόχους διαδικτύου, όπως για παράδειγμα η χρήση καλωδιακής σύνδεσης. Φυσικά, ένα σημαντικό πλεονέκτημα που αναφέρεται να προσφέρει το 5G είναι η δυνατότητα δημιουργίας νέων εφαρμογών διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), ανοίγοντας ένα εντελώς καινοτόμο φάσμα δυνατοτήτων.

Αν και η σύλληψη και η υλοποίηση του 5G δε μπορεί να αποδοθεί σε ένα μόνο άτομο ή εταιρεία, ωστόσο πολλές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των κινητών επικοινωνιών συνεισφέρουν στην πραγματοποίηση της τεχνολογίας αυτής τόσο σε επίπεδο σύλληψης, σχεδιασμού και διαχείρισης όσο και στη χειροπιαστή υλοποίηση της ιδέας αυτής. Όπως είναι φυσικό, πολλαπλές τεχνολογίες εμπλέκονται και είναι απαραίτητες για να είναι εφικτή η χρήση του 5G, επιτρέποντας τη συμμετοχή πολλών ενδιαφερομένων (φυσικών προσώπων και εταιρειών) στην πραγματοποίησή του [14],[15].

2.2 Τεχνολογίες που απαρτίζουν το 5G

Η βασική τεχνολογία των δικτύων κινητής τηλεφωνίας βασισμένη σε κελιά γεωγραφικών περιοχών σηματοδοτεί το βασικό σχεδιαστικό τρόπο λειτουργίας του. Όλες οι ασύρματες 5G συσκευές εντός ενός γεωγραφικού κελιού συνδέονται στο διαδίκτυο καθώς επίσης και στο τηλεφωνικό δίκτυο της περιοχής μέσω ραδιοκυμάτων τα οποία εκπέμπονται από έναν κεντρικό σταθμό βάσης ανά περιοχή και αναμεταδίδονται από τοπικές κεραιές ώστε να επιτευχθεί η κατά το δυνατό πλήρης κάλυψη της περιοχής.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, μια συσκευή που κινείται εντός του κελιού, όπως για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο, μεταβαίνει από την κάλυψη της μίας κεραιάς σε μια άλλη αυτόματα και χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό. Οι σταθμοί βάσης είναι συνδεδεμένοι μέσω δικτύων οπτικής ίνας ή ακόμη και ασύρματα με το τηλεφωνικό δίκτυο, όπως επίσης και με δρομολογητές (routers) για παροχή υπηρεσιών διαδικτύου.

Προκειμένου να μπορεί στην πράξη να λειτουργήσει η μετάδοση δεδομένων εντός του κελιού, απαιτείται η διαμόρφωση του κινητού σήματος στα διάφορα κανάλια επικοινωνίας, προκειμένου να μειωθούν οι παρεμβολές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της ορθογώνιας πολύπλεξης βάσει διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal frequency-division multiplexing – OFDM).

Πολλοί πάροχοι δικτύου αξιοποιούν συγκεκριμένα κύματα χιλιοστού (millimeter waves, mmWave ή mmW) για μετάδοση, τα οποία καλούνται FR2, προκειμένου να επιτύχουν καλύτερη χωρητικότητα δικτύου και επίδοση. Τα κύματα χιλιοστού διαθέτουν μικρότερο εύρος από τα μικροκύματα χαμηλότερης συχνότητας, εξυπηρετώντας κελιά μικρότερου μεγέθους, ενώ παράλληλα δυσκολεύονται να διαπεράσουν τοίχους. Παράλληλα, οι κεραιές για εκπομπή και μετάδοση κυμάτων χιλιοστού είναι μικρότερες, έχοντας ύψος ακόμη και λίγων εκατοστών, σε αντίθεση με τις κεραιές που χρησιμοποιούνταν σε παλαιότερες γενιές κινητών δικτύων.

Ο αυξημένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καλείται να εξυπηρετηθεί με τη χρήση επιπρόσθετων ραδιοκυμάτων υψηλότερης συχνότητας, πέρα από τη χρήση κυμάτων χαμηλής και μεσαίας συχνότητας τα οποία χρησιμοποιούνταν σε παλαιότερες γενιές κινητών δικτύων. Συνεπώς, για να είναι εφικτή η παροχή πληθώρας υπηρεσιών, τα δίκτυα 5G καλούνται να αξιοποιήσουν και τις 3 μπάντες συχνοτήτων: χαμηλές, μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα 5G μπορούν να υλοποιηθούν στις 3 προαναφερθείσες μπάντες συχνοτήτων με χρήση κυμάτων χιλιοστού τα οποία κινούνται στο εύρος συχνοτήτων από 24 GHz έως και 54 GHz.

Τα κύματα στη μπάντα χαμηλών συχνοτήτων αξιοποιούν παρόμοιες συχνότητες με τα κινητά που διαθέτουν 4G τεχνολογία, δηλαδή συχνότητες περί τα 600–900 MHz. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα δίκτυα 5G επιτρέπουν ταχύτητες κατεβάσματος λίγο υψηλότερες από αυτές του 4G στο εύρος 30–250 megabits per second (Mbit/s). Επιπλέον, η κάλυψη που προσφέρεται για τα κύματα χαμηλών συχνοτήτων είναι επίσης παρόμοια με την κάλυψη που προσφέρεται για το 4G.

Η ύπαρξη των κατάλληλων υποδομών κατέστησε τη χρήση των κυμάτων χαμηλής συχνότητας ιδιαίτερα δημοφιλή, και αξιοποιήθηκε ευρέως σε μεγάλα αστικά κέντρα

το 2020. Παρόλα αυτά, κάποιες περιοχές δε διαθέτουν υποδομές στη μπάντα χαμηλών συχνοτήτων. Το γεγονός αυτό επιβάλλει την ανάγκη για χρήση κυμάτων στη μεσαία μπάντα συχνοτήτων ως το ελάχιστο δυνατό επίπεδο για παροχή υπηρεσιών συνδεσιμότητας. Τα κύματα στη μπάντα υψηλών συχνοτήτων καλύπτουν το εύρος συχνοτήτων 24 – 47 GHz, δηλαδή στο άκρο του φάσματος του χιλιοστού.

Βέβαια, είναι πιθανό κύματα με ακόμα υψηλότερες συχνότητες να αξιοποιηθούν σε μελλοντικές εφαρμογές. Η χρήση της μπάντας υψηλών συχνοτήτων επιτρέπει ταχύτητες συγκρίσιμες με αυτές που επιτυγχάνει η χρήση καλωδιακής σύνδεσης για παροχή διαδικτύου, δηλαδή της τάξης των gigabit-per-second (Gbit/s). Το εύρος ζώνης για τη λειτουργία 5G καθορίζεται βάσει νομοσχεδίων από κυβερνητικούς φορείς, όπως για παράδειγμα από την Ευρωπαϊκή Ένωση αναφορικά με τις χώρες που την αποτελούν.

Η ολική καθυστέρηση (latency) μετάδοσης έχει επίσης σχεδιαστεί για να παραμένει χαμηλή στην τάξη των 8–12 milliseconds, αν και οι πρώτες υλοποιήσεις έφταναν τα 30 millisecond. Παράλληλα, η διαχείριση σφαλμάτων μετάδοσης είναι σημαντική κατά την υλοποίηση τεχνολογιών 5G. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τεχνικές προσαρμοσμένης διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (adaptive modulation and coding scheme - MCS) προκειμένου να διατηρούν το ρυθμό σφαλμάτων ανά μπιτ (bit error rate - BLER) εξαιρετικά χαμηλό. Σε περιπτώσεις που ο ρυθμός εμφάνισης σφάλματος μετάδοσης ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο -το οποίο εξ αρχής είναι ιδιαίτερα χαμηλό-, ο πομπός προσαρμόζεται ανάλογα αναφορικά με το MCS προκειμένου να καταστήσει την επικοινωνία λιγότερο επιρρεπή σε λάθη. Η λειτουργία αυτή ουσιαστικά θυσιάζει μερικώς την ταχύτητα μετάδοσης έτσι ώστε να εξασφαλίσει σχεδόν μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων.

Από την άλλη, τα κύματα χιλιοστού έχουν πιο περιορισμένο εύρος, θέτοντας την απαίτηση για χρήση περισσότερων μικρότερων κελιών. Βέβαια, το εύρος κάλυψης καθορίζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως η συχνότητα του κύματος, οι παρεμβολές και η ισχύς μετάδοσης. Επιπλέον, το κόστος τους είναι συγκριτικά μεγαλύτερο και για το λόγο αυτό η χρήση τους σχεδιάζεται να αφορά μεγάλα και πυκνοκατοικημένα αστικά περιβάλλοντα ή σε περιοχές στις οποίες συχνά

συνωστιζεται μεγάλος αριθμός ανθρώπων, όπως για παράδειγμα σε γήπεδα και σε άλλα μέρη ψυχαγωγικού ενδιαφέροντος. Για την ώρα σε παγκόσμιο επίπεδο το πιο πολυχρησιμοποιημένο εύρος συχνοτήτων κυμάτων χιλιοστού για το 5G κυμαίνεται στα 24.25–29.5 GHz [14],[15].

2.3 Ανοιχτά ζητήματα και πιθανοί κίνδυνοι

Αν και η τεχνολογία 5G προσφέρει ποικίλα πλεονεκτήματα, υπάρχουν κι αρκετοί προβληματισμοί και ανοιχτά ζητήματα γύρω από την εδραίωση και την ευρεία χρήση του. Σχετικά ζητήματα αποτελούν η ασφάλεια, ειδικά αναφορικά με την κυβερνοασφάλεια, και η ευαισθησία των σχετικών υποδομών ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες, όπως επίσης και οι πιθανές παρεμβολές λόγω της επιλογής συχνοτήτων.

Ασφάλεια και κυβερνοεπιθέσεις

Όσον αφορά την κυβερνοασφάλεια και άλλα ζητήματα ασφαλείας γύρω από το 5G, σχετικές αναφορές έχουν υποβληθεί από την Ευρωπαϊκή Commission και την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Κυβερνοασφάλειας. Σε γενικές γραμμές, θεωρείται ότι το 5G ως νέα τεχνολογία εισάγει μια νέα εποχή διαδικτυακών κινδύνων, ιδιαίτερα από τη στιγμή που ως τεχνολογική υπηρεσία θεωρείται όχι επαρκώς ώριμη και ατελώς ελεγχόμενη, σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη το 2018 από το πανεπιστήμιο ΕΤΗ της Ζυρίχης.

Η ίδια μελέτη θεωρεί το 5G ως μέσο το οποίο επιτρέπει την κίνηση και την πρόσβαση τεράστιου όγκου δεδομένων, γεγονός που οδηγεί στη διεύρυνση των δυνατοτήτων για διαδικτυακή επίθεση. Στον ίδιο άξονα, ιδιωτικές εταιρείες διαδικτυακής ασφαλείας γνωμοδοτούν υπέρ της επιλογής της προσωποποιημένης ασφαλείας ενάντια σε διαδικτυακές επιθέσεις μεγάλης κλίμακας, οι οποίες αναμένεται να απασχολήσουν την κοινότητα μαζί με τη μαζική έλευση του 5G. Η κλίμακα των διαδικτυακών επιθέσεων προβλέπεται να αυξηθεί λόγω του ότι θα υπάρξει μεγαλύτερος αριθμός συσκευών με δυνατότητες IoT οι οποίες θα χρησιμοποιούν τεχνολογία 5G, δίνοντας πολλαπλές δυνατότητες για ποικιλία σχετικών επιθέσεων.

Συγκεκριμένα αναμένεται ότι οι συσκευές αυτές θα αυξηθούν από 7 δισεκατομμύρια το 2018 σε 21.5 δισεκατομμύρια έως και το 2025. Μια πρόσφατη έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης συστήνει την αποφυγή χρήσης ενός και μοναδικού παρόχου αναφορικά με υποδομές 5G, ιδιαίτερα όταν ο εν λόγω πάροχος δραστηριοποιείται εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης [14],[15].

Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές

Το φάσμα συχνοτήτων το οποίο αξιοποιείται από το 5G και ιδιαίτερα η μπάντα συχνοτήτων γύρω από τα 26GHz είναι πολύ κοντά στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται στην τηλεοπτική μετάδοση μέσω των δορυφόρων παρατήρησης της γης. Ιδιαίτερα η συχνότητα των 23.8 GHz είναι πολύ επίφοβη καθώς χρησιμοποιείται στην παρατήρηση της εξάτμισης νερού.

Η χρήση τέτοιων κοντινών συχνοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών εάν δε ληφθούν τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα. Συγκεκριμένα αναφορικά με τους δορυφόρους πρόβλεψης καιρού η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή λόγω του 5G μπορεί να προκαλέσει πληθώρα προβλημάτων καθώς μειώνεται η δυνατότητα παροχής καλών προβλέψεων. Το γεγονός αυτό εγείρει κινδύνους για τη δημόσια ασφάλεια, τις πτήσεις επιβατικών αεροπλάνων κι άλλους τομείς, με αναπόφευκτες οικονομικές επιπτώσεις.

Μία ακόμη προβληματική μπάντα συχνοτήτων εντοπίζεται γύρω στα 3.3 – 3.6 GHz, αφού αναμένεται να προκληθούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής με τους δορυφορικούς σταθμούς C – band, οι οποίοι λαμβάνουν δορυφορικά σήματα στις συχνότητες 3.4 – 4.2 GHz. Η εξάλειψη της παρεμβολής στο συχνοτικό αυτό εύρος είναι εφικτή με τη χρήση φίλτρων κυματοδηγών και μετατροπείς χαμηλού θορύβου [16].

Παραπληροφόρηση και δημιουργία θεωριών συνωμοσίας

Δεν είναι λίγες οι φορές που σύγχρονες τεχνολογίες έχουν αφήσει έδαφος για την ανάπτυξη θεωριών συνωμοσίας. Ιδιαίτερα η χρήση ασύρματων τηλεπικοινωνιακών σημάτων έχει αποτελέσει ένα βασικό παράγοντα ανησυχίας στο παρελθόν αναφορικά με πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, θέτοντας έτσι τη βάση για συναφείς

ανησυχίες όσον αφορά την τεχνολογία 5G. Ο βασικός ισχυρισμός της φοβίας αυτής περιστρέφεται γύρω από την πρόκληση προβλημάτων υγείας από μη ιονίζουσα ακτινοβολία, στην οποία και ανήκουν τα τηλεπικοινωνιακά σήματα. Σε αντίθεση όμως με την ιονίζουσα ακτινοβολία η οποία επιβεβαιωμένα οδηγεί σε σοβαρές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό, δεν είναι δυνατή η διάσπαση του ατόμου και κατ' επέκταση του ανθρώπινου γενετικού υλικού.

Ο μοναδικός ισχυρισμός γύρω από επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αναφέρει ότι η έκθεση σε άμεση και έντονη μη ιονίζουσα ακτινοβολία ενδέχεται να προκαλέσει βλάβες σε ανθρώπινους ιστούς λόγω υπερθέρμανσης. Φυσικά, ένα τέτοιο σενάριο δεν είναι σύνηθες στην πράξη, και δυνητικά αφορά μόνο εργαζομένους στην τοποθέτηση και συντήρηση σχετικών μηχανημάτων και οργάνων.

Η πηγή της διαμάχης σχετικά με τα προβλήματα υγείας που δυνητικά προκαλεί το 5G υπήρξε μια λανθασμένη μη δημοσιευμένη μελέτη από τον Bill P. Curry περίπου 20 χρόνια πριν, η οποία ισχυριζόταν ότι η απορρόφηση εξωτερικών μικροκυμάτων από εγκεφαλικούς ιστούς αυξανόταν με την αύξηση της συχνότητας του κύματος. Παρόλα αυτά, τεκμηριωμένες και πιο πρόσφατες μελέτες αποδεικνύουν τι αντίθετο, ότι τα κύματα χιλιοστού τα οποία χρησιμοποιούνται από το 5G είναι περισσότερο ασφαλή από τα χαμηλότερης συχνότητας μικροκύματα, καθώς αδυνατούν να διαπεράσουν τους ανθρώπινους ιστούς και να φτάσουν σε εσωτερικά όργανα. Παρ' όλα αυτά, η ευρεία διάδοση της αρχικής μελέτης έλαβε μεγάλες διαστάσεις φτάνοντας σε επίπεδα ατεκμηρίωτης κινδυνολογίας μέσω αναμετάδοσης από τρίτα μέσα.

2.4 Η τρέχουσα χρήση του 5G

Η μετάβαση από παλαιότερες γενιές τηλεπικοινωνιακών δικτύων αφορά τη συμμετοχή των ατόμων μεμονωμένα, αλλά και συνολικά

Χρήση 5G από ανθρώπους

Ο μέσος σύγχρονος χρήστης τηλεπικοινωνιακών συσκευών τελευταίας τεχνολογίας αναμένεται ότι χρησιμοποιεί περίπου 11 GB δεδομένων διαδικτύου ανά μήνα ως το

2022. Η υψηλή κατανάλωση οφείλεται στην εκρηκτική αύξηση της παρακολούθησης βίντεο από κινητές συσκευές, η οποία συνδέεται με την ψυχαγωγία και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, όπου ο μέσος χρήστης ξοδεύει πολλές ώρες καθημερινά. Η αύξηση αυτή εντείνεται από τη μαζική χρήση υπηρεσιών σύννεφου οι οποίες παραμένουν μονίμως συνδεδεμένες με τις συσκευές.

Ήδη από την επικράτηση του 4G, οι σύγχρονες τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων άλλαξαν τον τρόπο 'κατανάλωσης' πληροφορίας, με ολοένα και περισσότερες εφαρμογές να καλύπτουν πολλαπλούς τομείς της καθημερινότητας, καθιστώντας τελικά την ανάγκη για χρήση διαδικτυακών δεδομένων αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης ζωής. Για παράδειγμα, την τελευταία δεκαετία πληθώρα εφαρμογών αφορά τη ζωντανή μετάδοση και παρακολούθηση βίντεο, την παροχή υπηρεσιών για διανομή φαγητού και αγορών, μετακινήσεις με μέσα μαζικής μεταφοράς ή ταξί κι άλλα πολλά. Αυτό φυσικά οδηγεί σε αυξανόμενη ανάγκη για χρήση των δικτύων παροχής διαδικτυακών δεδομένων, και το 5G αναμένεται να επεκτείνει το οικοσύστημα των κινητών συσκευών σε καινοτόμες βιομηχανίες οδηγώντας σε νέες εμπειρίες χρήσης [14].

Χρήση 5G από επιχειρήσεις

Χάρη στις υψηλότερες από ποτέ ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και στην εξαιρετική αξιοπιστία δικτύου, το 5G αναμένεται ότι θα έχει τεράστιο αντίκτυπο στις επιχειρήσεις.

Τα οφέλη που συνοδεύουν την εισαγωγή του 5G θα ενισχύσουν την αποδοτικότητα των επιχειρήσεων παρέχοντας παράλληλα στους χρήστες ταχύτερη πρόσβαση στην πληροφόρηση. Ανάλογα το είδος της επιχείρησης, κάποιες από αυτές προβλέπεται ότι θα οδηγηθούν σε πλήρη ενσωμάτωση και χρήση των δυνατοτήτων του 5G, ιδιαίτερα όσες επιχειρήσεις βασίζονται σε υψηλές ταχύτητες, ελάχιστη καθυστέρηση δικτύου και αξιόλογη χωρητικότητα δικτύου, χαρακτηριστικά τα οποία εγγενώς παρέχει το 5G. Ως παράδειγμα, τα έξυπνα εργοστάσια (smart factories) μπορούν να εξοπλίσουν τις εγκαταστάσεις τους με 5G με σκοπό να αυξήσουν τη λειτουργική παραγωγικότητα και ακρίβεια [14].

