



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΞΥΠΝΟΥ ΧΩΡΟΥ
ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ
ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

του

Αυγέρου Ευάγγελου

Θεσσαλονίκη, 6/2018

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΞΥΠΙΝΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΜΕ
ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Αυγέρος Ευάγγελος

Πτυχίο Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών Τεχνολογικής Εκπαίδευσης,
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλίας, 2014

Διπλωματική Εργασία

υποβαλλόμενη για τη μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Ψάννης Κωνσταντίνος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27/06/2018

Σατρατζέμη Μαρία

Ψάννης Κωνσταντίνος

Ξονόγαλος Στυλιανός

.....

.....

.....

Αυγέρος Ευάγγελος

.....

Περίληψη

Το «Internet of Things» (IoT) ή «Διαδίκτυο των Πραγμάτων», αποτελεί την επόμενη τεχνολογική επανάσταση. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει ως στόχο να συνδέσει όλα τα «Πράγματα» στο Διαδίκτυο δηλαδή, αντικείμενα όπως, «έξυπνες» συσκευές, οικιακές συσκευές, βιομηχανικές μηχανές, οχήματα, τα οποία θα επικοινωνούν μεταξύ τους, ανταλλάσσοντας πληροφορίες με σκοπό να φέρουν εις πέρας διάφορες προγραμματισμένες διαδικασίες.

Η εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε επίπεδο πόλης, θα συμβάλλει στην εξέλιξη της σε «Έξυπνη Πόλη», με πολύ θετικά αποτελέσματα τόσο για τους κατοίκους, όσο και για τις επιχειρήσεις της. Βέβαια, πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτό, διαδραματίζει η αξιοποίηση των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), οι οποίες βελτιώνουν τις υπάρχουσες συνθήκες μιας πόλης και συνεισφέρουν στη καλύτερη διαβίωση των πολιτών της.

Έτσι, η Έξυπνη Πόλη (Smart City) προσπαθεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα δημόσια ζητήματα της, με τη βοήθεια των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών. Ένα από αυτά, είναι και το ζήτημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης που προκύπτει εξαιτίας, της αυξανόμενης κινητικότητας των οχημάτων στις αστικές περιοχές με την πάροδο των ετών. Η τεχνολογία, μπορεί να συμβάλει στην επίλυση της κυκλοφοριακής συμφόρησης μέσω της «Έξυπνης Κινητικότητας» η οποία, αποτελεί θεμελιώδη κατηγορία χαρακτηριστικών της Έξυπνης Πόλης. Η ανάπτυξη της «Ευφυούς Κινητικότητας», ανοίγει το δρόμο για επιταχυνόμενη ψηφιοποίηση και σύγχρονα προηγμένα συστήματα.

Ένα από αυτά, είναι και το σύστημα στάθμευσης αυτοκινήτων το οποίο αποτελεί πλέον, ένα Έξυπνο Σύστημα Στάθμευσης (Smart Parking System) λόγω, της αξιοποίησης ποικίλων τεχνολογιών. Ο σκοπός ενός συστήματος έξυπνης στάθμευσης, είναι όπως είναι φυσιολογικό, να περιορίσει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της στάθμευσης το οποίο, παραμένει ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη διαχείριση των αστικών συγκοινωνιών καθότι, εκτός των άλλων, δημιουργεί και σημαντική κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε ανάλυση και συγκριτική μελέτη πέντε συστημάτων «έξυπνου χώρου στάθμευσης» με χρήση τεχνολογιών Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (WSNs), για την εφαρμογή τους σε πόλεις με κυκλοφοριακά προβλήματα. Η συγκριτική ανάλυση των συγκεκριμένων συστημάτων, πραγματοποιείται μέσω παραμέτρων όπως, security mechanisms - privacy, server response time, GPS accuracy, complexity (time), scale of parking system, καθώς και αρκετών ακόμη, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις δυνατότητες του κάθε συστήματος.

