

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) στην Ελλάδα, δυνατότητες και ευκαιρίες με χρήση των ασύρματων δικτύων 5ης γενιάς

Μπάης Αλέξανδρος

ΑΜ: 1515

Επιβλέπων Καθηγητής
Τσορμπατζόγλου Ανδρέας

Άρτα, Φεβρουάριος 2023

Το IoT (Internet of Things) στην Ελλάδα δυνατότητες και ευκαιρίες με χρήση των ασύρματων δικτύων 5^{ης} γενιάς

Η πτυχιακή εργασία εγκρίθηκε από:

Επίκουρος Καθηγητής Ανδρέας Τσορμπατζόγλου

Καθηγητής Κωνσταντίνος Αγγέλης

Υπότροφος Απόκτησης Διδακτικής Εμπειρίας Γεώργιος Τσουμάνης

© Μπάης Αλέξανδρος, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Δήλωση μη λογοκλοπής

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

Μπάης Αλέξανδρος

Υπογραφή

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ανδρέα Τσορμπατζόγλου, Επίκουρο καθηγητή, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε και το χρόνο που διέθεσε δίνοντάς μου χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους εκείνους που συνέβαλαν είτε πρακτικά (π.χ. συμπλήρωση ερωτηματολογίου) είτε ψυχικά (βοήθεια και παραινέσεις) στην ολοκλήρωση της εργασίας μου. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την οικονομική τους υποστήριξη, καθώς και τους συγγενείς και τους φίλους για την ηθική υποστήριξη σε όλο το διάστημα των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) καθώς και των ασύρματων δικτύων 5^{ης} γενιάς. Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθούν τα χαρακτηριστικά και η αρχιτεκτονική του IoT καθώς επίσης και τα προτερήματα της τεχνολογίας του 5G συγκριτικά με τις προηγούμενες τεχνολογίες ασύρματων δικτύων. Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι προκλήσεις που έρχεται αντιμέτωπη η τεχνολογία του 5G έτσι ώστε να υλοποιηθεί βέλτιστα το όραμα του παγκόσμιου δικτύου IoT. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας διεξήχθη έρευνα με θέμα «Το IoT στην Ελλάδα, δυνατότητες και ευκαιρίες με χρήση των ασύρματων δικτύων 5^{ης} γενιάς», με χρήση ερωτηματολογίου που απευθύνθηκε κυρίως σε φοιτητές στην Ελλάδα. Με την ολοκλήρωση της έρευνας συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα και επεξεργάστηκαν με το πιο διαδεδομένο, εύχρηστο στατιστικό εργαλείο SPSS καθώς και με το Excel.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Διαδίκτυο των πραγμάτων, IoT, ασύρματα δίκτυα 5^{ης} γενιάς, 5G, SPSS

Abstract

This thesis aims at the bibliographic review of the Internet of Things (IoT) technology as well as the 5th generation wireless networks. More specifically, the characteristics and architecture of IoT will be studied as well as the advantages of 5G technology compared to previous wireless network technologies. The challenges facing 5G technology will then be analyzed in order to optimally realize the vision of the global IoT network. In the second part of the thesis, a research was conducted on the topic "IoT in Greece, possibilities and opportunities using the 5th generation wireless networks", using a questionnaire addressed mainly to students in Greece. Upon completion of the research, the results were gathered and processed with the most widespread, easy-to-use statistical tool SPSS as well as with Excel.

KEY WORDS

Internet of things, IoT, 5th generation wireless networks, 5G, SPSS

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	6
Περίληψη	7
Abstract	8
Πίνακας Εικόνων	11
1. Κεφάλαιο Πρώτο : Εισαγωγή στο IoT – Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Ιστορική Αναδρομή – Ορισμοί, Τομείς Που Έχει Συμβάλει και Αρχιτεκτονική	12
1.1 Ορισμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων	12
1.2 Χαρακτηριστικά του IoT (Internet of Things)	13
1.3 Μοντέλα Επικοινωνίας στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Λειτουργίας.....	17
1.4 Αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων	24
2. Κεφάλαιο Δεύτερο : Ιστορική Αναδρομή των Ασυρμάτων Δικτύων.....	29
2.1 Εξέλιξη των Τεχνολογιών Από το 1G στο 5G	29
2.2 Διερεύνηση της Τεχνολογίας 5G	30
2.3 Χαρακτηριστικά και Λόγοι Ανάπτυξης της Τεχνολογίας 5G.....	32
2.3.1 Το Χαρακτηριστικό της Ταχύτητας.....	32
2.3.2 Το Χαρακτηριστικό της Καθυστέρησης.....	33
2.3.3 Το Χαρακτηριστικό της Ενεργειακής Απόδοσης	33
2.3.4 Το Χαρακτηριστικό της Συνδεσιμότητας	33
2.3.5 Το Χαρακτηριστικό της Αξιοπιστίας.....	34
2.3.6 Το Χαρακτηριστικό των «Μέσων Κατ’ Απαίτηση».....	34
2.3.7 Το Χαρακτηριστικό της Κινητικότητας.....	34
2.3.8 Το Χαρακτηριστικό του Αυτόνομου Ελέγχου Οχημάτων.....	35
2.3.9 Το Χαρακτηριστικό της Ασφάλειας	35

2.3.10	Το Χαρακτηριστικό των Εμποδίων	35
2.4	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Τεχνολογίας 5G	36
2.4.1	Πλεονεκτήματα της Τεχνολογίας 5G.....	36
2.4.2	Μειονεκτήματα της Τεχνολογίας 5G	37
2.5	Πλαίσια Λειτουργίας της Τεχνολογίας 5G Διεθνώς	37
3.	Κεφάλαιο Τρίτο : ΙοΤ με Χρήση 5G σε Διαφόρους Κλάδους.....	40
3.1	Εξέλιξη των Τεχνολογιών Από το 1G στο 5G	40
3.2	Συνδυασμός των Βάσεων Δεδομένων με τα Πρότυπα του 5G στη Τεχνολογία ΙοΤ	40
3.3	Προκλήσεις της Τεχνολογίας του 5G στη Τεχνολογία ΙοΤ	41
4.	Κεφάλαιο Τέταρτο: Μεθοδολογία Έρευνας	49
4.1	Σκοπός της Έρευνας.....	49
4.2	Μεθοδολογία της Έρευνας.....	49
5.	Κεφάλαιο Πέμπτο: Αποτελέσματα Έρευνας	50
5.1	Ανάλυση Ερωτηματολογίου σχετικά με το ΙοΤ στην Ελλάδα – Δυνατότητες και Ευκαιρίες με Χρήση των Ασυρμάτων Δικτύων 5ης Γενιάς.....	50
6.	Κεφάλαιο Έκτο: Συμπεράσματα.....	71
	Βιβλιογραφία	73

Πίνακας Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ	13
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΝΕΦΟΥΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΈΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ	21
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΣΥΣΚΕΥΕΣ LOT ΚΑΙ NON LOT	26
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΓΡΑΦΗΜΑ 1	50
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΓΡΑΦΗΜΑ 2	51
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΓΡΑΦΗΜΑ 3	52
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΓΡΑΦΗΜΑ 4	53
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΓΡΑΦΗΜΑ 5	54
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΓΡΑΦΗΜΑ 6	55
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΓΡΑΦΗΜΑ 7	56
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΓΡΑΦΗΜΑ 8	57
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΓΡΑΦΗΜΑ 9	58
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΓΡΑΦΗΜΑ 10	59
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΓΡΑΦΗΜΑ 11	60
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΓΡΑΦΗΜΑ 12	61
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΓΡΑΦΗΜΑ 13	62
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΓΡΑΦΗΜΑ 14	63
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΓΡΑΦΗΜΑ 15	64
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΓΡΑΦΗΜΑ 16	65
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΓΡΑΦΗΜΑ 17	66
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΓΡΑΦΗΜΑ 18	67
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΓΡΑΦΗΜΑ 19	68
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΓΡΑΦΗΜΑ 20	69
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΓΡΑΦΗΜΑ 21	70

1. Κεφάλαιο Πρώτο : Εισαγωγή στο IoT – Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Ιστορική Αναδρομή – Ορισμοί, Τομείς Που Έχει Συμβάλει και Αρχιτεκτονική

1.1 Ορισμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Το διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ένα δίκτυο φυσικών συσκευών που συνδέονται μεταξύ τους για την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών λειτουργίας (Chaves, 2013). Οι ενεργοποιητές και οι αισθητήρες είναι ενσωματωμένοι σε μικρές και μεγαλύτερες συσκευές που τους επιτρέπουν να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους. Το Διαδίκτυο επιτρέπει τη συνδεσιμότητα των συσκευών με τελικό στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Τα 'Πράγματα' εδώ αναφέρονται στο διαδίκτυο συσκευών όπως τα τσιπ, οι κάμερες, οι αισθητήρες ή άλλες παρόμοιες ηλεκτρονικές συσκευές (Alessio et al., 2015).

Το IoT περιλαμβάνει την επέκταση της σύνδεσης στο διαδίκτυο πέραν των τυποποιημένων συσκευών, όπως υπολογιστές γραφείου, φορητούς υπολογιστές, smartphones και tablet, σε οποιοδήποτε φάσμα παραδοσιακών υλικών ή καθημερινών αντικειμένων. Ενσωματωμένα με τεχνολογία, αυτές οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν και να αλληλοεπιδρούν μέσω του διαδικτύου και μπορούν να παρακολουθούνται και να ελέγχονται εξ αποστάσεως (Chaves, 2013).

Το IoT θα αποτελέσει ουσιαστικό κομμάτι της ζωής των ανθρώπων στο εγγύς μέλλον. Μέσω του Διαδικτύου, παρέχεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου. Μία γνωστή πλέον στο ευρύ κοινό εφαρμογή είναι τα έξυπνα σπίτια. Η έννοια των έξυπνων κατοικιών βασίζεται στο διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).

Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) καλύπτει ένα ξεχωριστό αριθμό πρωτοκόλλων, τομέων και εφαρμογών ώστε να υπάρχει προηγμένη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών με όσο γίνεται καλύτερη συνδεσιμότητα και υπηρεσίες. Οι ενσωματωμένες συσκευές θα παρέχουν προηγμένη αυτοματοποίηση από μεμονωμένα σπίτια μέχρι και σε ολόκληρες πόλεις. Οι συσκευές του IoT θα συγκεντρώνουν σημαντικές πληροφορίες χρησιμοποιώντας και ενσωματώνοντας όλες τις τεχνολογικές εξελίξεις και μετέπειτα θα μεταφέρουν αυτές τις πληροφορίες σε άλλες συσκευές.

Ο όρος "διαδίκτυο των Πραγμάτων" εφευρέθηκε από τους Kevin Ashton και Gamble το 1999, ωστόσο το ερευνητικό έργο στον τομέα αυτό, ξεκινά από το 1980. Ο κύκλος ζωής του Διαδικτύου, βασίζεται στις ακόλουθες φάσεις: (Chaves, 2013):

- Δημιουργία - Οι φυσικές συσκευές (αισθητήρες / ενεργοποιητές) συγκεντρώνουν πληροφορίες από το περιβάλλον τους.
- Επικοινωνία - Τα δεδομένα που συλλέγονται μεταφέρονται στην επιθυμητή τοποθεσία μέσω του δικτύου.
- Συγκεντρωτική - Οι συσκευές συγκεντρώνουν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.
- Ανάλυση - Τα συγκεντρωτικά δεδομένα αναλύονται για να δημιουργήσουν ορισμένα μοτίβα.
- Πράξη - Εδώ, με βάση τις πληροφορίες, εκτελούνται οι κατάλληλες ενέργειες.

1.2 Χαρακτηριστικά του IoT (Internet of Things)



Εικόνα 1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το IoT παρέχει υπηρεσίες σε παγκόσμιο επίπεδο μέσω της διασύνδεσης διαφόρων φυσικών συσκευών. Ακολουθούν μερικά από τα χαρακτηριστικά του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Ashton, 2009):

- **Intelligence** - Το IoT είναι ένας συνδυασμός υλικού και λογισμικού μαζί με πολύπλοκους αλγορίθμους και υπολογισμούς. Οι δυνατότητες του Διαδικτύου ενισχύονται λόγω της ευφυΐας που τους επιτρέπει να ανταποκριθούν και να ενεργήσουν

ανάλογα με την κατάσταση. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών συσκευών οφείλεται μόνο στη νοημοσύνη τους.

- **Συνδεσιμότητα** – Η σύνδεση μεταξύ διάφορων αντικειμένων καθημερινής χρήσης μέσω του Internet συμβάλλει σχεδόν καθολικά στην υψηλή νοημοσύνη του δικτύου IoT. Αυτή η τεχνολογική διασυνδεσιμότητα αναπτύσσει και ταυτόχρονα εκμεταλλεύεται νέες ευκαιρίες στην αγορά, δημιουργώντας ένα δίκτυο έξυπνων αντικειμένων και εφαρμογών, καθιστώντας το δίκτυο πιο προσιτό και συμβατό, στην υπηρεσία των καθημερινών αναγκών του σύγχρονου ανθρώπου. Στο εγγύς μέλλον, ο αριθμός των συσκευών που θα είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο επικοινωνίας θα είναι πολύ μεγαλύτερη από ό,τι είναι σήμερα. Επιπλέον, θα γίνει πολύ πιο περίπλοκη η διαχείριση δεδομένων από αυτές τις συσκευές. Στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι συνδέονται καθημερινά περισσότερες από 5 εκατομμύρια νέες συσκευές και ο αριθμός αυτός θα έχει μόνο αυξητική τάση στο μέλλον (Alessio et al., 2015).
- **Δυναμική Φύση** - Οι συσκευές IoT λαμβάνουν συνεχώς δεδομένα από το περιβάλλον τους, εξαιτίας των μεταβαλλόμενων καταστάσεων που συμβαίνουν γύρω από αυτές τις συσκευές. Η κατάσταση των συσκευών IoT αλλάζει δυναμικά, όπως συνδεδεμένες ή αποσυνδεδεμένες, καθώς και λόγω θερμοκρασίας, θέσης και ταχύτητας. Επίσης, μπορεί να αλλάξει λόγω του ατόμου, του τόπου ή του χρόνου.
- **Ανίχνευση** - Οι αισθητήρες είναι ένα σημαντικό συστατικό στο IoT χωρίς το οποίο δεν μπορούν να ανιχνευθούν και να μετρηθούν οι αλλαγές στο περιβάλλον. Οι αισθητήρες είναι αυτοί που αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον για την ανίχνευση και τη συλλογή δεδομένων. Οι βασικές πληροφορίες που ανιχνεύονται από τον αισθητήρα προέρχονται από το περιβάλλον της συσκευής.
- **Διαφορετικότητα** - Η ποικιλομορφία ή η ετερογένεια είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του Διαδικτύου. Οι συσκευές IoT έχουν διαφορετικές πλατφόρμες υλικού και δίκτυο και είναι σε θέση να επικοινωνούν με άλλες συσκευές μέσω διαφορετικών δικτύων. Το δίκτυο IoT είναι σε θέση να υποστηρίξει τη διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών δικτύων. Οι βασικές απαιτήσεις για αυτήν την πολυμορφία είναι η δυνατότητα κλιμάκωσης, η διαρθρωσιμότητα, η δυνατότητα επέκτασης και η διαλειτουργικότητα.
- **Ασφάλεια** - Επί του παρόντος υπάρχουν ανοιχτά θέματα ασφάλειας και ζητήματα δεοντολογίας με το δίκτυο του IoT και τη σχέση του με το υπόλοιπο διαδίκτυο. Η

προστασία των δεδομένων, ενώ μεταφέρονται μεταξύ συσκευών, είναι μια πολύ κρίσιμη παράμετρος ασφάλειας που θα διαδραματίσει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην περαιτέρω ανάπτυξη του IoT.

Ωστόσο η τοποθέτηση υπολογιστών μεταξύ των δικτύων του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) απαιτεί βέλτιστη υποστήριξη για την εικονικοποίηση των δικτύων, την ανάπτυξη εφαρμογών που θα τρέχουν παράλληλα και την παροχή πόρων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) επιτρέπει τη συνδεσιμότητα με τον πραγματικό κόσμο οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε (Zanella et al., 2014). Η Cisco επεκτείνει την έννοια του IoT στο Internet of Everything (IoE), συμπεριλαμβανομένου οτιδήποτε υποστηρίζει την ανίχνευση και τη συνδεσιμότητα (Gubbi et al., 2013).

Η IBM αναφέρεται στο IoT ως βιομηχανική επανάσταση (IIoT), η οποία επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ μηχανής και ανθρώπινης επικοινωνίας (Gubbi et al., 2013). Η Microsoft εισάγει το IoT ως μια χαμηλού κόστους διάχυση τεχνολογικού υλικού. Παρόλο που οι ορισμοί αυτοί επισημαίνουν διάφορες πτυχές του παραδείγματος του IoT, ακολουθούν το ίδιο όραμα, το οποίο έχει μεγάλο αριθμό συσκευών συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο για τη λήψη δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο. Σύμφωνα με τους Wu et al, ένα δίκτυο IoT αποτελείται από τρία κύρια στρώματα λειτουργίας ως εξής (Chaves, 2013):

- Αντίληψη
- Δίκτυο
- Εφαρμογή

Το στάδιο της Αντίληψης, ομαδοποιεί τις φυσικές συσκευές IoT είτε για να ανιχνεύσουν δεδομένα από το περιβάλλον τους είτε για να εκτελέσουν συγκεκριμένες ενέργειες. Το επίπεδο δικτύου αντιπροσωπεύει τη σύνδεση μεταξύ συστημάτων IoT για τη διαχείριση της μετάδοσης δεδομένων. Τέλος, το επίπεδο εφαρμογής δηλώνει συστήματα IoT που επεξεργάζονται και μοιράζονται δεδομένα. Επίσης οι Gubi και συνεργάτες, προσδιορίζουν δύο ομάδες συστημάτων IoT, Πραγματο-κεντρικό και Νεφο-κεντρικό (Gubbi et al., 2013).

Πράγματο-κεντρικό IOT

"Πράγματα", είναι ο γενικός όρος που αναφέρεται σε αντικείμενα με δυνατότητες ανίχνευσης, ενεργοποίησης και συνδεσιμότητας, τα οποία μπορούν να προσεγγιστούν οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Η προσέγγιση των Things-centric ενισχύει τα χαρακτηριστικά των συσκευών για να εμπλουτίσουν την εμπειρία του χρήστη, για παράδειγμα, έξυπνα αντικείμενα και

προηγμένες συσκευές τεχνολογίας. Παρόλο που αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στους χρήστες να αλλάξουν τις διαχειριστικές ρυθμίσεις των συσκευών τους, δεν υποστηρίζουν τη χρήση της συσκευής από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, αφού κάθε μία δύναται να εμπλακεί μόνο με έναν χρήστη (ενοικιαστή) κάθε φορά (Alessio et al., 2015).

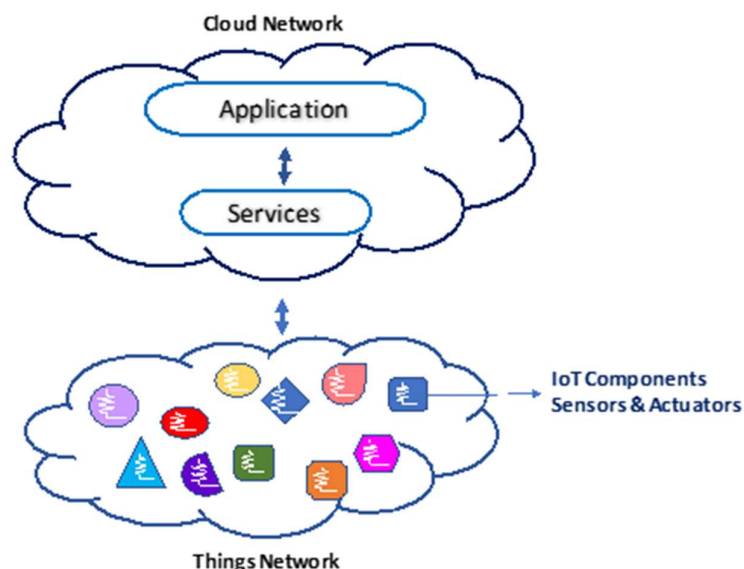
Νεφο-κεντρικό IoT

Παρόλο που το Cloud Computing και το IoT είναι δύο τεχνολογίες που εμφανίζονται ξεχωριστά για να αντιμετωπίσουν διαφορετικές απαιτήσεις, θεωρούνται και οι δύο συμπληρωματικές τεχνολογίες για την οικοδόμηση ενός ευέλικτου περιβάλλοντος ανάπτυξης για τα συστήματα IoT. Ενώ το IoT λειτουργεί στο πραγματικό περιβάλλον και δεν διαθέτει υπολογιστικές δυνατότητες, το Cloud Computing παρέχει πρόσβαση σε εικονικές και κλιμακωτές υπηρεσίες μέσω Internet (Ashton, 2009). Το Νέφος ωφελεί το IoT στις ακόλουθες πτυχές:

- Αποτελεσματική χρήση των πόρων
- Ενορχήστρωση των πόρων
- Αυτοεξυπηρέτηση κατά παραγγελία
- Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο
- Συγκέντρωση πόρων
- Ταχεία ανάπτυξη και ελαστικότητα
- Προγραμματισμένες υπηρεσίες

Όπως εξηγείται από τους ειδικούς, τα Νεφο-κεντρικά συστήματα αποτελούνται από τρία κύρια επίπεδα: Τα Πράγματα, την Υπηρεσία και την Εφαρμογή. Το πλαίσιο "Πράγματα" είναι το χαμηλότερο επίπεδο και αντιπροσωπεύει περιορισμένες συσκευές, για παράδειγμα δίκτυα αισθητήρων και ενεργοποιητών. Το επίπεδο εφαρμογής είναι το υψηλότερο επίπεδο και φιλοξενεί τελικές λύσεις όπως παρακολούθηση, διαχείριση και άλλες διαδικασίες.

Τέλος, το στρώμα Υπηρεσίας, είναι η γέφυρα μεταξύ Εφαρμογών και Πράξεων. Αυτό το επίπεδο παρουσιάζει ως εικονική πραγματικότητα τα στοιχεία IoT και φιλοξενεί όλες τις κύριες υπηρεσίες IoT όπως αποθήκευση δεδομένων, αναλυτικά στοιχεία και άλλες διαδικασίες (Chaves, 2013).



Εικόνα 2: Συστήματα με λειτουργία Νέφους

Τα συστήματα με επίκεντρο την λειτουργία των Νεφών, εισάγουν ορισμένους περιορισμούς. Για παράδειγμα, τα συστήματα που βασίζονται την λειτουργία των Νεφών, υποστηρίζουν την πολύ-επιχειρησιακή προσφορά καθώς πολλοί ενοικιαστές μπορούν να αλληλεπιδρούν με τις εικονικοποιήσεις που φιλοξενούνται στο στρώμα υπηρεσιών. Ωστόσο, αυτή η αλληλεπίδραση με το δίκτυο IoT είναι μια στατική επικοινωνία μιας κατεύθυνσης που δεν έχει άμεση πρόσβαση σε φυσικές συσκευές και επικεντρώνεται στα δεδομένα αισθητήρων (Alessio et al., 2015).

Παρόλο που τα συστήματα Νεφών καθιστούν την επεξεργασία δεδομένων αποδοτική και αξιόπιστη, οι ροές δεδομένων χρόνου που λαμβάνουν για να φτάσουν στο Νέφος μπορεί να επηρεάσουν την ακριβή λήψη αποφάσεων σχετικά με αυτά τα δεδομένα. Τέλος, τα συστήματα αυτά εισάγουν σημαντική καθυστέρηση, κατανάλωση δικτύου και κατανάλωση εύρους ζώνης.

1.3 Μοντέλα Επικοινωνίας στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Λειτουργίας

Αν επιχειρήσει κάποιος να διακρίνει μερικές από τις πραγματικές εφαρμογές του IoT που έχουν μεταμορφώσει την καθημερινότητά της σημερινής κοινωνίας, θα διακρίνει πως η εικονική πραγματικότητα και τα Smart Homes είναι τα πιο δημοφιλή χαρακτηριστικά του IoT.