Χρήση 5G από πόλεις

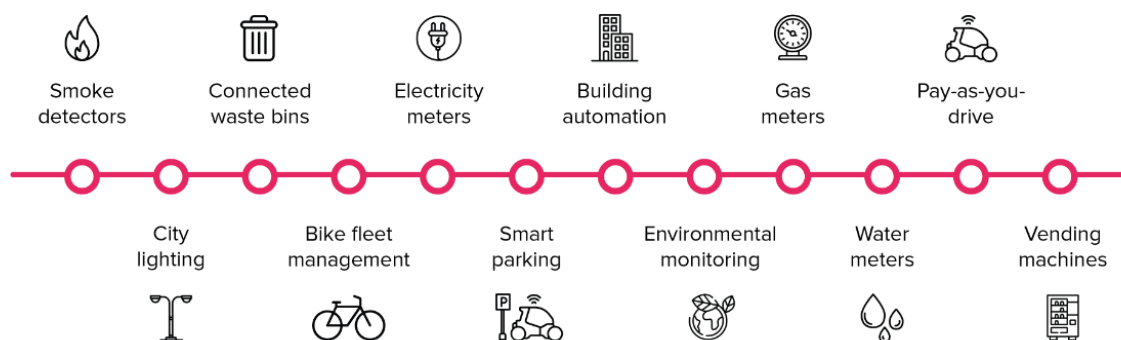
Οι πόλεις και συγκεκριμένα οι έξυπνες πόλεις μπορούν να αξιοποιήσουν το 5G με πληθώρα τρόπων, μετασχηματίζοντας τη ζωή των πολιτών που τις κατοικούν. Βασικά χαρακτηριστικά του τρόπου αξιοποίησης 5G είναι η παροχή υψηλότερης διασυνδεσιμότητας μεταξύ ανθρώπων και πραγμάτων, υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων και μεγαλύτερη αξιοπιστία, με συνακόλουθες εφαρμογές σε τομείς των μεταφορών και στην ασφάλεια των οχημάτων, στις αστικές υποδομές, στην εικονική πραγματικότητα και στην ψυχαγωγία.

2.5 Έξυπνες πόλεις με χρήση 5G

Οι έξυπνες πόλεις συμπεριλαμβάνουν πληθώρα διασυνδεδεμένων αισθητήρων και συσκευών, παράγοντας έτσι τεράστιο όγκο δεδομένων σε καθημερινή βάση. Θεωρώντας ένα σενάριο καλής χρήσης των δεδομένων αυτών, είναι εφικτή η βελτίωση της διαφάνειας και της αποδοτικότητας των διαφόρων υποδομών της έξυπνης πόλης. Κάποιες από τις εν λόγω διασυνδεδεμένες συσκευές στα πλαίσια της πόλης μπορεί να είναι κάμερες παρακολούθησης της κίνησης στους δρόμους, μετρητές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, νερού, οχήματα μέσω μαζικής μεταφοράς, διασυνδεδεμένα ποδήλατα προς ενοικίαση, λάμπες δημόσιου φωτισμού, κτίρια, μηχανήματα αυτόματης πώλησης, ανιχνευτές καπνού κι επικίνδυνων αερίων και πολλές ακόμη. Είναι φανερό πως το IoT με τη χρήση δικτύων κινητής, όπως το 5G παίζουν πολύ κρίσιμο ρόλο στην υλοποίηση μιας έξυπνης πόλης προκειμένου να πραγματοποιήσουν την επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών διαφορετικών συσκευών και αισθητήρων.

Οι προδιαγραφές που κομίζει το 5G σε μεγάλη κλίμακα θα επωφελήσει σημαντική τις εφαρμογές που συνδέονται με την έξυπνη πόλη, δεδομένου ότι αρκετές από αυτές απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης, μαζί φυσικά με ταχεία απόκριση και χαμηλή ολική καθυστέρηση, ώστε να είναι πραγματοποιήσιμη η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Αν και τέτοιες απαιτήσεις δεν είναι αναγκαίες σε περιπτώσεις μετρητών κατανάλωσης και αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών δεικτών, οι οποίοι κυρίως μεταφέρουν τα δεδομένα σε υπηρεσίες σύννεφου ώστε να ακολουθήσει offline

επεξεργασία τους, ωστόσο η δυνατότητα του 5G να ενσωματώνει διαφορετικές συσκευές μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα ωφέλιμη [17],[18].



Εικόνα 8: Συσκευές και αισθητήρες της έξυπνης πόλης στους οποίους συνεισφέρει το 5G [18]

Στη συνέχεια θα αναλυθούν εφαρμογές της έξυπνης πόλης στις οποίες συνεισφέρει η τεχνολογία 5G έτσι ώστε να είναι εφικτή η υλοποίησή τους και η απρόσκοπτη λειτουργία τους.

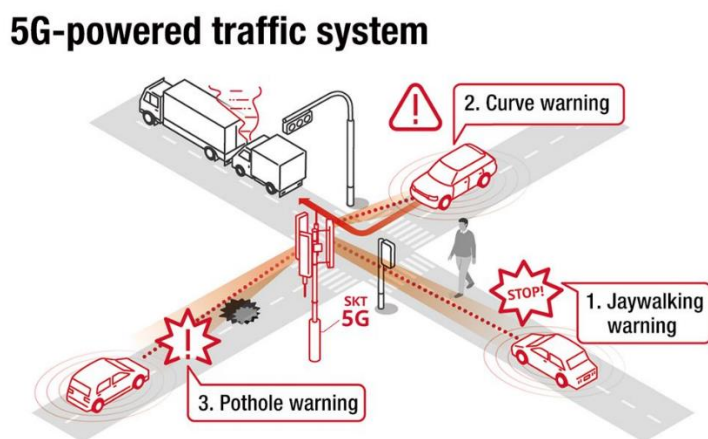
Διαχείριση και ανάλυση κίνησης οχημάτων

Πολλές πόλεις χρησιμοποιούν ή ενδιαφέρονται να χρησιμοποιήσουν έξυπνα συστήματα κίνησης (Intelligent Traffic Systems - ITS) σχεδιασμένα να μειώσουν το μποτιλιάρισμα σε κεντρικές οδικές αρτηρίες. Τέτοια συστήματα παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κίνηση αξιοποιώντας τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης προκειμένου να εξαγάγουν μοτίβα αυτόματα, ανιχνεύοντας κύρια στοιχεία, όπως για παράδειγμα τον κύκλο λειτουργίας των φαναριών μέσα στη μέρα με σκοπό να μειώσουν το μποτιλιάρισμα.

Ανάλογα με το σύστημα ανίχνευσης κίνησης, διαφορετικές τεχνολογίες προσφέρονται ώστε να παράσχουν διασυνδεσιμότητα. Το 5G παρέχει τη δυνατότητα άμεσης μετάδοσης βίντεο υψηλής ποιότητας για ανάλυση σε πραγματικό χρόνο λόγω των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το βίντεο μπορεί να αναλυθεί μέσω κατάλληλων αλγορίθμων και στη συνέχεια να μεταφερθεί, πάλι

με τη χρήση 5G στο cloud προκειμένου να υποθηκευθεί με ασφάλεια και αξιοπιστία [17],[18].

Στην επόμενη εικόνα (εικόνα 9) δίνεται ένα γενικό παράδειγμα των ζητημάτων που μπορούν να ανιχνεύσουν οι αισθητήρες της έξυπνης πόλης, η επικοινωνία μεταξύ των οποίων επιτυγχάνεται βέλτιστα με χρήση 5G.



Εικόνα 9: Παράδειγμα χρήσης ITS με 5G για τη βελτίωση της κίνησης στην έξυπνη πόλη [20]

Έξυπνη διαχείριση και μέτρηση κατανάλωσης

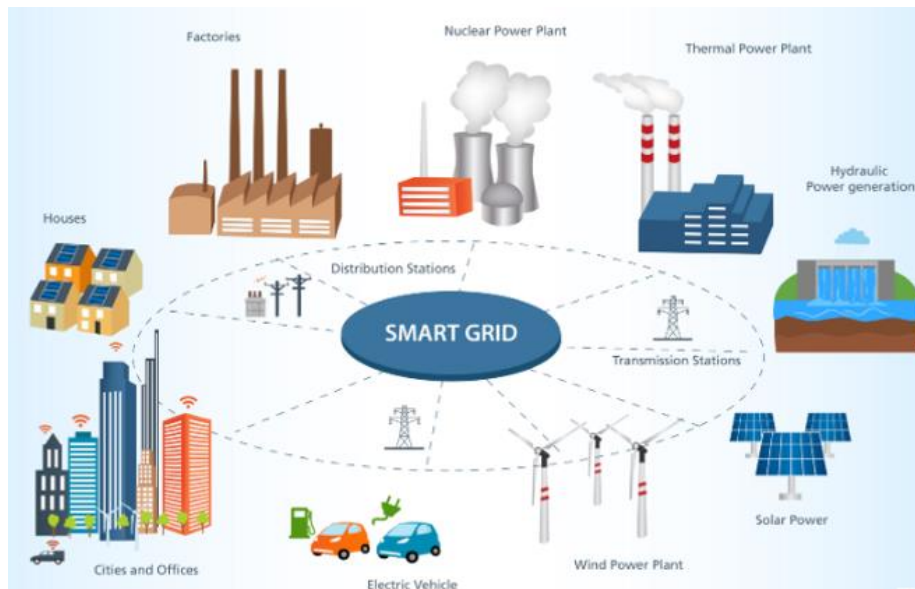
Η άνοδος του 5G αναμένεται να έχει μεγάλη επίδραση στον τρόπο καταμέτρησης της κατανάλωσης αγαθών, όπως ρεύματος, φυσικού αερίου, νερού και άλλων, γεγονός που συνεπάγεται και σημαντικές αλλαγές στις υποδομές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τρέχουσες ανάγκες των έξυπνων πόλεων καλύπτονται σε ένα βαθμό από συσκευές χαμηλής κατανάλωσης, με κατά συνέπεια χαμηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης δικτύου.

Όμως, τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτροδότησης και τα έξυπνα πλέγματα (smart grids) αποτελούν δομές με σημαντικά μεγαλύτερες ανάγκες. Στο σημείο αυτό υπολογίζεται πως αυτή η τεχνολογία θα αποτελέσει το βήμα για τη μετάβαση στα έξυπνα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά, οι συσκευές χαμηλής κατανάλωσης θα μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα στο δίκτυο, χάρη στη δυνατότητα του 5G να διασυνδέει ετερογενείς συσκευές.

Το 5G επίσης καλείται να προσφέρει συνδεσιμότητα προκειμένου να ελέγξει τη διανομή ηλεκτρικού φορτίου και τη διαμόρφωση συχνότητας στα ηλεκτρικά δίκτυα, προκειμένου να επιτυγχάνει αυτόματα σταθεροποίηση της τάσης και συγχρονισμό, έτσι ώστε να αποφευχθούν διακοπές ρεύματος. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να καλύψει μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, ανεξαρτήτως του πόσο προσβάσιμες ή απομονωμένες είναι. Τέτοιου είδους συνδέσεις όχι μόνο απαιτούν υψηλή επίδοση, αλλά και ασφάλεια απέναντι σε πιθανές κακόβουλες επιθέσεις.

Πιθανές βλάβες του δικτύου, ακόμα και σε απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές μπορούν να ανιχνευτούν αυτόματα και να ενημερώσουν την κοντινότερη τεχνική ομάδα σε πραγματικό χρόνο ώστε να αποκατασταθεί γρήγορα η βλάβη. Η απόκριση σε διάφορες μεταβολές του δικτύου είναι εφικτό να γίνει σε χιλιοστά του δευτερολέπτου και με μεγάλη ακρίβεια όσον αφορά το σημείο που παρατηρήθηκε η μεταβολή. Επιπλέον, η διασυνδεσιμότητα των δικτύων μέσω 5G μπορεί να προσφέρει καλύτερη συνεργασία μεταξύ φορέων και επιχειρήσεων στο χώρο της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη κι εκτός συνόρων [17]-[21].

Φυσικά, ένα πλήρως διασυνδεδεμένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ενσωματώνει τη δυνατότητα παρακολούθησης πολλών μεγάλων φορτίων στα πλαίσια μιας πόλης, αλλά κι εκτός αυτής, συνδέοντας αποδοτικά τις πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ενιαίο δίκτυο. Όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 10), οι διάφορες πηγές παραγωγής ενέργειας όπως τα εργοστάσια, οι εγκαταστάσεις υδραυλικής, αιολικής και ηλιακής ενέργειας συνδέονται στο έξυπνο πλέγμα μαζί με τα κτίρια και τα οχήματα της έξυπνης πόλης [22].

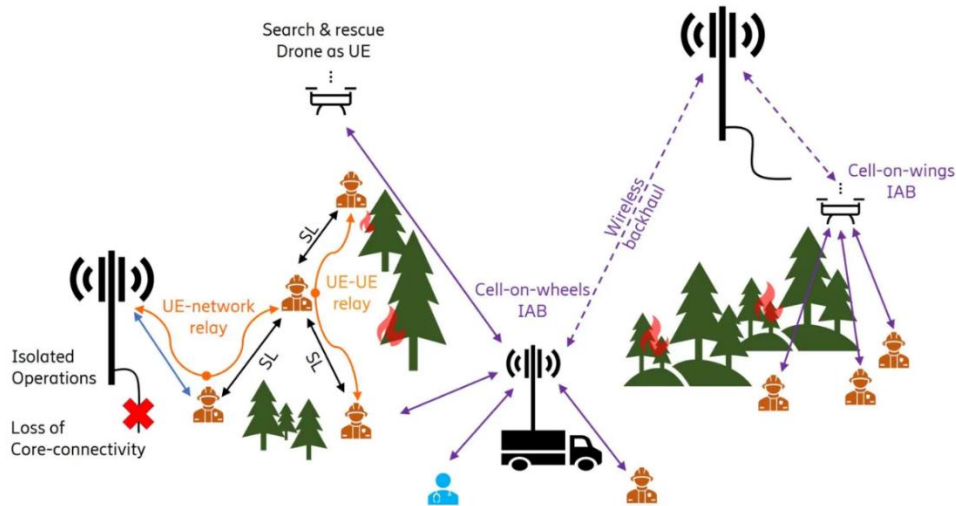


Εικόνα 10: Διασύνδεση παραγωγών και καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του έξυπνου πλέγματος κι επικοινωνία με τεχνολογία 5G [22]

5G για τη δημόσια ασφάλεια

Θεωρείται ότι τα πρώτα λεπτά μετά από ένα έκτακτο γεγονός είναι τα πιο κρίσιμα για την έκβαση της κατάστασης, είτε πρόκειται για φυσικά φαινόμενα είτε για ανθρώπινες ενέργειες. Τέτοια γεγονότα μπορεί να αποτρέψουν πλημμύρες, σεισμούς, φωτιές, ατυχήματα, τρομοκρατικές επιθέσεις, ληστείες, απόπειρες δολοφονίας κι άλλα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η γρήγορη απόκριση εκ μέρους της πολιτείας είναι ύψιστης σημασίας για την επιβίωση των θυμάτων. Η απόκριση αυτή με τη σειρά της απαιτεί την ταχεία και ακριβή ενημέρωση γύρω από το εκάστοτε συμβάν.

Οι εθνικές γραμμές επικοινωνίας για έκτακτα συμβάντα σε πολλές χώρες βασίζονται σε ασύρματες επικοινωνίες, αν και σε κάποιες πιο απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές η κάλυψη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας είναι ανεπαρκής. Ιδιαίτερα σε μη κατοικημένες περιοχές η επικοινωνία με το δίκτυο μπορεί να είναι σχεδόν ανύπαρκτη, αφήνοντας ένα κρίσιμο παραθυράκι κινδύνου σε περίπτωση φυσικών καταστροφών, οι οποίες ενδέχεται να μη γίνουν εγκαίρως αντιληπτές. Η έλευση της μαζικής σύνδεσης μέσω 5G μπορεί να επιλύσει πολλά από αυτά τα ζητήματα, κυρίως χάρη στην ταχύτητα και την αξιοπιστία επικοινωνίας που μπορεί να προσφέρει.



Εικόνα 11: Παράδειγμα επικοινωνίας μέσω 5G για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς σε δάσος [24]

Μέσα μεταφοράς

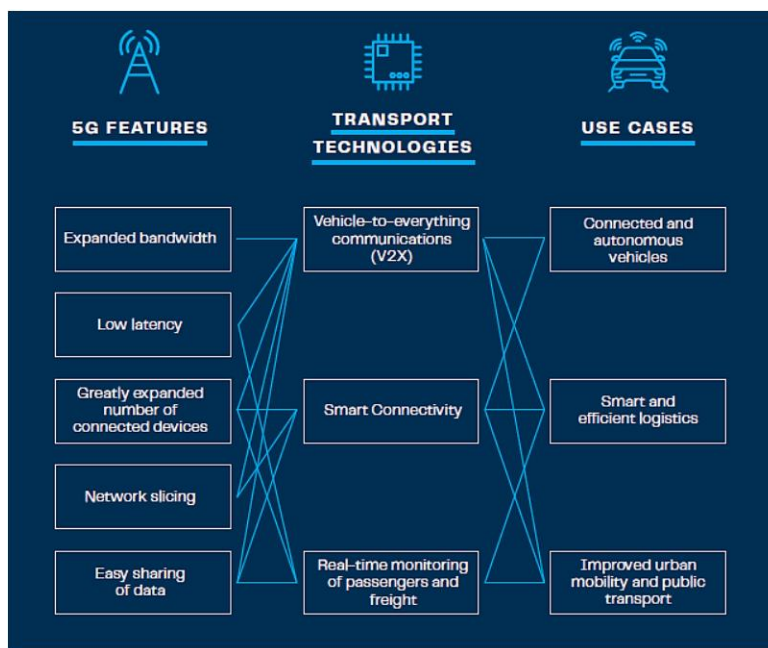
Οι περισσότεροι αισθητήρες σε οχήματα μέσω μαζικής μεταφοράς εστιάζουν κυρίως στη φυσική τους θέση. Κάποιες πόλεις βέβαια επιθυμούν να επωφεληθούν περισσότερο μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών 5G. Το 5G μπορεί να ενσωματωθεί στις συσκευές GPS παρέχοντας ευρυζωνική συνδεσιμότητα στους επιβάτες, ένα εγχείρημα που πραγματοποιήθηκε ήδη στα ελβετικά τρένα.

Στην ίδια κατεύθυνση κινούνται αεροπορικές εταιρείες, οι οποίες σχεδιάζουν να ενσωματώσουν 5G σε επιβατικά αλλά και σε εμπορικά αεροπλάνα για να παρέχουν υπηρεσίες διαδικτύου κατά τη διάρκεια της πτήσης. Όσον αφορά τους κατασκευαστές αυτοκινήτων το 5G προβλέπεται να παράσχει συνδεσιμότητα μεταξύ των οχημάτων (vehicle – to – vehicle) αλλά και μεταξύ οχημάτων και υποδομών (vehicle – to – infrastructure) αυξάνοντας την αυτονομία των μετακινήσεων.

Σε πιο συνολικό επίπεδο, το 5G μπορεί να βελτιώσει την αλυσίδα συνδέσεων (logistics) μεταξύ οχημάτων που μεταφέρουν αγαθά, μειώνοντας τα κόστη για τις επιχειρήσεις, αλλά και την περιβαλλοντική επιβάρυνση, ενώ παράλληλα αυξάνεται η ταχύτητα παράδοσης εμπορευμάτων.

Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η ασφάλεια των μετακινήσεων την οποία καλείται να αυξήσει η χρήση 5G. Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, τα διασυνδεδεμένα οχήματα μπορούν να μειώσουν το χρόνο απόκρισης σε περίπτωση ατυχήματος ή άλλης έκτακτης κατάστασης. Όσον αφορά τα σιδηροδρομικά δίκτυα, η παρακολούθηση των γραμμών και των σταθμών μπορεί να αναδείξει τεχνικά σφάλματα εγκαίρως, τα οποία θα μπορούν να αποκατασταθούν ταχέως. Επιπλέον, η προστασία των ανθρώπων στους σταθμούς και τους συρμούς είναι αυξημένη, καθώς παρακολουθούνται τυχόν εγκληματικές ενέργειες, ακόμα και μικροκλοπές ή άλλα συμβάντα εκτός του κανονικού [17]-[25].