Λέξεις Κλειδιά: Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Έξυπνη Πόλη, Έξυπνη Κινητικότητα, Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, Σύστημα Έξυπνης Στάθμευσης.

Abstract

The Internet of Things (IoT) is the next technological revolution. The Internet of Things aspires to connect all the physical objects to the Internet, such as smart appliances, household appliances, industrial machinery, vehicles which can share information amongst each other and complete scheduled tasks. The implementation of the Internet of Things at the city level, it will contribute to its progress in Smart City with very positive results for both residents and businesses. Certainly, in a Smart City very important role is played by the use of Information and Communication Technologies (ICT), where the living of its citizens is improved. Thus, a Smart City attempts to effectively address its public issues, with the contribution of Information and Communication Technologies. One of those public issues, is the traffic congestion resulting from the increasing mobility of vehicles in the urban areas over the years. Technology can be a solution to addressing traffic congestion through Smart Mobility. The development of Intelligent Mobility paves the way for accelerating digitization and advanced systems. One of those systems, is the Car Parking System, which is now a Smart Parking System due to the use of many technologies. The purpose of a smart parking system, is to greatly limit the problem of parking the vehicles, which remains one of the most important issues in urban transport management, as it creates significant traffic congestion. In this master thesis, are analyzed and compared five smart parking systems using WSNs for their implementation in cities with traffic issues. The comparative analysis of those systems is carried out through parameters such as security mechanisms - privacy, server response time, GPS accuracy, complexity (time), scale of parking system, and many others, leading to conclusions about the capabilities of each system.

Keywords: Internet of Things, Smart City, Smart Mobility, Wireless Sensor Networks, Smart Parking System.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Πρόβλημα – Σημαντικότητα του θέματος	1
1.2	Σκοπός – Στόχοι	2
1.3	Διάρθρωση της μελέτης	2
2	Βιβλιογραφική Επισκόπηση – Θεωρητικό Υπόβαθρο	3
2.1	Internet of Things	3
2.2	Smart City	7
2.3	Smart Mobility	17
2.4	Smart Parking System	23
2.5	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	36
2.5.1	Βασικά Χαρακτηριστικά Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	37
2.5.1.1	IEEE 802.15.4 Standard	38
2.5.1.2	ZigBee	39
2.5.1.3	IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)	41
2.5.1.4	Wireless Fidelity (Wi-Fi)	42
2.5.2	Βασικές Τοπολογίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	43
2.5.2.1	Τοπολογία Σημείο προς Σημείο (Point to Point)	43
2.5.2.2	Δενδροειδής Τοπολογία (Tree)	43
2.5.2.3	Τοπολογία Αστέρα (Star)	44
2.5.2.4	Τοπολογία Δακτυλίου (Ring)	45
2.5.2.5	Τοπολογία Πλέγματος (Mesh)	46
2.5.3	Περιοχές εφαρμογής των WSNs	47
3	Μεθοδολογία	49
3.1	Ανάλυση Συστημάτων	49
3.2	Ανάλυση Παραμέτρων	66
3.3	Σύστημα Αξιολόγησης	67
3.4	Συγκριτική Αξιολόγηση	68
3.5	Επεξήγηση της Αξιολόγησης	68
3.6	Συμπεράσματα	80

4 Επίλογος	81
4.1 Σύνοψη και συμπεράσματα	81
4.2 Όρια και περιορισμοί της έρευνας	81
4.3 Μελλοντικές Επεκτάσεις	82