Οι άνθρωποι δείχνουν ενδιαφέρον και περιέργεια για τις προαναφερθέν τεχνολογίες. Θέλουν τα σπίτια τους να μετατραπούν σε έξυπνα σπίτια για να έχουν μια πιο άνετη και άνετη ζωή. Ποιοι δεν θέλουν ένα σπίτι στο οποίο η θερμοκρασία του θερμοστάτη του κλιματιστικού ή του καλοριφέρ μπορεί να ρυθμίζεται από απόσταση; Τα προϊόντα Smart Home είναι αφιερωμένα στην εξοικονόμηση χρόνου, χρημάτων και ενέργειας. Τα έξυπνα σπίτια θα γίνουν σύντομα ένα κοινό χαρακτηριστικό, όπως και τα smartphones.

Αποτελεί γεγονός πως τα σύγχρονα κτίρια διαθέτουν ένα όλο και αυξανόμενο πλήθος ηλεκτρικών συσκευών και συστημάτων προκειμένου να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες των ατόμων που διαμένουν ή εργάζονται σε αυτά. Κατά συνέπεια ο σχεδιασμός των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων των κτιρίων αποκτά μεγαλύτερη σημασία και εξελίσσεται συνεχώς. Η εμφάνιση και η διάδοση των τεχνολογιών του «έξυπνου κτιρίου» είναι μια από τις πτυχές αυτής της εξέλιξης. Δύο είναι οι κύριοι παράγοντες που προωθούν τη νέα τεχνολογία στις «έξυπνες» ηλεκτρικές συσκευές και την χρήση του IoT (Alam et al., 2011):

- Η άνοδος του βιοτικού επιπέδου που δημιουργεί - σε όλο ένα και μεγαλύτερο αριθμό καταναλωτών - καινούργιες ανάγκες για ασφάλεια, άνεση και ποιοτικές συνθήκες στους χώρους εργασίας και κατοικίας
- Η αύξηση του οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους (φαινόμενο θερμοκηπίου) από την κατανάλωση των φυσικών πηγών ενέργειας που επιβάλλει την ορθολογική διαχείριση και την εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας πάσης φύσεως.

Επίσης, η ιδέα των έξυπνων εφαρμογών σε κτιριακές εγκαταστάσεις στις «έξυπνες» ηλεκτρικές συσκευές και την χρήση του IoT, δεν είναι καινούργια. Για περισσότερο από μία δεκαετία εφαρμόζονταν συστήματα ελέγχου σε επαγγελματικούς χώρους. Ωστόσο, τα περισσότερα συστήματα είχαν μειονεκτήματα όπως πολύπλοκη καλωδίωση και εγκατάσταση ενώ κάθε μηχανισμός έπρεπε να διαχειρίζεται από ξεχωριστούς προσωπικούς διακόπτες / ελεγκτές. Το κενό αυτό ήρθε να καλύψει η τεχνολογία έξυπνων κτιρίων με τη δημιουργία κεντρικών μονάδων διαχείρισης, ενός ή περισσότερων συσκευών, εύκολων στη χρήση τους (Ashton, 2009).

Θα πρέπει βέβαια αρχικά να σημειωθεί πως με τον όρο «έξυπνα σπίτια», αγγλιστί γνωστά ως «smart homes» ή «συστήματα αυτοματισμών κατοικιών» δηλαδή διεθνώς γνωστά ως «home automation systems», περιγράφονται οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που τοποθετούνται σε

σπίτια ή κτίρια με σκοπό να προσφέρουν άνεση, ασφάλεια και εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων στους ενοίκους (Alessio et al., 2015).

Οι έξυπνες εγκαταστάσεις με την χρήση του IoT, αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον χρησιμοποιώντας ένα μέσο επικοινωνίας με τη βοήθεια του οποίου ανταλλάσσουν δεδομένα προκειμένου να διεξάγουν κάποιες λειτουργίες όπως να ενεργοποιήσουν το φωτισμό ενός χώρου ή να ρυθμίσουν τη θερμοκρασία. Έξυπνα συστήματα με την χρήση των οπτικών ινών εγκαθίστανται και σε εμπορικές εφαρμογές όπου αναφέρονται με τον όρο «αυτοματισμοί κτιρίων» ή αλλιώς γνωστά ως «building automation» (Gubbi et al., 2013).

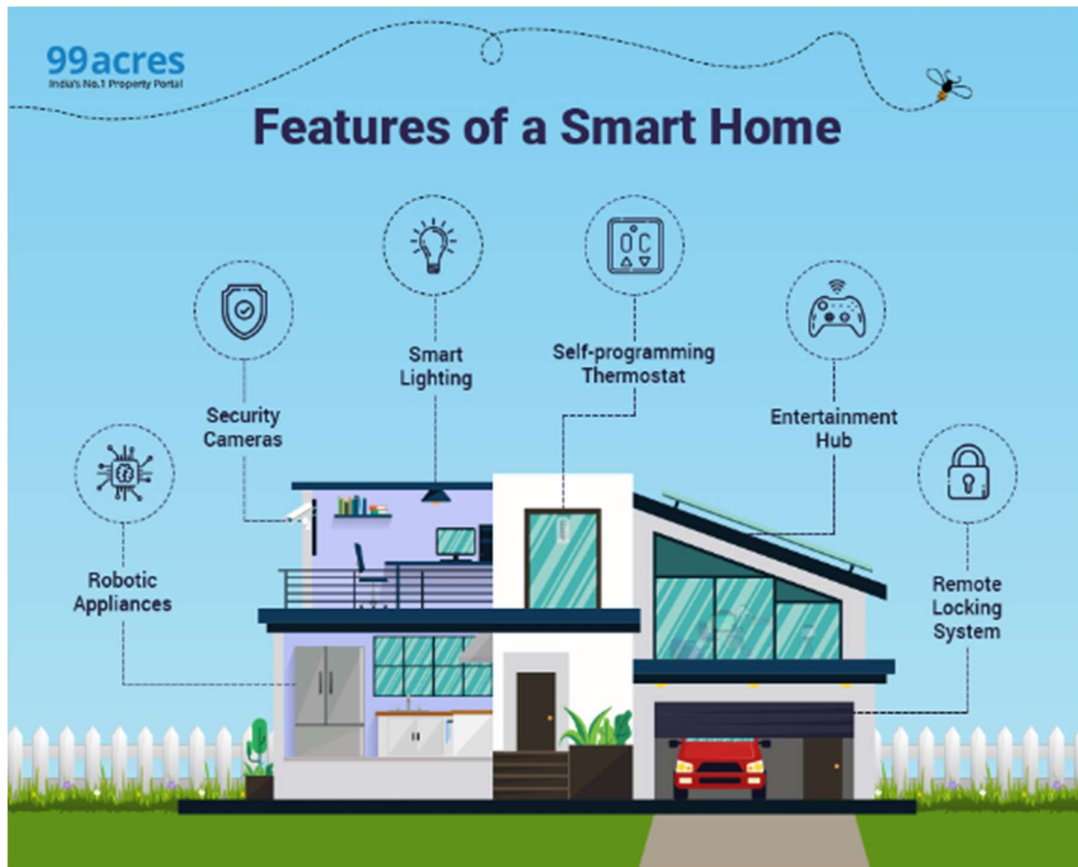
Είναι σημαντικό επίσης να γνωρίζει κανείς πως τα έξυπνα συστήματα με την χρήση των οπτικών ινών, μπορούν να ελέγχουν εκτός από τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις αλλά και οικιακές συσκευές και συσκευές πολυμέσων (multimedia) δημιουργώντας ένα ενοποιημένο σύστημα. Στις τελευταίες εντάσσονται οι συσκευές τηλεπικοινωνιών, τα ηχοσυστήματα αλλά και οι τηλεοράσεις του σπιτιού. Συνδυάζοντας όλες αυτές τις ανεξάρτητες, αρχικά, εγκαταστάσεις σε μία κοινή βάση αποκτάται πλήρης έλεγχος της οικίας ο οποίος μπορεί να διεξαχθεί ακόμα και από μακριά. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των έξυπνων σπιτιών, είναι ότι τα ίδια περιφερειακά χρησιμοποιούνται για πολλές χρήσεις.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι αισθητήρες παρουσίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του φωτισμού και του συστήματος θέρμανσης, αλλά χρησιμεύουν και για το σύστημα του συναγερμού. Ένα άλλο παράδειγμα αφορά στις οθόνες των τηλεοράσεων, οι οποίες μπορούν να προβάλλουν και την εικόνα της θυροτηλεόρασης (Pang et al., 2015).

Φυσικά, τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον αποτελεσματικό συντονισμό των συστημάτων σε ένα έξυπνο ηλεκτρικό κτίριο με την χρήση των οπτικών ινών, αφορούν στη διευκόλυνση της καθημερινότητας των χρηστών. Η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ενοίκων, έπειτα από κατάλληλο προγραμματισμό του συστήματος, συνοδεύεται από εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και κατ' επέκταση και από εξοικονόμηση χρημάτων.

Επίσης, τα έξυπνα συστήματα με την χρήση του IoT, είναι δυνατό να εξασφαλίσουν ασφαλέστερες συνθήκες διαβίωσης. Κάποια ενδεικτικά παραδείγματα σχετικά με τους τρόπους που επιτυγχάνονται αυτοί οι στόχοι είναι τα εξής (Gubbi et al., 2013):

- ποιότητα ζωής: Ο ένοικος, μέσω οποιουδήποτε τονικού τηλεφώνου, σταθερού ή κινητού ή μέσω του διαδικτύου, μπορεί να χειριστεί τις κύριες λειτουργίες της κατοικίας κατά τη διάρκεια απουσίας του. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να ανάψει το θερμοσίφωνα λίγο πριν φτάσει σπίτι του και να ρυθμίσει τη θερμοκρασία του σπιτιού. Επίσης, μπορεί να προγραμματίσει αυτοματοποιημένο πότισμα κατά τη διάρκεια μακράς απουσίας.
- εξοικονόμηση ενέργειας: Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται με τον αυτόματο έλεγχο των θερμαντικών σωμάτων. Εφόσον η θερμοκρασία δωματίου φτάσει σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο, τα θερμαντικά σώματα απενεργοποιούνται αυτόματα. Ένας άλλος τρόπος για την αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ενέργειας είναι η απενεργοποίηση της θέρμανσης όταν είναι ανοιχτά τα παράθυρα. Επίσης, αν σε κάποιο δωμάτιο δεν παρατηρείται κινητικότητα, οι συσκευές φωτισμού και θέρμανσης απενεργοποιούνται.
- ασφάλεια: Τα σύγχρονα συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατοικίας. Έτσι, ο ιδιοκτήτης έχει τη δυνατότητα, όχι μόνο να παρακολουθεί από όλες τις τηλεοράσεις του σπιτιού την εικόνα που καταγράφουν οι κάμερες, αλλά και να ενημερώνεται για την κατάσταση της οικίας κατά την απουσία του μέσω φωτογραφιών ή βίντεο στο κινητό του. Σε περίπτωση που ενεργοποιηθούν οι αισθητήρες συναγερμού λόγω παραβίασης, υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης καταγραφής εικόνων. Επιπλέον, ο ιδιοκτήτης μπορεί να ενημερώνεται αν προκύψει κάτι έκτακτο όπως πυρκαγιά ή διαρροή νερού κατά την απουσία του.



Εικόνα 3: Έξυπνο σπίτι

Ωστόσο, εκτός από την λειτουργία των «έξυπνων σπιτιών» και την χρήση του IoT, αναφέρεται και εκείνη των Εικονικών Κόσμων και της δημιουργίας σχετικών παραστάσεων. Ένας εικονικός κόσμος είναι ένα ηλεκτρονικό περιβάλλον μιας συγκεκριμένης κοινότητας που βασίζεται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, το οποίο έχει σχεδιαστεί και μοιραστεί από ιδιώτες, ώστε να μπορούν να αλληλεπιδρούν σε έναν εξειδικευμένο κόσμο μεταξύ τους (Castel, Pratt, Drummond, 2005). Οι χρήστες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε αυτόν τον εξομοιωμένο κόσμο, χρησιμοποιώντας γραφικά, διςδιάστατα ή τρισδιάστατα γραφικά μοντέλα που ονομάζονται avatars.

Τα avatars απεικονίζονται γραφικά χρησιμοποιώντας απεικόνιση γραφικών ηλεκτρονικών υπολογιστών (CGI) ή οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία απόδοσης. Τα άτομα ελέγχουν τα avatar τους χρησιμοποιώντας συσκευές εισόδου όπως το πληκτρολόγιο, το ποντίκι και άλλα ειδικά σχεδιασμένα gadgets εντολών και προσομοίωσης. Στα πλεονεκτήματα του IoT σημειώνεται πως το IoT είναι το μέλλον

της τεχνολογίας και θα κάνει τη ζωή των ατόμων πιο εύκολη και άνετη. Αυτά τα πλεονεκτήματα αναφέρονται επίσης στα εξής χαρακτηριστικά (Gubbi et al., 2013):

- Επικοινωνία - Το IoT επιτρέπει την καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών που είναι γνωστές ως επικοινωνία μηχανής με μηχανή. Επίσης, υπάρχει μεγαλύτερη διαφάνεια μεταξύ των συσκευών.
- Αυτοματοποίηση και έλεγχος - Οι μηχανές επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση δίνοντας έτσι περισσότερη αυτοματοποίηση και έλεγχο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρέχεται έγκαιρη απόδοση και ταχύτερο χρόνο απόκρισης.
- Πληροφορίες - Με το IoT μπορούμε να συλλέξουμε πολύτιμες πληροφορίες μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών από το περιβάλλον.
- Χρόνος και χρήμα - Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του IoT είναι η εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων. Επωφελές για τους ανθρώπους στην καθημερινή τους ζωή καθώς οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς την παρέμβαση τους.
- Αποδοτικότητα - Είναι επίσης αποτελεσματική και παράγει πιο ακριβή αποτελέσματα. Θα εξοικονομήσει χρόνο και θα επιτρέψει στους ανθρώπους να κάνουν κάποια άλλη δημιουργική εργασία.
- Καλύτερη ποιότητα ζωής - Αυτές οι συσκευές έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν καλύτερη ποιότητα ζωής για την άνεση και την ευκολία των ανθρώπων.

Στα μειονεκτήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), αναφέρονται τα εξής στοιχεία:

Αν και έχει ως στόχο να προσφέρει άνεση στη ζωή, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα του IoT που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

- Συμβατότητα - Καθώς οι συσκευές στο δίκτυο είναι διαφορετικών κατασκευαστών, ενδέχεται να υπάρχουν ζητήματα συμβατότητας όπως το αν η συσκευή μπορεί να συνδεθεί ή όχι. Δεν υπάρχουν επίσης διεθνή πρότυπα για τη διασύνδεση των συσκευών. Αυτό το ζήτημα μπορεί να ξεπεραστεί με το σχεδιασμό ορισμένων προτύπων.
- Πολυπλοκότητα - το IoT είναι ένα σύστημα πολύπλοκο, αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά ευάλωτο σε πιθανές αποτυχίες και σφάλματα στη λειτουργικότητα.

➤ Θέματα ασφάλειας / ιδιωτικού απορρήτου - Τα ζητήματα ασφάλειας και ιδιωτικού απορρήτου εξακολουθούν να υφίστανται κατά τη μεταφορά δεδομένων από έναν χρήστη σε άλλο. Οι πολύτιμες πληροφορίες ενδέχεται να κλαπουν και να καταχραστούν.

➤ Μείωση Απασχόλησης Ατόμων - Με την έλευση αυτής της τεχνολογίας, περισσότεροι άνθρωποι θα χάσουν τη δουλειά τους, καθώς όλα θα είναι αυτοματοποιημένα. Αυτό θα προκαλέσει ένα μεγάλο ποσοστό ανεργίας στην κοινωνία.

Ωστόσο, δεν είναι ακόμα πλήρως ανεπτυγμένη η πλατφόρμα Νέφους του IoT. Οι προγραμματιστές, οι διευθυντές επιχειρήσεων μπορούν να επωφεληθούν από τις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Υπάρχουν διαθέσιμες υπηρεσίες Νέφους για το διαδίκτυο των Πραγμάτων. Η βοήθεια για τη διδασκαλία και η καθοδήγηση στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) μπορούν να ληφθούν από έναν επαγγελματία με εμπειρία στο Διαδίκτυο. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- Amazon Web Service Πλατφόρμα IoT
- Διακομιστής Microsoft Azure IoT
- Πλατφόρμα IBM Watson IoT
- Πλατφόρμα Google Cloud
- Μαντείο
- Salesforce
- Bosch
- Cisco IoT Cloud Connect
- SAP Cloud Platform

1.4 Αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Η αρχιτεκτονική του συστήματος IoT, στην απλουστευτική της μορφή, αποτελείται από τρεις βαθμίδες:

- Βαθμίδα 1: Συσκευές
- Βαθμίδα 2: Πύλη άκρων
- Βαθμίδα 3: Το Νέφος

Οι συσκευές περιλαμβάνουν δικτυωμένα Πράγματα, όπως οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές που βρίσκονται στον εξοπλισμό IoT, ιδιαίτερα εκείνοι που χρησιμοποιούν πρωτόκολλα όπως Modbus, Zigbee ή ιδιόκτητα πρωτόκολλα, για να συνδεθούν με μια πύλη Edge. Η αρχιτεκτονική του IoT αποτελείται από συστήματα ομαδοποίησης δεδομένων αισθητήρων που ονομάζονται Edge Gateways, τα οποία παρέχουν λειτουργικότητα, όπως προ επεξεργασία των δεδομένων, διασφάλιση της σύνδεσης στο σύννεφο, χρήση συστημάτων όπως το WebSockets, ο κόμβος συμβάντων και, ακόμα και σε ορισμένες περιπτώσεις, υπολογισμός ομίχλης (Alessio et al., 2015).

Η τελική βαθμίδα περιλαμβάνει την εφαρμογή Νέφους που κατασκευάστηκε για IoT χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική μικροεπιχειρήσεων, οι οποίες είναι συνήθως polyglot και εγγενώς ασφαλής στη φύση χρησιμοποιώντας HTTPS / Auth. Περιλαμβάνει διάφορα συστήματα βάσεων δεδομένων τα οποία αποθηκεύουν δεδομένα αισθητήρων, όπως βάσεις δεδομένων χρονολογικών σειρών ή καταστήματα ενεργητικού χρησιμοποιώντας συστήματα οπτικής αποθήκευσης δεδομένων (π.χ. Cassandra, Postgres).

Το επίπεδο του Νέφους περιλαμβάνει σύστημα ουράς συμβάντων και σύστημα ανταλλαγής μηνυμάτων που χειρίζεται την επικοινωνία που εμφανίζεται σε όλες τις σειρές. Ορισμένοι εμπειρογνώμονες ταξινομούν τα τρία επίπεδα στο σύστημα IoT ως άκρο, πλατφόρμα και επιχείρηση και αυτά συνδέονται από το δίκτυο εγγύτητας, το δίκτυο πρόσβασης και το δίκτυο εξυπηρέτησης, αντίστοιχα.

Βασισμένο στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, ο ιστός των Πραγμάτων είναι μια αρχιτεκτονική για το επίπεδο εφαρμογής του Διαδικτύου για τα Πράγματα που εξετάζουν τη σύγκλιση δεδομένων από συσκευές IoT σε εφαρμογές Web για τη δημιουργία καινοτόμων περιπτώσεων χρήσης. Προκειμένου να προγραμματίζεται και να ελέγχεται η ροή πληροφοριών στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, γίνεται χρήση μιας προβλεπόμενης αρχιτεκτονικής κατεύθυνσης

που ονομάζεται BPM Everywhere, η οποία συνδυάζει την παραδοσιακή διαχείριση της διαδικασίας με εξόρυξη διεργασιών και ειδικές δυνατότητες για την αυτοματοποίηση του ελέγχου μεγάλου αριθμού συντονισμένων συσκευών (Chaves, 2013).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων απαιτεί τεράστια επεκτασιμότητα στον χώρο του δικτύου για να χειριστεί την ραγδαία αύξηση των συσκευών και των δεδομένων. Το IETF 6LoWPAN θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση συσκευών σε δίκτυα IP. Με την προσθήκη δισεκατομμυρίων συσκευών στο χώρο του Διαδικτύου, το IPv6 θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο χειρισμό της επεκτασιμότητας του επιπέδου του δικτύου. Σημαντικό να αναφερθεί πως το πρωτόκολλο Περιορισμένης Εφαρμογής της IETF, το ZeroMQ και το MQTT θα παρέχουν ελαφριά μεταφορά δεδομένων (Presser, 2012).

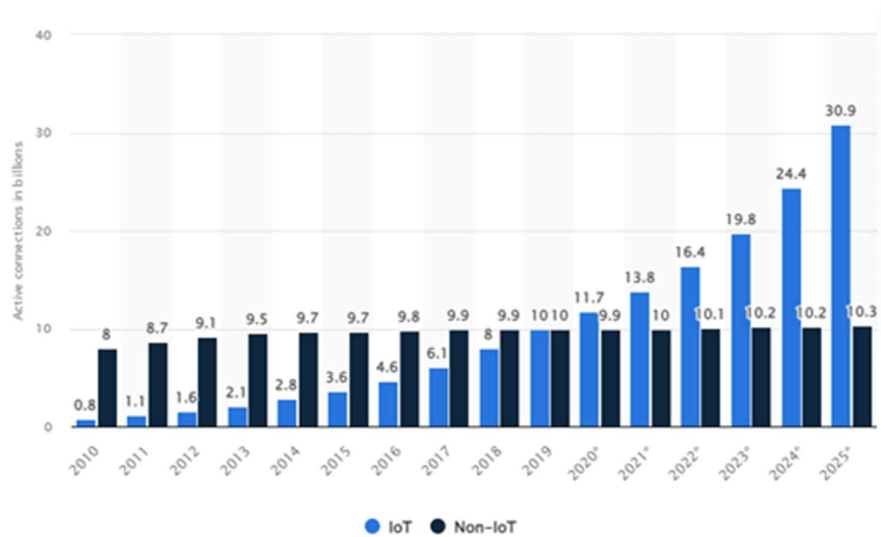
Ο υπολογισμός cloud είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για την πρόληψη μιας τέτοιας μεγάλης ροής δεδομένων μέσω του Διαδικτύου. Η δύναμη υπολογισμού των ακραίων συσκευών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και την επεξεργασία δεδομένων, παρέχοντας έτσι εύκολη κλιμάκωση σε πραγματικό χρόνο (Alam et al., 2011).

Σε ημιυπαίθριους ή κλειστούς βρόχους (π.χ. αλυσίδες αξίας, όπου μπορεί να διευθετηθεί μια παγκόσμια τελικότητα), το IoT θα εξεταστεί και θα μελετηθεί ως πολύπλοκο σύστημα, λόγω του τεράστιου αριθμού διαφορετικών δεσμών, αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτόνομων φορέων και ικανότητας ενσωμάτωσης νέων φορέων. Στη συνολική φάση (πλήρης ανοικτός βρόχος) θα θεωρηθεί πιθανώς ένα χαοτικό περιβάλλον (αφού τα συστήματα έχουν πάντοτε αυτό το τελικό αποτέλεσμα).

Ως πρακτική προσέγγιση, δεν τρέχουν όλα τα στοιχεία του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε έναν παγκόσμιο, δημόσιο χώρο. Διάφορα υποσυστήματα εφαρμόζονται συχνά για τον μετριασμό των κινδύνων παραβίασης της ιδιωτικότητας, ελέγχου και αξιοπιστίας. Για παράδειγμα, η οικιακή ρομποτική (domotics) που τρέχει μέσα σε ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να μοιράζεται μόνο δεδομένα και να είναι διαθέσιμη μέσω ενός τοπικού δικτύου. Η διαχείριση και ο έλεγχος υψηλής δυναμικής ad hoc δικτύων πράξεων / συσκευών, είναι ένα δύσκολο έργο με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική δικτύων. Το Software Defined Networking (SDN) παρέχει μια ευκίνητη δυναμική λύση που μπορεί να αντιμετωπίσει τις ειδικές απαιτήσεις της ποικιλίας καινοτόμων εφαρμογών IoT (Alam et al., 2011).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα μπορούσε να κωδικοποιήσει 50 έως 100 τρισεκατομμύρια αντικείμενα και θα μπορούσε να παρακολουθήσει την κίνηση όλων αυτών των αντικειμένων.

Κάθε άνθρωπος στο μέσο αστικό περιβάλλον, περιβάλλεται από 1000 έως 5000 αντικείμενα. Το 2015 υπήρχαν ήδη 83 εκατομμύρια έξυπνες συσκευές στα σπίτια των ανθρώπων. Με έναν συντηρητικό υπολογισμό ο αριθμός αυτός έχει ξεπεράσει σήμερα τις 10 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές, με αυξανόμενο ρυθμό αύξησης κάθε χρόνο.