Τα σενάρια χρήσης του 5G στα πλαίσια των έξυπνων συστημάτων μεταφοράς απεικονίζονται στην εικόνα (εικόνα 12):



Εικόνα 12: Χρήσεις του 5G για τη διασυνδεσιμότητα των μέσων μεταφοράς [25]

Αυτόνομα οχήματα

Η χρήση του 5G αναμένεται να αποδειχθεί πολύ σημαντική για την αυτοκινητοβιομηχανία ώστε να εξασφαλίσει αποδοτικά και ασφαλή αυτόνομα οχήματα σε σενάρια πραγματικής καθημερινής χρήσης. Ως ‘αυτόνομο’ θεωρείται ένα αυτοκίνητο που είναι πλήρως ανεξάρτητο στη λήψη αποφάσεων και στην ανταπόκριση σε καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων των έκτακτων περιστατικών, χωρίς δυνητικά να απαιτείται οδηγός και εξωτερική παρέμβαση.

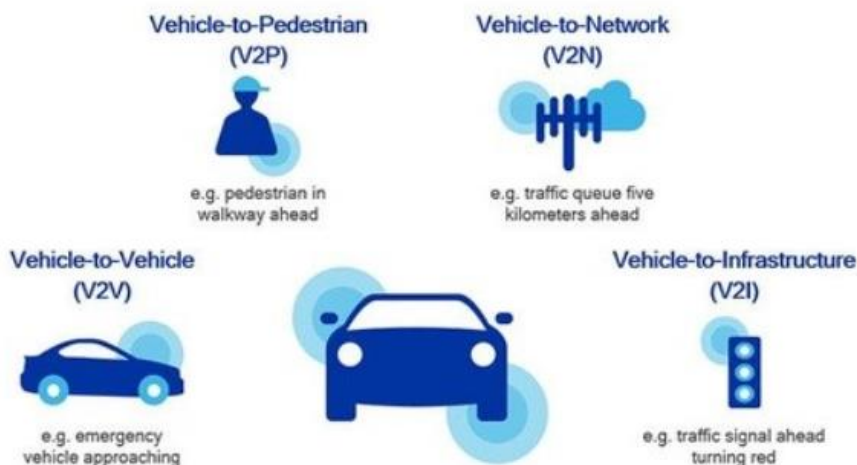
Μέχρι στιγμής βέβαια υπάρχουν πολλά ανοιχτά ζητήματα και ενδιαρμοί σχετικά με την πλήρως αυτόνομη χρήση τους. Επιτρέποντας μια ακόμη ταχύτερη σύνδεση μεταξύ συστημάτων μεταφορών, το δίκτυο θα προσφέρει νέες επιλογές εφαρμογών που προάγουν την ανάπτυξη αυτόνομων αυτοκινήτων. Όχι μόνο θα μπορούν να λαμβάνουν αυτόνομες αποφάσεις στο μέλλον, αλλά θα επικοινωνούν και θα συνεργάζονται μεταξύ τους.

Ως κύρια απαίτηση για να επιτευχθεί αυτό είναι η διαρκής σύνδεση με GPS δορυφόρους και συστήματα υπολογιστικού νέφους. Η αυτοματοποιημένη οδήγηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σενάριο όπου δημιουργείται ένα πλήρως διασυνδεδεμένο και έξυπνο σύστημα οδικών μεταφορών ως αποτέλεσμα αυτών των δυνατοτήτων.

Η ασφάλεια είναι φυσικά το επίκεντρο της προσοχής για την οδήγηση ενός αυτοκινήτου. Το 5G προσφέρει ειδικές δυνατότητες για απαιτήσεις σχετικές με την ασφάλεια που κανένα άλλο ασύρματο δίκτυο δεν μπορεί να παρέχει. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα φτάνουν στα όριά τους όταν συμβαίνουν απροσδόκητες ή άγνωστες καταστάσεις. Σε μια τέτοια περίπτωση, ένας "αυτόματος πιλότος" θα αποφασίσει να απενεργοποιήσει το σύστημα για λόγους ασφαλείας, εάν υπάρχει αμφιβολία. Ένα αυτόνομο αυτοκίνητο θα επέστρεφε στη συνέχεια το καθήκον και την ευθύνη της οδήγησης στον άνθρωπο οδηγό. Φυσικά, αυτή η λειτουργία αναιρεί την πλήρη αυτοματοποίηση, η οποία είναι η επιθυμητή. Ακόμα και αν η απόκριση του αυτοκινήτου ήταν ακριβής, η ταχύτητα απόκρισης είναι επίσης υψίστης σημασίας προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης αυτονομία.

Επιπλέον, αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της επικοινωνίας αυτοκινήτου με αυτοκίνητο για αυτοματοποιημένη οδήγηση. Αυτό περιλαμβάνει, για παράδειγμα, έξυπνα συστήματα κάμερας, τα οποία επιτρέπουν την άμεση ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των αυτοκινήτων. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα έχουν φυσικά μειονεκτήματα. Δεν μπορούν ούτε να 'κοιτάζουν' γύρω από γωνίες, ούτε πάνω από λόφους, ούτε μέσα από εμπόδια. Αυτός είναι ο λόγος που περιορίζεται η λειτουργία των αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων. Αυτή η απλή μορφή αυτοματισμού είναι επίσης ακατάλληλη σε υψηλότερες ταχύτητες.

Στο σημείο αυτό, το δίκτυο προσφέρει ένα ακόμη πλεονέκτημα. Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας διευρύνει το πεδίο της αυτόνομης κινητικότητας μέσω άμεσης και, κυρίως, γρήγορης και ευρυζωνικής επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ των αυτοκινήτων και μιας κατάλληλα εξοπλισμένης υποδομής μεταφορών, όπως τα φανάρια. Αυτό μπορεί να εξασφαλίσει βελτιωμένες ροές κυκλοφορίας [25]-[27].



Εικόνα 13: Διασύνδεση αυτόνομων οχημάτων με άλλα οχήματα, υποδομές και πεζούς [26]

Έξυπνος δημόσιος φωτισμός

Η μετάβαση στον έξυπνο φωτισμό είναι άλλο ένα σενάριο λειτουργίας το οποίο αναμένεται να λειτουργήσει καλά με την εισαγωγή τεχνολογίας δικτύου χαμηλής ενέργειας στο άμεσο μέλλον. Αν και η παρούσα λειτουργικότητα δε χρειάζεται απαραίτητως να μεταβεί σε δίκτυα 5G, η ενσωμάτωσή τους σε ένα ευρύτερο δίκτυο στα πλαίσια της έξυπνης πόλης μπορεί να προσφέρει επιπλέον λειτουργικότητες με σκοπό υψηλότερου επιπέδου υπηρεσίες. Συγκεκριμένα, κάθε απλός λαμπτήρας δρόμου μπορεί να ενσωματωθεί σε πολλαπλές μονάδες, όπως πασάλους φόρτισης, αισθητήρες, περιβαλλοντική παρακολούθηση, οθόνες πάνω σε στήλες των λαμπτήρων κλπ. Η πληροφορία αυτή μπορεί όχι μόνο να συλλέγεται, αλλά και να μεταδίδεται και να δημοσιοποιείται, συνεισφέροντας στην ‘πληροφόρηση’ μιας έξυπνης πόλης. Για παράδειγμα οι άνθρωποι μπορούν να ενημερώνονται για την θερμοκρασία της ημέρας, την ποιότητα του αέρα και άλλους περιβαλλοντικούς δείκτες μέσω της οθόνης του φωτιστικού σύλου.

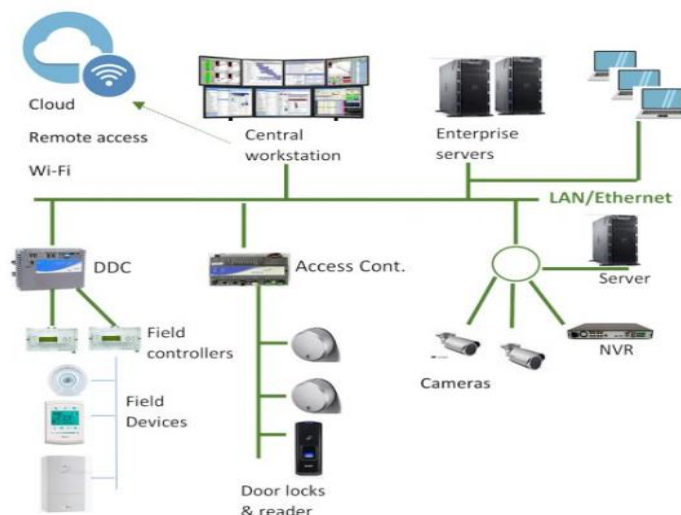
Σε ορισμένα δημιουργικά πάρκα, έξυπνοι λαμπτήρες φωτός χρησιμοποιούν την οθόνη για να μεταδίδουν βίντεο, να παίζουν μουσική και ραδιόφωνο και να παρέχουν λειτουργίες επιτρέποντας στους ανθρώπους να απολαμβάνουν δωρεάν Wi-Fi 5G ανά πάσα στιγμή. Ο φωτισμός των λαμπτήρων του δρόμου μπορεί να ρυθμιστεί αυτόματα, ελέγχοντας κατάλληλα τη φωτεινότητα ανάλογα με τις αλλαγές του φυσικού φωτισμού το πρωί και το βράδυ. Επιπλέον, η λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να ενεργοποιηθεί στη μέση της νύχτας για να μειώσει τα λειτουργικά κόστη του δημόσιου φωτισμού, άρα και τους φόρους των πολιτών. Για τους διαχειριστές πόλεων, τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν μέσω μιας πλατφόρμας και μπορεί επίσης να επιτευχθεί εντατική διαχείριση αυτοματοποιημένα, μειώνοντας το κόστος εργασίας [28],[29].

Έξυπνα κτίρια

Τα έξυπνα κτίρια παρουσιάζουν ένα σύνθετο σενάριο με πολλές πιθανές καταστάσεις και εφαρμογές. Χρησιμοποιώντας το 5G θα διαχειρίζονται και θα λειτουργούν με χρήση αισθητήρων, σαρωτών και εξοπλισμού καμερών, τα οποία θα συλλέγουν δεδομένα και βίντεο και θα αναλύουν αυτές τις πληροφορίες για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, και πέρασ από αυτό θα μπορούν να ελέγχουν την ασφάλεια πρόσβασης στο χώρο, όπως επίσης και παράγοντες άνετης διαβίωσης, συμπεριλαμβανομένης της αυτόματης προσαρμογής της θερμοκρασίας, της υγρασίας δωματίου και του φωτισμού. Η εξοικονόμηση είναι άλλος ένας βασικός παράγοντας, ορίζοντας κατάλληλα το φωτισμό και τη θερμοκρασία ενός δωματίου ανάλογα με την παρουσία ανθρώπων σε αυτό, και παραμετροποιώντας τα με βάση τον αριθμό των ανθρώπων

Η μετάβαση σε ασύρματα δίκτυα θα αλλάξει συγχρόνως και τον τρόπο κατασκευής των κτιρίων, μειώνοντας της ανάγκες φυσικής καλωδίωσης για την επικοινωνία. Αυτό συνεπάγεται μείωση των σφαλμάτων που προέρχονται από τη φυσική φθορά της καλωδίωσης, λιγότερες ανάγκες συντήρησης και γρηγορότερη επισκευή των βλαβών, εφόσον δεν απαιτείται βαριά εργασία, όπως στην περίπτωση που πρέπει να εντοπιστεί και να προσπελαστεί το προβληματικό σημείο της καλωδίωσης [30]-[32].

Με δεδομένο πως τα δεδομένα θα ρέουν συνεχώς από τον εξοπλισμό και τις συσκευές μέσω 5G σε μια κεντρική βάση δεδομένων με ασφάλεια και ταχύτητα, προσφέρεται συνολική και γρήγορη πληροφόρηση σχετικά με πιθανά ζητήματα, ώστε να μπορεί να οριστεί με σαφήνεια μια πορεία δράσης για λειτουργικές προσαρμογές που πρέπει να γίνουν για να βελτιωθεί η άνεση ή να αυξηθεί η απόδοση σε όλο το κτίριο [33].



Εικόνα 14: Διασυνδεδεμένες συσκευές με χρήση 5G στα πλαίσια ενός έξυπνου κτιρίου [31]

Οι αρχές γύρω από τη χρήση 5G σε έξυπινα κτίρια μπορούν να εφαρμοστούν στην περίπτωση του έξυπνου σπιτιού. Ο ιδιοκτήτης μπορεί να προσαρμόσει τις συσκευές και τα δεδομένα με βάση τις προσωπικές του επιθυμίες. Έξυπνες τηλεοράσεις, οι οποίες δεν χρειάζονται άλλες συσκευές για να συνδεθούν σε smartphone ή στο διαδίκτυο ελέγχονται ακόμα κι εκτός σπιτιού από το χρήστη. Βοηθοί φωνής όπως η Alexa και το Google Home, που μπορούν να ενσωματωθούν σύστημα φωτισμού και στη ρύθμιση θερμοκρασίας, ελέγχοντας την τρέχουσα κατάσταση των παραμέτρων αυτών ανά πάσα στιγμή.

Συσκευές όπως ψυγεία, που αναλύουν πληροφορίες τροφίμων μπορούν να ειδοποιήσουν τους ιδιοκτήτες για την ημερομηνία λήξης των προϊόντων, αλλά και για πιθανές ελλείψεις ώστε να πραγματοποιηθούν αγορές χωρίς απαραίτητως να προηγηθεί εξέταση των περιεχομένων του ψυγείου. Σε περιπτώσεις που υπάρχουν γλάστρες στο χώρο, το πότισμά τους μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε χειροκίνητα εντός κι εκτός σπιτιού, είτε να προσαρμοστεί στις περιβαλλοντικές συνθήκες [34],[35].

Γενικότερα, η ιδέα του διασυνδεδεμένου έξυπνου σπιτιού μέσω της χρήσης 5G απεικονίζεται στην εικόνα:



Εικόνα 15: Έξυπνο σπίτι διασυνδεδεμένο με 5G [36]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

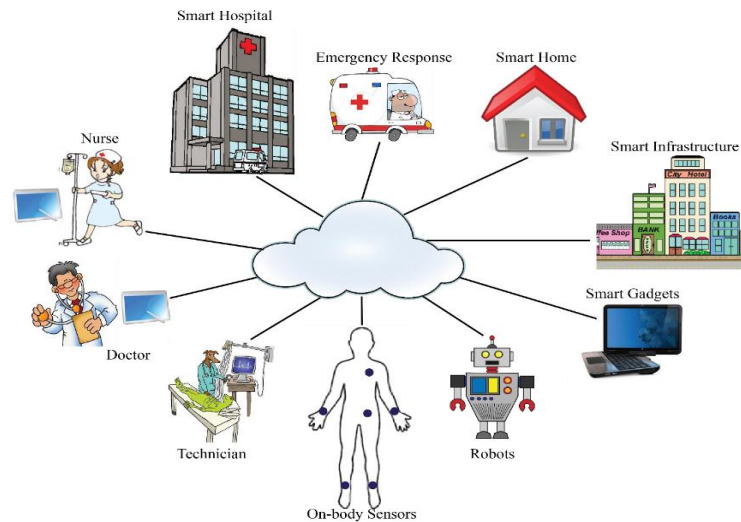
Έξυπνη υγεία και υγειονομική περίθαλψη

Καθώς οι νέες τεχνολογίες εισέρχονται ολοένα και περισσότερο στη σύγχρονη πραγματικότητα, είναι φυσικό να μεταβάλλονται κύριες δομές της καθημερινότητας, όπως είναι και ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης. Τα σύγχρονα συστήματα υγείας έχουν εδώ και καιρό αναγνωρίσει τα πλεονεκτήματα των ΤΠΕ για την αναβάθμιση των υπηρεσιών που προσφέρουν, σε κλίμακα τέτοια ώστε να είναι δόκιμος ο όρος της μετατροπής ενός παραδοσιακού συστήματος υγείας σε έξυπνο: κάνουμε έτσι λόγο για έξυπνη υγεία (smart health) και έξυπνη υγειονομική περίθαλψη (smart healthcare).

Η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη αποτελείται από πολλούς συμμετέχοντες, όπως γιατρούς και ασθενείς, νοσοκομεία και ερευνητικά ιδρύματα. Είναι ένα οργανικό σύνολο που περιλαμβάνει πολλαπλές διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης και παρακολούθησης ασθενειών, της διάγνωσης και θεραπείας, της διαχείρισης του νοσοκομείου, της λήψης αποφάσεων για την υγεία και της ιατρικής έρευνας. Υπάρχουν πολλές συνιστώσες που συνεισφέρουν στη μετατροπή αυτή, οδηγώντας σε ποικιλία σχετικών έγκυρων ορισμών.

Σύμφωνα με την Blue Stream Consultancy, «η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη ορίζεται από την τεχνολογία που οδηγεί σε καλύτερα διαγνωστικά εργαλεία, καλύτερη θεραπεία για τους ασθενείς και συσκευές που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής για όλους και για όλες». Η βασική έννοια της έξυπνης υγείας περιλαμβάνει υπηρεσίες eHealth και mHealth, διαχείριση ηλεκτρονικών αρχείων, υπηρεσίες έξυπνου σπιτιού και έξυπνες και συνδεδεμένες ιατρικές συσκευές. Οι βασικές αυτές υπηρεσίες αναλύονται στα επόμενα υποκεφάλαια [37],[39].

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 16) παρουσιάζονται οι κύριες συνιστώσες της έξυπνης υγείας (smart health) και έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης (smart healthcare):



Εικόνα 16: Συνιστώσες της έξυπνης υγείας διασυνδεδεμένες σε υπηρεσίες νέφους

3.1 Εισαγωγή της έξυπνης υγείας στην πράξη

Η πρώτη εισαγωγή του όρου γύρω από την έξυπνη υγεία και έξυπνη υγειονομική περίθαλψη εισήχθη το 2009 μέσω της έννοιας του «Smart Planet» που προτάθηκε από την IBM (Armonk, NY, ΗΠΑ) το 2009. Ουσιαστικά το Smart Planet συνιστά μια έξυπνη υποδομή, η οποία ενσωματώνει πληθώρα σχετικών τεχνολογιών, όπως είναι οι έξυπνοι αισθητήρες για την απόκτηση των δεδομένων, τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται μέσω IoT υποδομών προς επεξεργασία από ισχυρές υπολογιστικές δομές και τέλος αποθήκευση των αποτελεσμάτων στο υπολογιστικό νέφος.

Επιπλέον τεχνολογίες συνεισφέρουν στη σύνδεση περισσότερων συμμετεχόντων στο όλο εγχείρημα, όπως είναι τα άτομα και οι οργανισμοί που εμπλέκονται στο χώρο της υγειονομικής περίθαλψης. Η διασύνδεσή τους πραγματοποιείται με χρήση φορητών ηλεκτρονικών συσκευών και διαδικτύου με σκοπό την απόκτηση πληροφοριών, την επικοινωνία, την αλληλεπίδραση, την οργάνωση και τη διαχείριση των σχετικών υλικών και υποδομών. Εξασφαλίζεται επίσης η ίση δυνατότητα πρόσβασης στις υπηρεσίες αυτές, όπως επίσης και η προσπέλαση της ζητούμενης πληροφορίας, με σκοπό την προηγμένη λήψη αποφάσεων και την ορθή ανάθεση των πόρων.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες καθιστούν την έξυπνη υγειονομική περίθαλψη ως έναν από τους τομείς του ιατρικού χώρου με την υψηλότερη τεχνολογική κάλυψη σε όλα τα επίπεδα [39].

3.2 Τεχνολογίες σχετιζόμενες με την έξυπνη υγεία

Οι σύγχρονες τεχνολογίες που αναφέρθηκαν πολλές φορές στην έκταση της παρούσας εργασίας είναι τα βασικά συστατικά στοιχεία που στοιχειοθετούν τη μετατροπή ενός παραδοσιακού συστήματος υγείας στην έξυπνη εκδοχή του. Στα έξυπνα νοσοκομεία (smart hospitals), για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνται διάφοροι μηχανισμοί οι οποίοι αξιοποιούν σύγχρονες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων του cloud computing, του 5G, του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), των εφαρμογών για έξυπνα τηλέφωνα και της διασύνδεσης κινητών συσκευών, καθώς επίσης και των προηγμένων τεχνικών ανάλυσης μεγάλων δεδομένων.