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Η ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων συναρτήσει του χρόνου.....	5
Εικόνα 2: Οι βασικές κατηγορίες χαρακτηριστικών μιας Έξυπνης Πόλης.....	7
Εικόνα 3: Το μελλοντικό πιο «υγιές» και βιώσιμο περιβάλλον μιας έξυπνης πόλης.....	9
Εικόνα 4: Το control room του νέου πιλοτικού προγράμματος του Δήμου Τρικκαίων...14	
Εικόνα 5: Το μελλοντικό διασυνδεδεμένο περιβάλλον της έξυπνης κινητικότητας.....	19
Εικόνα 6: Σύγκλιση τεχνολογιών - Περίπτωση του Διαδικτύου των Οχημάτων.....	21
Εικόνα 7: Η αρχιτεκτονική του συστήματος έξυπνης στάθμευσης.....	23
Εικόνα 8: Οι τεχνολογίες Overhead Guidance Indicators και VMS.....	31
Εικόνα 9: Η τεχνολογία In-Ground Vehicle Detection Sensors.....	33
Εικόνα 10: Η δομή ενός τυπικού Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων.....	36
Εικόνα 11: Η τοπολογία Αστέρα (Star topology).....	45
Εικόνα 12: Η τοπολογία Δακτυλίου (Ring topology).....	46
Εικόνα 13: Η τοπολογία Πλέγματος (Mesh topology).....	47
Εικόνα 14: Επισκόπηση εφαρμογών WSN.....	48
Εικόνα 15: Η αρχιτεκτονική του System 1.....	50
Εικόνα 16: Η Τοπική Μονάδα του System 1.....	51
Εικόνα 17: Επισκόπηση του Smart Parking Framework.....	53
Εικόνα 18: Συνοπτική όψη του IoT based Smart Parking System.....	56
Εικόνα 19: Η αρχιτεκτονική του συστήματος RSPS.....	59
Εικόνα 20: Ένα διάγραμμα που απεικονίζει τα διάφορα σενάρια και τα συμβάντα που εμπλέκονται στην ανίχνευση χώρου στάθμευσης με χρήση κινητών αισθητήρων.....	62
Εικόνα 21: Σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει τη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος ParkNet.....	62
Εικόνα 22: Ο αισθητήρας υπερήχων (ultrasonic sensor) τοποθετημένος στο πλάι ενός αυτοκινήτου ανιχνεύει σταθμευμένα αυτοκίνητα και κενές θέσεις.....	64

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων με την τεχνολογία ZigBee.....40

Πίνακας 2: Αξιολόγηση των συστημάτων «έξυπνου χώρου στάθμευσης».....68

Συμβολισμοί

Συμβολισμός	Επεξήγηση
IoT	Internet of Things
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών
WSN	Wireless Sensor Network
6LoWPAN	IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network
IPv6	Internet Protocol version 6
WLAN	Wireless Local Area Network
IBM	International Business Machines
RFID	Radio-Frequency Identification
MIT	Massachusetts Institute of Technology
DRPC	Driver Request Processing Center
SPAC	Smart Parking Allocation Center
PRMC	Parking Resource Management Center
NB-IoT	Narrow-Band Internet of Things
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
JSON	JavaScript Object Notation
PIR	Passive Infrared
SOC	System On Chip
MUX	Multiplexer
V2V	Vehicle to Vehicle
V2I	Vehicle to Infrastructure
M2M	Machine to Machine

1 Εισαγωγή

1.1 Πρόβλημα – Σημαντικότητα του θέματος

Τα τελευταία χρόνια το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλές κυρίως, για τις έξυπνες λύσεις που προσφέρει. Αυτές οι λύσεις οφείλονται στην εξάπλωση και αξιοποίηση αρκετών νέων τεχνολογιών όπως, η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (Radio-Frequency Identification - RFID), το υπολογιστικό «νέφος» (cloud), τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs), οι μικροελεγκτές Raspberry Pi και Arduino όπως και η τεχνολογία τέταρτης καθώς και πέμπτης γενιάς (4G και 5G). Με την εμφάνιση του Internet of Things λοιπόν, ανοίγονται νέοι δρόμοι και προοπτικές για τις πόλεις του σήμερα έτσι ώστε, να εξελιχθούν σε Έξυπνες Πόλεις βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο, την ποιότητα ζωής των κατοίκων τους.