Εικόνα 4: Συσκευές IoT και non IoT

Το GeoWeb και η Ψηφιακή Γη είναι υποσχόμενες εφαρμογές που γίνονται δυνατές όταν τα Πράγματα μπορούν να οργανωθούν και να συνδεθούν κοινοποιώντας την τοποθεσία τους. Ωστόσο, οι προκλήσεις που παραμένουν είναι τεράστιες και βασικά περιλαμβάνουν τις σχέσεις των Πραγμάτων με γειτονικά Πράγματα των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι δυναμικά και αλληλεξαρτώμενα. Η πολυπλοκότητα αυτή συνεπάγεται τη διαχείριση μεγάλου αριθμού δεδομένων, όπως την ευρετηρίαση για γρήγορη αναζήτηση των πράξεων γειτόνων και απαιτεί μεγάλους πόρους.

Στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, αν τα Πράγματα είναι σε θέση να αναλάβουν δράση με δική τους πρωτοβουλία, αυτός ο ανθρωποκεντρικός διαμεσολαβητικός ρόλος εξαλείφεται. Έτσι, το πλαίσιο χρόνου-χώρου το οποίο εμείς ως άνθρωποι θεωρούμε δεδομένο πρέπει να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο σε αυτό το πληροφοριακό οικοσύστημα. Ακριβώς όπως τα πρότυπα παίζουν καθοριστικό ρόλο στο Διαδίκτυο και στον Παγκόσμιο Ιστό, τα γεωπολιτικά πρότυπα θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

Η αρχιτεκτονική του IoT αναφέρεται κυρίως ως αρχιτεκτονική τεσσάρων σταδίων. Η αρχιτεκτονική IoT είναι ένα θέμα διατριβής που βασίζεται στο IoT. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τα συστήματα συσσωμάτωσης και μετατροπέα αναλογικού προς ψηφιακό. Στο τρίτο στάδιο, η επεξεργασία των δεδομένων. Και τέλος στο τέταρτο στάδιο, τα δεδομένα μετακινούνται στα συστήματα κέντρου δεδομένων.

Στάδιο 1

Στο πρώτο στάδιο, τα δεδομένα συλλέγονται και επεξεργάζονται από τους αισθητήρες από το περιβάλλον ή από ένα αντικείμενο και μετατρέπονται σε χρήσιμη πληροφορία. Αξιοσημείωτο να επισημανθεί πως ένας ενεργοποιητής ενεργεί λαμβάνοντας υπόψη την αλλαγή φυσικών συνθηκών. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται σε πολλαπλούς τομείς, από τις βιομηχανίες μέχρι και την υγειονομική περίθαλψη. Το εύρος του IoT αυξάνεται καθημερινά ανάλογα με τις απαιτήσεις. Η ισχύς επεξεργασίας των συσκευών IoT είναι περιορισμένη. (Ashton, 2009).

Στάδιο 2

Στο δεύτερο στάδιο, υπάρχει η πύλη διαδικτύου. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες είναι σε αναλογική μορφή. Μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή με τη χρήση συστημάτων λήψης δεδομένων (DAS) για περαιτέρω επεξεργασία. Το DAS εκτελεί αναλογικές προς ψηφιακές μετατροπές σε συνδιασμό με τη συγκέντρωση δεδομένων. Η πύλη Internet λαμβάνει αυτά τα συγκεντρωτικά και ψηφιοποιημένα δεδομένα και παρέχει δρομολόγηση μέσω ασύρματου ή ενσύρματου δικτύου. Τα αναλογικά δεδομένα μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή διότι οι αναλογικές ροές δημιουργούν μεγάλους όγκους δεδομένων. Επιπροσθέτως, τα αναλογικά δεδομένα απαιτούν εξειδικευμένα λογισμικά για επεξεργασία βάσει των χρονισμών και των δομών τους (Alam et al., 2011).

Στάδιο 3

Αφού τα δεδομένα ψηφιοποιηθούν και συγκεντρωθούν, εισέρχονται στο τρίτο στάδιο για περαιτέρω επεξεργασία. Τα συστήματα πληροφορικής εκτελούν αυτήν την επεξεργασία μέσω λεπτομερούς ανάλυσης.

Στάδιο 4

Τέλος στο τέταρτο στάδιο αποθηκεύονται τα δεδομένα στα κέντρα δεδομένων και το Νέφος. Σημαντικό να επισημανθεί πως αν τα δεδομένα δεν απαιτούν άμεση ανατροφοδότηση και σε περίπτωση λεπτομερέστερης επεξεργασίας μεταφέρονται σε κέντρα δεδομένων τα οποία διαθέτουν πιο προηγμένα συστήματα πληροφορικής.

2. Κεφάλαιο Δεύτερο : Ιστορική Αναδρομή των Ασύρματων Δικτύων

2.1 Εξέλιξη των Τεχνολογιών Από το 1G στο 5G

Αποτελεί γεγονός πως κάθε προηγμένη βελτίωση των ασύρματων προτύπων (δίκτυο κινητής τηλεφωνίας), αναφέρεται με το γράμμα "G" που απλώς σημαίνει βελτίωση της ικανότητας μεταφοράς δεδομένων και μείωση της καθυστέρησης στη μεταφορά αυτών από συσκευή σε συσκευή (Jaiswal, Kumar & Kumari, 2014). Σε αυτό το πλαίσιο, η εμφάνιση των ασύρματων προτύπων επικοινωνίας, ξεκινά από την τεχνολογία πρώτης γενιάς (1G) έως την τεχνολογία πέμπτης γενιάς (5G). Με την κατανόηση πώς οι πρώτες τέσσερις γενιές άλλαξαν τον κόσμο και συνέβαλαν στα επιχειρηματικά μοντέλα, οι οργανισμοί μπορεί να είναι καλύτερα προετοιμασμένοι για την τεχνολογία 5G στις μέρες μας.

Η πρώτη γενιά (1G) αναφέρεται στην πρώτη γενιά τεχνολογίας δικτύου κινητής τηλεφωνίας, απλώς γνωστή ως κινητά τηλέφωνα (Bhalla & Bhalla, 2010). Το πρώτο αυτοματοποιημένο κυψελοειδές δίκτυο στις τηλεπικοινωνίες, εισήχθη για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980 με βάση το αναλογικό σύστημα. Τα πιο δημοφιλή αναλογικά συστήματα στην αρχή της δεκαετίας του 1980, είναι το Advanced Mobile Phone System (AMPS) στις Ηνωμένες Πολιτείες και το Nordic Mobile Telephone (NMT) στη Σκανδιναβία (Agrawal et al., 2015).

Μια πρόοδος της ασύρματης επικοινωνίας 1G, δημιουργήθηκε με τη μορφή της τεχνολογίας 2G που κυκλοφόρησε κατά το πρότυπο Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) στα τέλη της δεκαετίας του 1980 στη Φινλανδία (Bhalla and Bhalla, 2010). Μέχρι το τέλος της εποχής της τεχνολογίας 2G, η τεχνολογία είχε αναπτυχθεί ως 2,5G και 2,75G.

Η τεχνολογία 3G κυκλοφόρησε για πρώτη φορά σε εμπορικό επίπεδο, από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία το 2001 (Robins, 2003). Η συγκεκριμένη τεχνολογία εξαρτάται από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) σύμφωνα με τα πρότυπα των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών 2000 (IMT-2000) που στοχεύει στην παροχή ασύρματης πρόσβασης σε παγκόσμια συστήματα τηλεπικοινωνιών (Jaiswal, Kumar & Kumari, 2014). Με άλλα λόγια, οι καταναλωτές θα μπορούσαν να φτάσουν σε δεδομένα από οποιαδήποτε τοποθεσία στον κόσμο που θα επέτρεπε την έναρξη των διεθνών υπηρεσιών περιαγωγής για πρώτη φορά (Agrawal et al., 2015). Πριν από την κυκλοφορία της τεχνολογίας 4G, η τεχνολογία 3G είχε πολλές εκδόσεις όπως το 3.5G και 3.75G. Αυτές οι προηγμένες εκδόσεις της τεχνολογίας 3G

χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία HSPA (High Speed Packet Access) (Jaiswal, Kumar & Kumari, 2014).

Η τέταρτη γενιά είναι η τεχνολογία μιας πρόσφατης γενιάς, η οποία είναι ανώτερη από το 3,75G, καθώς παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα και καλύτερη απόδοση. Το 2008, ο οργανισμός ITU-R προσδιόρισε τις ανάγκες μακροπρόθεσμης εξέλιξης (LTE) για τα πρότυπα 4G. Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνολογία 4G εισήχθη για εμπορική χρήση το 2009 από την Telia στη Σουηδία και τη Νορβηγία (Ezhilarasan & Dinakaran, 2017).

2.2 Διερεύνηση της Τεχνολογίας 5G

Η τεχνολογία 5G είναι ουσιαστικά η έκφραση που αντιπροσωπεύει την πέμπτη γενιά των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας. Παρόλο που η τελική έκδοση του 5G δεν έχει ακόμη τυποποιηθεί επαρκώς, το 5G αναμένεται να ενσωματωθεί με τις προηγούμενες γενιές ασύρματων δικτύων (Vora, 2015). Για 25 χρόνια, οι τεχνολογίες παραγωγής έχουν επικεντρωθεί στην αύξηση της αποδοτικότητας των ασύρματων δικτύων από 1G σε 4G, γεγονός που οδήγησε στη βελτίωση της κινητής επικοινωνίας. Ωστόσο, το 5G θα παίξει σημαντικό ρόλο στον μετασχηματισμό των επιχειρηματικών τομέων εκτός από τη συμβολή στην κινητή επικοινωνία (Linder, 2020).

Η ανάπτυξη δικτύων 5G κρίνεται πολλή σημαντική για την ικανοποίηση της αναμενόμενης αύξησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Σε αυτό το πλαίσιο, η πρόοδος των διαθέσιμων ευρυζωνικών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας για τη διασφάλιση της Ενισχυμένης Ευρυζωνικότητας για κινητά (eMBB), είναι μόνο ένα μέρος της τεχνολογίας 5G (Chen, Fan & Chen, 2019). Εν ολίγοις, η eMBB θα παρέχει την τεράστια χωρητικότητα που απαιτείται για να εξυπηρετήσει τους γοργούς ρυθμούς δεδομένων. Μακροπρόθεσμα, το 5G αναμένεται να εξασφαλίσει προσαρμοσμένη συνδεσιμότητα προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις διαφόρων ομάδων πελατών. Με άλλα λόγια, το 5G θα ικανοποιήσει την αναμενόμενη ανάπτυξη δεδομένων κινητής τηλεφωνίας (Chen, Fan & Chen, 2019).

Επιπλέον, το 5G θα δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, ανοίγοντας ένα νέο είδος ροών εσόδων, καθώς θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα της υποδομής που μπορεί να συνεπάγεται με διάφορες καινοτόμες υπηρεσίες για εταιρείες και

νεοφυείς επιχειρήσεις, περιλαμβάνοντας εφαρμογές IoT και την ενοποίηση της συνδεσιμότητας (Henry, Alshaily & Sousa, 2020).

Λόγω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, οι απαιτήσεις διαφόρων βιομηχανιών θα επιλυθούν για πρώτη φορά μέσω ενός συνδεδεμένου μεγάλου αριθμού συσκευών που ονομάζεται Massive Machine Type Communications (mMTC) (Henry, Alshaily & Sousa, 2020). Δεδομένου ότι περισσότερα όργανα και συσκευές συνδέονται με ασφάλεια, αυτόματα και εξ αποστάσεως, αρκετοί τομείς μπορεί να εξαρτηθούν σε μεγάλο βαθμό από ασύρματα δίκτυα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αποτελεσματικότητα της παρακολούθησης περιουσιακών στοιχείων, της παρακολούθησης της υγειονομικής περίθαλψης, των έξυπνων πόλεων και κτιρίων.

Το 5G θα παρέχει προηγμένη συνδεσιμότητα, συμπεριλαμβάνοντας υψηλής ταχύτητας ασφαλείς επικοινωνίες. Σύμφωνα με τους Oughton et al., (2018) εκτιμάται ότι το 5G μπορεί να είναι έτοιμο για χρήση από το ένα τρίτο του παγκόσμιου πληθυσμού έως το 2025. Επιπλέον καινοτόμα χαρακτηριστικά του 5G είναι η παροχή βελτιωμένων δυνατοτήτων, εξασφάλιση χαμηλότερης καθυστέρησης και μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας καθώς και προηγμένη ασφάλεια και αποδοτικότητα πόρων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι διάφορες βιομηχανίες της Ευρώπης θα είναι σε θέση να «εκμεταλλευτούν» τις προαναφερθέν δυνατότητες και υπηρεσίες του 5G για ευρύ φάσμα εφαρμογών και ευκαιριών καθώς και για νέα επιχειρηματικά μοντέλα που θα βασίζονται στη δημιουργία ενός διευρυμένου οικοσυστήματος.

Τέλος, το 5G παρέχει ευελιξία στις λειτουργίες δικτύου. Υπό αυτή την έννοια, οι υποδομές δικτύου μπορούν να μεταφέρουν σε πολλαπλά δίκτυα διαχωρίζοντας χαρακτηριστικά απόδοσης που περιλαμβάνουν διάφορους τύπους χρηστών (Oughton et al., 2018). Έτσι, το 5G υπόσχεται ειδικά χαρακτηριστικά απόδοσης που βελτιώνουν την ευελιξία στα δίκτυα.

2.3 Χαρακτηριστικά και Λόγοι Ανάπτυξης της Τεχνολογίας 5G

2.3.1 Το Χαρακτηριστικό της Ταχύτητας

Η αναμενόμενη ταχύτητα των 5G είναι 100 Gbps που είναι 100 φορές ταχύτερη από τον προκάτοχό της στο 4G. Θα ήταν δυνατό να παρακολουθήσει κανείς βίντεο 4k απευθείας χωρίς αποθήκευση στην προσωρινή μνήμη της κινητής συσκευής. Η αναμενόμενη ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 300-1000 Mbps. Από το 2018, η μέση ταχύτητα λήψης ήταν περίπου 27 Mbps στις ΗΠΑ (Fisher, 2019). Υπάρχουν τόσες πολλές συσκευές συνδεδεμένες σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας καθώς και σε αυτοκίνητα, φορητά κ.λπ. Οι απαιτήσεις των διάφορων έξυπνων «πραγμάτων» είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν από το δίκτυο 4G, αλλά θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με την καινοτόμο τεχνολογία του 5G.

Το 5G θα εισάγει νέο τρόπο χρήσης των κινητών τηλεφώνων και εφαρμογών. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να κατεβάσει πιο άμεσα ή ακόμη και να αρχίσει να χρησιμοποιεί στοιχεία από το νέφος (cloud). Δεν θα χρειαζόταν να αποθηκεύσει κανείς δεδομένα στη συσκευή του τηλεφώνου, καθώς θα μπορούσε το καθετί να αποθηκευτεί εύκολα και με ασφάλεια στο νέφος, το οποίο προσφέρει υψηλή εμπειρία χρήστη (Fisher, 2019).

Καθίσταται δύσκολο για αυτές τις υπηρεσίες να παρέχουν υψηλή εμπειρία χρήστη και ως εκ τούτου απαιτείται υψηλή ταχύτητα. Μία τεχνική προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου σε ενδιάμεσους διακομιστές, μειώνει την περιττή κίνηση και αυξάνει τη συνολική απόδοση και διευκολύνει επίσης τα τρέχοντα προβλήματα συμφόρησης δικτύου (Wang et al., 2014).

Η τεχνολογία 5G αναπτύσσει ειδικές βελτιστοποιημένες κεραίες, κεραίες εναλλαγής δέσμης και προσαρμοστικές κεραίες συστοιχίας μαζί με ευέλικτες τεχνικές διαμόρφωσης που βελτιώνουν τη μεταφορά μεγάλων όγκων δεδομένων (Nayana, 2018). Παρόλο που δεν έχει οριστικοποιηθεί ακόμη, πόσο θα είναι ταχύτερο το 5G από τους προκατόχους του, καθώς οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών πρέπει να αποφασίσουν και να θέσουν σχετικά πρότυπα, τα ασύρματα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα είναι ταχύτερα από οποιαδήποτε τεχνολογία προηγούμενης γενιάς (Greg Kumprarak, 2018). Για παράδειγμα, ο χειριστής δικτύου κινητής τηλεφωνίας του Ηνωμένου Βασιλείου, αναμένει από τους πελάτες του να αυξήσουν τις ταχύτητες μεταξύ 100 και 150 Mbps χρησιμοποιώντας δίκτυα 5G (Lomas, 2019).

2.3.2 Το Χαρακτηριστικό της Καθυστερήσης

Η καθυστέρηση είναι ο χρόνος κατά τον οποίο ζητείται μια υπηρεσία και καθίσταται διαθέσιμη. Το χαρακτηριστικό Low Latency είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του 5G. Το 4G παρέχει καθυστέρηση 20 χιλιοστών του δευτερολέπτου, ωστόσο το 5G το μειώνει σε 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, Πράγμα που σημαίνει ότι ακόμη και η ροή βίντεο 4K θα μπορούσε να παρακολουθείται χωρίς κανένα πρόβλημα. Υπάρχουν πολλές απαιτητικές εφαρμογές για μηδενικό λανθάνοντα χρόνο, για παράδειγμα gaming με βάση το Νέφος, ρομπότ που παρακολουθούν ασθενείς, συστήματα ασφάλειας ζωής, αισθητήρες, drone, πυρηνικούς αντιδραστήρες και συνδεδεμένα συστήματα μεταφοράς, εικονική πραγματικότητα, πλούσια σε γραφικά βιντεοπαιχνίδια.

Το τρέχον 4G διαρκεί μερικές εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου για να συνδεθεί με το δίκτυο και επομένως δεν είναι κατάλληλο για υπηρεσίες μηδενικής καθυστέρησης (Panwar, Sharma, & Singh, 2016). Τα μελλοντικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αναμένεται και προσδοκάζεται να υποστηρίζουν εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο με σχεδόν μηδενική καθυστέρηση (Fettweis, 2014).

2.3.3 Το Χαρακτηριστικό της Ενεργειακής Απόδοσης

Συνολικά, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν 0,5% της ενέργειας, επομένως ο στόχος του 5G είναι επίσης η μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης ενός ατόμου (Mitra & Agrawal, 2015). Υπάρχουν πολλές εφαρμογές που στέλνουν μηνύματα καρδιακού παλμού καθώς διατηρούν ζωντανό μήνυμα μετά από κάθε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τέτοιου είδους εφαρμογές καταναλώνουν εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες ενέργειας για τις κινητές συσκευές (UE) και ήδη παρατηρείται έκρηξη μεταφοράς και επεξεργασίας τέτοιων δεδομένων (Panwar et al., 2016).

2.3.4 Το Χαρακτηριστικό της Συνδεσιμότητας

Η τεχνολογία 5G θα επέτρεπε την κάλυψη δεδομένων σε αγροτικές περιοχές με το τρέχον πλέγμα μακροοικονομικών συστημάτων. Το 5G στοχεύει τους χρήστες αιχμής, βελτιώνοντας τη φασματική απόδοση και κάλυψη. Μια έξυπνη λύση είναι ο συνδυασμός ανάπτυξης μικρών κυψελών και κοινών μεταδόσεων (Jungnickel et al., 2014). Τα δίκτυα 5G αποτελούνται από

εναλλασσόμενα ασύρματα συστήματα που χρησιμοποιούν ορθογώνια διαίρεση πολλαπλών συχνοτήτων (OFDM) που έχει ταχύτητα 20 Mbps σε απόσταση 2 χιλιομέτρων (Nayana V 1, 2018). Ο πάροχος δικτύου κινητής τηλεφωνίας της E.E. συνδυάζει το δίκτυο 4G και 5G για να προσφέρει στους πελάτες την ταχύτερη, πιο αξιόπιστη εμπειρία ευρυζωνικών κινητών και σχεδιάζει να αναβαθμίζει σε 5G, περισσότερα από εκατό υφιστάμενα κυψελωτά δίκτυα ανά τακτά χρονικά διαστήματα για να παρέχει ικανοποιητική κάλυψη (Lomas, 2019).

2.3.5 Το Χαρακτηριστικό της Αξιοπιστίας

Το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρονικών και Τηλεπικοινωνιών (ETRI) της Κορέας, επικεντρώνεται στην αξιοπιστία και τη σύνδεση μεταξύ συσκευής-σε-συσκευή στο κύριο έργο της (Bae et al., 2014). Η τεχνολογία 5G υπόσχεται να βελτιώσει υπηρεσίες όπως υψηλή αξιοπιστία, ταχύτητα και ενεργειακή απόδοση ακόμη και σε πυκνές περιοχές όπως μεγαλύτερες πόλεις (Shieber, 2018).

2.3.6 Το Χαρακτηριστικό των «Μέσων Κατ' Απαίτηση»

Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι απλώς η απαίτηση του κάθε χρήστη να μπορεί να παρακολουθεί και να απολαμβάνει περιεχόμενο πολυμέσων σε οποιαδήποτε προτιμώμενη ώρα και τοποθεσία (Akyildiz et al., 2016). Αυτές οι τοποθεσίες μπορεί να είναι στη πόλη ή στο σπίτι και οι συσκευές θα είναι είτε μεγάλες οθόνες τηλεόρασης είτε έξυπνα τηλέφωνα. Όταν για παράδειγμα ένας μεγάλος αριθμός χρηστών επιθυμεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα σε μια συγκεκριμένη περιοχή, θα είναι εφικτό να παρακολουθήσει με την τεχνολογία του 5G ενώ θα ήταν σχεδόν αδύνατο να παρακολουθήσει με την προηγούμενη τεχνολογία επικοινωνίας.

2.3.7 Το Χαρακτηριστικό της Κινητικότητας

Είναι ένα σύστημα που συλλέγει σχετικές πληροφορίες από και προς ένα τεράστιο αριθμό γεωγραφικά διαδεδομένων συσκευών. Αυτό το χαρακτηριστικό βελτιώνει την εμπειρία των χρηστών και λαμβάνει αποφάσεις βάσει των συλλεγόμενων και ληφθέντων στοιχείων, π.χ. επιτήρηση, παρακολούθηση, κρίσιμα στοιχεία στην ανταλλαγή πληροφοριών (Akyildiz et al., 2016). Για τη συλλογή αυτών των πληροφοριών, χρησιμοποιούνται ενεργοποιητές και αισθητήρες που είναι συνήθως φθηνότεροι αλλά με καλή διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Αρκετές τεχνικές, για παράδειγμα, κύκλος λειτουργίας χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας αυτών των συσκευών και την αποφυγή παρεμβολών.

2.3.8 Το Χαρακτηριστικό του Αυτόνομου Ελέγχου Οχημάτων

Ο αυτόνομος έλεγχος οχημάτων, είναι η οδήγηση οχημάτων ανεξαρτήτως ανθρώπινης παρέμβασης. Απαιτεί όχι απλά το όχημα να υποστηρίζει αυτή την τεχνολογική υποδομή, αλλά και να φέρει συγκεκριμένους αισθητήρες. Ο απομακρυσμένος έλεγχος οχημάτων απαιτεί μια στιγμιαία και συνεχή ροή δεδομένων βίντεο και σηματοδότησης. Τα οχήματα δεν θα ήταν λειτουργικά σε περίπτωση μιας οποιαδήποτε καθυστέρησης στην επικοινωνία (Korosec, 2019). Μια άλλη περίπτωση χρήσης είναι μια πόλη που είναι συνδεδεμένη με 5G και τα αυτοκίνητα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς και με τους φωτεινούς σηματοδότες. Το σύστημα θα ενημερώσει τους πολίτες όταν τα οχήματα πλησιάζουν ή αντίστοιχα τότε τα άτομα θα είναι σε θέση να διασχίσουν την διασταύρωση με ασφάλεια (Fisher, 2019).

2.3.9 Το Χαρακτηριστικό της Ασφάλειας

Οι προηγούμενες γενιές είχαν ευπάθειες ασφαλείας, αλλά καθώς η ισχύς και η ταχύτητα του υπολογισμού έχουν αυξηθεί, τα συστήματα έχουν γίνει πιο ευαίσθητα και επομένως η ασύρματη τεχνολογία είναι αναγκαίο να βελτιώσει την ασφάλεια από άκρο σε άκρο. Τα δίκτυα 5G θα μεταφέρουν μεγάλο αριθμό δεδομένων IoT και επομένως τα ευαίσθητα δεδομένα πρέπει να κρυπτογραφούνται.