Άλλες συναφείς τεχνολογίες είναι η χρήση τεχνητής νοημοσύνης, αλλά και η μικροηλεκτρονική, προκειμένου να κατασκευαστούν μηχανήματα και συσκευές που θα επιτρέπουν τη λειτουργία των προαναφερθέντων. Η σύγχρονη βιοτεχνολογία έρχεται να συμπληρώσει τις ανάγκες ενός συστήματος έξυπνης υγείας, προσφέροντας εξατομικευμένες λύσεις [39].

Όλες οι πτυχές και οι συμμετέχοντες στο χώρο της έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης εξυπηρετούνται χάρη στις τεχνολογίες αυτές. Για παράδειγμα, η χρήση φορητών ηλεκτρονικών συσκευών μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά και αποτελεσματικά για την παρακολούθηση της υγείας των ασθενών, τόσο από τους ίδιους τους ασθενείς, όσο και από συγγενείς ή νοσηλευτικό προσωπικό που παρακολουθεί την πορεία της υγείας τους.

Επιπλέον, οι γιατροί και οι διάφοροι άλλοι ειδικοί υγείας επωφελούνται με ανάλογο τρόπο από τα έξυπνα συστήματα, ανοίγοντας νέες διεξόδους κι ευκαιρίες στην ιατρική διάγνωση, τη διαχείριση των ασθενών αλλά και κρίσιμα ζητήματα, όπως

είναι η λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσονται ειδικές πλατφόρμες τις οποίες οι γιατροί ενθαρρύνονται να χρησιμοποιήσουν. Ενθαρρύνεται επίσης και η αναζήτηση διάγνωσης από πολλούς διαφορετικούς ιατρούς, σε περίπτωση που κάτι τέτοιο κρίνεται σημαντικό για τη βελτίωση λήψης αποφάσεων. Ένας ακόμη στόχος που προωθείται, είναι η λήψη αποφάσεων σχετικών με την κατάσταση της υγείας των ασθενών και της πορείας της φαρμακευτικής αγωγής σε πραγματικό χρόνο και χωρίς ανούσιες καθυστερήσεις που οφείλονται στη μη διαθεσιμότητα των απαραίτητων δεδομένων. Τεχνικοί υγείας, νοσηλευτές και γιατροί μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα των εξετάσεων χωρίς απώλεια χρόνου, μεταφέροντας τις ίδιες πληροφορίες μεταξύ τους.

Ένας άλλος τομέας της ιατρικής που επωφελείται από τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών είναι η χειρουργική. Συγκεκριμένα, υψηλής ποιότητας χειρουργικές επεμβάσεις μπορούν να επιτευχθούν μέσω συστημάτων ρομποτικής χειρουργικής με χρήση ρομποτικού βραχίονα και επαυξημένης πραγματικότητας. Η σύγχρονη χειρουργική επιστήμη αξιοποιεί το σύστημα Da Vinci, εισάγοντας μικροσκοπικές κάμερες στο σώμα του ασθενούς μέσω μικρών τομών. Η παρακολούθηση του εσωτερικού του σώματος γίνεται από οθόνη - μόνιτορ η οποία μπορεί και να βρίσκεται σε διαφορετικό χώρο, ενώ ο χειρουργός ελέγχει το ρομποτικό βραχίονα που εκτελεί τις κινήσεις της εγχείρησης, εκτελώντας τις απαραίτητες ενέργειες με εξαιρετική ακρίβεια [38]-[50].

Η αρχή χρήσης ενός χειρουργικού ρομπότ φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 17: Σύστημα ρομποτικής χειρουργικής κατά το οποίο ο χειρουργός μπορεί και να βρίσκεται σε διαφορετικό δωμάτιο, ελέγχοντας το βραχίονα του ρομπότ [49]

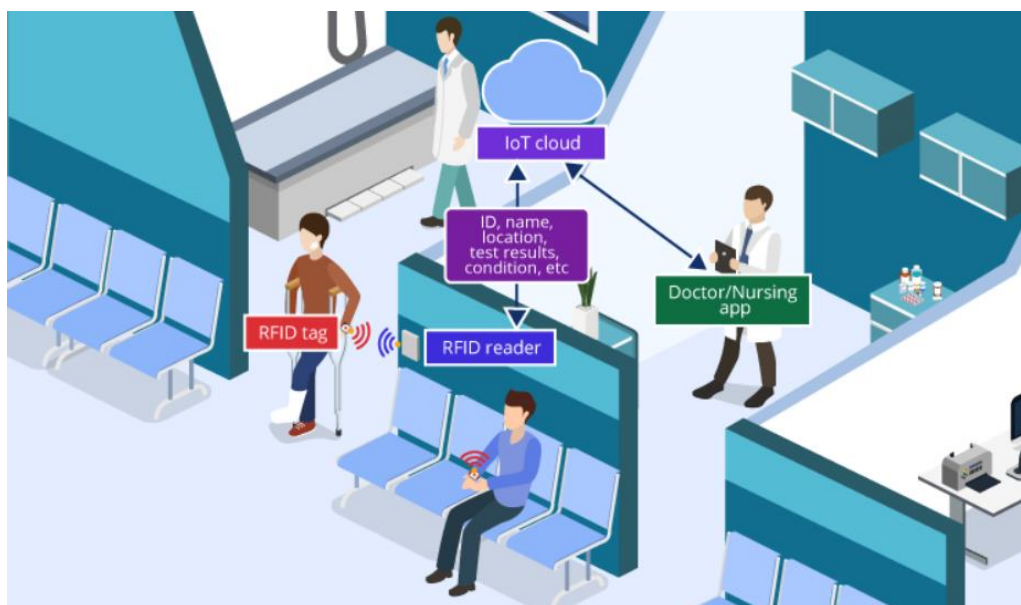
Σε μεγαλύτερη κλίμακα, οι σύγχρονες τεχνολογίες μπορούν να επωφεληθούν τα νοσοκομεία, ιδιαίτερα στο κομμάτι της παρακολούθησης ασθενών και ιατρικού υλικού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αξιοποίηση της τεχνολογίας αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID), με κατάλληλη τοποθέτηση διαφόρων ‘ταμπελών’ στο χώρο του νοσοκομείου. Κατάλληλες εφαρμογές λαμβάνουν τις πληροφορίες που συλλέγονται ώστε να επιτυγχάνεται επαρκής παρακολούθηση και ταχεία λήψη αποφάσεων από το προσωπικό, σε περίπτωση που αυτό χρειαστεί. Η περαιτέρω αποθήκευση των συλλεγμένων πληροφοριών δύναται να αξιοποιηθεί για πιο μακροχρόνιους σκοπούς, όπως η ανάλυση των δεδομένων με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων μοτίβων και τάσεων, τα οποία θα συνεισφέρουν στη λήψη οργανωτικών αποφάσεων και στην καλύτερη μακροπρόθεσμη επίβλεψη του χώρου του νοσοκομείου.

Η όλη ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών βελτιώνει την εμπειρία των ασθενών, ενισχύοντας την ασφάλειά τους και την εύρεση της θέσης τους σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, αλλά και διευκολύνει την καθημερινή εργασία του προσωπικού, με την παρακολούθηση της διαθεσιμότητας των κλινών, καθώς και της διαδικασίας ανοίγματος και πλήρωσης κλινών. Η χειροκίνητη καταγραφή των ασθενών, του φακέλου υγείας τους, των χορηγούμενων θεραπειών, των εξετάσεων και της τρέχουσας διάγνωσης μπορεί να αντικατασταθεί πλήρως χάρη στη χρήση RFID και διασυνδεδεμένων τεχνολογιών. Αυτόματα επίσης μπορούν να συμπληρωθούν τα προσωπικά στοιχεία του ασθενούς, όπως επίσης και η ώρα άφιξης και αναχώρησης από το νοσοκομείο.

Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω, κατά την εισαγωγή του ασθενούς στο νοσοκομείο, λαμβάνεται μια προσωπική RFID ταμπέλα, η οποία συνηθέστερα μπορεί να δοθεί ως βραχιόλι. Αυτόματως, τα δεδομένα της υγείας του μπορούν να προωθηθούν στο υπολογιστικό σύννεφο μέσω κινητών δικτύων και IoT για άμεση εκτίμηση της κατάστασής του και άμεση αναφορά του βαθμού κινδύνου που διατρέχει ο ασθενής (εάν πχ πρόκειται για επείγον περιστατικό).

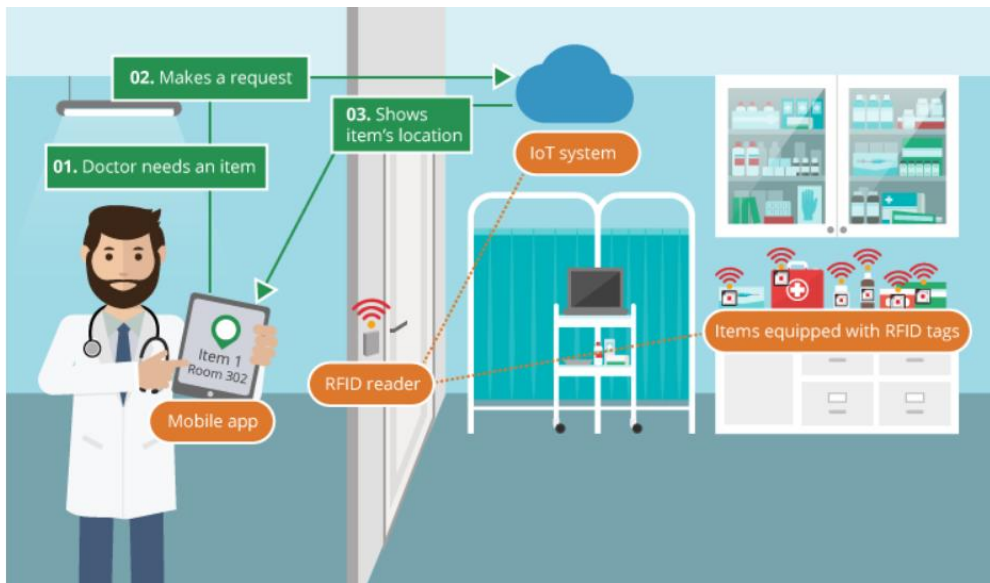
Παράλληλα, τα RFID συστήματα μπορούν να αναδείξουν σημεία συνωστισμού και συμφόρησης μέσα στο νοσοκομείο, ώστε η κατανομή των νέων ασθενών να πραγματοποιείται πιο αποτελεσματικά και χωρίς καθυστερήσεις. Ειδικά στις εποχές της πανδημίας, η αποφυγή συμφόρησης στους νοσοκομειακούς χώρους ήταν παραπάνω από επιθυμητή. Μετά το πέρας της νοσηλείας του ασθενούς, το ατομικό βραχιολάκι RFID επιστρέφεται και επαναρχικοποιείται, ώστε να δοθεί σε καινούργιους ασθενείς, και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή. Η ενημέρωση πραγματικού χρόνου σχετικά με την κάλυψη κλινών μπορεί να συνεισφέρει ακόμα και στο βέλτιστο καθαρισμό του νοσοκομείου, καθώς η ομάδα καθαρισμού μπορεί να εισέλθει σε ένα δωμάτιο όταν αυτό αδειάσει.

Ένα παράδειγμα χρήσης τεχνολογίας RFID για την παρακολούθηση των ασθενών σε νοσοκομείο δίνεται στην παρακάτω εικόνα 18 [51].



Εικόνα 18: Παρακολούθηση ασθενών σε νοσοκομείο μέσω τεχνολογίας RFID. Τα δεδομένα του ασθενούς καταχωρούνται και συνδέονται με νοσοκομειακές συσκευές, αλλά και με το cloud του νοσοκομείου [51]

Εκτός της παρακολούθησης ασθενών, το RFID χρησιμεύει και την παρακολούθηση του απαραίτητου νοσοκομειακού υλικού, όπως δείχνει η Εικόνα 19. Ελλείψεις φαρμάκων και άλλου υλικού μπορούν να γίνουν ταχέως αντιληπτές, ή ακόμη και να εξασφαλιστεί η πληρότητά τους πριν αυτά τελειώσουν:



Εικόνα 19: Ετικέτες RFID σε νοσοκομειακό υλικό μπορούν να ενημερώσουν το προσωπικό σχετικά με τη διαθεσιμότητα και την τοποθεσία απαραίτητου υλικού [52]

3.3 Τηλεϊατρική και eHealth – Χρήση ΤΠΕ για καλύτερη υγειονομική περίθαλψη

Μία από τις βασικές έννοιες για τη βελτίωση της σημερινής υγειονομικής περίθαλψης είναι η ηλεκτρονική υγεία (eHealth), δηλαδή η χρήση των ΤΠΕ στην περίθαλψη. Έτσι ορίζει και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας τον όρο: «Ηλεκτρονική Υγεία είναι η χρήση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την υγεία. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη θεραπεία ασθενών, τη διεξαγωγή έρευνας, την εκπαίδευση του εργατικού δυναμικού στον τομέα της υγείας, την παρακολούθηση ασθενειών και την παρακολούθηση της δημόσιας υγείας» [39].

Η τηλεϊατρική μπορεί να θεωρηθεί ως συγκεκριμένο παράδειγμα και υποσύνολο έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης, και σύμφωνα με τον ορισμό, γίνεται φανερό ότι περιλαμβάνει την τεχνολογική ανάπτυξη υπηρεσιών από απόσταση. Σκοπός της τηλεϊατρικής λοιπόν είναι η αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών με σκοπό την εξυπηρέτηση απομακρυσμένων γεωγραφικά περιοχών ή την παροχή βοήθειας και περίθαλψης από απόσταση και χωρίς την απαίτηση φυσικής παρουσίας.

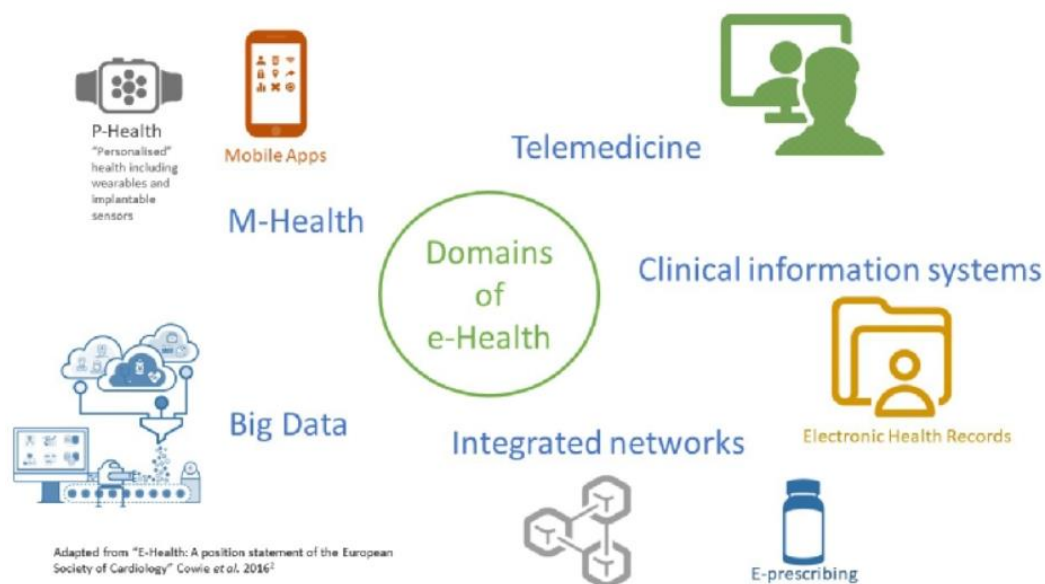
Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για απομονωμένα μέρη όπου οι υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης δεν είναι εύκολα διαθέσιμες, μεταβάλλοντας ριζικά το επίπεδο ζωής απομακρυσμένων κοινοτήτων. Τέλος, η τηλεϊατρική προβλέπεται να παρέχει κρίσιμη φροντίδα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και μπορεί να σώσει ζωές, κάτι που δε θα ήταν εφικτό με τα παραδοσιακά μέσα και τις κλασικές υποδομές περίθαλψης [38].

Ένα άλλο παράδειγμα συνεισφορών της ηλεκτρονικής υγείας και της τηλεϊατρικής είναι η βοήθεια στους ηλικιωμένους μέσω της υποβοηθούμενης διαβίωσης (assisted living). Μέσω αυτού οι ηλικιωμένοι διαθέτουν αυξημένη ανεξαρτησία στο βαθμό του δυνατού στις καθημερινές τους δραστηριότητες, απαιτώντας λιγότερη φροντίδα στη καθημερινότητά τους. Παράλληλα, η χρήση έξυπνων υπηρεσιών υγείας μπορεί περαιτέρω να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων, όπου αρχεία σχετικά με την υγεία τους είναι διαθέσιμα ανά πάσα ώρα και στιγμή στους γιατρούς και το νοσοκομειακό προσωπικό που τους περιθάλπει, εξασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι επαγγελματίες αυτοί θα ειδοποιηθούν αυτομάτως σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης [38].

3.4 mHealth – Κάνοντας την υγειονομική περίθαλψη πιο κινητή

Η κινητή υγεία (mHealth - mobile health) αποτελεί ένα παρακλάδι της ηλεκτρονικής υγείας βασισμένο σε κινητές συσκευές. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει τυποποιημένος ορισμός του mHealth, το Παγκόσμιο Παρατηρητήριο Ηλεκτρονικής Υγείας έχει καθορίσει το mHealth ως «ιατρική πρακτική και πρακτική δημόσιας υγείας που υποστηρίζεται από κινητές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, συσκευές παρακολούθησης ασθενών, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDA) και άλλα ασύρματες συσκευές." Συνεπώς, τόσο σε ατομικό όσο και σε συνολικότερο επίπεδο, η χρήση κινητών συσκευών μπορεί να αξιοποιηθεί αμφίδρομα από ασθενείς και ιατρικό προσωπικό για την αναβάθμιση της προσωπικής περίθαλψης. Αν και η παραδοσιακή πρακτική εστιάζει στην επικοινωνία μέσω κλήσεων και γραπτών μηνυμάτων, η πρόοδος των κινητών τεχνολογιών έχει αναβαθμίσει κατά πολύ τις σχετικές με το mHealth υπηρεσίες. Τέτοιες είναι η σύνδεση με ασύρματα δίκτυα νέας γενιάς, όπως το 4G και πλέον το 5G [38].

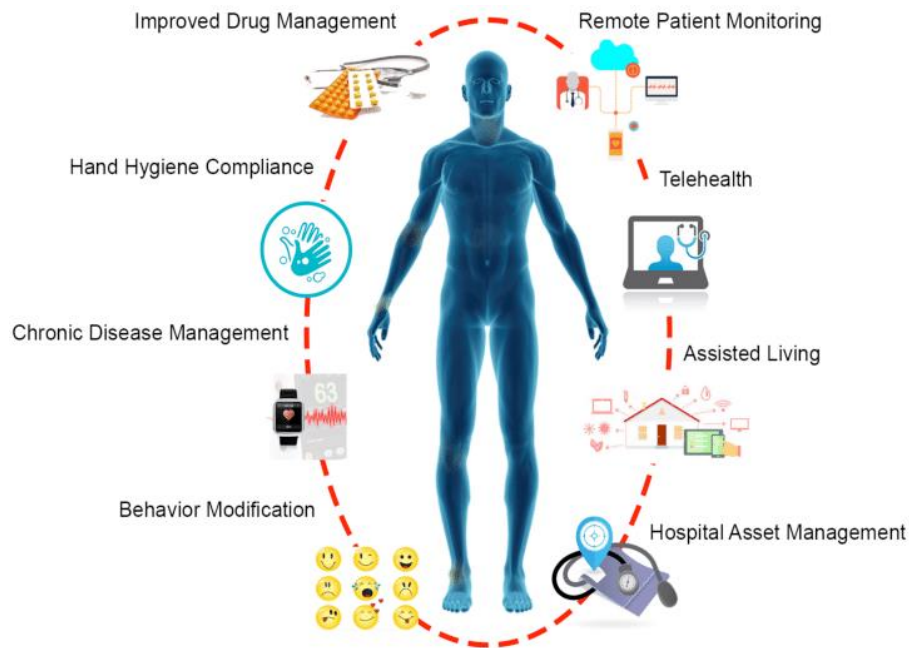
Η κινητή υγεία (mHealth) σχετίζεται άμεσα με την ηλεκτρονική υγεία (eHealth) καθώς και οι δύο συμμετέχουν και συνεισφέρουν στα ίδια οικοσυστήματα έξυπνης υγείας. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 20) απεικονίζεται ένα τέτοιο οικοσύστημα:



Εικόνα 20: Οικοσύστημα που ενσωματώνει την ηλεκτρονική και κινητή υγεία, καθώς και σχετικές τεχνολογίες [53]

3.5 AAL – Αντιμετώπιση των προκλήσεων της τρίτης ηλικίας

Καθώς το προσδόκιμο ζωής αυξάνεται συνεχώς όλο και περισσότερες χώρες αντιμετωπίζουν μια κοινωνία που μεγαλώνει, και η έξυπνη υγεία καλείται να εφαρμοστεί στην υγειονομική περίθαλψη των ηλικιωμένων. Για το λόγο αυτό, έχει εισαχθεί το Ambient Assisted Living (AAL), μια τεχνολογία η οποία έχει ως σκοπό την παροχή μεγαλύτερης ανεξαρτησίας και αυτονομίας των ηλικιωμένων. Το AAL βασίζεται στη χρήση έξυπνων διασυνδεδεμένων συσκευών, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν στο χώρο που ζει και κινείται το άτομο αυτό, ώστε να επιτευχθεί η εξ αποστάσεως παρακολούθησή του. Μετρήσεις που έχουν να κάνουν με την υγεία του ηλικιωμένου μπορούν να καταγράφονται και να μεταδίδονται αυτόματα, ενώ σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, ειδοποιείται άμεσα ιατρική βοήθεια, χωρίς να χρειαστεί να παρέμβει ο ηλικιωμένος. Εκτός της παρακολούθησης, ορισμένοι αυτοματισμοί μπορούν να διευκολύνουν την καθημερινότητα των ηλικιωμένων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει έλεγχο των συσκευών του σπιτιού, οι οποίες απενεργοποιούνται αυτόματα όταν δεν είναι σε χρήση, και πιθανόν ο ηλικιωμένος τις έχει ξεχάσει (για παράδειγμα αναμμένα φώτα, εστία κουζίνας, ανοιχτό ψυγείο και άλλα) [38].