Η Έξυπνη Πόλη (Smart City), προσπαθεί να αντιμετωπίσει με αποτελεσματικό τρόπο τα δημόσια ζητήματα της, με τη βοήθεια των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών. Ένα μείζον ζήτημα, είναι αυτό της κυκλοφοριακής συμφόρησης που προκύπτει λόγω, της αυξανόμενης κινητικότητας των οχημάτων στις αστικές περιοχές χρόνο με το χρόνο. Επίσης, η αναποτελεσματικότητα στα συστήματα των αστικών μεταφορών που υπάρχουν σήμερα, επηρεάζει αρνητικά τους οδηγούς, τους επιβάτες, τα μετακινούμενα μέσα μαζικής μεταφοράς, τις επιχειρήσεις αλλά και το περιβάλλον. Έτσι, μόνο η τεχνολογία μπορεί να προσφέρει καίρια λύση στο πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης και συγκεκριμένα μέσω της «Έξυπνης Κινητικότητας».

Η ανάπτυξη της «Έξυπνης Κινητικότητας», οδηγεί στην αλλαγή της ξεπερασμένης αντίληψης που υπάρχει για τις μεταφορές του σήμερα, αλλά και στην υλοποίηση νέων προηγμένων συστημάτων. Ένα τέτοιο σύστημα, είναι και το σύστημα στάθμευσης οχημάτων το οποίο αποτελεί πλέον, ένα Έξυπνο Σύστημα Στάθμευσης (Smart Parking System) λόγω, της αξιοποίησης αρκετών τεχνολογιών όπως, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στη προσπάθεια μετάβασης σε τέτοιου είδους συστήματα, έχουν προταθεί από την επιστημονική κοινότητα, πολλά συστήματα «έξυπνου χώρου στάθμευσης» με χρήση τεχνολογιών ασύρματων δικτύων αισθητήρων, όπου διαθέτουν διαφορετικές δυνατότητες το κάθε ένα. Έτσι, με βάση τις δυνατότητες αυτές, οφείλουν να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις απαιτήσεις της εκάστοτε πόλης.

1.2 Σκοπός – Στόχοι

Η ραγδαία ανάπτυξη του Internet of Things σε συνδυασμό με την ποιότητα των υπηρεσιών στα υπάρχοντα συστήματα μεταφοράς και την αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις πόλεις, ενίσχυσαν το κίνητρο για την έρευνα αυτή.

Πιο συγκεκριμένα, ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να συνεισφέρει στην εξάπλωση των έξυπνων συστημάτων μεταφοράς, καθιστώντας τα ως τη μόνη καθοριστική λύση, για τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις πόλεις αλλά και για τη παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών στους πολίτες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των συστημάτων έξυπνης στάθμευσης, τα οποία βάση των δυνατοτήτων τους, εφαρμόζονται αποτελεσματικά στις πόλεις, παρά τον περιορισμένο χώρο στάθμευσης και εξασφαλίζουν σημαντική μείωση χρόνου, ενέργειας και εκπομπής ρύπων.

1.3 Διάρθρωση της μελέτης

Το υπόλοιπο μέρος της εργασίας είναι οργανωμένο ως εξής: Το Κεφάλαιο 2, παραθέτει τις πιο απαραίτητες αλλά και πιο σχετικές με την εργασία έννοιες όπως, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, την Έξυπνη Πόλη, την Έξυπνη Κινητικότητα, το Έξυπνο Σύστημα Στάθμευσης και τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων ενώ, παρουσιάζει ακόμη τις σημαντικότερες έννοιες του θέματος της εργασίας, έτσι ώστε να ενισχύσει το θεωρητικό υπόβαθρο των αναγνωστών. Ακολούθως, το Κεφάλαιο 3, παρουσιάζει τη μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας, με επίκεντρο βέβαια, τη συγκριτική ανάλυση των έξυπνων συστημάτων στάθμευσης που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής. Η εργασία ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 4, όπου συνοψίζονται τα συμπεράσματα της έρευνας ενώ περιγράφονται οι περιορισμοί της εργασίας και παρατίθενται ενδεχόμενες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση – Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στην ενότητα αυτή, γίνεται μια αναλυτική παράθεση των σημαντικότερων εννοιών πάνω στο αντικείμενο μελέτης, όπως είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Έξυπνη Πόλη, η Έξυπνη Κινητικότητα, το Έξυπνο Σύστημα Στάθμευσης και τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Επίσης, παρατίθενται οι σημαντικότερες πληροφορίες σχετικά με το θέμα της διπλωματικής εργασίας για την καλύτερη κατανόηση της μεθοδολογίας που παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