2.3.10 Το Χαρακτηριστικό των Εμποδίων

Ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών διέρχεται επαναστατικές αλλαγές κάθε δέκα χρόνια, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων χωρητικότητας. Αν κοιτάξουμε τις προηγούμενες γενιές της τεχνολογίας για κινητά, μπορούμε να δούμε ότι κάθε γενιά είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών κινητής τηλεφωνίας σχετικά με τη ροή βίντεο έχουν δημιουργήσει μεγαλύτερες προκλήσεις για τους φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών, καθώς οι χρήστες τείνουν όλο και περισσότερο στην τάση παρακολούθησης ταινιών πλήρους μήκους σε κινητές συσκευές.

Η πέμπτη γενιά κυβελοειδούς δικτύου 5G, θεωρείται η πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που έχει την ικανότητα να αντιμετωπίσει τις αυξανόμενες προσδοκίες των καταναλωτών, αλλά θα υπάρξουν εμπόδια και προκλήσεις. Εμπόδια όσον αφορά τις εγκαταστάσεις σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, διαθεσιμότητα φάσματος, γεωγραφικά ζητήματα, παράγοντες κόστους, τεράστια ροή δεδομένων, ασφάλεια και συμβατότητα του δικτύου (Hudson, 2019). Δεδομένου ότι το 5G έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με διαφορετικές εφαρμογές και προορίζεται να είναι μια πλατφόρμα για πολλές ασύρματες τεχνολογίες που θα συνυπάρχουν, οι φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών και οι πάροχοι τεχνολογίας θα πρέπει να αντιμετωπίσουν ζητήματα όπως το φάσμα σημάτων και τα πρωτόκολλα μετάδοσης ταυτόχρονα με ζητήματα συμβατότητας (Shafi et al., 2017).

2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Τεχνολογίας 5G

Εδώ και αρκετό καιρό λέγεται ότι τα επόμενα χρόνια το δίκτυο 5G θα αλλάξει τη ζωή των ανθρώπων. Ωστόσο, στο διάστημα αυτό πυροδότησε γεγονότα που οδήγησαν στην ανάπτυξη μιας ολόκληρης σειράς συζητήσεων γύρω από τα πολλά οφέλη, αλλά και τα μειονεκτήματά του.

2.4.1 Πλεονεκτήματα της Τεχνολογίας 5G

- **Υψηλότερη ταχύτητα λήψης.** Το δίκτυο 5G θα έχει τη δυνατότητα να αυξάνει τις ταχύτητες λήψης έως και 20 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την προηγούμενη τεχνολογία 4G (από 1 Gbps (4G) σε 10 Gbps (5G)) καθώς και φθίνουσα καθυστέρηση (χρόνος απόκρισης μεταξύ συσκευών). Αυτές οι ταχύτητες θα μεγιστοποιήσουν την εμπειρία περιήγησης διευκολύνοντας διαδικασίες που, αν και καθίστανται δυνατές σήμερα, εξακολουθούν να παρουσιάζουν δυσκολίες.
- **Υπερσυνδεδεσιμότητα.** Το δίκτυο 5G υπόσχεται τη δυνατότητα ύπαρξης ενός υπερ-διασυνδεδεμένου περιβάλλοντος για να φτάσει στο σημείο να έχει τις πολυπόθητες «έξυπνες πόλεις». Η σωστή απόδοση αυτών των νέων δυναμικών θα εξαρτηθεί από το εύρος ζώνης του 5G και το Internet of Things (IoT).
- **Βελτιστοποίηση διαδικασίας.** Αναμένεται επίσης να φέρει επανάσταση σε τομείς όπως η ιατρική (π.χ. απομακρυσμένες λειτουργίες), η διαχείριση της κυκλοφορίας και

τα αυτόνομα οχήματα, καθώς και η εφαρμογή του στον κατασκευαστικό τομέα για τη βελτιστοποίηση των πόρων και τη μείωση των κινδύνων.

2.4.2 Μειονεκτήματα της Τεχνολογίας 5G

- **Άμεση απαξίωση.** Η μετάβαση στο δίκτυο 5G θα απαιτήσει συσκευές που μπορούν να το υποστηρίξουν. Οι τρέχουσες συσκευές 4G δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα και θα κατασταθούν αμέσως απαρχαιωμένες.
- **Ανεπαρκής Υποδομή.** Για να λειτουργήσει σωστά το δίκτυο 5G θα απαιτηθεί μια κοστοβόρα φιλόδοξη επένδυση σε υποδομές κεραιών για την αύξηση του εύρους ζώνης και την επέκταση της κάλυψης. Αυτή η κατάσταση θα οδηγήσει αναγκαστικά σε καθυστερήσεις στην εφαρμογή του λόγω του υψηλού κόστους που θα πρέπει να καλύψουν οι κυβερνήσεις για να λειτουργήσει σωστά το 5G
- **Κίνδυνοι στην ασφάλεια και τον σωστό χειρισμό δεδομένων.** Όλα αυτά απαιτούν βέλτιστη διαχείριση δεδομένων, και εδώ βρίσκεται το πιο αντικρουόμενο μέρος των πλεονεκτημάτων έναντι των μειονεκτημάτων. Το γεγονός είναι ότι, στη διαχείριση όλων αυτών των πληροφοριών, τόσο από εταιρείες όσο και από ιδιώτες, ακόμη και από κυβερνήσεις, στη μελέτη του δεν εμπλέκονται μόνο θέματα όπως οι τεχνικές Big Data.

Κάθε χώρα συζητά επί του παρόντος τα νομικά και ηθικά πρότυπα για το χειρισμό και τη χρήση αυτών των δεδομένων, έτσι ώστε το απόρρητο να μην επηρεάζεται απ' όλη αυτή τη διασύνδεση. Το 5G είναι μια πραγματικότητα που σε σύντομο χρονικό διάστημα θα αγγίξει τη ζωή των ανθρώπων και αποτελεί αναγκαίο ζήτημα να επωφεληθεί η κοινωνία από αυτό και να απαλειφθούν τα ζητήματα κινδύνων του.

2.5 Πλαίσια Λειτουργίας της Τεχνολογίας 5G Διεθνώς

Αναφερόμενοι σχετικά στα πλαίσια λειτουργίας στο δίκτυο 5G, τα σύγχρονα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας κυριαρχούνται κυρίως από τους χρήστες κινητών ευρυζωνικών δικτύων όπως τα tablet, υπολογιστές, έξυπνα τηλέφωνα και αυτό το γεγονός έχει οδηγήσει στη βελτιστοποίηση των δικτύων και των υπηρεσιών για αυτήν τη συγκεκριμένη χρήση. Οι βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των αυτοκινήτων, των μεταφορών, της κατασκευής, των τηλεπικοινωνιών κ.λπ., διέρχονται από μια αλλαγή μετασχηματισμού και αυτή η αλλαγή [37]

οδηγείται από την τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) (Mitra & Agrawal, 2015).

Αυτή η αλλαγή από μόνη της, προκαλεί νέες προκλήσεις αλλά ταυτόχρονα δημιουργεί και νέες ευκαιρίες. Οι προσδοκίες των χρηστών έχουν αυξηθεί ραγδαία, γεγονός που οδήγησε σε μια ολοένα αυξανόμενη ανάγκη να κατανοήσουμε τις απαιτήσεις και να προωθήσουμε νέες υπηρεσίες και δίκτυα προκειμένου ν' ανταποκριθούμε στις προσδοκίες των χρηστών. Οι κινητές συσκευές εκτός από τις παραδοσιακές, παρέχουν και προηγμένες υπηρεσίες, από εμπόριο και τραπεζικές υπηρεσίες έως αίθουσες συνομιλίας και τυχερών παιχνιδιών, προσφέροντας υπηρεσίες στάθμευσης σε φορητές συσκευές και τελευταίες αλλά όχι λιγότερο σημαντικές υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο, με τεράστια ακρίβεια (López-Nicolás et. κ.λπ., 2008).

Αυτό έγινε εφικτό από γρήγορα και αξιόπιστα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που έχουν βελτιωθεί σχεδόν ολοκληρωτικά. Μια άλλη σημαντική πρόοδος σε σχέση με αυτό θα είναι το επερχόμενο δίκτυο 5G που αναμένονταν να λειτουργούσε πλήρως έως τα τέλη του 2021 (Mokbel, Ghanem, Aref, 2003). Αυτό το δίκτυο βασίζεται στην σύγχρονη τεχνολογία LTE (μακροπρόθεσμη εξέλιξη) και υποστηρίζεται ότι έχει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των τελικών χρηστών (Dalunde, 2016).

Σημειώνεται επιπλέον πως τα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα 5G επιχειρούν την εφαρμογή της παροχής υψηλότερων ποσοστών δεδομένων ταυτόχρονα με εξαιρετικά χαμηλό χρόνο καθυστέρησης, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS). Σε σύγκριση με τα τρέχοντα δίκτυα 4G LTE αυτό θα φέρει επανάσταση στη συνολική κινητή επικοινωνία στις πτυχές της ποιότητας, της ταχύτητας, της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και της χρηστικότητας (Gupta & Jha, 2015).

Κοιτάζοντας τις προηγούμενες τέσσερις γενιές κυψελοειδούς τεχνολογίας, μπορεί να διακρίνει κάποιος ότι καθεμία από αυτές τις αναβαθμίσεις είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των δικτύων ως προς την αξιοπιστία και τη συμβατότητά τους. Η πέμπτη γενιά θα συνιστά μια αντίστοιχη αλλαγή που όμως θα ξεπερνά τις προηγούμενες όσον αφορά το εύρος ζώνης, την κάλυψη, την ευελιξία και την ευφυΐα (Andrews et al., 2014). Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς το 5G, θεωρείται προσανατολισμένη στον καταναλωτή, καθώς η εστίαση είναι να του δοθεί η ύψιστη προτεραιότητα σε σύγκριση με τις υπάρχουσες κινητές επικοινωνίες 3G και 4G.

Αυτό καθιστά το 5G πρωτοφανές, δεδομένου ότι ο καταναλωτής δεν έχει βιώσει ποτέ την αξία και την ποιότητα των υπηρεσιών που θα προσφέρει το 5G στο εγγύς μέλλον. Αυτή η ιδέα θα βασιστεί στις πιο πρόσφατες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στενής ζώνης (NB-IoT) και το Νέο Ραδιόφωνο NR (Petra Dalunde, 2016). Το κύριο χαρακτηριστικό που θα προσφέρει το 5G είναι ότι ο καταναλωτής θα μπορεί να συνδεθεί σε πολλές ασύρματες τεχνολογίες ταυτόχρονα και να μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ τους (Sarakal, 2013). Αυτή η τεχνολογία μπορεί να χαρακτηριστεί ως έξυπνη με την ικανότητα διασύνδεσης ολόκληρου του κόσμου, χωρίς όρια, παρέχοντας τεράστιες δυνατότητες δεδομένων και απεριόριστο όγκο κλήσεων. Αυτό θα προσφέρει απρόσμενα οφέλη και νέες υπηρεσίες για τους καταναλωτές (Gupta & Jha, 2015).

3. Κεφάλαιο Τρίτο : IoT με Χρήση 5G σε Διαφόρους Κλάδους

3.1 Εξέλιξη των Τεχνολογιών Από το 1G στο 5G

Αποτελεί γεγονός στις μέρες μας, πως όλοι σχεδόν, γινόμαστε μάρτυρες της επέκτασης της κυψελοειδούς τεχνολογίας ανά χρονικά διαστήματα, μέσα στις δεκαετίες. Η εξέλιξη από τις τεχνολογίες 1G σε 4G, έχει να επιδείξει αρκετές προκλήσεις σε κάθε τύπο φυσικού επιπέδου, επιπέδου δικτύου και στα πεδία εφαρμογών τους. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις προκλήσεις στο υπάρχον δίκτυο, η τεχνολογία 5G έχει καθιερωθεί πλέον, ως μια επανάσταση στην ασύρματη τεχνολογία. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι προκλήσεις ανάλυσης στην τεχνολογία 5G και προκειμένου εκείνη να λειτουργεί με ορθό και αποτελεσματικό τρόπο, αναφέρονται κυρίως στα ακόλουθα προβλήματα (Lopez, Vidal, Villalba, 2017).

- 1) Ρυθμός 1~10 GBPS σε δίκτυα πραγματικού χρόνου: Η μεταφορά πληροφοριών η οποία θα πρέπει να είναι 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή των υπαρχουσών τεχνολογιών.
- 2) Χαμηλή καθυστέρηση < 10 ms: Η καθυστέρηση θα πρέπει να είναι 10 φορές μικρότερη σε σύγκριση με τα δίκτυα LTE.
- 3) Υψηλό μέτρο πληροφοριών και ισχύ φάσματος: Οι τεχνολογίες 5G χρειάζονται υψηλό μέτρο πληροφόρησης το οποίο μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης τεχνολογιών κεραιάς και κυμάτων MIMO όπως και η αποτελεσματικότητα του φάσματος που μπορεί να επιτευχθεί με στοιχεία που επιτρέπουν στον κάθε χρήστη να χρησιμοποιήσει μη εξουσιοδοτημένες ζώνες φάσματος.
- 4) Χαμηλή τιμή: Η τεχνολογία IoT θα πρέπει να διαθέτει αισθητήρες χαμηλού κόστους.
- 5) Μεγάλη ποικιλία συνδεδεμένων συσκευών: Καθώς έχουμε την τάση να διαχειριζόμαστε το σύστημα IoT στο κάθε τετραγωνικό μέτρο, αναμένονται περίπου ογδόντα δισεκατομμύρια συσκευές IoT τα επόμενα χρόνια και οι οποίες θα πρέπει να συγχρονιστούν μεταξύ τους.

3.2 Συνδυασμός των Βάσεων Δεδομένων με τα Πρότυπα του 5G στη Τεχνολογία IoT

Αναφερόμενοι σχετικά στο συνδυασμό των βάσεων δεδομένων με τα πρότυπα του 5G στη τεχνολογία IoT, θα λέγαμε πως τα δίκτυα 5G αναμένονται να παρέχουν ένα ασφαλές,

αξιόπιστο και υψηλής απόδοσης περιβάλλον με ελάχιστες διακοπές στην παροχή προηγμένων υπηρεσιών δικτύου, ανεξάρτητα από τη θέση της συσκευής (Lopez, Vidal, Villalba, 2017). Αυτή η νέα γενιά δικτύου θα είναι σε θέση να προσφέρει εξαιρετικά υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό χρόνο καθυστέρησης και καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) σε σύγκριση με τα τρέχοντα δίκτυα Long Term Evolution (LTE) (Lopez, Vidal, Villalba, 2017).

Προκειμένου να παρέχει αυτές τις δυνατότητες στη τεχνολογία IoT, το δίκτυο 5G προτείνει το συνδυασμό προηγμένων τεχνολογιών όπως το Network Defined Networking (SDN), το Network Function Virtualization (NFV), το Cloud Computing, τα αυτο-οργανωμένα δίκτυα (SON), Τεχνητή Νοημοσύνη, τη τεχνολογία (D2D) κ.α. (Lopez, Vidal, Villalba, 2017).

Συγκεκριμένα, το δίκτυο 5G θα είναι σε θέση ν' αντιμετωπίσει απροσδόκητες αλλαγές ή προβλήματα δικτύου μέσω του εντοπισμού συγκεκριμένων καταστάσεων και λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες των χρηστών και τις συμφωνίες επιπέδου εξυπηρέτησης (SLAs). Σήμερα, οι κύριοι φορείς τηλεπικοινωνιών και η κοινοτική έρευνα εργάζονται για την εύρεση και δημιουργία στρατηγικών με σκοπό την διευκόλυνση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων όταν συγκεκριμένα γεγονότα ή καταστάσεις θέτουν σε κίνδυνο την υγεία στα δίκτυα 5G (Lopez, Vidal, Villalba, 2017).

Επιπροσθέτως η έννοια της κατάστασης επίγνωσης (SA) και των μοντέλων διαχείρισης συμβάντων που εφαρμόζονται στα δίκτυα 5G, είναι επίσης ένα θέμα που αναδύεται στις μέρες μας (Lopez, Vidal, Villalba, 2017). Σε αυτό το πλαίσιο, το Self-Organized Network Management in Virtualized and Software Defined Networks Project (SELFNET) συνδυάζει τις έννοιες SDN, NFV και SON για να παρέχει ένα έξυπνο πλαίσιο αυτόνομης διαχείρισης, να αναλύει και να επιλύει προβλήματα δικτύου και να βελτιώνει το QoS και την ποιότητα της εμπειρίας (QoE) των τελικών χρηστών (Lopez, Vidal, Villalba, 2017).

3.3 Προκλήσεις της Τεχνολογίας του 5G στη Τεχνολογία IoT

Η επίδραση του 5G στη τεχνολογία IoT, θα φέρει στην επιφάνεια μια πληθώρα προκλήσεων που μένει να απαντηθούν στην πράξη, καθώς το 5G προσπαθεί να παρέχει μια καθολική υποδομή ΤΠΕ που αντιμετωπίζει ευρύτερες κοινωνικές προκλήσεις μέσω μιας ευέλικτης ευθυγράμμισης των κινήτρων των ενδιαφερομένων. Το αποτέλεσμα πρέπει να είναι ασφαλές, αξιόπιστο, να σέβεται την ιδιωτική ζωή, να είναι ευέλικτο, να ελαχιστοποιεί το κόστος ανά bit

αξιοποιώντας αποτελεσματικά όλες τις δυνατότητες επικοινωνίας, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος και συλλέγοντας κάθε είδους προσβάσιμη ενέργεια από το περιβάλλον.

Η παραπάνω διαδικασία δείχνει προς ένα σημαντικά αυξημένο (σε σύγκριση με προηγούμενες γενιές) σύνολο ενδιαφερομένων όπως:

- Άτομα και κοινότητες ανθρώπων
- ΜΜΕ, εταιρείες, μη κερδοσκοπικές και κοινωνικές οργανώσεις
- Ιδιοκτήτες ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων, όπως αρχές και οργανισμοί δημόσιων μεταφορών και υπηρεσιών κοινής ωφέλειας
- Κάθετοι τομείς όπως η ενέργεια, η υγεία, η μεταποίηση, η ρομποτική, το περιβάλλον, η εκπομπή, το περιεχόμενο και δημιουργικές βιομηχανίες, μεταφορές, έξυπνες πόλεις
- Δήμοι και δημόσιες διοικήσεις
- Οργανισμοί δημόσιας ασφάλειας και φορείς άμυνας

Η παροχή λύσεων επικοινωνίας γι' αυτό το μεγάλο σύνολο ενδιαφερομένων με τις τρέχουσες λύσεις επικοινωνίας, είναι εγγενώς δύσκολη λόγω του μεγάλου συνόλου απαιτήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε οποιαδήποτε στιγμή της ανάπτυξης. Ακολουθώντας τα παραπάνω στοιχεία, φαίνεται ξεκάθαρο ότι το 5G θα είναι σε θέση να παρέχει ευρυζωνική ανεξάρτητη πρόσβαση σε μέρη όπως αεροπλάνα, τρένα υψηλής ταχύτητας και πλοία. Τα δίκτυα 5G θα εξερευνήσουν βέλτιστα το υποκείμενο L2 και θα χρησιμοποιήσουν το υπάρχον πλαίσιο για να παρέχουν ενεργειακά αποδοτικές επικοινωνίες.

Αυτό σημαίνει ότι το 5G θα είναι πολυεπίπεδο, όχι με την έννοια ότι θα καταφεύγει σε διαφορετικά φυσικά επίπεδα, αλλά ότι το κάθε φυσικό επίπεδο θα μπορεί να καταφύγει σε διαφορετικά δίκτυα, είτε από άποψη τεχνολογίας είτε από διοικητικής ιδιοκτησίας. Σε αυτό, θεωρούμε το μελλοντικό δίκτυο 5G ένα «όχι πάντα δίκτυο IP», φέρνοντας τα πλεονεκτήματα άλλων αρχιτεκτονικών δικτύων στο προσκήνιο όπου μπορεί να παρέχουν αξία σε συστήματα μόνο IP (π.χ. ICN, ZigBee κ.λπ.).

Το δίκτυο στη τεχνολογία IoT, θα είναι επίσης εγγενώς πολλαπλών λειτουργιών, προκειμένου να μπορέσει να εξερευνήσει την τεχνολογική ποικιλομορφία που θα υπάρχει. Καθοδηγούμενα από τον νόμο του Moore, τα δίκτυα (ή ορισμένοι κόμβοι δικτύου) θα πρέπει να θεωρηθούν ως έξυπνες οντότητες «υπολογιστών και αποθήκευσης», φέρνοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά στη σφαίρα του δικτύου, όπου ενσωματώνονται ορισμένες έννοιες που βρίσκονταν μέχρι τώρα

στο επίπεδο υπηρεσιών, επιτρέποντας τη συνεργική ανάπτυξη λειτουργιών δικτύου με βάση τις αρχές μηχανικής λογισμικού (μειώνοντας έτσι το κόστος ανάπτυξης του προϊόντος).

Έτσι, το δίκτυο 5G προσφέρει στους χρήστες όχι μόνο καλύτερη απόδοση, αλλά και μια καινοτόμα λειτουργικότητα. Το εύρος του δεν περιορίζεται στη ραδιοπρόσβαση, αλλά περιλαμβάνει ολόκληρο το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων πτυχών όπως η διαχείριση συνδρομητών, το κεντρικό δίκτυο και τα χαρακτηριστικά μεταφοράς.

Αυτή η άποψη για το 5G στη τεχνολογία IoT, οδηγεί σε πολλές βασικές προκλήσεις απόδοσης που θα πρέπει να αντιμετωπίσουν οι τεχνολογίες 5G για την επίτευξη των αναμενόμενων βασικών δεικτών απόδοσης (KPIs):

- Διακίνηση: παρέχεται 1000 φορές μεγαλύτερη διαθέσιμη απόδοση συνολικά, καθώς και 10 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα σε μεμονωμένους τελικούς χρήστες, προκειμένου να παρέχονται πλήρως καθηλωτικές εμπειρίες. Αυτό ενδέχεται να απαιτεί την ενσωμάτωση νέων μορφών υπηρεσιών εκπομπής.
- Ενεργειακή απόδοση: Οι υποδομές ασύρματης/κινητής ευρυζωνικής σύνδεσης αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% της κατανάλωσης ενέργειας των δικτύων τηλεπικοινωνιακών φορέων, ενώ η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών πλησιάζει το 4,5% με ανοδική τάση. Είναι σημαντικό τα μελλοντικά δίκτυα 5G να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις και τις προκλήσεις με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο.
- Χρόνος δημιουργίας υπηρεσίας: ενεργοποιείται η δημιουργία εμπειριών χρήστη από την εφαρμογή.
- Διάρκεια ζωής μπαταρίας: παρέχεται 10 φορές καλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας για λύσεις χαμηλής απόδοσης, όπως αισθητήρες.
- Κάλυψη: με πολλά περισσότερα άτομα που αναμένουν να έχουν την ίδια κάλυψη όταν ταξιδεύουν (σε κρουαζιερόπλοια, επιβατικά αεροσκάφη, τρένα υψηλής ταχύτητας και σε εξοχικές βίλες), είναι σημαντικό να παρέχεται υψηλότερη επέκταση των υπηρεσιών 5G οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή.
- Κάλυψη IoT: σε ευρείες περιοχές που περιλαμβάνουν αισθητήρες και οι συνδέσεις M2M είναι οι ιδανικές υπηρεσίες για χρήση δορυφορικής κάλυψης ευρείας περιοχής.