Εικόνα 21: Παράδειγμα ενός ολοκληρωμένου AAL συστήματος [54]

3.6 Εφαρμογή της έξυπνης υγείας στην πράξη

Η έξυπνη υγεία και έξυπνη υγειονομική περίθαλψη απευθύνεται κατά κύριο λόγο σε 3 κατευθύνσεις: μεγάλες υγειονομικές και ερευνητικές δομές, όπως για παράδειγμα τα νοσοκομεία, μικρότερης κλίμακας δομές υγείας ή οργανωτικής φύσεως υπηρεσίες υγείας, και τέλος μεμονωμένους χρήστες (ασθενείς ή συγγενείς ασθενών). Με βάση τους τελικούς αποδέκτες, μπορούν να αναγνωριστούν κάποιοι ξεχωριστοί τομείς που συνιστούν την έξυπνη περίθαλψη, στοχεύοντας σε μεμονωμένες ανάγκες κάθε φορά. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση αυτών των τομών [39].

Υποβοηθούμενη διάγνωση και θεραπεία

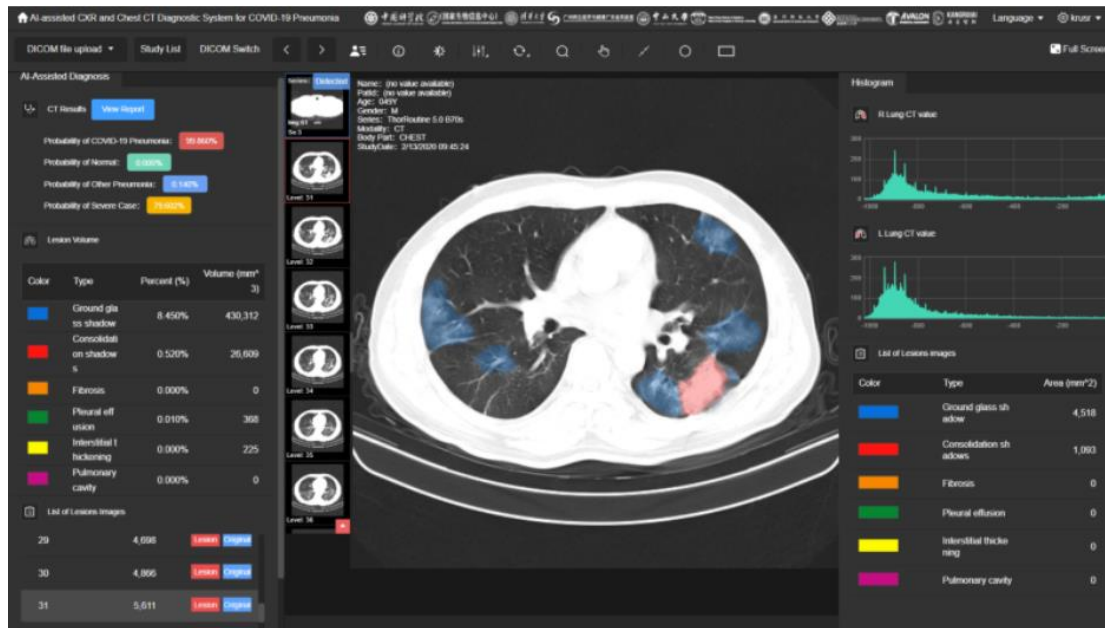
Πληθώρα σύγχρονων τεχνολογιών επιτρέπουν τη συνεργασία τεχνολογικών αυτοματισμών και επιστημόνων με σκοπό τη διάγνωση και τη θεραπεία: τεχνητή νοημοσύνη, μικτή και επαυξημένη πραγματικότητα (mixed and augmented reality) και ρομποτική χειρουργική, συνεργάζονται για να παρέχουν πιο ακριβείς και αποτελεσματικές υπηρεσίες. Οι ιατρικές αποφάσεις δε λαμβάνονται μόνο με γνώμονα την ανθρώπινη αντίληψη και γνώση, αλλά και μέσω προηγμένων συστημάτων λήψης κλινικών αποφάσεων βασισμένα στην τεχνητή νοημοσύνη και

τη μηχανική μάθηση. Απεικονιστικές τεχνολογίες τροφοδοτούν με δεδομένα τα έξυπνα συστήματα, με τους κατάλληλους αλγόριθμους να επιτρέπουν την ανίχνευση μοτίβων τα οποία ενδέχεται να διαφύγουν από ένα γιατρό. Κατ' αυτόν τον τρόπο έχει επιτευχθεί βελτιωμένη ακρίβεια διάγνωσης καρκίνων όπως και άλλων ασθενειών (πχ ηπατίτιδα), η οποία δε θα ήταν εφικτή χωρίς τη συνδρομή των έξυπνων τεχνολογιών.

Παρόμοιες βελτιώσεις έχουν επιτευχθεί και σε άλλα συστήματα που λαμβάνουν βιομετρικά δεδομένα, ή ακόμη και ηχητικά. Η συνεργασία έξυπνων αλγορίθμων και ανθρώπων μειώνει περιπτώσεις λανθασμένης διάγνωσης, ή περιπτώσεις που ο γιατρός αδυνατεί να εξάγει ένα συμπέρασμα, σε κάθε περίπτωση προσφέροντας ταχύτητα και αμεσότητα στη θεραπεία. Ο ασθενής επωφελείται από την άμεση και ακριβή διάγνωση, κι έτσι μπορεί να προβεί στην πιο αποτελεσματική εξατομικευμένη θεραπεία. Κατά τη λήψη θεραπείας, είναι εφικτή η αδιάλειπτη παρακολούθηση της εξέλιξης μιας συνεδρίας, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις ακτινοθεραπειών. Ανά πάσα ώρα και στιγμή καταγράφονται λεπτομέρειες της δέσμης, κι εκ των υστέρων οι παράμετροι αυτοί συσχετίζονται με το τελικό αποτέλεσμα της θεραπείας. Έτσι, αποκτάται μια πλήρης κλινική εικόνα της πορείας της νόσου και όλων των ενεργειών που ακολουθήθηκαν από τη διάγνωση μέχρι το τρέχον στάδιο.

Η καταγραφή αυτή μπορεί ακόμη και να βοηθήσει άλλους ασθενείς στο μέλλον, εάν ένα πρόγραμμα θεραπείας κριθεί αποτελεσματικό, βάσει των θετικών αποτελεσμάτων που παρατηρήθηκαν σε άλλους ασθενείς. Μειώνεται κατ' αυτόν τον τρόπο και ο κίνδυνος ύπαρξης ανθρώπινου λάθους, είτε κατά την αξιολόγηση της ασθένειας, είτε στην περίπτωση που ο γιατρός αποφασίσει μια πιο δραστική, επεμβατική τακτική [39].

Ένα σύγχρονο σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης του COVID – 19 αξιοποιεί τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης για την απεικόνιση των πνευμόνων ασθενούς, το οποίο παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 22: Διάγνωση νόσησης από COVID – 19 μέσα σε μόνο 20 δευτερόλεπτα χάρη στη χρήση τεχνητής νοημοσύνης πάνω σε ιατρική εικόνα [55]

Όσον αφορά τη χειρουργική επέμβαση, η δημιουργία και αυξανόμενη δημοτικότητα των χειρουργικών ρομπότ έχει ωθήσει τη χειρουργική σε ένα νέο επίπεδο. Τα πιο διάσημα συστήματα ρομπότ περιλαμβάνουν το σύστημα Da Vinci (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA, ΗΠΑ), το σύστημα ρομποτικού καθετήρα Sensei X (Hansen Medical, Auris Health, Inc., Redwood City, CA, USA) και το Flex® Robotic System (Medrobotics, Raynham, MA, ΗΠΑ).

Τα συστήματα ρομποτικής χειρουργικής προσφέρουν όχι μόνο μεγαλύτερη ακρίβεια, ευελιξία και ασφάλεια στο χειρούργο που εκτελεί την επέμβαση, αλλά και γρηγορότερη ανάρρωση με παράλληλα καλύτερα αποτελέσματα στον ασθενή. Χτίζεται μάλιστα κατ' αυτόν τον τρόπο και ο δρόμος για την εξ αποστάσεως χειρουργική, κατά την οποία δεν απαιτείται ο ασθενής να βρίσκεται στον ίδιο χώρο με τον χειρούργο. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα επιθυμητό σε περιπτώσεις που η μετακίνηση του ασθενούς εμπεριέχει ρίσκο ή οδηγεί σε χάσιμο πολύτιμου ιατρικού χρόνου, καθιστώντας τη μια επιθυμητή τακτική σε σχέση με την παραδοσιακή χειρουργική ανά περίπτωση [39]-[42].



Εικόνα 23: Σενάριο επικοινωνίας με αναισθησιολόγο μέσω τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας σε περιπτώσεις επιπλοκών κατά την επέμβαση [56]

Η χρήση μεικτής κι επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να ανοίξει εντελώς καινούργιες προοπτικές στη ρομποτική χειρουργική και στη σχετική εκπαίδευση. Ένα επεμβατικό πλάνο βασισμένο στις τεχνολογίες αυτές καθοδηγεί το χειρουργό και την ομάδα του ώστε να εκτελέσουν προγραμματισμένες και ακριβείς κινήσεις, οι οποίες έχουν προκαθοριστεί βασισμένες σε ένα μοντέλο του στόχου. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται κατά την πορεία της επέμβασης επανατροφοδοτούνται στο σύστημα μεικτής πραγματικότητας, ώστε αν κριθεί αναγκαίο, το προκαθορισμένο πρόγραμμα να προσαρμοστεί ανάλογα.

Υπάρχει έτσι μια έντονη και συνεχής αλληλεπίδραση και ανάδραση ανάμεσα στους φυσικούς συμμετέχοντες (χειρουργός και χειρουργική ομάδα, ασθενής, χειρουργείο) και στους εικονικούς συμμετέχοντες (πρόγραμμα μεικτής πραγματικότητας). Η χρήση του επεμβατικού πλάνου μεικτής πραγματικότητας μπορεί να βοηθήσει και να ενθαρρύνει τη χειρουργική έρευνα και εκπαίδευση παρέχοντας ακριβείς προσομοιώσεις εγχειρήσεων [43].

Η τεχνολογία video see – through είναι ακόμα μια εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στη χειρουργική. Το video see – through περιλαμβάνει μια ροή βίντεο του πραγματικού κόσμου, η οποία εμφανίζεται σε μια οθόνη με προσθήκη ψηφιακών πληροφοριών. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως στην υγειονομική

περίθαλψη, ιδιαίτερα σε ερευνητικά έργα και κλινικές μελέτες, αλλά και συνήθως στη λαπαροσκόπηση και την ενδοσκόπηση, καθώς οι συσκευές μπορούν εύκολα να αναβαθμιστούν για να παρουσιάσουν πρόσθετες πληροφορίες, όπως αναφέρει ο καθηγητής Hansen. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται ένα σύστημα video see – through κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης [56]:



Εικόνα 24: Λαπαροσκοπικές επεμβάσεις με τη βοήθεια ενός προσομοιωτή εικονικής πραγματικότητας (VR simulator) και ειδικά χειριστήρια ως συσκευές εισόδου για τις απαραίτητες ενέργειες [56]

Διαχείριση χρόνιων παθήσεων

Μία από τις πιο επιτακτικές σύγχρονες ανάγκες είναι η διαχείριση χρόνιων ασθενειών, για τις οποίες δεν έχει ανακαλυφθεί κάποια ριζική αντιμετώπιση. Αντιθέτως, ο ασθενής καλείται να δαπανήσει μεγάλα ποσά κατά τη διάρκεια της ζωής του προκειμένου να διατηρήσει την πάθησή του υπό έλεγχο, συνεπώς ο βέλτιστος χειρισμός κρίνεται υψίστης σημασίας. Ακόμη και στην περίπτωση αυτή, υπάρχει η πιθανότητα να επιβάλλονται συχνές ιατρικές επισκέψεις και νοσηλείες για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η παρακολούθηση της πορείας της νόσου. Καθώς όμως ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, και μαζί με αυτόν και ο αριθμός των χρόνια νοσούντων, το σύστημα υγείας είναι ολοένα και πιο δύσκολο να ανταπεξέλθει στις τακτικές ανάγκες των ασθενών. Τόσο το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό, όσο και ο ίδιος ο φυσικός χώρος ενός νοσοκομείου, δεν επαρκούν για να καλυφθούν πλήρως και με αποτελεσματικότητα οι σύγχρονες ανάγκες.

Η έξυπνη υγειονομική περιθαλψη έχει τη δυνατότητα να αποσυμφορήσει τα συστήματα υγείας στις περιπτώσεις αυτές, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στην αυτοδιαχείριση της νόσου. Παράλληλα, ο ίδιος ο ασθενής επωφελείται, καθώς αποδεσμεύεται από τις πολύ συχνές ιατρικές επισκέψεις, εφόσον αυτό είναι εφικτό, καθώς απολαμβάνει μεγαλύτερη ανεξαρτησία στην καθημερινότητα και στα σχέδιά του. Οι ασθενείς καλούνται να παρακολουθούν ατομικά την πορεία της νόσου τους μέσω της χρήσης έξυπνων τεχνολογιών και σχετικών συσκευών, χωρίς να είναι αναγκαία η συνεχής επίβλεψη από τον θεράποντα ιατρό τους. Τα δεδομένα που σχετίζονται με την υγεία και τη νόσο τους καταγράφονται σε τακτά χρονικά διαστήματα και αποθηκεύονται προς ανάλυση.

Έτσι, η χρονική πορεία μπορεί να εξεταστεί πιο συνολικά, αναδεικνύοντας πιθανές τάσεις οι οποίες φανερώνουν το πώς εξελίσσεται η υγεία του ασθενούς μακροπρόθεσμα. Η καταγραφή των δεδομένων επιτρέπει μάλιστα άμεση και αυτόματη παρέμβαση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, με τη συχνότητα αιφνιδίων περιστατικών επίσης να καταγράφονται και να αναλύονται, τόσο σε πραγματικό χρόνο, όσο και μακροπρόθεσμα.

Σε πιο συνολικό επίπεδο, η καταγραφή της πορείας νόσου πολλών ασθενών δίνει τη δυνατότητα συλλογής μεγάλου όγκου δεδομένων, τα οποία μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στους επιστήμονες που αναλύουν την εξέλιξη και τα μοτίβα που παρατηρούνται στη νόσο αυτή. Αυτό αποτελεί μια επένδυση σε μελλοντικές θεραπείες, που μπορεί ίσως και να καταστήσουν μια ανίατη νόσο ιάσιμη στο πέρασμα του χρόνου [39].

Πολύ σημαντική σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η εμφάνιση εμφυτεύσιμων/φορητών έξυπνων συσκευών, έξυπνων οπτιών και έξυπνων πλατφορμών πληροφοριών υγείας που συνδέονται με την τεχνολογία IoT. Οι τεχνολογίες αυτές με αξιόπιστο τρόπο μπορούν να πραγματοποιήσουν τις προαναφερθείσες απαιτήσεις των χρόνια ασθενών. Οι φορητές/εμφυτεύσιμες συσκευές, όπως για παράδειγμα τα έξυπνα ρολόγια, τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα κ.α. μπορούν να συνδυάσουν προηγμένους (βιο-)αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές και ασύρματες μονάδες για να ανιχνεύουν και να παρακολουθούν συνεχώς διάφορους βιολογικούς δείκτες ασθενών με έξυπνο τρόπο,

ενώ μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας, βελτιώνουν την άνεση και επιτρέπουν στα δεδομένα να συνδυαστούν με πληροφορίες υγείας από άλλα μέσα [39]-[45].

Μια επιπλέον ιδέα είναι να δημιουργηθεί ένα ανοιχτό πλαίσιο μέσω του mHealth, το οποίο θα περιλαμβάνει ασθενείς, γιατρούς, ερευνητές, νοσηλευτικό προσωπικό και πιθανότατα άλλους ενδιαφερόμενους. Συγκεκριμένα, θα επιτρέπει στους ασθενείς να έχουν εύκολη και άμεση πρόσβαση σε συμβουλές και υπηρεσίες τηλεϊατρικής, ενώ οι γιατροί θα μπορούν να παρακολουθούν δυναμικά την κατάσταση του κάθε ασθενούς. Η επικοινωνία μεταξύ των γιατρών θα οδηγήσει σε ανταλλαγή γνώσεων και τεχνικών με σκοπό την πρόοδο της ιατρικής, τη μείωση των ιατρικών λαθών, και την ανταλλαγή εποικοδομητικών απόψεων, ενώ η επικοινωνία με ερευνητές θα αναδείξει την πορεία στην οποία κινείται η ιατρική επιστήμη [39].

Πρόληψη ασθενειών και διατήρηση καλής υγείας

Παραδοσιακές τεχνικές για την πρόβλεψη κινδύνου νόσησης και την πρόληψη ασθενειών βασίζονται σε χειροκίνητες ενέργειες κατόπιν πρωτοβουλίας των υγειονομικών αρχών. Συγκεκριμένα, η συλλογή μαζικών δεδομένων, η συγκριτική μελέτη τους και η διεξαγωγή προβλέψεων διεξάγεται με μάλλον παρωχημένες μεθόδους, επιρρεπείς σε σφάλματα και χωρίς ταχεία απόκριση σε μεταβαλλόμενα δεδομένα. Αντιθέτως, η χρήση έξυπνων τεχνικών και μοντέλων για την πρόβλεψη και πρόληψη ασθενειών μπορεί να αντιμετωπίσει όλες τις προαναφερθείσες αδυναμίες, στοχεύοντας σε υψηλή ακρίβεια των προβλέψεων και εξατομικευμένες συμβουλές πρόληψης.