Εκτός από τις βασικές προκλήσεις απόδοσης, περιγράφουμε επίσης προκλήσεις σε επίπεδο συστήματος που προκύπτουν από το μεταβαλλόμενο οικοσύστημα στο οποίο αναμένεται να λειτουργεί το 5G στη τεχνολογία IoT:

- Πρόκληση απορρήτου βάσει σχεδιασμού: παρέχεται υπευθυνότητα εντός του υποστρώματος επικοινωνίας και την ιδιωτική επικοινωνία όταν είναι αναγκαίο, ευθυγραμμισμένη με τους περιορισμούς πολιτικής όσον αφορά τη διαχείριση δεδομένων και την ιδιοκτησία.
- Πρόκληση ποιότητας υπηρεσίας: προκειμένου να επιτραπεί η βελτιστοποίηση της Ποιότητας Εμπειρίας (QoE) για τον τελικό χρήστη, το 5G θα πρέπει να παρέχει διαφοροποιημένες υπηρεσίες σε διάφορες διαστάσεις, όπως απόδοση, καθυστέρηση, ανθεκτικότητα και κόστος ανά bit ανεξαρτήτως από την θέση του χρήστη και την γεωγραφική ανάπτυξη των κεραιών στην περιοχή του. Αυτό περιλαμβάνει αυξημένη ασφάλεια, διαθεσιμότητα, ανθεκτικότητα και διασφάλιση παράδοσης για κρίσιμες εφαρμογές, όπως εφαρμογές που σχετίζονται με την υγεία ή εφαρμογές έκτακτης ανάγκης, αλλά και λύσεις εξαιρετικά χαμηλού κόστους για αναδυόμενες χώρες με λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις QoE.
- Πρόκληση απλότητας: παρέχονται στους χρήστες 5G οι καλύτερες υπηρεσίες δικτύου απρόσκοπτα χωρίς περίπλοκες διαδρομές πελατών (π.χ. για εναλλαγή μεταξύ RAT).
- Πρόκληση πυκνότητας: αυξημένος αριθμός διαφορετικών συσκευών που συνδέονται σε κοντινή απόσταση, π.χ., αμφισβητώντας την τρέχουσα αρχιτεκτονική για τη διαχείριση της κινητικότητας.
- Πρόκληση πολλαπλής μίσθωσης: παρέχονται λύσεις υπηρεσιών σε διαφορετικές ιδιοκτησίες υποδομής, με τα διαφορετικά δίκτυα (όχι απαραίτητα βασισμένα σε IP) να συνυπάρχουν και να παρέχουν μια ολοκληρωμένη, καθώς και αποτελεσματική αλληλεπίδραση μεταξύ του ασύρματου τομέα.
- Πρόκληση ποικιλομορφίας: Πέρα από την ποικιλομορφία των ενδιαφερομένων, το 5G πρέπει να υποστηρίζει την αυξανόμενη ποικιλία βελτιστοποιημένων ασύρματων λύσεων (σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογών, π.χ. M2M) και την αυξανόμενη ποικιλομορφία και τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών και τη σχετική ποικιλομορφία τύπων κίνησης.

- Πρόκληση αξιοποίησης: εκμετάλλευση οποιαδήποτε δυνατότητας επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένης της συσκευής σε συσκευή (D2D), για την παροχή των καταλληλότερων μέσων επικοινωνίας την κατάλληλη στιγμή.
- Πρόκληση συλλογής: επινόηση σε ριζικά νέες προσεγγίσεις για την παροχή ισχύος στις συσκευές, η οποία όχι μόνο πρέπει να προέρχεται από μπαταρίες, αλλά και τη συλλογή της υπάρχουσας περιβαλλοντικής ενέργειας.
- Πρόκληση κινητικότητας: υποστήριξη για απεριόριστη κινητικότητα σε όλα τα δίκτυα/τεχνολογίες.
- Πρόκληση πληροφοριών τοποθεσίας και περιβάλλοντος: παρέχεται δυνατότητες εντοπισμού θέσης και περιβάλλοντος στην περιοχή του υπομετρητή, προκειμένου να ενεργοποιηθεί το Διαδίκτυο π.χ. μέσω της ενσωμάτωσης κυψελωτών και δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης.
- Πρόκληση ανοιχτού περιβάλλοντος: ενεργοποίηση οριζόντιων επιχειρηματικών μοντέλων ανοίγοντας τις σωστές επιχειρηματικές διεπαφές εντός του συστήματος, προκειμένου να ενεργοποιηθούν τα ευέλικτα μοντέλα χειριστή με τρόπο πολλαπλών μισθώσεων.
- Διαχειρισσιμότητα: Βελτίωση της διαχειρισσιμότητας των δικτύων προκειμένου να μειωθεί η ανάγκη για χειροκίνητη διαχείριση καθώς και η ανθρώπινη συμμετοχή. QoE είναι ο βαθμός ευχαρίστησης ή ενόχλησης του χρήστη μιας εφαρμογής ή υπηρεσίας. Προκύπτει από την εκπλήρωση των προσδοκιών του/της σχετικά με τη χρησιμότητα ή και την «απόλαυση» της εφαρμογής ή της υπηρεσίας υπό το πρίσμα της προσωπικότητας και της τρέχουσας κατάστασης του χρήστη.
- Πρόκληση σκλήρυνσης: ανάπτυξη ενός συστήματος επικοινωνίας μέσω ενός συνδυασμού τεχνικών φορέων, όπως η κινητή και η δορυφορική, που είναι εγγενώς ανθεκτικές σε επιθέσεις από κακόβουλες οντότητες καθώς και σε φυσικές καταστροφές. Μια ανθεκτικότητα χωρίς την οποία δεν θα επιτευχθεί ποτέ το παράδειγμα έξυπνου δικτύου/έξυπνης πόλης.
- Πρόκληση διαχείρισης πόρων: παροχή ελέγχου, μηχανισμών πολιτικής και φόρτισης πρόσβασης και πρωτοκόλλων για δυναμική εγκατάσταση, διαμόρφωση, αναδιαμόρφωση και απελευθέρωση οποιουδήποτε τύπου πόρων (εύρος ζώνης, υπολογισμός, μνήμη, αποθήκευση), για κάθε τύπο συσκευών (π.χ. τερματικό, αυτοκίνητο, ρομπότ, drone, κ.λπ.) και υπηρεσίες (π.χ. Δίκτυο, Ασφάλεια, Δεδομένα,

Γνώση, Μηχανή και Πράγμα ως υπηρεσία), συμπεριλαμβανομένων με τον τρόπο E2E όταν είναι απαραίτητο.

- Πρόκληση ευελιξίας: επινόηση σε πραγματικά ευέλικτους μηχανισμούς ελέγχου και πρωτόκολλα για τη μετεγκατάσταση λειτουργιών, οντοτήτων πρωτοκόλλου και αντίστοιχων καταστάσεων με έναν πραγματικά ολοκληρωμένο τρόπο, αξιοποιώντας προγραμματιζόμενες τεχνολογίες δικτύου όπως το SDN και το NFV.
- Πρόκληση ταυτότητας: παρέχονται λύσεις διαχείρισης ταυτότητας για κάθε τύπο συσκευής (τερματικό, αυτοκίνητο, ρομπότ, drone, κ.λπ.) με πρόσβαση σε μηχανισμούς αναγνωστικής πιστοποίησης που είναι διαθέσιμοι σε κάθε τύπο συσκευής, συσκευή σε συσκευή και δίκτυο σε συσκευή, ανεξάρτητα από συγκεκριμένες τεχνολογίες των φορέων επικοινωνίας και της τρέχουσας θέσης τους.
- Πρόκληση ευέλικτης τιμολόγησης: παροχή μεθόδων για ευέλικτους μηχανισμούς τιμολόγησης σε όλα τα μέρη και μεταξύ διαφορετικών τμημάτων της μελλοντικής αλυσίδας αξίας 5G, προκειμένου να επιτραπούν καθεστώτα τιμολόγησης που είναι κοινά σε όλες τις βιομηχανίες που θα χρησιμοποιούν τη μελλοντική υποδομή 5G. Επιπλέον, τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα θα μπορούσαν να εξετάσουν την υποκείμενη τεχνολογία (π.χ. ασύρματη ή κινητή, παλαιού τύπου ή μεταγενέστερη) καθώς και άλλες πτυχές όπως η συμβολή μιας ιδιωτικής μικρής κυψέλης στην υποδομή του φορέα εκμετάλλευσης μέσω της ανοιχτής πρόσβασής της.
- Πρόκληση εξέλιξης: παρέχεται η δυνατότητα για εξέλιξη και προσαρμογή, επιτρέποντας μια διαφανή μετάβαση από τα τρέχοντα δίκτυα και επιτρέποντας μελλοντική ανάπτυξη.

Σε επίπεδο συστήματος στη τεχνολογία IoT, η συγκεκριμένη λειτουργία σκιαγραφεί μια πρόκληση που καλύπτει όλες τις ερευνητικές προτεραιότητες που εστιάζονται στην τεχνολογία, αυτή η πρόκληση είναι αυτή της ευέλικτης ικανότητας. Δεδομένου του ευρέος φάσματος κινήτρων και απαιτήσεων των ενδιαφερομένων, το μελλοντικό σύστημα 5G πρέπει να παρέχει τεράστιο βαθμό ευελιξίας.

Αυτή η πρόκληση απομακρύνει το 5G από τα μάλλον άκαμπτα σχέδια πριν από το 5G με περιορισμένες κατηγορίες υπηρεσιών που είναι διαθέσιμες στους χρήστες του και λίγα υποτιθέμενα μοντέλα ανάπτυξης σε επίπεδο υποστρώματος επικοινωνίας. Τα εξειδικευμένα

εξαρτήματα δικτύου που παρέχονται ως εξειδικευμένα κουτιά υλικού βασισμένα σε κοινά αποδεκτά πρότυπα, είναι αυτά που αντικατοπτρίζουν αυτήν την ακαμψία στο σχεδιασμό.

Προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη ευελιξία των συστημάτων 5G, προβλέπουμε υψηλό βαθμό προγραμματισμού των κατά τα άλλα τυπικών στοιχείων υλικού με δυνατότητα δικτύου, όπως αντικατοπτρίζεται στις τρέχουσες προσπάθειες εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV). Αυτή η δυνατότητα προγραμματισμού ωθεί την επίλυση των κινήτρων από την πρώιμη φάση προτύπων στη μεταγενέστερη φάση ανάπτυξης, όπου η εξομοίωση δικτύου καθώς και η επικύρωση στοιχείων λογισμικού ανοίγουν το δρόμο για σημαντική μείωση του χρόνου ανάπτυξης της υπηρεσίας από αρκετές ημέρες σε λεπτά ή ακόμη και δευτερόλεπτα.

Η δυνατότητα προγραμματισμού παρέχει επίσης τη δυνατότητα να λαμβάνεται υπόψη η χρήση των πόρων σε όλο το δίκτυο, επιτρέποντας την προβλεπόμενη ευέλικτη ευθυγράμμιση κινήτρων μεταξύ πολλών ενδιαφερομένων. Επιπλέον, με τους πόρους που ερμηνεύονται ως υπολογιστές, αποθήκευση, πτητική μνήμη και εύρος ζώνης, η προβλεπόμενη δυνατότητα προγραμματισμού του δικτύου θα δώσει επίσης λύσεις για την πρόκληση της εγγύησης σε επίπεδο συστήματος, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση σε όλες αυτές τις διαστάσεις πόρων προς μια ενιαία αναπτυγμένη λύση.

Ο συνδυασμός ευελιξίας και προγραμματισμού στα μελλοντικά συστήματα 5G θα επιτρέψει επίσης τη δημιουργία πολύπλοκων, κρίσιμων για την αποστολή υπηρεσιών με συγκεκριμένες απαιτήσεις όσον αφορά την ποιότητα των υπηρεσιών, όπου κανονικά απαιτείται ειδική φυσική υποδομή. Σημαντικό να επισημανθεί πως η αξιοποίηση των πραγματικών πλεονεκτημάτων της δυνατότητας προγραμματισμού επιτυγχάνεται μόνο με το άνοιγμα των βασικών API σε υπηρεσίες δικτύου σε διαφορετικούς τομείς.

Επιπλέον, το μελλοντικό σύστημα 5G είναι αναγκαίο να λειτουργεί με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο, ικανοποιώντας ταυτόχρονα όλες τις προδιαγραφές KPI 5G, σύμφωνα με το όραμα 5G. Αυτή η τάση θα έχει ως αποτέλεσμα το σχεδιασμό του ενεργειακά αποδοτικότερου υλικού που μειώνει τελικά την ενέργεια που καταναλώνεται ανά bit. Πέρα από αυτές τις τεχνολογικές προκλήσεις που έχουν εντοπιστεί, είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί η έρευνα που απαιτείται από ειδικούς στους κλάδους οικονομικής και πολιτικής που διερευνάται το αντίκτυπο αυτής της νέας ευελιξίας.

Για παράδειγμα, για τη Λευκή Βίβλο 5G για δημόσια διαβούλευση, Αύγουστος 2014, πρέπει να διερευνησουμε τον ρόλο των προτύπων για να συμφωνήσουμε σε τεχνολογικές και

επιχειρηματικές διεπαφές εντός του συστήματος υπό το πρίσμα των επερχόμενων λύσεων εικονικοποίησης. Θα χρειαστεί επιπλέον να διερευνήσουμε το αντίκτυπο των νέων προσεγγίσεων διαχείρισης φάσματος στην πολιτική ραδιοφάσματος, ενσωματώνοντας πιθανώς την τεχνολογική λύση (π.χ. την ανταλλαγή πληροφοριών για ανίχνευση φάσματος) στην ίδια την πολιτική προσέγγιση.

Τέλος, η ευέλικτη ευθυγράμμιση των κινήτρων στη τεχνολογία IoT, θα επιτρέψει και θα συνεισφέρει στην λειτουργία των ρευστοποιημένων αγορών με γνώμονα την πληροφορία μέσω της πλατφόρμας 5G. Θα χρειαστεί να μελετήσουμε τις δυνητικά μετασχηματιστικές αλλαγές στις βιομηχανίες για τις οποίες σκοπεύει να προσφέρει λύσεις το 5G υπό το πρίσμα αυτής της νέας ρευστότητας της οικονομικής αγοράς. Για παράδειγμα, μπορούμε ήδη να δούμε σήμερα ότι η «οικονομία εφαρμογών» που βασίζονται σε smart phones είχε αντίκτυπο σε τομείς όπως τα μέσα μαζικής μεταφοράς καθώς και την υγεία. Η ποσοτικοποίηση αυτού του αντίκτυπου, ο εντοπισμός νέων επιχειρηματικών μοντέλων, καθώς και η ενίσχυση των αναδυόμενων ενδιαφερομένων σε αυτές τις μελλοντικές αγορές, είναι οι προτεραιότητες αυτής της οικονομικής έρευνας στο πλαίσιο του 5G.

4. Κεφάλαιο Τέταρτο: Μεθοδολογία Έρευνας

4.1 Σκοπός της Έρευνας

Η παρούσα έρευνα επιχειρεί να συλλέξει, συζητήσει και αναλύσει δεδομένα που απορρέουν από το ερωτηματολόγιο με θέμα το IoT στην Ελλάδα δυνατότητες και ευκαιρίες με τη χρήση των ασυρμάτων δικτύων 5ης γενιάς.

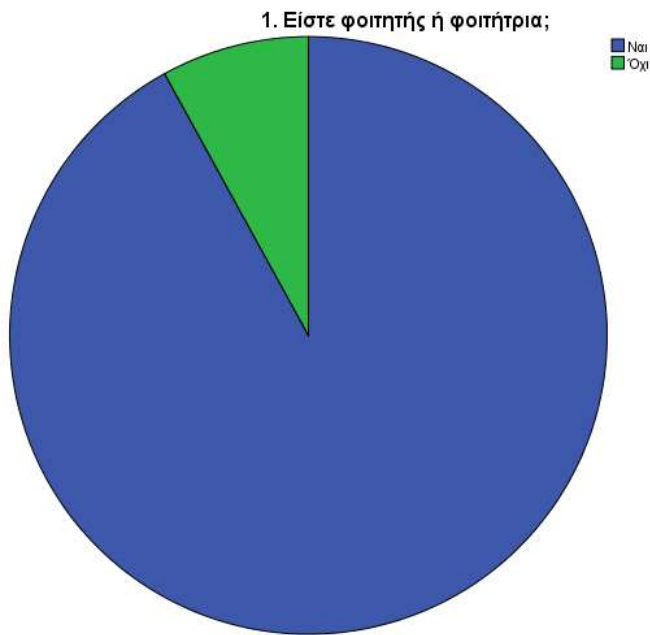
4.2 Μεθοδολογία της Έρευνας

Η μεθοδολογία έρευνας που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία είναι η εμπειρική ανάλυση. Η συλλογή δεδομένων έγινε με χρήση ερωτηματολογίου, το οποίο περιλαμβάνει ερωτήσεις κλειστού τύπου.

Τα ερωτηματολόγια διανεμήθηκαν ηλεκτρονικά, μέσω της πλατφόρμας Google Forms και στη συνέχεια συμπληρώθηκαν από συμμετέχοντες στην έρευνα. Τη συλλογή των δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS.

5. Κεφάλαιο Πέμπτο: Αποτελέσματα Έρευνας

5.1 Ανάλυση Ερωτηματολογίου σχετικά με το IoT στην Ελλάδα – Δυνατότητες και Ευκαιρίες με Χρήση των Ασυρμάτων Δικτύων 5ης Γενιάς



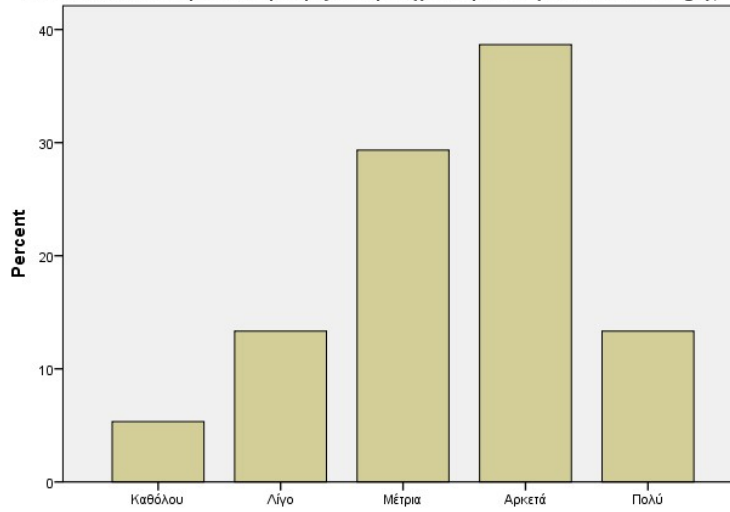
Εικόνα 5: Γράφημα 1

Το 92% των ερωτηθέντων που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα ήταν φοιτητές.

1. Είστε φοιτητής ή φοιτήτρια;

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Ναι	69	92,0	92,0	92,0
Όχι	6	8,0	8,0	100,0
Total	75	100,0	100,0	

2. Πόσο καλά θεωρείτε ότι γνωρίζετε την τεχνολογία IoT (Internet Of Things);

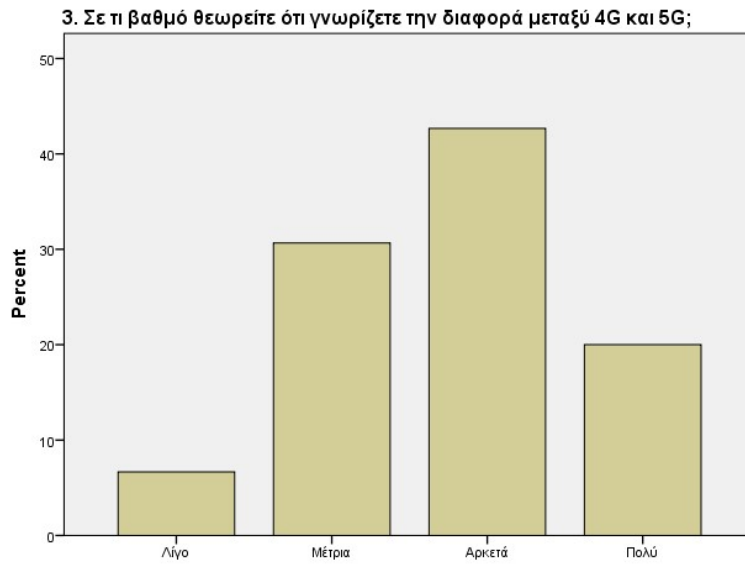


Εικόνα 6: Γράφημα 2

Το 38,7% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως γνωρίζουν αρκετά την τεχνολογία IoT (Internet Of Things), το 29,3% μέτρια, το 13,3% πολύ και άλλο ένα ίδιο ποσοστό λίγο.

2. Πόσο καλά θεωρείτε ότι γνωρίζετε την τεχνολογία IoT (Internet Of Things);

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Καθόλου	4	5,3	5,3	5,3
Λίγο	10	13,3	13,3	18,7
Μέτρια	22	29,3	29,3	48,0
Αρκετά	29	38,7	38,7	86,7
Πολύ	10	13,3	13,3	100,0
Total	75	100,0	100,0	



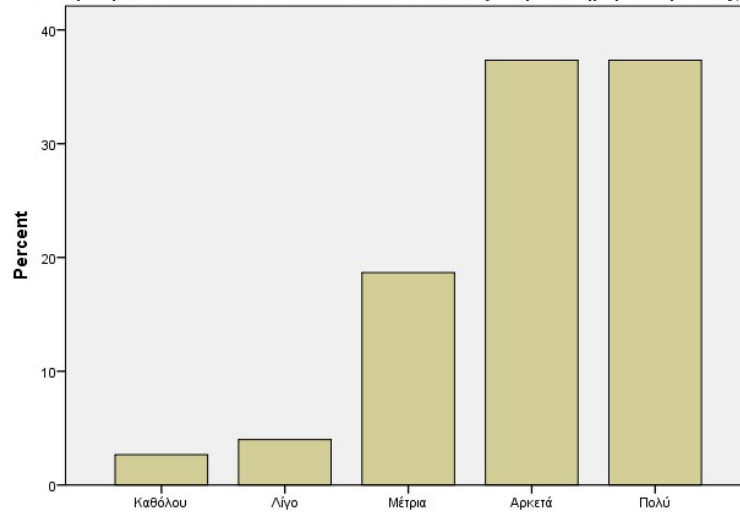
Εικόνα 7: Γράφημα 3

Το 42,7% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως γνωρίζουν αρκετά την διαφορά μεταξύ 4G και 5G, το 30,7% μέτρια και το 20% πολύ.

3. Σε τι βαθμό θεωρείτε ότι γνωρίζετε την διαφορά μεταξύ 4G και 5G;

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Λίγο	5	6,7	6,7	6,7
Μέτρια	23	30,7	30,7	37,3
Αρκετά	32	42,7	42,7	80,0
Πολύ	15	20,0	20,0	100,0
Total	75	100,0	100,0	

4. Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι το 5G και το IoT θα αλλάξει την καθημερινότητά σας;



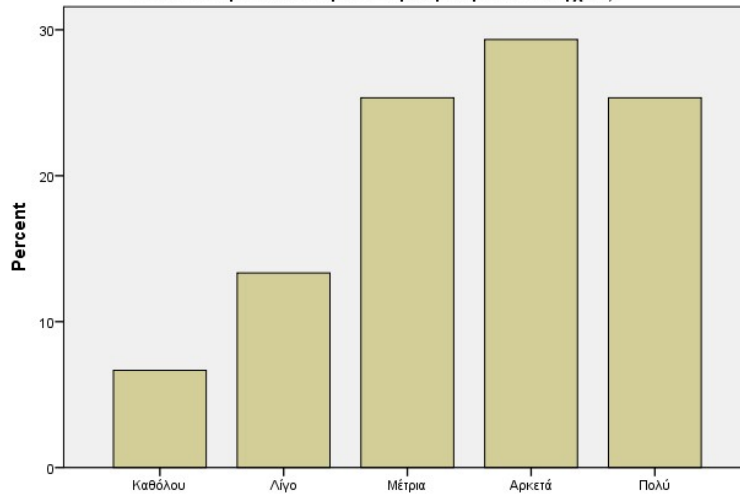
Εικόνα 8: Γράφημα 4

Το 37,3% των ερωτηθέντων πιστεύουν πως το 5G και το IoT θα αλλάξουν πολύ την καθημερινότητά τους, ένα ίδιο ποσοστό σε αρκετό βαθμό και το 18,7% μέτρια.

4. Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι το 5G και το IoT θα αλλάξει την καθημερινότητά σας;

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Καθόλου	2	2,7	2,7	2,7
Λίγο	3	4,0	4,0	6,7
Μέτρια	14	18,7	18,7	25,3
Αρκετά	28	37,3	37,3	62,7
Πολύ	28	37,3	37,3	100,0
Total	75	100,0	100,0	

5. Όταν αγοράζετε μια καινούργια συσκευή, πόσο σημαντικό είναι για εσάς να διαθέτει την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου;



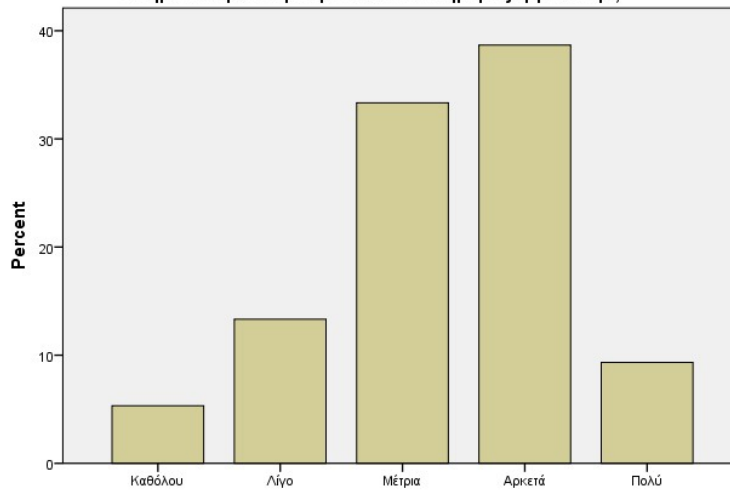
Εικόνα 9: Γράφημα 5

Το 29,3% των ερωτηθέντων θεωρούν αρκετά σημαντικό, όταν αγοράζουν μια καινούρια συσκευή να διαθέτει την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου, το 25,3% το θεωρούν πολύ σημαντικό, άλλο ένα ίδιο ποσοστό το θεωρούν μέτρια σημαντικό και το 13,3% λίγο σημαντικό.

5. Όταν αγοράζετε μια καινούργια συσκευή, πόσο σημαντικό είναι για εσάς να διαθέτει την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Καθόλου	5	6,7	6,7	6,7
	Λίγο	10	13,3	13,3	20,0
	Μέτρια	19	25,3	25,3	45,3
	Αρκετά	22	29,3	29,3	74,7
	Πολύ	19	25,3	25,3	100,0
Total		75	100,0	100,0	

6. Μια έννοια που συνδέεται άμεσα με την τεχνολογία IoT είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη. Σε τι βαθμό είσαστε ενημερο/η γι' αυτήν;



Εικόνα 10: Γράφημα 6

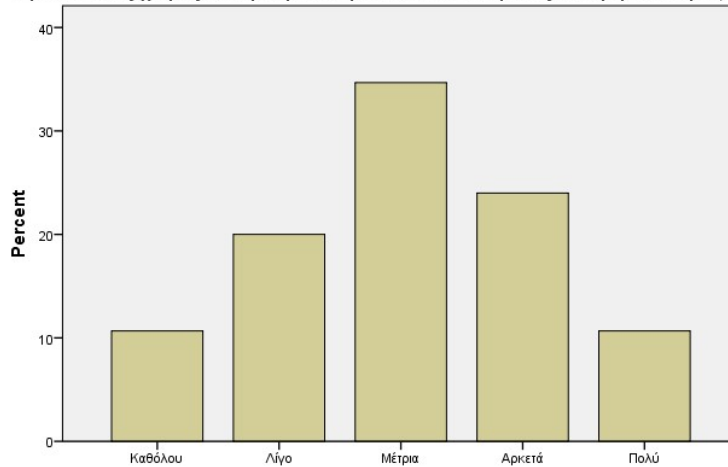
Το 38,7% των ερωτηθέντων είναι αρκετά ενημέροι με την έννοια της Τεχνητής Νοημοσύνης που συνδέεται άμεσα με την τεχνολογία IoT, το 33,3% είναι μέτρια ενημέροι και το 13,3% λίγο ενημέροι.

6. Μια έννοια που συνδέεται άμεσα με την τεχνολογία IoT είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη.

Σε τι βαθμό είσαστε ενημερο/η γι' αυτήν;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Καθόλου	4	5,3	5,3	5,3
	Λίγο	10	13,3	13,3	18,7
	Μέτρια	25	33,3	33,3	52,0
	Αρκετά	29	38,7	38,7	90,7
	Πολύ	7	9,3	9,3	100,0
Total		75	100,0	100,0	

7. Έχοντας εγκατεστημένη κάμερα ... να χακαριστεί & να παραβιαστεί ο προσωπικός χώρος. Σε τι βαθμό θα ήσασταν διατεθειμένοι να αγοράσετε μια;



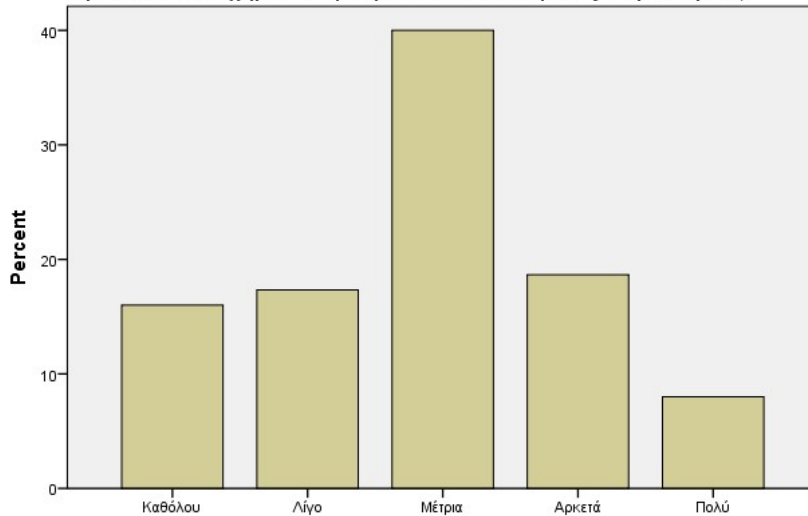
Εικόνα 11: Γράφημα 7

Το 34,7% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως στο σενάριο να έχουν εγκατεστημένη κάμερα ασφαλείας στο σπίτι τους και γνωρίζοντας το ενδεχόμενο να χακαριστεί και να παραβιαστεί ο προσωπικός τους χώρος, είναι διατεθειμένοι να αγοράσουν μια τέτοια συσκευή σε μέτριο βαθμό, το 24% σε αρκετό βαθμό και το 20% σε λίγο βαθμό.

7. Έχοντας εγκατεστημένη κάμερα ... να χακαριστεί & να παραβιαστεί ο προσωπικός χώρος. Σε τι βαθμό θα ήσασταν διατεθειμένοι να αγοράσετε μια;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Καθόλου	8	10,7	10,7	10,7
	Λίγο	15	20,0	20,0	30,7
	Μέτρια	26	34,7	34,7	65,3
	Αρκετά	18	24,0	24,0	89,3
	Πολύ	8	10,7	10,7	100,0
	Total	75	100,0	100,0	

8.Οδηγώντας ένα αυτοοδηγούμενο αυτοκίνητο ..., όμως αν χακαριστεί μπορεί να προκαλέσει ατύχημα. Σε τι βαθμό είστε διατεθειμένος να ρισκάρετε;



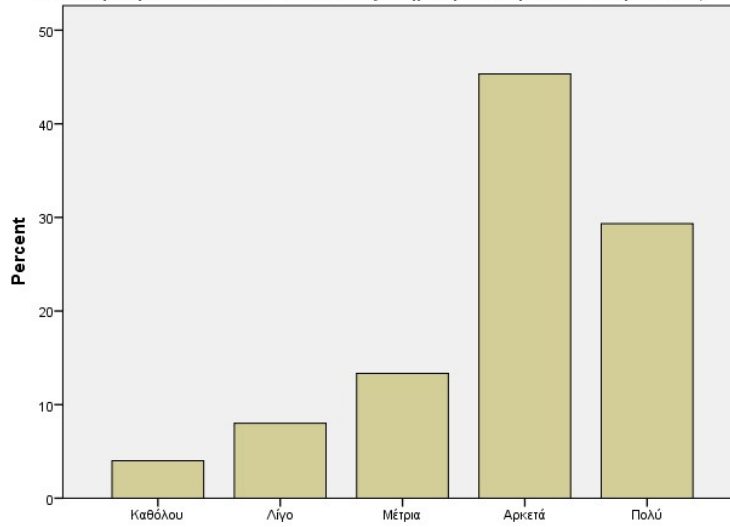
Εικόνα 12: Γράφημα 8

Το 40% των ερωτηθέντων στο σενάριο να οδηγούν ένα αυτοοδηγούμενο αυτοκίνητο που τους παρέχει ασφάλεια και άνεση, το οποίο όμως αν χακαριστεί μπορεί να προκαλέσει ατύχημα, είναι διατεθειμένο να ρισκάρουν ένα τέτοιο ενδεχόμενο σε μέτριο βαθμό, το 18,7% σε αρκετά μεγάλο βαθμό, το 17,3% σε λίγο βαθμό και το 16% δεν είναι διατεθειμένοι να ρισκάρουν καθόλου.

8.Οδηγώντας ένα αυτοοδηγούμενο αυτοκίνητο ..., όμως αν χακαριστεί μπορεί να προκαλέσει ατύχημα. Σε τι βαθμό είστε διατεθειμένος να ρισκάρετε;

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Καθόλου	12	16,0	16,0	16,0
Λίγο	13	17,3	17,3	33,3
Μέτρια	30	40,0	40,0	73,3
Αρκετά	14	18,7	18,7	92,0
Πολύ	6	8,0	8,0	100,0
Total	75	100,0	100,0	

9. Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι το 5G θα εξυπηρετήσει στην επέκταση του IoT;



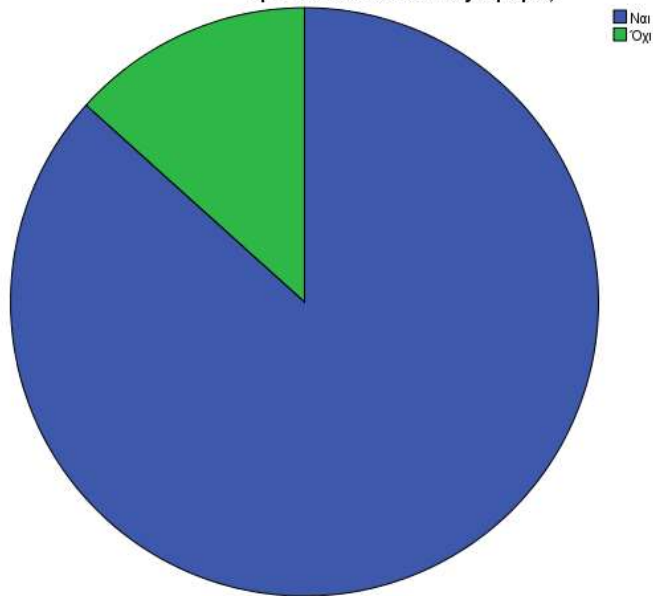
Εικόνα 13: Γράφημα 9

Το 45,3% των ερωτηθέντων πιστεύουν πως το 5G θα εξυπηρετήσει στην επέκταση του IoT σε αρκετά μεγάλο βαθμό, το 29,3% σε πολύ μεγάλο βαθμό και το 13,3% σε μέτριο βαθμό.

9. Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι το 5G θα εξυπηρετήσει στην επέκταση του IoT;

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Καθόλου	3	4,0	4,0	4,0
Λίγο	6	8,0	8,0	12,0
Μέτρια	10	13,3	13,3	25,3
Αρκετά	34	45,3	45,3	70,7
Πολύ	22	29,3	29,3	100,0
Total	75	100,0	100,0	

10. Είστε διατεθειμένος να χρησιμοποιείτε περισσότερες συσκευές IoT στο σπίτι ή το εκπαιδευτικό σας ίδρυμα;



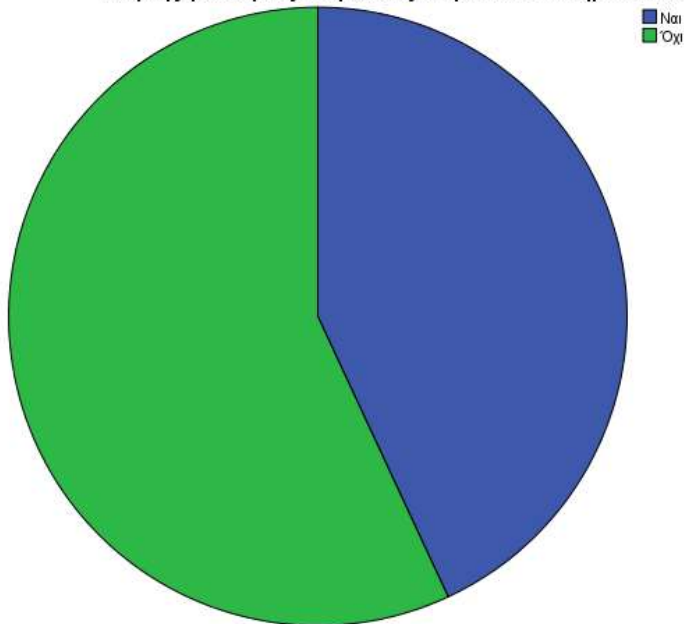
Εικόνα 14: Γράφημα 10

Το 86,7% των ερωτηθέντων είναι διατεθειμένοι να χρησιμοποιούν περισσότερες συσκευές IoT στο σπίτι ή το εκπαιδευτικό τους ίδρυμα.

10. Είστε διατεθειμένος να χρησιμοποιείτε περισσότερες συσκευές IoT στο σπίτι ή το εκπαιδευτικό σας ίδρυμα;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ναι	65	86,7	86,7	86,7
	Όχι	10	13,3	13,3	100,0
Total		75	100,0	100,0	

11. Έχετε αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας Bluetooth beacon για ανίχνευση κίνησης για λόγους ασφαλείας στην πανεπιστημιούπολή σας;



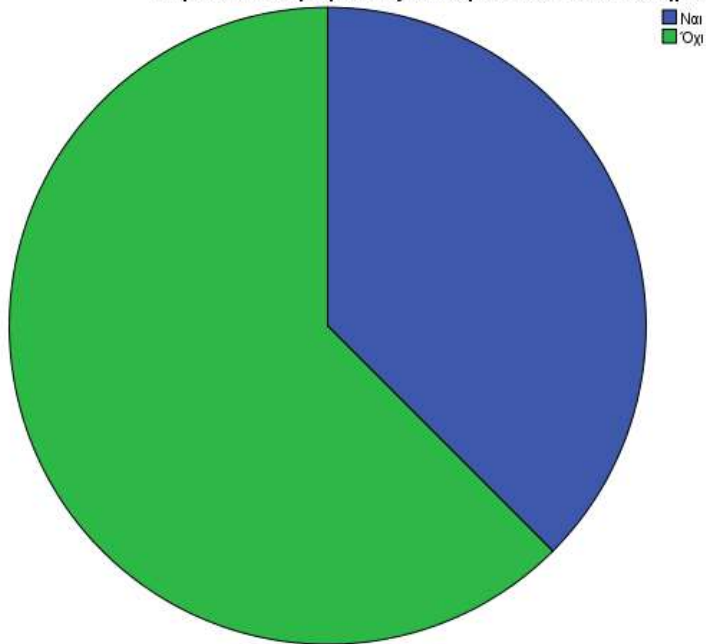
Εικόνα 15: Γράφημα 11

Το 43,1% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως δεν έχουν αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας Bluetooth beacon για ανίχνευση κίνησης για λόγους ασφαλείας στην πανεπιστημιούπολή τους. (Σημειώνεται ότι στην παρούσα ερώτηση απάντησαν 65 από τα 75 άτομα καθώς στην προηγούμενη ερώτηση, 10 άτομα δήλωσαν πως δεν είναι διατεθειμένοι να χρησιμοποιούν περισσότερες συσκευές IoT στο σπίτι ή το εκπαιδευτικό τους ίδρυμα).

11. Έχετε αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας Bluetooth beacon για ανίχνευση κίνησης για λόγους ασφαλείας στην πανεπιστημιούπολή σας;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ναι	28	37,3	43,1	43,1
	Όχι	37	49,3	56,9	100,0
	Total	65	86,7	100,0	
Missing	System	10	13,3		
Total		75	100,0		

12. Έχετε αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας bluetooth beacon για παρακολούθηση του εξοπλισμού του πανεπιστημίου



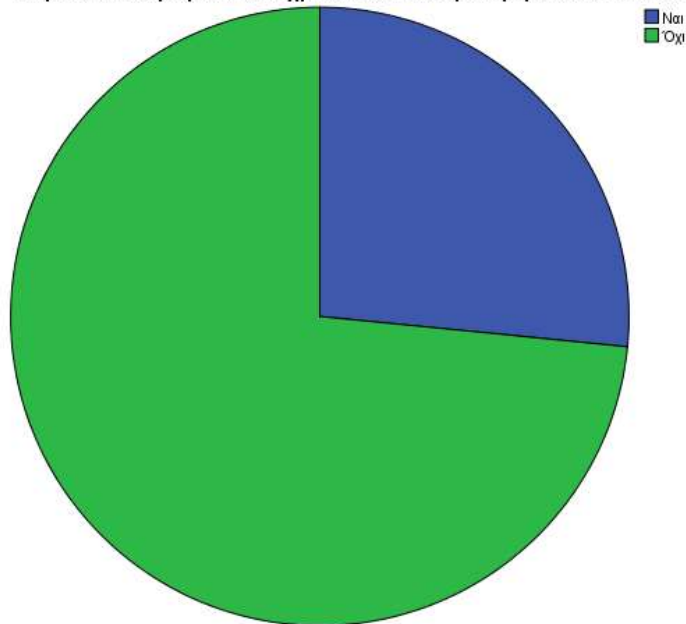
Εικόνα 16: Γράφημα 12

Το 62,5% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως δεν έχουν αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας Bluetooth beacon για παρακολούθηση του εξοπλισμού του πανεπιστημίου τους ενώ το 37,5% απάντησε θετικά. (Σημειώνεται ότι στην παρούσα ερώτηση απάντησαν 64 από τα 75 άτομα του συνολικού δείγματος).

12. Έχετε αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας bluetooth beacon για παρακολούθηση του εξοπλισμού του πανεπιστημίου

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ναι	24	32,0	37,5	37,5
	Όχι	40	53,3	62,5	100,0
	Total	64	85,3	100,0	
Missing	System	11	14,7		
Total		75	100,0		

13. Έχετε αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας Bluetooth beacon για παρακολούθηση των υποχρεώσεων του φοιτητή απέναντι στο πανεπιστήμιο;



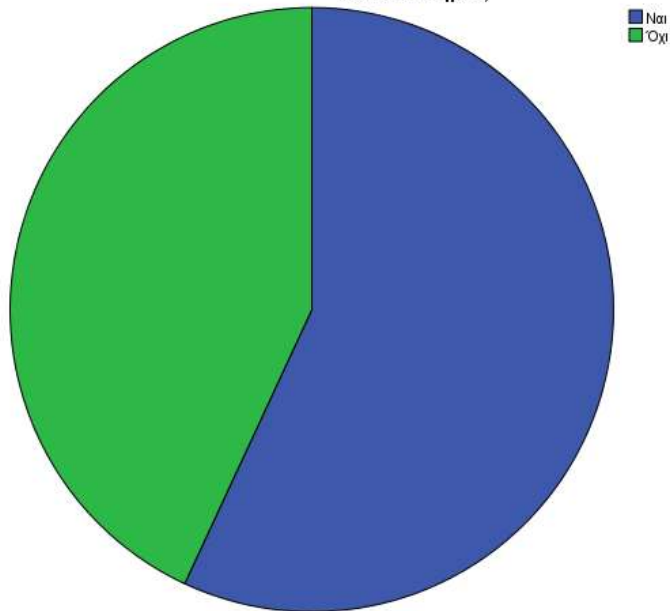
Εικόνα 17: Γράφημα 13

Το 73,4% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως δεν έχουν αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας Bluetooth beacon των υποχρεώσεων του φοιτητή απέναντι στο πανεπιστήμιο ενώ το 26,6% απάντησε θετικά. (Σημειώνεται ότι στην παρούσα ερώτηση απάντησαν 64 από τα 75 άτομα του συνολικού δείγματος).

13. Έχετε αντιληφθεί την χρήση τεχνολογίας Bluetooth beacon για παρακολούθηση των υποχρεώσεων του φοιτητή απέναντι στο πανεπιστήμιο;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ναι	17	22,7	26,6	26,6
	Όχι	47	62,7	73,4	100,0
	Total	64	85,3	100,0	
Missing	System	11	14,7		
Total		75	100,0		

14. Έχετε αντιληφθεί την χρήση αισθητήρων υγρασίας μέσω έξυπνων πριζών στο πανεπιστήμιο;



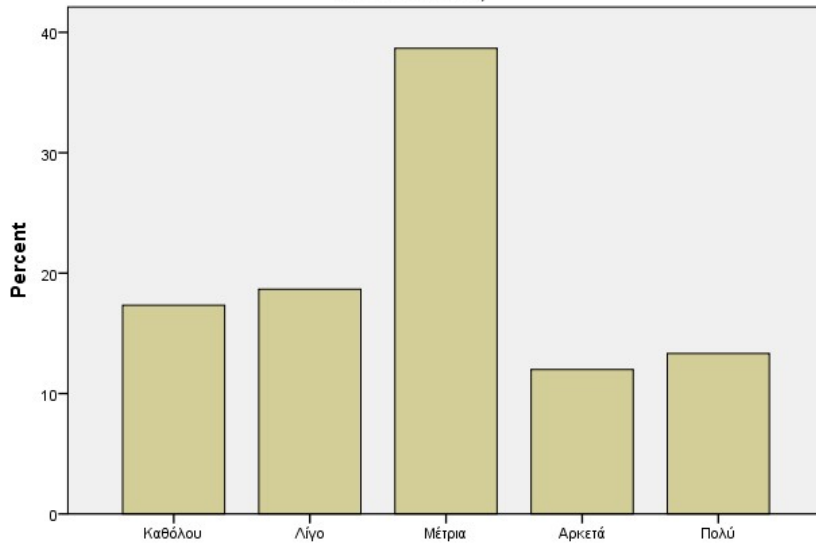
Εικόνα 18: Γράφημα 14

Το 56,9% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως δεν έχουν αντιληφθεί την χρήση αισθητήρων υγρασίας μέσω έξυπνων πριζών στο πανεπιστήμιο ενώ το 43,1% απάντησε θετικά. (Σημειώνεται ότι στην παρούσα ερώτηση απάντησαν 64 από τα 75 άτομα του συνολικού δείγματος).

14. Έχετε αντιληφθεί την χρήση αισθητήρων υγρασίας μέσω έξυπνων πριζών στο πανεπιστήμιο;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ναι	37	49,3	56,9	56,9
	Όχι	28	37,3	43,1	100,0
	Total	65	86,7	100,0	
Missing	System	10	13,3		
Total		75	100,0		

15. Σε τι βαθμό σας προβληματίζει η απαίτηση του IoT για μόνιμη σύνδεση σε κάποιο δίκτυο;



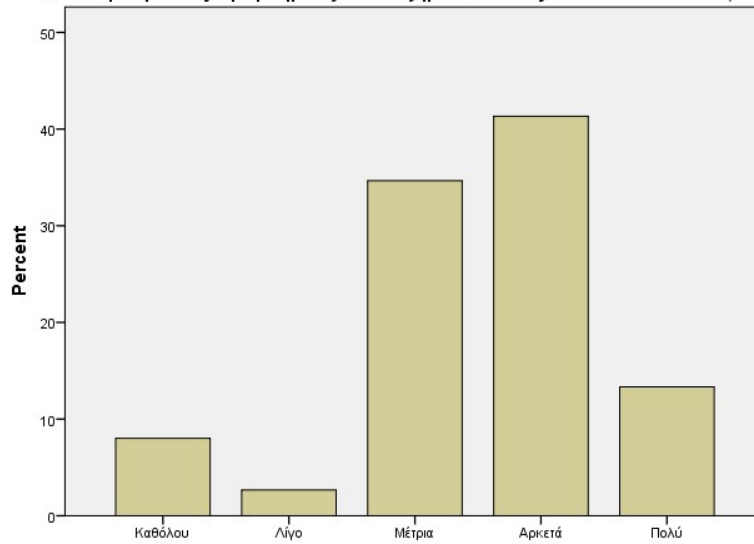
Εικόνα 19: Γράφημα 15

Το 38,7% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως τους προβληματίζει η απαίτηση του IoT για μόνιμη σύνδεση σε κάποιο δίκτυο σε μέτριο βαθμό, το 18,7% σε λίγο βαθμό, το 17,3% καθόλου, ενώ το 13,3% σε πολύ μεγάλο βαθμό και το υπόλοιπο 12% σε αρκετό βαθμό.