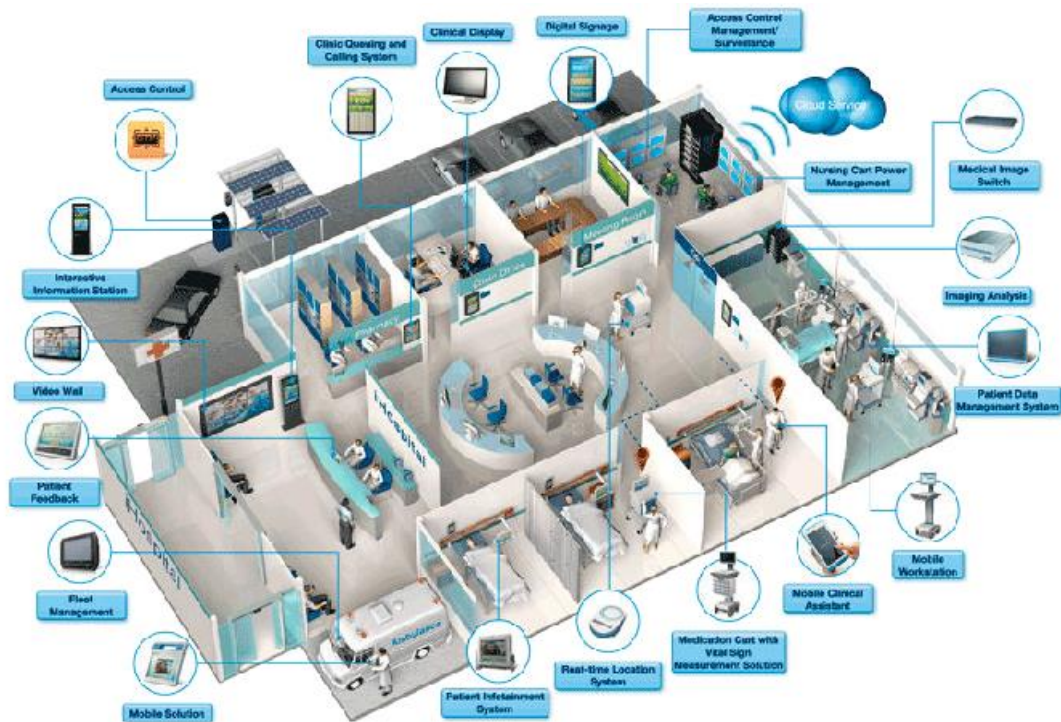
Τα δεδομένα συλλέγονται πλέον αυτόματα μέσω της χρήσης φορητών συσκευών, αισθητήρων ενός έξυπνου σπιτιού κλπ, τα οποία στη συνέχεια αποθηκεύονται στο cloud. Κατόπιν, τα συλλεγμένα δεδομένα αναλύονται με χρήση έξυπνων αλγορίθμων, οι οποίοι λαμβάνουν αποφάσεις και δημοσιοποιούν τα αποτελέσματα στους ασθενείς σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η διαδικασία πρόληψης στα πλαίσια της έξυπνης υγείας είναι συνεργατική, επιτρέποντας την άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ γιατρών και ασθενών αναφορικά με μια πιθανή νόσο, βάσει της οποίας σχεδιάζεται μια στοχευμένη στρατηγική πρόληψης.

Η όλη διαδικασία κρίνεται ιδιαίτερος αποτελεσματική, επιτρέποντας στους γιατρούς μια πιο άνετη καθημερινότητα στα πλαίσια του επαγγέλματός τους χάρη στη συνέργεια της έξυπνης τεχνολογίας, ενώ παράλληλα η λήψη διοικητικών αποφάσεων γίνεται με γνώμονα την ανάπτυξη επίκαιρων στρατηγικών με στόχο τον περιορισμό του ρίσκου νόσησης από διάφορες κοινές ασθένειες, όπως είναι η εμφάνιση διαβήτη, αυξημένης αρτηριακής πίεσης και άλλα σχετικά. Στις περιπτώσεις αυτές, η χρήση προηγμένων αλγορίθμων οι οποίοι ενσωματώνουν και αποφασίζουν χάρη στην επεξεργασία πολύ μεγάλων όγκων δεδομένων, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν σωματικά χαρακτηριστικά ασθενών, επίπεδα σακχάρου του αίματος ή τιμές αρτηριακής πίεσης μέσα στην ημέρα, σωματική άσκηση και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά. Οι αλγόριθμοι εκτιμούν τον κίνδυνο εμφάνισης νόσου και προτείνουν εξατομικευμένες συμβουλές διατροφής και άσκησης σε δυνητικά ασθενείς.

Έξυπνα νοσοκομεία

Οι έξυπνες τεχνολογίες έχουν συνδράμει σημαντικά στην αναβάθμιση των σύγχρονων νοσοκομειακών συστημάτων, εξυπηρετώντας ακόμη και μεγάλες νοσοκομειακές μονάδες, όπως επίσης και μεμονωμένους ασθενείς. Τόσο οι υποδομές όσο και το προσωπικό επωφελούνται από την εισαγωγή των τεχνολογιών αυτών σε όλα τα επίπεδα. Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών μέσω μεγάλων δεδομένων, τεχνητής νοημοσύνης, IoT, ασύρματων δικτύων και έξυπνων εφαρμογών συνεισφέρουν στην υλοποίηση της οντότητας που καλείται 'έξυπνο νοσοκομείο' επιτρέποντας νέες, αναβαθμισμένες δυνατότητες στην υπάρχουσα νοσοκομειακή φροντίδα.

Οι υπηρεσίες που αναπτύσσονται στα πλαίσια του έξυπνο νοσοκομείου περιλαμβάνουν τους ασθενείς, το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό, καθώς και τους υπεύθυνους διαχείρισης της μονάδας. Αναπτύσσονται έτσι κεντρικά συστήματα, σχεδιασμένα για να ικανοποιούν όλους τους συμμετέχοντες, τα οποία τροφοδοτούνται μέσω έξυπνων συσκευών κατανεμημένων στα κτίρια του νοσοκομείου [39].



Εικόνα 25: Η συνεισφορά του IoT και άλλων σχετικών έξυπνων τεχνολογιών στην υλοποίηση του έξυπνου νοσοκομείου [58]

Οι κύριοι λόγοι ανάπτυξης κεντρικών έξυπνων συστημάτων είναι για τη διαχείριση αποθεμάτων και φαρμάκων του νοσοκομείου, την παρακολούθηση και τη διαχείριση των ασθενών, τον έλεγχο του προσωπικού και τη γενικότερη παρακολούθηση διαδικασιών μέσα στη μονάδα. Οι ίδιοι οι ασθενείς απολαμβάνουν υψηλότερου επιπέδου περίθαλψη, η οποία αυξάνει την ικανοποίησή τους σε σχέση με την εμπειρία τους από παραδοσιακά νοσοκομειακά συστήματα. Από προληπτικές διαδικασίες, όπως είναι τα ιατρικά ραντεβού και οι εξετάσεις, μέχρι και το επίπεδο της επικοινωνίας με το ιατρικό προσωπικό, οι έξυπνες τεχνολογίες λαμβάνουν μεγάλο μερίδιο της ευθύνης.

Υπάρχει περισσότερη και πιο αποδοτική παρακολούθηση της θεραπείας και της πορείας της υγείας του ασθενούς από την πλευρά των γιατρών. Σε περίπτωση νοσηλείας, η συνήθης παραμονή τους στο νοσοκομείο είναι πιο σύντομη, χάρη στην επιτάχυνση των διαδικασιών και τη βέλτιστη λήψη ιατρικής φροντίδας. Ο ασθενής αισθάνεται μεγαλύτερη ασφάλεια και σιγουριά, όταν γνωρίζει ότι οι ειδικοί είναι ενήμεροι για την κατάσταση και τη θέση του ανά πάσα ώρα και στιγμή.

Οι γραφειοκρατικές διαδικασίες που συνδέονται με τη νοσηλεία επίσης γίνονται αισθητά συντομότερες και λιγότερο κουραστικές, χωρίς την ανάγκη μεγάλης αναμονής, κάτι το οποίο είναι σύνηθες στα παραδοσιακά νοσοκομειακά συστήματα [39].

Η χρήση έξυπνων κινητών συσκευών επιτρέπει τη διαμοίραση των δεδομένων στο προσωπικό του νοσοκομείου, επιτρέποντας διαφάνεια και ταχύτητα στις αποφάσεις. Οι πόροι μπορούν πλέον να κατανεμηθούν πολύ πιο αποτελεσματικά, ακόμα και σε μεγάλες μονάδες όπου η διαχείριση είναι πολύ δύσκολη. Τα δεδομένα προσφέρουν δυνατότητα ανάλυσης της ποιότητας και ταχύτητας των υπηρεσιών και της περίθαλψης των ασθενών, δίνοντας πληροφορίες για τους ασθενείς, τη φαρμακευτική αγωγή που έλαβαν, τις εξετάσεις τους και την απόκρισή τους στη νοσοκομειακή φροντίδα, με σκοπό την εξαγωγή μοτίβων μέσα από τον τεράστιο όγκο δεδομένων που συλλέγεται. Οι αυτοματοποιήσεις αυτές παρέχουν μείωση των δαπανών του νοσοκομείου σε πολλά επίπεδα, τόσο από την πιο αποτελεσματική διαχείριση των πόρων, όσο και από τις μειωμένες ανάγκες πρόσληψης διοικητικού προσωπικού [39].

Τελικά, σε όλα τα επίπεδα, οι νέες τεχνολογίες παίζουν αναπόσπαστο ρόλο στην ολική αναβάθμιση ενός συστήματος υγείας, το οποίο αποτελείται από τις προαναφερθείσες προηγμένες υπηρεσίες έξυπνης περίθαλψης.

Φαρμακευτικής έρευνα και σχεδιασμός φαρμάκων

Η έρευνα για σχεδιασμό νέων φαρμάκων είναι ένας ιδιαίτερα καινοτόμος τομέας, ο οποίος επωφελείται σημαντικά από την είσοδο νέων τεχνολογιών. Συγκεκριμένα, η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη φαρμακευτική έρευνα, βελτιώνοντας την ακρίβεια του σχεδιασμού με την αξιοποίηση μεγάλου όγκου δεδομένων με αυτόματο τρόπο. Οι νέες έξυπνες τεχνολογίες εμπλέκονται σε όλα τα στάδια, από τη θεωρητική μελέτη για νέα φάρμακα με σκοπό την αντιμετώπιση κάποιας συγκεκριμένης ασθένειας, την πρακτική κατασκευή τους, τις κλινικές δοκιμές και τον τελικό έλεγχο πριν δοθούν στην αγορά [39].

Στο επίπεδο της θεωρητικής μελέτης για το σχεδιασμό ενός φαρμάκου, εξετάζονται συνδυασμοί υπάρχοντων φαρμάκων με χημικά μόρια ώστε να πιστοποιηθεί η δράση του στο ανθρώπινο σώμα. Παραδοσιακά η έρευνα αυτή γίνεται με χειροκίνητο τρόπο, με το ανάλογο χρονικό κόστος και πιθανές ελλείψεις στον αρχικό πειραματισμό. Αυτό συμβαίνει καθώς πολλές φορές οι πιθανές ενώσεις απαιτούν εξαντλητικό αριθμό συνδυασμών, κάτι που συχνά είναι δύσκολο και ιδιαίτερα δαπανηρό.

Αυτό το στάδιο πειραματισμού μπορεί ακόμη και να περιέχει και μη έγκυρους συνδυασμούς, οι οποίοι ενδέχεται να μην είναι εκ των προτέρων γνωστοί, όμως καθυστερούν ακόμη περισσότερη τη διεκπεραίωση του αρχικού πειραματισμού. Τα μειονεκτήματα αυτά εξαλείφονται μέσω των σύγχρονων τεχνολογιών επιτρέποντας τον ταχύτατο και λεπτομερή πειραματισμό, τον ακριβή έλεγχο, στη διόρθωση πιθανών σφαλμάτων, κι όλα αυτά χάρη σε τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης.

Πλέον, η σύνθεση μορίων και ενώσεων πραγματοποιείται εντελώς αυτοματοποιημένα, ενώ είναι δυνατόν κάθε σύνθεση να ελεγχθεί μεμονωμένα και αποτελεσματικά. Έτσι, οι μη έγκυροι συνδυασμοί απορρίπτονται εκ των προτέρων, μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος πειραματισμού. Το σύστημα Watson για ακόμη μια φορά έχει συνεισφέρει στην ιατρική έρευνα επιτυγχάνοντας σημαντικές συνεισφορές σε εξειδικευμένες μελέτες, όπως για παράδειγμα αυτές που αφορούν αναγνώριση πρωτεϊνών [39].

Στη συνέχεια, κατά το στάδιο της κλινικής δοκιμής, οι νέες τεχνολογίες εξακολουθούν να διατηρούν τον πρώτο λόγο για αποτελεσματικό πειραματισμό. Οι καταλληλότεροι εθελοντές για τη μελέτη των φαρμάκων στην πράξη μπορούν να επιλεγθούν μέσω αποφάσεων που λαμβάνονται με χρήση τεχνητής νοημοσύνης, και στη συνέχεια να αντιστοιχιστούν στην κάθε δοκιμή με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η παρακολούθηση των εθελοντών πραγματοποιείται με χρήση φορητών αισθητήρων, με σκοπό τη λήψη βιομετρικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα και με επαρκή λεπτομέρεια σύμφωνα με τις ανάγκες της μελέτης. Η διανομή των πληροφοριών ως αποτέλεσμα της συλλογής δεδομένων πραγματοποιείται εμπιστευτικά και με ασφάλεια, ώστε να εξασφαλιστεί η χρήση τους σύμφωνα με τα πρωτόκολλα από εγκεκριμένους επιστήμονες [39]-[48].

Η φαρμακοβιομηχανία επωφελείται σημαντικά από τεχνολογίες και διαδικασίες που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια των έξυπνων νοσοκομείων με σκοπό τον έλεγχο της παραγωγής φαρμάκων, τη διασφάλιση της γνησιότητάς τους, και τον έλεγχο της κυκλοφορίας τους στην αγορά [39].

3.7 Προκλήσεις και προβληματισμοί

Παρόμοια με προβληματισμούς που συζητήθηκαν σχετικά με τις έξυπνες λύσεις και τις αντίστοιχες τεχνολογίες σε προηγούμενα κεφάλαια, είναι αναγκαίο να αναλυθούν και προβληματισμοί γύρω από τον τομέα της έξυπνης υγείας. Η εισοδος προηγμένων τεχνολογιών ποτέ δε γίνεται χωρίς κανένα κόστος, και κατ' αυτόν τον τρόπο αναδύονται πολλαπλές προκλήσεις, οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν [39].

Η παρακάτω εικόνα συνοψίζει τεχνολογίες και έξυπνες συνιστώσες που συμβάλλουν και αναμένεται και στο μέλλον να βελτιώσουν την έξυπνη υγειονομική περίθαλψη:



Εικόνα 25: Κύριες κατευθύνσεις ανάπτυξης για βελτίωση του χώρου της έξυπνης υγείας [59]

Πολλοί προβληματισμοί θα μπορούσαν να αφορούν ζητήματα ιδιωτικότητας, τα οποία ενδέχεται να παραβιάζονται μέσω της συνεχούς παρακολούθησης ενός ασθενούς. Από την άλλη, ίσως είναι δύσκολο να υπάρξει μια συμφωνία στο κατά πόσο ο ασθενής θα επωφεληθεί από τη συνεχή παρακολούθηση σε σχέση με το να απολαμβάνει μια καθημερινότητα περιορισμένης ιδιωτικότητας. Ιδιαίτερα με την εμφάνιση κακόβουλων επιθέσεων και υποκλοπής προσωπικών δεδομένων, το σενάριο της παρακολούθησης εγείρει ακόμη περισσότερους προβληματισμούς.

Ήδη ο τεράστιος όγκος δεδομένων δημιουργεί περισσότερες ανησυχίες για το πώς θα κατανεμηθούν και θα προστατευθούν από εξωτερικές κακόβουλες ενέργειες. Συχνά, εκλείπει ακόμα και το σαφές νομικό πλαίσιο περί της προστασίας δεδομένων του ασθενούς, μειώνοντας την εμπιστοσύνη τους στην παρούσα εκδοχή των έξυπνων υγειονομικών συστημάτων. Εγείρεται επίσης φόβος για τον τρόπο χρήσης της τεχνολογίας, καθώς πολλοί ασθενείς δεν είναι καθόλου εξοικειωμένοι με μοντέρνες συσκευές και εφαρμογές, ενισχύοντας τη δυσπιστία τους στο σύστημα [39].

Ακόμα και πιο εξοικειωμένοι χρήστες θα μπορούσαν να αναρωτηθούν για την αξιοπιστία των σύγχρονων τεχνολογιών, αναφορικά με το σημείο στο οποίο βρίσκονται σήμερα. Ακόμα και αν υπάρχει τεράστια εμπιστοσύνη στα επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα, αυτό δε σημαίνει ότι οι σχετικές τεχνολογίες είναι στο σημείο που μπορούν να επεκταθούν από την έρευνα και τον πειραματισμό στην πράξη. Η έλλειψη διαφάνειας στα πρωτόκολλα που επιτρέπουν σε μια νέα τεχνολογία να εισέλθει στην ιατρική καθημερινότητα και να λάβει κρίσιμες αποφάσεις δημιουργούν ένα κλίμα μειωμένης εμπιστοσύνης στα ιατρικά συστήματα που εμπιστεύονται τις τεχνολογίες του μέλλοντος τυφλά [39].

Επιπλέον, μια τεχνολογία, όσο πρωτοπόρα και υποσχόμενη κι αν είναι, απαιτείται και η σωστή διαχείρισή της για να λειτουργήσει σε ένα ρεαλιστικό σενάριο της καθημερινής ζωής. Η σωστή οργάνωση με γνώμονα την εισαγωγή και αξιοποίηση έξυπνων λύσεων είναι κάτι που λείπει από πολλά παρόντα υγειονομικά συστήματα. Σε αυτό το πρόβλημα συνεισφέρει και ο ασαφής ορισμός στόχων της υγειονομικής μονάδας, καθώς και η άτεχνη εκτέλεση των απαραίτητων ενεργειών προς επίτευξή τους.

Κάτι τέτοιο όμως τελικά συνεπάγεται σπατάλη των διαθέσιμων πόρων, αν κι ένας από τους βασικούς άξονες των έξυπνων τεχνολογιών είναι η πιο αποτελεσματική χρήση τους. Στο επίπεδο επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών υγειονομικών ομάδων, παρατηρείται έλλειψη κοινών προτύπων ώστε να ακολουθηθεί μια ενιαία συμβατή στρατηγική [39].

Εν ολίγοις, οι τρέχουσες προκλήσεις κατά κύριο λόγο περιστρέφονται γύρω από οργανωτικά ζητήματα, καθώς αυτά καθορίζουν σε τι βαθμό μια τεχνολογία είναι επαρκώς αξιόπιστη για να εισαχθεί στην ιατρική πράξη και με ποιον τρόπο αναμένεται να ενσωματωθεί αποτελεσματικά. Τα οργανωτικά ζητήματα γύρω από τη βέλτιστη κατανομή των πόρων δεδομένης της τεχνολογίας χρειάζονται επαγγελματίες με γνώση όλων των σχετικών κλάδων και την ύπαρξη πνεύματος συνεργασίας μεταξύ τους, όσο και με τους υπεύθυνους υγείας, αλλά και με τους ερευνητές στο χώρο των νέων τεχνολογιών.

Η σταδιακή εισαγωγή άγνωστων μέχρι τώρα τεχνολογιών, οι οποίες συνοδεύονται από ένα ανοιχτό πρωτόκολλο χρήσης και ένα ολοκληρωμένο νομικό πλαίσιο μπορεί να αυξήσει την εμπιστοσύνη των γιατρών και των ασθενών απέναντι σε οτιδήποτε καινούργιο. Σε όλα αυτά, το βασικό σημείο αναφοράς θα πρέπει να είναι και να παραμείνει η προστασία του ασθενούς, τόσο σε επίπεδο εξασφάλισης της σωματικής και ψυχολογικής του υγείας, όσο και σε διασφάλιση της ιδιωτικότητας των δεδομένων του [39].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μια νέα μεθοδολογία για την κάλυψη ευρυζωνικής συνδεσιμότητας έξυπνων πόλεων με δυνατότητα 5G

Οι εφαρμογές έξυπνης πόλης αναπτύσσονται σε τοπολογίες με πολλά κτίρια ποικίλου ύψους και υλικά κατασκευής, με τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας να επιθυμούν να συνδεθούν με τις υπηρεσίες που προσφέρει κάθε δήμος. Η ασύρματη διάδοση σε τέτοια περιβάλλοντα παρεμποδίζεται τόσο από μεγάλης όσο και από μικρής κλίμακας εξασθένιση, ενώ οι πληροφορίες κατάστασης καναλιού δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων, αλλά απαιτούν υποθέσεις εντός ενός συγκεκριμένου πιθανολογικού εύρους (ημι-ντετερμινιστική πρόβλεψη καναλιού) με βάση μετρήσεις και άλλα εμπειρικά δεδομένα.