15. Σε τι βαθμό σας προβληματίζει η απαίτηση του IoT για μόνιμη σύνδεση σε κάποιο δίκτυο;

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Καθόλου	13	17,3	17,3	17,3
Λίγο	14	18,7	18,7	36,0
Μέτρια	29	38,7	38,7	74,7
Αρκετά	9	12,0	12,0	86,7
Πολύ	10	13,3	13,3	100,0
Total	75	100,0	100,0	

16. Σε τι βαθμό σας προβληματίζει το αυξημένο κόστος των συσκευών IoT;



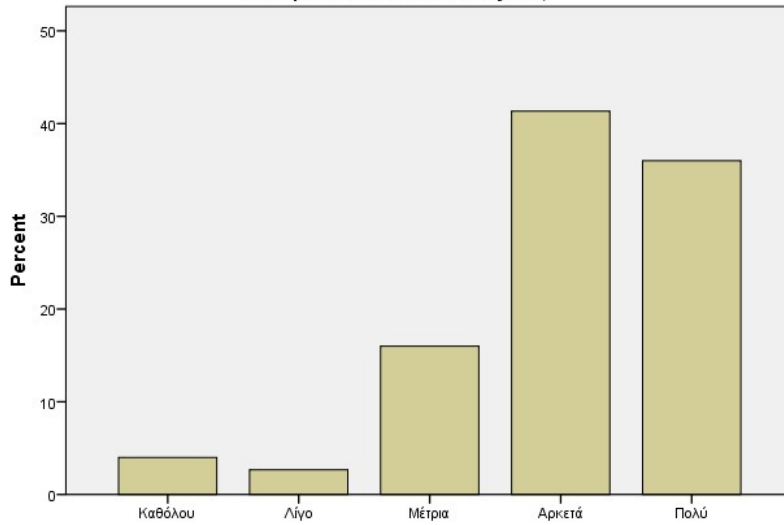
Εικόνα 20: Γράφημα 16

Το 41,3% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως τους προβληματίζει το αυξημένο κόστος των συσκευών IoT σε αρκετά μεγάλο βαθμό, το 34,7% σε μέτριο βαθμό και το 13,3% σε πολύ μεγάλο βαθμό.

16. Σε τι βαθμό σας προβληματίζει το αυξημένο κόστος των συσκευών IoT;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Καθόλου	6	8,0	8,0	8,0
	Λίγο	2	2,7	2,7	10,7
	Μέτρια	26	34,7	34,7	45,3
	Αρκετά	31	41,3	41,3	86,7
	Πολύ	10	13,3	13,3	100,0
Total		75	100,0	100,0	

17. Σε τι βαθμό θα σας προβλημάτιζε η πιθανή διαρροή των προσωπικών σας δεδομένων από συσκευές IoT;



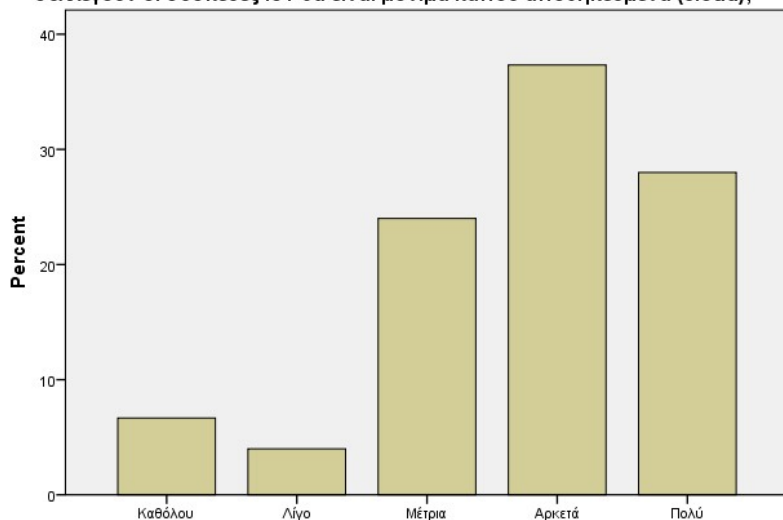
Εικόνα 21: Γράφημα 17

Το 41,3% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως τους προβλημάτιζει η πιθανή διαρροή των προσωπικών τους δεδομένων από συσκευές IoT σε αρκετά μεγάλο βαθμό, το 36% σε πολύ μεγάλο βαθμό και το 16% σε μέτριο βαθμό.

17. Σε τι βαθμό θα σας προβλημάτιζε η πιθανή διαρροή των προσωπικών σας δεδομένων από συσκευές IoT;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Καθόλου	3	4,0	4,0	4,0
	Λίγο	2	2,7	2,7	6,7
	Μέτρια	12	16,0	16,0	22,7
	Αρκετά	31	41,3	41,3	64,0
	Πολύ	27	36,0	36,0	100,0
	Total	75	100,0	100,0	

18. Σε τι βαθμό θα σας προβληματίζε ότι τα προσωπικά σας δεδομένα που συλλέγουν οι συσκευές IoT θα είναι μόνιμα κάπου αποθηκευμένα (cloud);



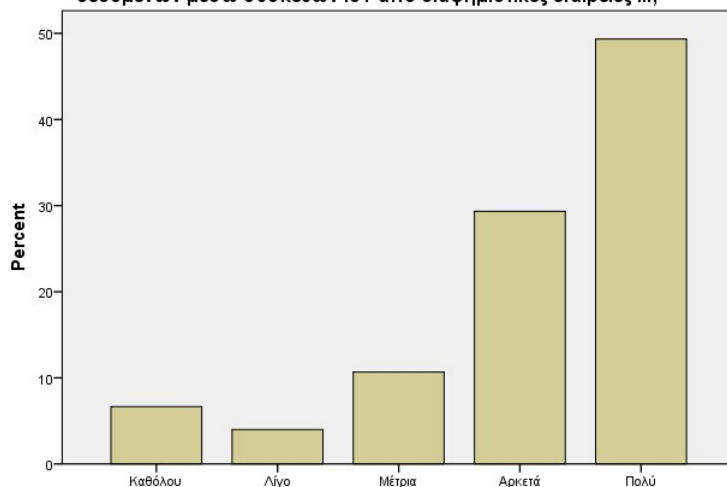
Εικόνα 22: Γράφημα 18

Το 37,3% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως τους προβληματίζει ότι τα προσωπικά σας δεδομένα που συλλέγουν οι συσκευές IoT θα είναι μόνιμα κάπου αποθηκευμένα (cloud) σε αρκετά μεγάλο βαθμό, το 28% σε πολύ μεγάλο βαθμό και το 24% σε μέτριο βαθμό.

18. Σε τι βαθμό θα σας προβληματίζε ότι τα προσωπικά σας δεδομένα που συλλέγουν οι συσκευές IoT θα είναι μόνιμα κάπου αποθηκευμένα (cloud);

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Καθόλου	5	6,7	6,7	6,7
Λίγο	3	4,0	4,0	10,7
Μέτρια	18	24,0	24,0	34,7
Αρκετά	28	37,3	37,3	72,0
Πολύ	21	28,0	28,0	100,0
Total	75	100,0	100,0	

19. Σε τι βαθμό θα σας προβλημάτιζε η συλλογή των προσωπικών σας δεδομένων μέσω συσκευών IoT από διαφημιστικές εταιρείες ...;



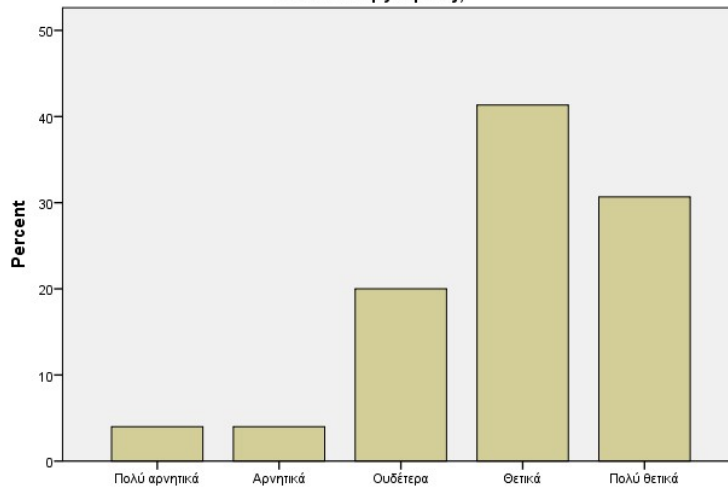
Εικόνα 23: Γράφημα 19

Το 49,3% των ερωτηθέντων δήλωσαν πως τους προβλημάτιζει η συλλογή των προσωπικών σας δεδομένων μέσω συσκευών IoT από διαφημιστικές εταιρείες για καταναλωτικούς σκοπούς σε πολύ μεγάλο βαθμό, το 29,3% σε αρκετά μεγάλο βαθμό και το 10,7% σε μέτριο βαθμό.

19. Σε τι βαθμό θα σας προβλημάτιζε η συλλογή των προσωπικών σας δεδομένων μέσω συσκευών IoT από διαφημιστικές εταιρείες ...;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Καθόλου	5	6,7	6,7	6,7
	Λίγο	3	4,0	4,0	10,7
	Μέτρια	8	10,7	10,7	21,3
	Αρκετά	22	29,3	29,3	50,7
	Πολύ	37	49,3	49,3	100,0
Total		75	100,0	100,0	

20. Ανακεφαλαιώνοντας, πως θα κρίνατε την επίδραση της τεχνολογίας 5G και του IoT στη ζωή σας;



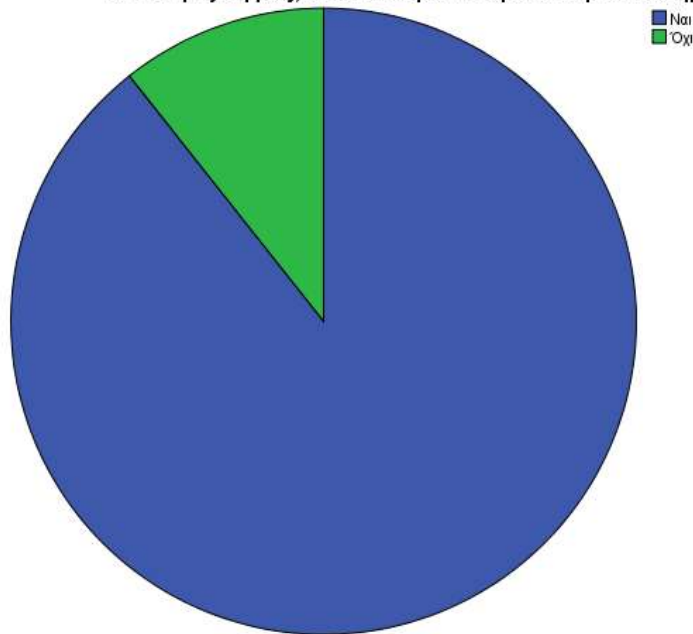
Εικόνα 24: Γράφημα 20

Το 41,3% των ερωτηθέντων κρίνουν θετικά την συνολική επίδραση της τεχνολογίας 5G και του IoT στη ζωή τους, το 30,7% πολύ θετικά και το 20% διατηρούν ουδέτερη στάση καθώς δεν πιστεύουν πως έχει ούτε αρνητική ούτε θετική επίδραση.

20. Ανακεφαλαιώνοντας, πως θα κρίνατε την επίδραση της τεχνολογίας 5G και του IoT στη ζωή σας;

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Πολύ αρνητικά	3	4,0	4,0	4,0
Αρνητικά	3	4,0	4,0	8,0
Ουδέτερα	15	20,0	20,0	28,0
Θετικά	31	41,3	41,3	69,3
Πολύ θετικά	23	30,7	30,7	100,0
Total	75	100,0	100,0	

21. Πιστεύετε πως τα πλεονεκτήματα που θα προσφέρει η τεχνολογία 5G και του IoT στην ζωή μας, θα είναι περισσότερα από μειονεκτήματα;



Εικόνα 25: Γράφημα 21

Η πλειοψηφία των ερωτηθέντων, δηλαδή το 89,3%, πιστεύουν πως τα πλεονεκτήματα που θα προσφέρει η τεχνολογία 5G και του IoT στην ζωή τους θα είναι περισσότερα από μειονεκτήματα.

21. Πιστεύετε πως τα πλεονεκτήματα που θα προσφέρει η τεχνολογία 5G και του IoT στην ζωή μας, θα είναι περισσότερα από μειονεκτήματα;

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ναι	67	89,3	89,3	89,3
	Όχι	8	10,7	10,7	100,0
	Total	75	100,0	100,0	

6. Κεφάλαιο Έκτο: Συμπεράσματα

Η έρευνα του ερωτηματολογίου επικεντρώθηκε στο να αναλύσει σε τι βαθμό γνωρίζουν οι φοιτητές στην Ελλάδα για την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων και των Ασύρματων Δικτύων 5^{ης} γενιάς, αν έχουν εντοπίσει συσκευές τέτοιων τεχνολογιών στα εκπαιδευτικά τους ιδρύματα καθώς και για την γνώμη τους σε θέματα που απασχολούν ειδικούς και επιστήμονες γύρω από τις δυνατότητες και ευκαιρίες που μπορεί να δημιουργηθούν στην Ελλάδα από την χρήση των συγκεκριμένων τεχνολογιών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνεται πως αρκετά μεγάλο ποσοστό των ερωτηθέντων είναι ενήμεροι για την τεχνολογία του Internet Of Things, των Ασύρματων Δικτύων 5^{ης} γενιάς και της επιστήμης της Τεχνητής Νοημοσύνης. Επιπλέον το μεγαλύτερο ποσοστό από τους ερωτηθέντες θεωρούν πως τα ασύρματα δίκτυα 5^{ης} γενιάς σε συνδυασμό με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα επιφέρει ραγδαίες θετικές αλλαγές στην καθημερινότητα τους, ωστόσο αρκετοί φαίνεται να είναι επιφυλακτικοί με την χρήση των προσωπικών τους δεδομένων και την τυχόν διαρροή τους από τις συσκευές των προαναφερόμενων τεχνολογιών. Αξιοσημείωτο να αναφερθεί πως τα ζητήματα απορρήτου και ασφάλειας προσωπικών δεδομένων αποτελούν μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που έρχεται αντιμέτωπη η τεχνολογία ασύρματων δικτύων 5G έτσι ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει αρμονικά με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων κρίνει θετικά την χρήση περισσότερων IoT συσκευών στην καθημερινή του ζωή καθώς και στο πανεπιστήμιο, ωστόσο οι υποδομές των Ελληνικών πανεπιστημίων φαίνεται να μην έχουν εξελιχθεί σε σημείο που να εκμεταλλεύονται πλήρως τις τεχνολογίες του 5G και του IoT. Μένει να δούμε λοιπόν μελλοντικά την πλήρη ανασυγκρότηση των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων με τεχνολογίες IoT και 5G που θα προσφέρουν άνεση, ασφάλεια και βέλτιστη λειτουργικότητα.

Συνοψίζοντας, καθώς το Διαδίκτυο των Πραγμάτων εξελίσσεται, η ευελιξία, η αξιοπιστία καθώς και η χαμηλή καθυστέρηση του 5G θα επιτρέψουν στα αυτόνομα αυτοκίνητα, τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα, τον εργοστασιακό αυτοματισμό και άλλες απαιτητικές εφαρμογές να γίνουν πραγματικότητα. Επιπλέον το Νέφος και η Τεχνητή Νοημοσύνη θα επιτελέσουν σημαντικό ρόλο ως προς την βέλτιστη διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων που

απαιτείται για την υλοποίηση του οράματος ενός παγκόσμιου δικτύου IoT, που υποστηρίζει τεράστιο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών.

Βιβλιογραφία

- Alam, S., Chowdhury, M. M. R., & Noll, J. (2011, August 30). Interoperability of security-enabled internet of things - wireless personal communications. *SpringerLink*. Retrieved January 14, 2023, from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-011-0384-6>
- Aceto, G., Akyildiz, I. F., Li, W., Zissis, D., Fortino, G., Forkan, A., Dukaric, R., Subashini, S., Spillner, J., Dobre, C., Atzori, L., Gubbi, J., Zhou, J., ... Gachet, D. (2015, October 3). *Integration of cloud computing and internet of things: A survey*. *Future Generation Computer Systems*. Retrieved January 14, 2023, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X15003015>
- (PDF) the internet of things: A survey - researchgate. (n.d.). Retrieved January 14, 2023, from https://www.researchgate.net/publication/222571757_The_Internet_of_Things_A_Survey
- RuthBolton, & Saxena-Iyer, S. (2009, February 19). Interactive services: A Framework, synthesis and research directions. *Journal of Interactive Marketing*. Retrieved January 14, 2023, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1094996808000091>
- Boyd, D. M, Ellison, N. B. (2007). social network sites: Definition, history, and scholarship. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13(1), *Article 11*. *Social Capital Gateway*. (2011, July 1). Retrieved January 14, 2023, from <https://www.socialcapitalgateway.org/content/paper/boyd-d-m-ellison-n-b-2007-social-network-sites-definition-history-and-scholarship-jour>
- Brear, D., & Barnes, S. (1970, January 1). Assessing the value of online affiliate marketing in the UK Financial Services Industry. *International Journal of Electronic Finance*. Retrieved January 14, 2023, from <https://econpapers.repec.org/RePEc:ids:ijelfi:v:2:y:2008:i:1:p:1-17>
- Schools and social media: First Amendment issues arising from student ... (n.d.). Retrieved January 14, 2023, from <https://esquimalt.public.sd61.bc.ca/wp-content/uploads/sites/34/2013/09/Schools-and-Social-Media-First-Amendment.pdf>

- Buha, Y. (n.d.). (PDF) search engine optimization - researchgate. Retrieved January 14, 2023, from https://www.researchgate.net/publication/283828639_SEARCH_ENGINE_OPTIMIZATION
- Chaudhury, A. (n.d.). E-business and e-commerce infrastructure: Technologies supporting the E-business Initiative. *Google Books*. Retrieved January 14, 2023, from https://books.google.com/books/about/E_business_and_e_commerce_infrastructure.html?id=zHoeAQAAIAAJ
- Chaves, L. W. F., & Nochta, Z. (1970, January 1). Breakthrough towards the internet of things. *SpringerLink*. Retrieved January 14, 2023, from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-03462-6_2
- Deighton, J., & Kornfeld, L. (1970, January 1). Interactivity's unanticipated consequences for marketers and marketing: Semantic scholar. *Journal of Interactive Marketing*. Retrieved January 14, 2023, from <https://www.semanticscholar.org/paper/Interactivity's-Unanticipated-Consequences-for-and-Deighton-Kornfeld/77a1d59513228bf1a7b7a3216821cef62eb82d51>
- Hartman, K. (n.d.). Searching & researching on the Internet & the World Wide Web. *Google Books*. Retrieved January 14, 2023, from https://books.google.com/books/about/Searching_Researching_on_the_Internet_th.html?id=laEQQAAMAAJ
- IBSG, C. (2011). How the next evolution of the internet is changing everything. Retrieved January 14, 2023, from https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/loT_IBSG_0411FINAL.pdf?dtid=ossdc000283
- Kearney, A. T. (2013). The Mobile Economy 2013 - *GSMA*. Retrieved January 14, 2023, from <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/2013/12/GSMA-Mobile-Economy-2013.pdf>
- Galache, J. A., Sánchez, L., Muñoz, L., Hernández-Muñoz, J. M., Fernandes, J., & Presser, M. (2013). SmartSantander: Internet of things research and innovation through Citizen Participation. *SpringerLink*. Retrieved January 14, 2023, from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-38082-2_15

- Abd El-atty, S. M., & Gharsseldien, Z. M. (2013). On performance of HetNet with coexisting small cell technology. *6th Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC)*. <https://doi.org/10.1109/wmnc.2013.6549013>
- Adhikari, P. (2008). Understanding Millimetre Wave Wireless Communication. *San Diego: Loea Corporation*, from <https://www.semanticscholar.org/paper/Understanding-Millimeter-Wave-Wireless-Adhikari/540ad9ad8412733dd235715be44f978434164da9>
- Agyapong, P., Iwamura, M., Staehle, D., Kiess, W., & Benjebbour, A. (2014). Design considerations for a 5G network architecture. *IEEE Communications Magazine*, *52(11)*, 65–75. <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6957145>
- Albream, M. A. (2015). 5G wireless communication systems: Vision and challenges. *2015 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT)*. <https://doi.org/10.1109/i4ct.2015.7219627>
- Alexander, A. (2010). IFDMA for Uplink Mobile Radio Communication Systems. Retrieved January 14, 2023, from <https://orbilu.uni.lu/bitstream/10993/15604/1/Arkhipov-Thesis.pdf>
- Anderson, C. R., & Rappaport, T. S. (2004). In-building wideband partition loss measurements at 2.5 and 60 GHz. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *3(3)*, 922–928. <https://doi.org/10.1109/twc.2004.826328>
- Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C., & Zhang, J. C. (2014). What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, *32(6)*, 1065–1082. <https://doi.org/10.1109/jsac.2014.2328098>
- Arslan, M., Sundaresan, K., & Rangarajan, S. (2015). Software-defined networking in Cellular Radio Access Networks: Potential and challenges. *IEEE Communications Magazine*, *53(1)*, 150–156. <https://doi.org/10.1109/mcom.2015.7010528>
- Asadi, A., Wang, Q., & Mancuso, V. (2014). A survey on device-to-device communication in Cellular Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *16(4)*, 1801–1819. <https://doi.org/10.1109/comst.2014.2319555>
- Auer, G., Giannini, V., Desset, C., Godor, I., Skillermark, P., Olsson, M., Imran, M., Sabella, D., Gonzalez, M., Blume, O., & Fehske, A. (2011). How much energy is

- needed to run a wireless network? *IEEE Wireless Communications*, 18(5), 40–49. <https://doi.org/10.1109/mwc.2011.6056691>
- Bae, J. S., Choi, Y. S., Kim, J. S., & Chung, M. Y. (2014). Architecture and performance evaluation of MmWave based 5G Mobile Communication System. *2014 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. <https://doi.org/10.1109/ictc.2014.6983310>
 - Banikazemi, M., Olshefski, D., Shaikh, A., Tracey, J., & Wang, G. (2013). Meridian: An SDN platform for Cloud Network Services. *IEEE Communications Magazine*, 51(2), 120–127. <https://doi.org/10.1109/mcom.2013.6461196>
 - Ben-Dor, E., Rappaport, T. S., Yijun Qiao, & Lauffenburger, S. J. (2011). Millimeter-wave 60 GHz outdoor and vehicle AOA propagation measurements using a Broadband Channel Sounder. *2011 IEEE Global Telecommunications Conference - GLOBECOM 2011*. <https://doi.org/10.1109/glocom.2011.6133581>
 - Agyapong, P., Iwamura, M., Staehle, D., Kiess, W., & Benjebbour, A. (2014). Design considerations for a 5G network architecture. *IEEE Communications Magazine*, 52(11), 65–75. <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6957145>
 - Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 74–80. <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6736746>
 - Park, S., Choi, J. W., Seol, J.-Y., & Shim, B. (2016). Virtual pilot-based channel estimation and multiuser detection for multiuser MIMO in LTE-Advanced. *2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*. <https://doi.org/10.1109/vtcfall.2016.7881966>
 - Cardieri, P., & Rappaport, T. S. (2001). Application of narrow-beam antennas and fractional loading factor in cellular communication systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 50(2), 430–440. <https://doi.org/10.1109/25.923055>
 - Chakraborty, A. (2013). A Study on Third Generation Mobile Technology (3G) and Comparison among All Generations of Mobile Communication. *International Journal of Innovative Technology & Adaptive Management (IJITAM)*. IJITAM. Retrieved January 14, 2023, from <http://ijitam.org/>