Όλοι αυτοί οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας, είτε σε εξωτερικό περιβάλλον είτε στα διαμερίσματά τους, απαιτούν ευρυζωνική σύνδεση της οποίας η ελάχιστη τιμή ορίζεται από την ITU στα 2,048 Mbps [64]. Αυτό ορίζεται ως το βασικό ελάχιστο ποσοστό για κάθε χρήστη που συνδέεται με τις δημοτικές υπηρεσίες. Αυτό σημαίνει ότι όταν υπάρχει μεγάλη συσσώρευση χρηστών, δηλαδή αυξημένη πυκνότητα χρηστών που επιθυμούν να συνδεθούν με τις υπηρεσίες, παρατηρείται συμφόρηση λόγω της αυξημένης τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Στην περίπτωση της ασύρματης δικτύωσης, η διανομή της ευρυζωνικής συνδεσιμότητας σε χρήστες εντός εμβέλειας που επιθυμούν να συνδεθούν στην ευρυζωνική υποδομή της έξυπνης πόλης έχει ιδιαίτερη σημασία.

Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να καθιερωθεί μια αξιόπιστη μέθοδος για την πρόβλεψη και τον υπολογισμό του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR), προκειμένου να παρέχεται μια αξιόπιστη μέτρηση για τον υπολογισμό του συνολικού ρυθμού συνδεσιμότητας εύρους ζώνης που προσφέρεται από οποιαδήποτε δεδομένη κεραία στην αστική περιοχή. Η μέγιστη εμβέλεια οποιασδήποτε δεδομένης κεραίας, δηλαδή η ακτίνα κυψέλης, καθορίζεται από τον ελάχιστο ευρυζωνικό ρυθμό 2,048 ανά συσκευή. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εκτιμηθεί ο μέσος (αναμενόμενος) αριθμός συσκευών ανά κυψέλη.

Εάν υπάρχουν εμπειρικά δεδομένα, τότε ο αριθμός των συσκευών γίνεται η βάση για όλους τους περαιτέρω υπολογισμούς. Σε κάθε περίπτωση, το τοπικό μέσο SNR (το SNR σε κάθε σημείο ενδιαφέροντος) πρέπει να υπολογίζεται με αξιόπιστο, αν και εμπειρικό, τρόπο.

Αυτό απαιτεί τον υπολογισμό του θορύβου, ο οποίος στην περίπτωση μας παρέχεται ήδη από εμπειρικά δεδομένα που προέρχονται από εκτεταμένες μετρήσεις που έχουμε πραγματοποιήσει, και την ισχύ σήματος (τοπική μέση τιμή) που είναι ο στόχος αυτής της ενότητας. Για να επιτευχθεί ο αξιόπιστος υπολογισμός της τοπικής μέσης λαμβανόμενης ισχύος, χρησιμοποιούνται επικυρωμένα μοντέλα RF (ραδιοσυχνότητων), προσαρμοσμένα για χρήση στο κανάλι 3,5 GHz. Το ιδεαλιστικό μοντέλο απωλειών διαδρομής ελεύθερου χώρου θα χρησιμοποιηθεί πρώτο, καθώς χρησιμεύει ως μοντέλο αναφοράς για όλους τους επόμενους υπολογισμούς.

Ο βασικός μηχανισμός ραδιοδιάδοσης περιγράφεται μαθηματικά από τον τύπο του Friis και βασίζεται στη φυσική έννοια της διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ως ιδανικής σφαίρας με συνεχώς αυξανόμενη ακτίνα στο χώρο. Καθώς αυξάνεται η ακτίνα αυτής της ιδανικής σφαίρας - δηλαδή η απόσταση μεταξύ του πομπού, ο οποίος θεωρείται ότι βρίσκεται στο κέντρο της ιδανικής σφαίρας, και του δέκτη, ο οποίος βρίσκεται στην επιφάνεια της σφαίρας - η πυκνότητα ακτινοβολίας ανά μονάδα όγκου (J/m^3) μειώνεται.

Εάν η ταχύτητα διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (δηλαδή ο ρυθμός αύξησης της σφαίρας) ισούται με την ταχύτητα του φωτός, τότε ο ρυθμός αύξησης της σφαίρας οδηγεί σε μείωση της πυκνότητας ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας (W/m^2). Με αυτόν τον τρόπο εξηγείται ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου στον τύπο του Friis, ο οποίος στη λογαριθμική του μορφή εκφράζεται ως εξής:

$$PL(d) = 32.45 + 20 \log_{10} f(MHz) + 20 \log_{10} d(km) \quad (1)$$

Η λογαριθμική διατύπωση του τύπου του Friis, γνωστή και ως μοντέλο ελεύθερου χώρου, υπολογίζει (σε dB) τη μέση απώλεια διαδρομής ως συνάρτηση της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη (σε km) και της συχνότητας λειτουργίας του συστήματος.

Γνωρίζοντας τη μέση απώλεια διαδρομής και τη συνολική εκπεμπόμενη ισχύ από τον πομπό (Effective Isotropic Radiated Power, EIRP), μπορούμε να υπολογίσουμε (σε dBm) την τοπική μέση λαμβανόμενη ισχύ.

Το Eq. 1 υπολογίζει τη μέση απώλεια διαδρομής ως συνάρτηση της απόστασης που εκφράζεται σε χιλιόμετρα. Συχνά είναι πιο χρήσιμο να χρησιμοποιείται ένας τύπος που υπολογίζει την απώλεια διαδρομής με το μέτρο της απόστασης εκφρασμένο σε μέτρα. Αυτό αποδεικνύεται πιο βολικό όταν εξετάζουμε δίκτυα περιορισμένης εμβέλειας, π.χ. ένα δημοτικό Wi-Fi σε μια πλατεία της πόλης. Εκτός αυτού, η τάση τόσο για τις μικρές κυψέλες στα ανεπτυγμένα δίκτυα 4G όσο και για το επεκτεινόμενο σύστημα 5G είναι για κυψέλες μικρότερης εμβέλειας, έτσι ώστε τα μοντέλα απώλειας διάδοσης ραδιοσημάτων να μπορούν να λαμβάνουν ως μεταβλητή εισόδου την απόσταση πομπού-δέκτη απευθείας σε μέτρα και όχι σε χιλιόμετρα. Η ακόλουθη εξίσωση δίνει την απώλεια σε dB όταν η απόσταση πομπού-δέκτη εκφράζεται σε μέτρα:

$$L_{total} = PL(d_0) + N \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (2)$$

Όπου $P_{L_0}(dB)$ είναι η απώλεια διαδρομής αναφοράς για την απόσταση αναφοράς d_0 , η οποία θεωρείται ίση με 100 μέτρα ή 1km για εξωτερικά περιβάλλοντα και ίση με 1 μέτρο για εσωτερικά περιβάλλοντα, N ισούται 10 n , όπου n είναι ο εκθέτης απώλειας διαδρομής που ισούται με 2 για το μοντέλο ελεύθερου χώρου. Η εξάρτηση συχνότητας "ενσωματώνεται" στο συντελεστή $PL(d_0)$ (απώλεια διαδρομής αναφοράς), ο οποίος υπολογίζεται από την εξίσωση (1), θεωρώντας απόσταση ίση με την απόσταση αναφοράς d_0 .

Η τοπική μέση λαμβανόμενη ισχύς, σύμφωνα με το μοντέλο ελεύθερου χώρου, αντιστοιχεί στις απώλειες που εξαρτώνται από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη (διαχωρισμός T-R) και τη συχνότητα λειτουργίας του εξεταζόμενου ασύρματου συστήματος. Έτσι, το μοντέλο ελεύθερου χώρου υποθέτει αυστηρά ντετερμινιστικές απώλειες.

Σε ρεαλιστικά περιβάλλοντα διάδοσης, ωστόσο, με πολλά εμπόδια και πολύπλοκα φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης, το Μοντέλο Ελεύθερου Χώρου δεν είναι αξιόπιστο για τον υπολογισμό (πρόβλεψη) της τοπικής μέσης λαμβανόμενης ισχύος, επειδή δεν λαμβάνει υπόψη τις απώλειες λόγω σκίασης και άλλων φαινομένων (ανάκλαση, σκέδαση, περίθλαση).

Ο πρώτος απλός τρόπος για την ενσωμάτωση αυτών των πρόσθετων απωλειών στο μοντέλο της εξίσωσης (2) είναι να τροποποιηθεί ανάλογα η τιμή του εκθέτη απωλειών διαδρομής. Αυτό, στις περισσότερες περιπτώσεις, αντιστοιχεί σε εκθέτη απωλειών διαδρομής μεγαλύτερο από 2 (τιμή μοντέλου ελεύθερου χώρου).

Όταν οι απώλειες σκίασης οφείλονται σε σταθερά (στατικά) εμπόδια, η επίδρασή τους στην εξασθένιση του σήματος για δεδομένη θέση του πομπού και του δέκτη υπερβαίνει τη χρονική κλίμακα των δευτερολέπτων ή των λεπτών. Οι απώλειες αυτές ενσωματώνονται στη συνέχεια στον λογαριθμικό τύπο και η απώλεια σκιάς περιλαμβάνεται επίσης στη συνολική απώλεια διαδρομής που υπολογίζεται (προβλέπεται) από το μοντέλο, γεγονός που οδηγεί στο μοντέλο απώλειας διαδρομής log-απόστασης (σκιά) (Log-Distance path loss (shadow) model).

Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου απώλειας διαδρομής Log-Distance δίνεται από την έκφραση [30]:

$$L_{total} = PL(d_0) + N \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma} \quad (3)$$

Όπου $PL(d_0)$ είναι η απώλεια διαδρομής για την απόσταση αναφοράς (όπως στο μοντέλο ελεύθερου χώρου, η απόσταση αναφοράς λαμβάνεται ίση με 1 m για εσωτερικά περιβάλλοντα), N είναι ο εκθέτης απώλειας διαδρομής ($\times 10$) και X_{σ} είναι μια τυχαία μεταβλητή Gauss με μηδενικό μέσο όρο και τυπική απόκλιση ίση με σ dB. Το N και το σ υπολογίζονται από εμπειρικά δεδομένα (είτε πηγές από εγχειρίδια ή άλλα δημοσιευμένα έργα, είτε πρακτικές μετρήσεις).

Υποθέτοντας ποσοστό κάλυψης ίσο με 95% (μη βέλτιστο σενάριο), η σχέση μεταξύ της τυχαίας μεταβλητής Gaussian και της απόκλισης σκίασης είναι ίση με:

$$X_{\sigma} = z \times \sigma(dB) = 1.645 \times \sigma(dB) \quad (4)$$

Το κύριο μειονέκτημα του μοντέλου λογαριθμικής απόστασης είναι η ανάγκη ταυτόχρονης παροχής αξιόπιστων τιμών για δύο παραμέτρους (εκθέτης απώλειας διαδρομής και βάθος σκίασης). Η μέθοδός μας βασίζεται στην ανάθεση μιας σταθερής τιμής $n=2$ για τον εκθέτη απώλειας διαδρομής, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ελεύθερου χώρου, και στη "μεταφορά" όλης της πλεονάζουσας απώλειας διαδρομής (οποιαδήποτε απώλεια διαδρομής "πέρα" από την ντετερμινιστική εξασθένηση που εξαρτάται από την απόσταση, δηλαδή σχεδόν όλες τις απώλειες σκιάς λόγω εμποδίων) στη μεταβλητή σκιάς X_s (dB).

Έτσι, υπολογίζουμε την εμβέλεια κάθε κεραιάς έξυπνης πόλης, με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$d(m) = 10^{\left[\frac{P_t(dBm) + G_t(dB) - P_R(dBm) + 27.55 - 20 \log_{10} f(MHz) - (1.645 \times \sigma(dB))}{20} \right]} \quad (5)$$

Ο τύπος αυτός λαμβάνεται με την ενσωμάτωση των ντετερμινιστικών απωλειών και των απωλειών σκίασης, μιας προκαθορισμένης συνολικής ισχύος εκπομπής (EIRP) για τον πομπό (κεραία δημοτικού σταθμού βάσης) και υπολογίζοντας έτσι τη μέγιστη εμβέλεια της κεραιάς που χρησιμεύει ως ακτίνα κυψέλης έξυπνης πόλης με δυνατότητα 5G.

Δεδομένου ότι η πλατφόρμα έξυπνης πόλης υλοποιείται με δίκτυο μικροκυμάτων 5G, η συνολική ισχύς μετάδοσης (EIRP) ορίζεται στα 24 dBm (το λογαριθμικό άθροισμα $P_t(dBm) + G_t(dB)$ στην εξίσωση) [5], η συχνότητα ισούται με 3,5 GHz (ή 3500 MHz) και το ελάχιστο επίπεδο της τοπικής μέσης λαμβανόμενης ισχύος ορίζεται σε -85 dBm.

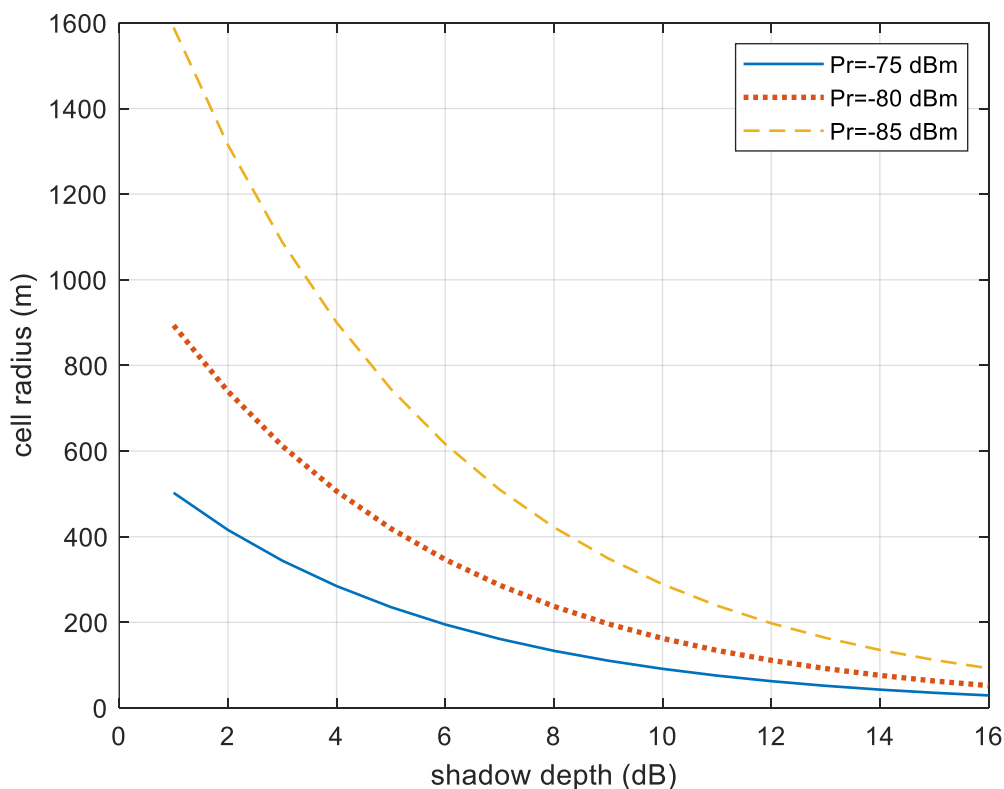
Η συγκεκριμένη επιλογή της τοπικής μέσης στάθμης ισχύος οφείλεται στις εκτεταμένες μετρήσεις στάθμης θορύβου που έχουμε πραγματοποιήσει σε δύο αστικά κέντρα: την Πάτρα και την Αθήνα με τον εξοπλισμό EMF SNR-3006 [64]. Πραγματοποιήσαμε μετρήσεις των επιπέδων θορύβου σε διάφορα πλάτη ζώνης,

Ξεκινώντας από ένα επίπεδο αναφοράς φάσματος 1 MHz. Ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων καταδεικνύει επίπεδο θορύβου -95 dBm για φάσμα 100 MHz γύρω από τη φέρουσα συχνότητα 3,5 GHz. Έτσι, ένα μέσο επίπεδο λαμβανόμενης ισχύος -85 dBm παρέχει ελάχιστο SNR 10 dB στο άκρο κυψέλης, το οποίο προσεγγίζει την απαίτηση των 10,6 dB για τα σχήματα διαμόρφωσης χαμηλής απόδοσης. Εμείς για την προσομοίωση στο MATLAB θα θεωρήσουμε 3 στάθμες τοπικής λαμβανόμενης ισχύος στις παρυφές της 5G κυψέλης: -75 dBm, -80 dBm, -85 dBm.

Έτσι, υπολογίζουμε την εμβέλεια (σε μέτρα) κάθε συστήματος κεραιών της πλατφόρμας έξυπνης πόλης ως συνάρτηση του βάθους σκίασης (σε dB), ως εξής:

$$d(m) = 10^{\left[\frac{65.67 \text{ dB} - (1.645 \times \sigma \text{ (dB)})}{20} \right]} \quad (6)$$

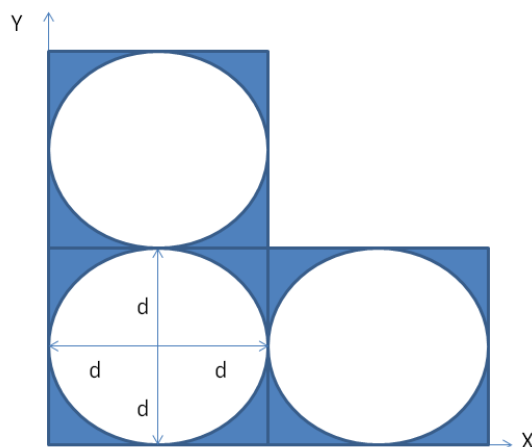
Η μεταβολή της εξόδου (εμβέλεια συστήματος κεραιάς) σε σχέση με την είσοδο (απόκλιση σκίασης) απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Εμβέλεια κεραιάς σε σχέση με το βάθος σκιάς για ένα σενάριο ευρυζωνικής κάλυψης έξυπνης πόλης με δυνατότητα 5G.

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό της ακτίνας κυψέλης της πλατφόρμας έξυπνης πόλης για κάθε πιθανή τιμή του βάθους σκίασης (από 0 έως 14 dB). Η μέση τιμή του βάθους σκίασης, για 7,1 dB, μας δίνει μια μέγιστη εμβέλεια 660,7 μέτρων, κοντά στα όρια μιας κυψέλης κινητής τηλεφωνίας 4G/4G+ (500 μέτρα).

Για ένα βάθος σκίασης ίσο με 10 dB, το οποίο είναι μια πιο ρεαλιστική τιμή για ένα υπαίθριο περιβάλλον διάδοσης με πυκνά εμπόδια, όπως το αστικό κέντρο μιας πόλης [25]-[26], η εμβέλεια κάθε κεραίας ορίζεται στα 197,93 μέτρα (~200 μέτρα) και η περιοχή κάθε κεραίας (περιοχή κάλυψης) ισούται με 0,1567 τετραγωνικά χιλιόμετρα (τ.χλμ.). Αυτό παρέχει μια βασική διάκριση σχεδιασμού και ανάπτυξης μεταξύ των δικτύων 4G και 5G.



Σχήμα 2. Τετράγωνη προσέγγιση κυκλικής κάλυψης

Η σημασία του υπολογισμού της περιοχής κάλυψης κάθε συστήματος κεραιών είναι ότι μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των συνολικών κεραιών που απαιτούνται για την κάλυψη μιας συνολικής περιοχής που αντιστοιχεί στο κέντρο μιας μεγάλης πόλης ή στο σύνολο μιας πόλης μεσαίου μεγέθους, με σκοπό την υλοποίηση μιας πλατφόρμας έξυπνης πόλης για έναν μεγάλο ή μεσαίο δήμο αντίστοιχα.