- Checko, A., Christiansen, H. L., Yan, Y., Scolari, L., Kardaras, G., Berger, M. S., & Dittmann, L. (2015). Cloud ran for mobile networks—a technology overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1), 405–426. <https://doi.org/10.1109/comst.2014.2355255>
- Chen, & Duan, R. (2011). C-RANthe road towards green RAN. white paper, China Mobile Research Institute. [PDF] *C-RAN The Road Towards Green RAN - Free Download PDF*. Retrieved January 14, 2023, from <https://silo.tips/download/c-ran-the-road-towards-green-ran>
- Rappaport, T., Roh, W., & Cheun, K. (2014). Mobile's millimeter-wave makeover. *IEEE Spectrum*, 51(9), 34–58. <https://doi.org/10.1109/mspec.2014.6882985>
- Hsin-Hung Cho, Chin-Feng Lai, Shih, T. K., & Han-Chieh Chao. (2014). Integration of SDR and SDN for 5G. *IEEE Access*, 2, 1196–1204. <https://doi.org/10.1109/access.2014.2357435>
- Cisco - networking, cloud, and Cybersecurity Solutions. (2016, February 23). Retrieved January 14, 2023, from https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/service-provider/ciscoknowledgenetwork/files/573_02_23-16-Documents2016_VNI_Mobile_CKN_Final.pdf
- Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020. (2016, February 3). Retrieved January 14, 2023, from <http://audentia.fr/cisco/pdf/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>
- Collonge, S., Zaharia, G., & ElZein, G. (2004). Influence of the human activity on wide-band characteristics of the 60 GHz indoor radio channel. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 3(6), 2396–2406. <https://doi.org/10.1109/twc.2004.837276>
- Cripps, S. C. (2000). RF power amplifiers for Wireless Communications. *IEEE Microwave Magazine*, 1(1), 64–64. <https://doi.org/10.1109/mmw.2000.823830>
- Cvijetic, N. (2014). Optical network evolution for 5G mobile applications and SDN-based control. *2014 16th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (Networks)*. <https://doi.org/10.1109/netwks.2014.6958537>
- Lun, J., & Grace, D. (2014). Cognitive green backhaul deployments for future 5G Networks. *2014 1st International Workshop on Cognitive Cellular Systems (CCS)*. <https://doi.org/10.1109/ccs.2014.6933790>

- Dillard, C. L., Gallagher, T. M., Bostian, C. W., & Sweeney, D. G. (2004). Rough surface scattering from exterior walls at 28 GHz. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(12), 3173–3179. <https://doi.org/10.1109/tap.2004.836402>
- Ding, J. (2016). Advances in network management. <https://doi.org/10.1201/9781420064551>
- Lahetkangas, E., Pajukoski, K., Vihriala, J., Berardinelli, G., Lauridsen, M., Tiirola, E., & Mogensen, P. (2014). Achieving low latency and energy consumption by 5G TDD mode optimization. *2014 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*. <https://doi.org/10.1109/iccw.2014.6881163>
- Erol-Kantarci, M., & Mouftah, H. T. (2015). Energy-efficient information and communication infrastructures in the smart grid: A survey on interactions and open issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1), 179–197. <https://doi.org/10.1109/comst.2014.2341600>
- Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart Grid — the new and improved Power Grid: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(4), 944–980. <https://doi.org/10.1109/surv.2011.101911.00087>
- Pi, Z., & Khan, F. (2011). An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems. *IEEE Communications Magazine*, 49(6), 101–107. <https://doi.org/10.1109/mcom.2011.5783993>
- Fehske, A., Fettweis, G., Malmodin, J., & Biczok, G. (2011). The global footprint of mobile communications: The Ecological and Economic Perspective. *IEEE Communications Magazine*, 49(8), 55–62. <https://doi.org/10.1109/mcom.2011.5978416>
- Xia, F., Yang, L. T., Wang, L., & Vinel, A. (2012). Internet of things. *International Journal of Communication Systems*, 25(9), 1101–1102. <https://doi.org/10.1002/dac.2417>
- Fehske, A., Fettweis, G., Malmodin, J., & Biczok, G. (2011). The global footprint of mobile communications: The Ecological and Economic Perspective. *IEEE Communications Magazine*, 49(8), 55–62. <https://doi.org/10.1109/mcom.2011.5978416>
- Fortino, G., Guerrieri, A., Russo, W., & Savaglio, C. (2014). Integration of agent-based and cloud computing for the smart objects-oriented IOT. *Proceedings of the 2014*

- IEEE 18th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*. <https://doi.org/10.1109/cscwd.2014.6846894>
- Frenger, P., Moberg, P., Malmmodin, J., Jading, Y., & Godor, I. (2011). Reducing energy consumption in LTE with cell DTX. *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. <https://doi.org/10.1109/vetecs.2011.5956235>
 - Tombaz, S., Frenger, P., Athley, F., Semaan, E., Tidestav, C., & Furuskar, A. (2015). Energy performance of 5G-NX wireless access utilizing massive beamforming and an ultra-lean system design. *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. <https://doi.org/10.1109/glocom.2015.7417240>
 - Goyal, S., Liu, P., Panwar, S. S., Difazio, R. A., Yang, R., & Bala, E. (2015). Full duplex cellular systems: Will doubling interference prevent doubling capacity? *IEEE Communications Magazine*, 53(5), 121–127. <https://doi.org/10.1109/mcom.2015.7105650>
 - The GSMA spectrum primer series. Spectrum. (2014, February). Retrieved January 14, 2023, from <https://www.gsma.com/spectrum/>
 - Huawei 5G Wireless Network Planning Solution White Paper. (2013). Retrieved January 14, 2023, from https://www-file.huawei.com/-/media/corporate/pdf/white%20paper/2018/5g_wireless_network_planing_solution_en_v2.pdf?la=en-gb
 - Huq, K. M., Mumtaz, S., Rodriguez, J., & Verikoukis, C. (2014). Investigation on energy efficiency in HetNet Comp Architecture. *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. <https://doi.org/10.1109/icc.2014.6883470>
 - Calum Dewar, D. W. (2014). Understanding 5G - Perspectives on future technological advancements in mobile. Retrieved January 14, 2023, from <https://data.gsmaintelligence.com/research/research/research-2014/understanding-5g-perspectives-on-future-technological-advancements-in-mobile>
 - Frenger, P., Moberg, P., Malmmodin, J., Jading, Y., & Godor, I. (2011). Reducing energy consumption in LTE with cell DTX. *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. <https://doi.org/10.1109/vetecs.2011.5956235>
 - Calle-Sanchez, J., Molina-Garcia, M., Alonso, J. I., & Fernandez-Duran, A. (2013). Long term evolution in high speed railway environments: Feasibility and

- challenges. *Bell Labs Technical Journal*, 18(2), 237–253.
<https://doi.org/10.1002/bltj.21615>
- Tombaz, S., Han, S.-wook, Sung, K. W., & Zander, J. (2014). Energy Efficient Network deployment with cell DTX. *IEEE Communications Letters*, 18(6), 977–980.
<https://doi.org/10.1109/lcomm.2014.2323960>
 - Jung, Y., Festijo, E., & Peradilla, M. (2014). Joint operation of routing control and group key management for 5G ad hoc D2D networks. *2014 International Conference on Privacy and Security in Mobile Systems (PRISMS)*.
<https://doi.org/10.1109/prisms.2014.6970602>
 - Intae Kang, & Poovendran, R. (n.d.). Design issues on broadcast routing algorithms using realistic cost-effective smart antenna models. *2004 IEEE 59th Vehicular Technology Conference. VTC 2004-Spring (IEEE Cat. No.04CH37514)*.
<https://doi.org/10.1109/vetecs.2004.1390648>
 - Pi, Z., & Khan, F. (2011). System design and network architecture for a millimeter-wave mobile broadband (MMB) system. *34th IEEE Sarnoff Symposium*.
<https://doi.org/10.1109/sarnof.2011.5876444>
 - Rajagopal, S., Abu-Surra, S., Zhouyue Pi, & Khan, F. (2011). Antenna Array Design for Multi-gbps mmwave Mobile Broadband Communication. *2011 IEEE Global Telecommunications Conference - GLOBECOM 2011*.
<https://doi.org/10.1109/glocom.2011.6133699>
 - Araujo, I. L., & Klautau, A. (2015). Traffic-aware sleep mode algorithm for 5G networks. *2015 International Workshop on Telecommunications (IWT)*.
<https://doi.org/10.1109/iwt.2015.7224571>
 - Kumar, N., Misra, S., Rodrigues, J. J., & Obaidat, M. S. (2015). Coalition games for spatio-temporal big data in internet of vehicles environment: A comparative analysis. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(4), 310–320.
<https://doi.org/10.1109/jiot.2015.2388588>
 - Kyro, M., Kolmonen, V., & Vainikainen, P. (2012). Experimental propagation channel characterization of MM-wave radio links in urban scenarios. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 865–868.
<https://doi.org/10.1109/lawp.2012.2210532>

- Lauridsen, M., Mogensen, P., & Noel, L. (2013). Empirical LTE smartphone power model with DRX operation for system level simulations. *2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*. <https://doi.org/10.1109/vtcfall.2013.6692179>
- Lee, Y. L., Chuah, T. C., Loo, J., & Vinel, A. (2014). Recent advances in Radio Resource Management for heterogeneous LTE/LTE-A Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *16*(4), 2142–2180. <https://doi.org/10.1109/comst.2014.2326303>
- Leng, Y., & Zhao, L. (2011). Novel design of intelligent internet-of-vehicles management system based on cloud-computing and internet-of-things. *Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*. <https://doi.org/10.1109/emeit.2011.6023763>
- Li, Q. C., Niu, H., Papathanassiou, A. T., & Wu, G. (2014). 5G network capacity: Key elements and technologies. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, *9*(1), 71–78. <https://doi.org/10.1109/mvt.2013.2295070>
- Zhiying, Z., Lingzhen, Q., & Yu, J. (2009). Study on application of grid computing technology in financial industry. *2009 International Forum on Information Technology and Applications*. <https://doi.org/10.1109/ifita.2009.368>
- Wenjia Liu, Shengqian Han, Chenyang Yang, & Chengjun Sun. (2013). Massive MIMO or small cell network: Who is more energy efficient? *2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*. <https://doi.org/10.1109/wcncw.2013.6533309>
- Lun, J., & Grace, D. (2014). Cognitive green backhaul deployments for future 5G Networks. *2014 1st International Workshop on Cognitive Cellular Systems (CCS)*. <https://doi.org/10.1109/ccs.2014.6933790>
- Minh Jo, Maksymyuk, T., Batista, R. L., Maciel, T. F., de Almeida, A. L., & Klymash, M. (2014). A survey of converging solutions for heterogeneous mobile networks. *IEEE Wireless Communications*, *21*(6), 54–62. <https://doi.org/10.1109/mwc.2014.7000972>

- Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617–1655. <https://doi.org/10.1109/comst.2016.2532458>
- Mehbodniya, A., Kaleem, F., Yen, K. K., & Adachi, F. (2013). Wireless Network Access Selection Scheme for heterogeneous multimedia traffic. *IET Networks*, 2(4), 214–223. <https://doi.org/10.1049/iet-net.2012.0188>
- Mehmood, Y., Haider, N., Afzal, W., Younas, U., Rashid, I., & Imran, M. (2013). Impact of massive MIMO systems on future M2M Communication. *2013 IEEE 11th Malaysia International Conference on Communications (MICC)*. <https://doi.org/10.1109/micc.2013.6805887>
- Meraj, M., & Kumar, S. (1970, January 1). [PDF] evolution of mobile wireless technology from 0 G to 5 g: Semantic scholar. [PDF] Evolution of Mobile Wireless Technology from 0 G to 5 G | *Semantic Scholar*. Retrieved January 14, 2023, from <https://www.semanticscholar.org/paper/Evolution-of-Mobile-Wireless-Technology-from-0-G-to-Meraj-Kumar/5fbcdb38c2f4b0a8c24be47ed8cf5522c3bcad2e>
- Rappaport, T. S., Gutierrez, F., Ben-Dor, E., Murdock, J. N., Qiao, Y., & Tamir, J. I. (2013). Broadband millimeter-wave propagation measurements and models using adaptive-beam antennas for outdoor urban cellular communications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61(4), 1850–1859. <https://doi.org/10.1109/tap.2012.2235056>
- Nastic, S., Sehic, S., Le, D.-H., Truong, H.-L., & Dustdar, S. (2014). Provisioning software-defined IOT Cloud Systems. *2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud*. <https://doi.org/10.1109/ficloud.2014.52>
- Wenye Wang, Xinbing Wang, & Nilsson, A. A. (2006). Energy-efficient bandwidth allocation in wireless networks: Algorithms, analysis, and simulations. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 5(5), 1103–1114. <https://doi.org/10.1109/twc.2006.1633363>
- Arbi, A., & O'Farrell, T. (2015). Energy efficiency in 5G access networks: Small cell densification and high order sectorisation. *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*. <https://doi.org/10.1109/iccw.2015.7247604>

- Oleshchuk, V., & Fensli, R. (2010). Remote patient monitoring within a future 5G infrastructure. *Wireless Personal Communications*, 57(3), 431–439. <https://doi.org/10.1007/s11277-010-0078-5>
- Frenger, P., Moberg, P., Malmudin, J., Jading, Y., & Godor, I. (2011). Reducing energy consumption in LTE with cell DTX. *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. <https://doi.org/10.1109/vetecs.2011.5956235>
- Patrick Traynor, Enck, W., McDaniel, P., & La Porta, T. (2009). *Mitigating attacks on open functionality in SMS-capable cellular networks*. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 17(1), 40–53. <https://doi.org/10.1109/tnet.2008.925939>
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). *Context aware computing for the internet of things: A survey*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1), 414–454. <https://doi.org/10.1109/surv.2013.042313.00197>
- Pozar, D. M. (2012). Microwave Engineering Education: From field theory to circuit theory. *2012 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium Digest*. <https://doi.org/10.1109/mwsym.2012.6259373>
- Rappaport, T. S., Ben-Dor, E., Murdock, J. N., & Qiao, Y. (2012). 38 GHz and 60 GHz angle-dependent propagation for Cellular & peer-to-peer wireless communications. *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. <https://doi.org/10.1109/icc.2012.6363891>
- Rajagopal, S. (2012). Beam broadening for phased antenna arrays using multi-beam subarrays. *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. <https://doi.org/10.1109/icc.2012.6363657>
- Khan, F., Pi, Z., & Rajagopal, S. (2012). Millimeter-wave mobile broadband with large scale spatial processing for 5G Mobile Communication. *2012 50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)*. <https://doi.org/10.1109/allerton.2012.6483399>
- Rapone, D., Sabella, D., & Fodrini, M. (2015). Energy Efficiency Solutions for the mobile network evolution towards 5G: An operator perspective. *2015 Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT)*. <https://doi.org/10.1109/sustainit.2015.7101367>

- Wu, T., Rappaport, T. S., & Collins, C. M. (2015). Safe for generations to come: Considerations of safety for millimeter waves in wireless communications. *IEEE Microwave Magazine*, 16(2), 65–84. <https://doi.org/10.1109/mmm.2014.2377587>
- Rebeiz, G., & Koh, K.-jin. (2009). Silicon rfics for phased arrays. *IEEE Microwave Magazine*, 10(3), 96–103. <https://doi.org/10.1109/mmm.2009.932078>
- Akyildiz, I. F., Gutierrez-Estevez, D. M., & Reyes, E. C. (2010). The evolution to 4G cellular systems: LTE-advanced. *Physical Communication*, 3(4), 217–244. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2010.08.001>
- Roh, W., Seol, J.-Y., Park, J., Lee, B., Lee, J., Kim, Y., Cho, J., Cheun, K., & Aryanfar, F. (2014). Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: Theoretical feasibility and prototype results. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 106–113. <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6736750>
- Cloud Technologies for Flexible 5G Radio Access Networks. (2014). *IEEE Communications Magazine*, 52(5), 68–76. <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6815895>
- Rutherford, J. J. (2010). Wearable technology. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 29(3), 19–24. <https://doi.org/10.1109/memb.2010.936550>
- Sanguinetti, L., Moustakas, A. L., & Debbah, M. (2015). Interference management in 5G reverse TDD hetnets with wireless backhaul: A large system analysis. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(6), 1187–1200. <https://doi.org/10.1109/jsac.2015.2416991>
- Panjeta, A. (2014). Synthesis of high speed full adder. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 9(5), 223–227. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v9p245>
- Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617–1655. <https://doi.org/10.1109/comst.2016.2532458>
- Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., Wong, G. N., Schulz, J. K., Samimi, M., & Gutierrez, F. (2013). Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work! *IEEE Access*, 1, 335–349. <https://doi.org/10.1109/access.2013.2260813>

- Ning Zhang, Nan Cheng, Gamage, A. T., Kuan Zhang, Mark, J. W., & Xuemin Shen. (2015). Cloud assisted HetNets toward 5G Wireless Networks. *IEEE Communications Magazine*, 53(6), 59–65. <https://doi.org/10.1109/mcom.2015.7120046>
- Tombaz, S., Zhihao Zheng, & Zander, J. (2013). Energy Efficiency Assessment of wireless access networks utilizing indoor base stations. *2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. <https://doi.org/10.1109/pimrc.2013.6666680>
- Buzzi, S., I, C.-L., Klein, T. E., Poor, H. V., Yang, C., & Zappone, A. (2016). A survey of energy-efficient techniques for 5G networks and challenges ahead. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(4), 697–709. <https://doi.org/10.1109/jsac.2016.2550338>
- Subharthi , P. (2008). *Long term evolution (LTE) & Ultra-Mobile Broadband (UMB) technologies* ... Retrieved January 14, 2023, from <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/lte.pdf>
- Zhennian, S., Xu, X., Xiaomeng, C., Tianyu, Z., Lin, T., & Zhongshan, Z. (2016). The new architecture with time-spatial consistency for 5G networks. *China Communications*, 13(1), 68–79. <https://doi.org/10.1109/cc.2016.7405705>
- Lu, L., Li, G. Y., Swindlehurst, A. L., Ashikhmin, A., & Zhang, R. (2014). An overview of massive MIMO: Benefits and challenges. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 8(5), 742–758. <https://doi.org/10.1109/jstsp.2014.2317671>
- Talwar, S., Choudhury, D., Dimou, K., Aryafar, E., Bangerter, B., & Stewart, K. (2014). Enabling technologies and architectures for 5G wireless. *2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)*. <https://doi.org/10.1109/mwsym.2014.6848639>
- Taori, R., & Sridharan, A. (2014). In-band, point to multi-point, MM-wave backhaul for 5G networks. *2014 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*. <https://doi.org/10.1109/iccw.2014.6881179>
- Vook, F. W., Ghosh, A., & Thomas, T. A. (2014). MIMO and Beamforming Solutions for 5G technology. *2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)*. <https://doi.org/10.1109/mwsym.2014.6848613>

- Tombaz, S., Sung, K. W., & Zander, J. (2014). On metrics and models for energy-efficient design of Wireless Access Networks. *IEEE Wireless Communications Letters*, 3(6), 649–652. <https://doi.org/10.1109/lwc.2014.2347319>
- Tragos, E. A. (2013). *Cognitive Radio inspired M2M communications - IEEE conference publication*. Retrieved January 14, 2023, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/6618641>
- Tsang, Y. M., & Poon, A. S. (2011). Successive AOA estimation: Revealing the second path for 60 ghz communication system. *2011 49th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)*. <https://doi.org/10.1109/allerton.2011.6120209>
- Tserenkham, B., & Batdalai, S. (2013). Antenna Tracking System for Broadband Portable Terminal. *Ifostr*. <https://doi.org/10.1109/ifostr.2013.6616878>
- Vajjiravelu, S., & Punitha, A. (2013). Survey on Wireless Technologies and Security Procedures. *2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*. <https://doi.org/10.1109/icices.2013.6508380>
- Viswanathan, H., & Weldon, M. (2014). The past, present, and future of Mobile Communications. *Bell Labs Technical Journal*, 19, 8–21. <https://doi.org/10.15325/bltj.2014.2335491>
- Viswanathan, H., & Weldon, M. (2014). The past, present, and future of Mobile Communications. *Bell Labs Technical Journal*, 19, 8–21. <https://doi.org/10.15325/bltj.2014.2335491>
- Vook, F. W., Ghosh, A., & Thomas, T. A. (2014). MIMO and Beamforming Solutions for 5G technology. *2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)*. <https://doi.org/10.1109/mwsym.2014.6848613>
- Wager, J. B. (2008). *HSPA evolution – boosting the performance of Mobile Broadband Access*. Retrieved January 14, 2023, from https://www.researchgate.net/profile/Bo-Goeransson-2/publication/257298630_HSPA_Evolution_-_Boosting_the_performance_of_mobile_broadband_access/links/60e42647299bf1ea9ee5da19/HSPA-Evolution-Boosting-the-performance-of-mobile-broadband-access.pdf

- Wajda, G. A. (2012). *Energy efficiency analysis of the reference systems, areas of improvements and target breakdown*. *IEEE*. Retrieved January 14, 2023, from <https://cordis.europa.eu/projects>
- Walke, B. (2013). The roots of GPRS: The first system for mobile packet-based global internet access. *IEEE Wireless Communications*, 20(5), 12–23. <https://doi.org/10.1109/mwc.2013.6664469>
- Wandre, S. (2013). EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution. Retrieved January 14, 2023, from tacs.eu/Analyses/Wireless%20Networks/edge1.pdf
- Wang, Z., Li, H., Wang, H., & Ci, S. (2013). Probability weighted based spectral resources allocation algorithm in hetnet under cloud-ran architecture. *2013 IEEE/CIC International Conference on Communications in China - Workshops (CIC/ICCC)*. <https://doi.org/10.1109/iccchinaw.2013.6670573>
- Wang, L.-C., & Rangapillai, S. (2012). A survey on Green 5G Cellular Networks. *2012 International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM)*. <https://doi.org/10.1109/spcom.2012.6290252>
- Wang, L.-C., & Rangapillai, S. (2012). A survey on Green 5G Cellular Networks. *2012 International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM)*. <https://doi.org/10.1109/spcom.2012.6290252>
- Tomaselli, W., Sabella, D., Palestini, V., Bernasconi, V., & Squizzato, V. (2013). Energy efficiency performances of selective switch off algorithm in LTE Mobile Networks. *2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. <https://doi.org/10.1109/pimrc.2013.6666708>
- Karlsson, A., Al-Saadeh, O., Gusarov, A., Challa, R. V., Tombaz, S., & Sung, K. W. (2016). Energy-efficient 5G deployment in rural areas. *2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. <https://doi.org/10.1109/wimob.2016.7763258>
- Wunder, G., Jung, P., Kasparick, M., Wild, T., Schaich, F., Chen, Y., Brink, S. T., Gaspar, I., Michailow, N., Festag, A., Mendes, L., Cassiau, N., Ktenas, D., Dryjanski, M., Pietrzyk, S., Eged, B., Vago, P., & Wiedmann, F. (2014). 5GNOW: Non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 97–105. <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6736749>

- Xia, P., Yong, S.-K., Oh, J., & Ngo, C. (2008). Multi-stage iterative antenna training for Millimeter Wave Communications. *IEEE GLOBECOM 2008 - 2008 IEEE Global Telecommunications Conference*. <https://doi.org/10.1109/glocom.2008.ecp.908>
- Xiang, Z., Tao, M., & Wang, X. (2014). Massive MIMO multicasting in Noncooperative Cellular Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1180–1193. <https://doi.org/10.1109/jsac.2014.2328144>
- Liu, Y., Zhang, Y., Yu, R., & Xie, S. (2015). Integrated Energy and Spectrum harvesting for 5G wireless communications. *IEEE Network*, 29(3), 75–81. <https://doi.org/10.1109/mnet.2015.7113229>
- Lai, C.-feng, Hwang, R.-hung, Chao, H.-chieh, Hassan, M., & Alamri, A. (2015). A buffer-aware HTTP live streaming approach for SDN-enabled 5G Wireless Networks. *IEEE Network*, 29(1), 49–55. <https://doi.org/10.1109/mnet.2015.7018203>
- Boyi Xu, Li Da Xu, Hongming Cai, Cheng Xie, Jingyuan Hu, & Fenglin Bu. (2014). Ubiquitous data accessing method in IOT-based information system for Emergency Medical Services. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1578–1586. <https://doi.org/10.1109/tii.2014.2306382>
- Liu, Y., Zhang, Y., Yu, R., & Xie, S. (2015). Integrated Energy and Spectrum harvesting for 5G wireless communications. *IEEE Network*, 29(3), 75–81. <https://doi.org/10.1109/mnet.2015.7113229>
- Yilmaz, O. N., Zexian Li, Valkealahti, K., Uusitalo, M. A., Moisio, M., Lunden, P., & Wijting, C. (2014). Smart Mobility Management for D2D communications in 5G Networks. *2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*. <https://doi.org/10.1109/wcncw.2014.6934889>
- Zeng, Y., Zhang, R., & Chen, Z. N. (2014). Electromagnetic lens-focusing antenna enabled MASSIVE MIMO: Performance improvement and cost reduction. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1194–1206. <https://doi.org/10.1109/jsac.2014.2328151>
- Zhang, Y., Yu, R., Nekovee, M., Liu, Y., Xie, S., & Gjessing, S. (2012). Cognitive machine-to-machine communications: Visions and potentials for the smart grid. *IEEE Network*, 26(3), 6–13. <https://doi.org/10.1109/mnet.2012.6201210>

- Zheng, G. (2015). Joint beamforming optimization and Power Control for full-duplex MIMO two-way relay channel. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 63(3), 555–566. <https://doi.org/10.1109/tsp.2014.2376885>