Δεδομένου ότι κάθε κεραία που χρησιμοποιείται από τον δήμο είναι μια πανκατευθυντική δίπολη κεραία, θεωρούμε ένα κυκλικό εύρος κάλυψης που μπορεί να προσεγγιστεί ως τετράγωνο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2, με πλευρά

τετραγώνου $2d$, όπου d είναι το εύρος που υπολογίζεται από την Εξ. 6. Θεωρώντας μια συνολική τετραγωνική περιοχή κάλυψης σε ένα διοδιάστατο σύστημα αξόνων x - y , ο συνολικός αριθμός κεραιών για μια δεδομένη επιφάνεια περιοχής υπολογίζεται ως εξής:

$$z = \frac{x(m) \times y(m)}{4 \times d^2} \quad (7)$$

Για παράδειγμα, μια συνολική αστική περιοχή 10 τετραγωνικών χιλιομέτρων, με βάθος σκίασης 10 dB, παρέχει (από την εξίσωση 6) $d=197,93$ μέτρα και μια αντιστοιχη περιοχή κάλυψης ίση με 0,1567 τετραγωνικά χιλιόμετρα (τετραγωνική προσέγγιση). Επομένως, η Εξίσωση 7 παρέχει $z=63,816$, η οποία στρογγυλοποιείται στην αμέσως μεγαλύτερη ακέραια τιμή και ως εκ τούτου έχουμε 64 κεραιές που απαιτούνται (ως δημοτικοί σταθμοί βάσης με δυνατότητα 5G στα 3,5 GHz) για την κάλυψη της αστικής περιοχής των 10 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

$$R_s = \left(\frac{\frac{S}{N}}{\frac{E_b}{N_o}} \right) \times B \quad (8)$$

Για ένα ελάχιστο σενάριο κάλυψης της BPSK διαμόρφωσης, για εύρος ζώνης μικροκυματικού 5G ίσο με 100 MHz, έχουμε 100 Mbps παρεχόμενης ευρυζωνικότητας που μπορεί να διαμοιραστεί σε χρήστες με ανάθεση φάσματος 2 MHz, έτσι ώστε στο uplink με τις ίδιες συνθήκες να έχουμε ρυθμό μετάδοσης 2 Mbps που είναι ο οριακός ρυθμός ευρυζωνικότητας.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν ποικίλες ‘έξυπνες’ συνιστώσες της καθημερινής ζωής, από μεγάλες οντότητες, όπως οι έξυπνες πόλεις, μέχρι μικρές εξειδικευμένες συσκευές. Σημαντική είναι επίσης η ανάλυση των τεχνολογιών που συνεισφέρουν στην υλοποίηση των σχεδιασμών για τις έξυπνες πόλεις, τα έξυπινα σπίτια, τα έξυπινα οχήματα, την έξυπινη περιθαλψη και πολλά άλλα. Οι σύγχρονες τεχνολογίες αναπτύσσονται ραγδαία, χάρη στα εντυπωσιακά αποτελέσματα και τις ποικίλες διευκολύνσεις που προσφέρουν.

Για το λόγο αυτό έννοιες όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων, τα δίκτυα κινητής τεχνολογίας 5G, η τεχνητή νοημοσύνη, τα μεγάλα δεδομένα, οι υποδομές υπολογισμού σύννεφου, η επαυξημένη, εικονική και μεικτή πραγματικότητα, καθώς και η πρόοδος της κατασκευής συσκευών και αισθητήρων σε επίπεδο μικροηλεκτρονικής, αναμένεται να επιτρέψουν την εγκαθίδρυση του έξυπνου σχεδιασμού στην πράξη σε ακόμα μεγαλύτερη κλίμακα.

Αν και πολλές τεχνολογίες από επιστημονικής άποψης έχουν αναπτυχθεί σημαντικά, εκλείπει για την ώρα η ενσωμάτωσή τους σε πραγματικά σενάρια. Πιο συγκεκριμένα, οι επενδύσεις που γίνονται για την εγκατάσταση του 5G σε πόλεις θα επιτρέψει πολύ μεγαλύτερη διασυνδεσιμότητα στα πλαίσια αυτής, ένας κύριος σχεδιαστικός παράγοντας για τη μετάβαση μιας πόλης σε έξυπινη.

Δυσνητικά, το 5G αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες συστατικές συνιστώσες των έξυπνων πόλεων, αφού η ορθή χρήση του σχεδόν αυτόματα θα επιτρέψει τη λειτουργία και όλων των υπόλοιπων συστατικών στοιχείων, από την ανίχνευση και τη συλλογή δεδομένων έως την επεξεργασία τους στο τελικό στάδιο. Παρόλα αυτά, αναμένεται ότι τόσο η χρηματική όσο και η επιστημονική επένδυση θα επιτρέψει την ταχεία μετάβαση σε ρεαλιστικά έξυπινα σενάρια.

Ακόμα, αναφέρθηκε η συμβολή των νέων τεχνολογιών και των έξυπνων σχεδιασμών στον τομέα της υγείας. Χάρη στην ανάγκη για εξέλιξη των υπάρχοντων συστημάτων

υγείας και στην αποτελεσματική διοίκηση, ο μετασχηματισμός από ένα κλασικό σύστημα υγείας σε ένα έξυπνο διεξάγεται ομαλά και αποτελεσματικά. Σε αυτό συμβάλλει και η ανεξάρτητη συνεργασία των ατόμων, οι οποίοι ακόμα και εκτός των δομών υγείας συνδέονται με ιατρικό προσωπικό και εγκαταστάσεις: ασθενείς χρησιμοποιούν φορητές συσκευές ή συσκευές ενσωματωμένες σε ένα έξυπνο σπίτι για την παρακολούθηση της πορείας της υγείας τους και την έγκαιρη ειδοποίηση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Συνεπώς, μειώνεται η ανάγκη για επένδυση ανθρώπινου χρόνου σε τέτοιες περιπτώσεις όπου η κατάσταση ενός ασθενούς είναι σχετικά σταθερή και δεν απαιτείται νοσηλεία.

Ακόμη βέβαια και εντός των δομών υγείας, τόσο η οργάνωση βελτιώνεται, χάρη στην προηγμένη δυνατότητα παρακολούθησης ασθενών και ιατρικού υλικού με χρήση νέων τεχνολογιών, αλλά και στην υψηλής ποιότητας διάγνωση, θεραπεία και παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων ιατρικών πρακτικών. Η πρόοδος του έξυπνου σχεδιασμού και όλων των σχετιζόμενων τεχνολογιών αναμένεται να αναβαθμίσει ακόμα περισσότερο τα συστήματα υγείας, κάνοντάς τα ακόμη πιο προσβάσιμα σε μεγαλύτερη μερίδα πληθυσμού.

Τέλος, θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει το μέλλον των έξυπνων πόλεων και των συνιστωσών τους ιδιαίτερα αισιόδοξο και πολλά υποσχόμενο. Αν και οι παρούσες τάσεις επιβεβαιώνουν μια τέτοια υπόθεση, κάθε βήμα θα πρέπει να γίνεται με προσοχή και πλήρη έλεγχο της κατάστασης ώστε να αποκλειστούν σενάρια μη ορθής χρήσης, τα οποία κατά κύριο λόγο μπορούν να προκύψουν από υπάρχοντα κενά ασφαλείας στις σχετικές τεχνολογίες. Για παράδειγμα, υπάρχει ανοιχτός ο κίνδυνος κυβερνοεπιθέσεων, ο οποίος μπορεί να μειωθεί δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στην ανάπτυξη και την ενσωμάτωση της κυβερνοασφάλειας ως κύριου συστατικού σε ένα έξυπνο σύστημα.

Παρομοίως, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προβάλλει κατά καιρούς ιδιαίτερες αδυναμίες λόγω του πολύπλοκου τρόπου λήψης αποφάσεων. Στο σημείο αυτό, καλείται να διεξαχθεί περισσότερη έρευνα στην εξερεύνηση του τρόπου που ένα σύστημα τεχνητής νοημοσύνης οδηγείται σε μια πρόβλεψη, ώστε να υπάρξει μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στα συστήματα αυτά στο μέλλον. Με παρόμοιο τρόπο

μπορούν να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν παρόμοιες προκλήσεις σε όλες τις συμμετέχουσες τεχνολογίες, ώστε το όραμα και η πράξη της έξυπνης πόλης να μην είναι απλά μια επιβολή των τεχνολογικά προηγμένων κοινωνιών, αλλά μια ασφαλής, αξιόπιστη και βιώσιμη λύση στις ανθρώπινες ανάγκες.

Στο σενάριο εργασίας της πτυχιακής, παρουσιάσαμε την διαστασιοποίηση κεραιοσυστημάτων 5G στην γεωγραφική περιοχή μίας πόλης, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις σχεδιασμού προκειμένου να έχουμε σωστή και αξιόπιστη RF κάλυψη διαμερισμάτων και συνεπώς κατοίκων της πόλης για ελάχιστα όρια ψηφιακής ευρυζωνικής ταχύτητας. Αυτή η τεχνολογία 5G στο σενάριο εργασίας αποτελεί την υποδομή ενός digital health monitoring συστήματος και ως εκ τούτου αποτελεί το θεμέλιο στο οποίο υλοποιείται αυτή η εφαρμογή, που έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις αξιοπιστίας οι οποίες στον σχεδιασμό του συστήματος «αντανακλώνται» στις απαιτήσεις του 5G για περιπτώσεις χρήσης έξυπνης και κινητής υγείας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] McLaren, Duncan; Agyeman, Julian (2015). *Sharing Cities: A Case for Truly Smart and Sustainable Cities*. MIT Press. ISBN 9780262029728.
- [2] Ayoub Arroub, Bassma Zahi, Essaid Sabir and Mohamed Sadik (2016). *A Literature Review on Smart Cities: Paradigms, Opportunities and Open Problems*.
- [3] Schaffers, H. Komninos, N. Pallot, M. Trousse, B. Nilsson, M. and Oliveira, A. (2011). *Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation*. In: J. Domingue et al. (Eds.): *Future Internet Assembly*, LNCS 6656, pp. 431–446
- [4] EuT. C. G. on behalf of the Global eSustainability Initiative, *The ict behind cities of the future*, SMART 2020, 2010.
- [5] Arthur D. Little, *The future of urban mobility*, The International Association of Public Transport (UITP) 2014.
- [6] J. V. Winters, *Why are smart cities growing? who moves and who stays*, *Journal of Regional Science*, vol. 51, no. 2, pp. 253-270, 2011.
- [7] I. Σαφάρης (2020), *Η περίπτωση των έξυπνων πόλεων στην Ελλάδα*, https://nemertes.library.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/13672/3/Nemertes_Safaris%28agr%29.pdf
- [8] *A decade of smart cities: What has changed and what has remained unchanged* <https://www.avnet.com/wps/portal/apac/resources/article/a-decade-of-smart-cities/>
- [9] Murray, James (2011-12-18). "Cloud network architecture and ICT - Modern Network Architecture".
- [10] Cloud computing https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
- [11] Internet of things https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
- [12] Ζωή Μυλωνοπούλου (2018), *Η έννοια της «έξυπνης πόλης» ως προσέγγιση της σύγχρονης αστικής ανάπτυξης μέσα από τη μελέτη επιλεγμένων διεθνών και ελληνικών παραδειγμάτων* <https://amitos.library.uop.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3988/595-2017%20%CE%9C%CE%A5%CE%9B%CE%A9%CE%9D%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%9F%CE%A5%20%CE%96%CE%A9%CE%97.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] Deloitte (2020), *5G smart cities whitepaper*
- [14] *Everything you need to know about 5G* <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g>

- [15] 5G <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- [16] Mitigating 5G Interference Signals In The C-Band <https://www.satmagazine.com/story.php?number=2132459167>
- [17] 5G and the Smart City <https://www.telit.com/blog/5g-smart-city/>
- [18] 5G and smart cities: Smarter solutions for a hyperconnected future <https://www.reply.com/en/industries/telco-and-media/5g-smart-cities>
- [19] Ionizing Radiation <https://www.osha.gov/ionizing-radiation/health-effects>
- [20] SKT to build 5G-powered traffic system in Seoul https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2022/02/133_262245.html
- [21] Smart5Grid <https://5g-ppp.eu/smart5grid/>
- [22] Smart grids and smart metering <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/supply/electricity-supply/electricity-networks/smart-grids.html>
- [23] How 5G can transform public safety <https://gcn.com/public-safety/2022/05/how-5g-can-transform-public-safety/367138/>
- [24] This is how 5G NR for public safety could save lives <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/5/how-5g-for-public-safety-could-save-lives>
- [25] 5G and transport—envisioning possibilities for a better-connected tomorrow <https://blogs.worldbank.org/transport/5g-and-transport-envisioning-possibilities-better-connected-tomorrow>
- [26] 5G network as foundation for autonomous driving <https://www.telekom.com/en/company/details/5g-network-as-foundation-for-autonomous-driving-561986>
- [27] 5G is paving the way for autonomous cars <https://embeddedcomputing.com/application/networking-5g/5g-is-paving-the-way-for-autonomous-cars>
- [28] What does 5G mean for electric vehicle charging? <https://www.automotiveworld.com/articles/what-does-5g-mean-for-electric-vehicle-charging/>
- [29] The development of 5G smart street lights is very important <https://www.eneltec-led.com/LED-Lighting-Blog/the-development-of-5g-smart-street-lights-is-very-important/>
- [30] 5G gives the term ‘smart building’ new meaning <https://www.460degrees.com/5g-gives-the-term-smart-building-new-meaning/>

- [31] The rise of 5G in buildings <https://www.pbctoday.co.uk/news/digital-construction/construction-technology-news/rise-5g-in-buildings/97551/>
- [32] The 5G Opportunity in Buildings and Venues <https://www.americantower.com/us/news-and-events/blog/5g-buildings-and-venues.html>
- [33] 9 Smart Building IoT Trends for Easier Management <https://www.buildingsiot.com/blog/9-smart-building-iot-trends-for-easier-management-bd>
- [34] Smart Houses: the future of smart homes with 5G <https://inovacaobrain.com.br/en/smart-houses-the-future-of-smart-homes-with-5g/>
- [35] Enabling Smart Home with 5G Network Slicing https://its-wiki.no/images/1/18/SmartHome_5G_NetworkSlice_Dzogovic.pdf
- [36] 5G network, Internet of Things and Smart Homes - Kancy Smart Home <https://kancy.com/blogs/the-smart-stories/5g-network-internet-of-things-and-smart-homes>
- [37] What is Smart Health and How do People Benefit? <https://www.activeadvice.eu/news/concept-projects/what-is-smart-health-and-how-do-people-benefit/>
- [38] Mohanty, S. (2016). Everything You Wanted to Know About Smart Cities. IEEE Consumer Electronics Magazine. 5. 60-70. 10.1109/MCE.2016.2556879
- [39] Tian S., Yang W., Le Grange J.M., Wang P., Huang W., Ye Z. (2019). Smart healthcare: making medical care more intelligent, Global Health Journal, Volume 3, Issue 3, Pages 62-65, ISSN 2414-6447, <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2019.07.001>.
- [40] Dhar J., Ranganathan A. (2015). Machine learning capabilities in medical diagnosis applications: computational results for hepatitis disease, Int J Biomed Eng Technol, 17 (4) (2015), pp. 330-340.
- [41] Polat K., Gunes S., (2008). Principles component analysis, fuzzy weighting pre-processing and artificial immune recognition system based diagnostic system for diagnosis of lung cancer, Expert Syst Appl, 34 (1), pp. 214-221
- [42] Wang W.D., Lang J.Y. (2018). Reflection and prospect: precise radiation therapy based on bio-omics/radiomics and artificial intelligence technology, Chin J Clin Oncol, 45 (12), pp. 604-608.
- [43] Ye Z.W., (2018). The latest application progress of mixed reality technology in orthopedics, J Clin Surg, 26 (1), pp. 13-14

- [44] Andreu-Perez J., Leff D.R., Ip H.M.D, Yang G.Z. (2015). From wearable sensors to smart implants-toward pervasive and personalized healthcare, *IEEE Trans Biomed Eng*, 62 (12), pp. 2750-2762
- [45] Zhang D.M., Liu Q.J. (2016). Biosensors and bioelectronics on smartphone for portable biochemical detection, *Biosens Bioelectron*, 75, pp. 273-284
- [46] Liu L., Stroulia E, Nikolaidis I., Miguel-Cruz A., Rios Rincon A., (2016) . Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: a systematic review, *Int J Med Inform*, 91, pp. 44-59
- [47] Liu J.T, Liu Y.H., (2018). Application of computer molecular simulation technology and artificial intelligence in drug development, *Technol Innov Appl* (2), pp. 46-47
- [48] Nugent T., Upton D., Cimpoesu M., (2016). Improving data transparency in clinical trials using blockchain smart contracts, *F1000 Res*, 5 , p. 2541
- [49] Robot Wars: Battling for Robotic Surgery System Supremacy https://www.mpo-mag.com/issues/2020-05-01/view_features/robot-wars-battling-for-robotic-surgery-system-supremacy/
- [50] About Robotic Surgery at UCLA <https://www.uclahealth.org/robotic-surgery/what-is-robotic-surgery>
- [51] Smart patient tracking in a nutshell <https://www.scnsoft.com/blog/rfid-and-iot-in-a-smart-hospital-benefits-and-challenges-of-smart-patient-tracking>
- [52] RFID and IOT: Smart Symbiosis of Hospital Asset Tracking and Management https://www.sunriserfid.com/blog/rfid-and-iot-smart-symbiosis-of-hospital-asset-tracking-and-management_b51
- [53] What is e-Health? <https://www.escardio.org/Journals/E-Journal-of-Cardiology-Practice/Volume-18/what-is-e-health>
- [54] Rodrigues J., Segundo D., Arantes J.H, Sabino M, Prince R, Al-Muhtadi J, Albuquerque V. (2018). Enabling Technologies for the Internet of Health Things. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2017.2789329.
- [55] Leveraging big data and AI in medical diagnosis <https://www.nature.com/articles/d42473-022-00035-y>
- [56] Augmented Reality in the OR: matching man and machine <https://healthcare-in-europe.com/en/news/augmented-reality-in-the-or-matching-man-machine.html>
- [57] Emad A., Mohammad K., Hamidreza M.T.. (2014). A new back-off mechanism for the S-MAC protocol with applications in healthcare. 569-573. 10.1109/ISTEL.2014.7000769.

- [58] Rizwan, P., Rajasekharababu, M., & Suresh, K. (2017). Design and development of low investment smart hospital using internet of things through innovative approaches. *Biomedical Research-tokyo*, 28, 4979-4985.
- [59] Hospital medicine and the future of smart care <https://www.the-hospitalist.org/hospitalist/article/242968/mixed-topics/hospital-medicine-and-future-smart-care>
- [60] Theofilos Chrysikos, Lectures on Information Systems, University of Thessaly, Lamia, Greece, 2022.
- [61] Yin, ChuanTao, et al. "A literature survey on smart cities." *Science China Information Sciences* 58.10 (2015): 1-18.
- [62] Al Nuaimi, Eiman, et al. "Applications of big data to smart cities." *Journal of Internet Services and Applications* 6.1 (2015): 1-15.
- [63] P. Bellavista, G. Cardone, A. Corradi and L. Foschini, "Convergence of MANET and WSN in IoT urban scenarios", *IEEE Sens. J.*, vol. 13, no. 10, pp. 3558-3567, Oct. 2013.
- [64] Theofilos Chrysikos, Presentation on Smart Cities, Standing Committee on Innovation and New Technologies, Technical Chamber of Greece (Western Greece Charter), 2016.
- [65] W. C. Jakes (Ed.), *Microwave mobile communications*. New York, NY: Wiley Interscience, 1974.
- [66] Seybold, *Introduction to RF Propagation*. Hoboken, NJ: Wiley Interscience, 2005.
- [67] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles & Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [68] T. Chrysikos and S. Kotsopoulos, "Characterization of large-scale fading for the 2.4 GHz channel in obstacle-dense indoor propagation topologies", *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall 2012)*, September 3-6, 2012, Quebec City, Canada.
- [69] P. Vieira, M.P. Queluz, and A. Rodrigues, "LTE Multi Antenna Bit Rate Expectation for Urban Macro-cell Networks", *7th Ibero-American Congress on Sensors (IBERSENSOR 2010)*, November 9-11, 2010, Lisbon, Portugal.