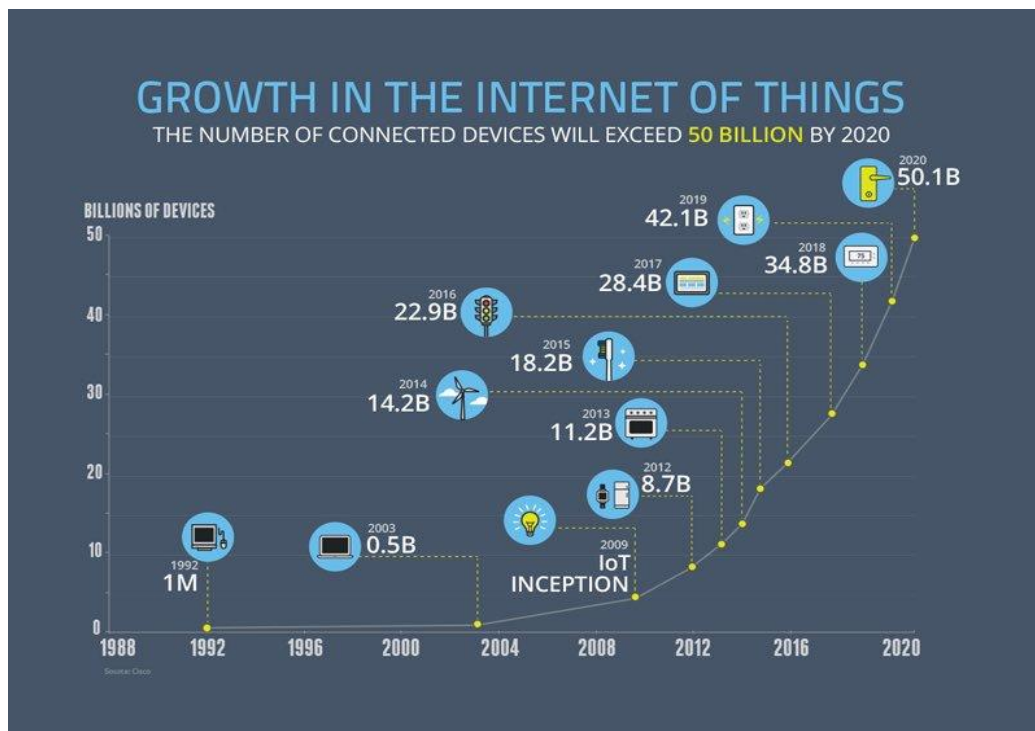
2.1 Internet of Things

Ο όρος «Internet of Things» (ή αλλιώς Διαδίκτυο των Πραγμάτων) [1], επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 από τον επιχειρηματία Kevin Ashton. Ο Ashton, ο οποίος είναι ένας από τους ιδρυτές του Auto-ID Center στο MIT, ήταν μέλος μιας ομάδας που ανακάλυψε τον τρόπο να συνδέσει τα αντικείμενα με το διαδίκτυο μέσω μιας ετικέτας RFID. Έχει δηλώσει ότι χρησιμοποίησε πρώτη φορά τη φράση «Internet of Things» σε μια παρουσίαση που έκανε το 1999 και ο όρος αυτός έχει καθιερωθεί από τότε. Με τον όρο αυτό, ήθελε να τονίσει τη δύναμη της σύνδεσης των ετικετών Radio-Frequency Identification (RFID), τις οποίες χρησιμοποιούσε με σκοπό να παρακολουθεί τα εμπορεύματα χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), γνωστό και ως Διαδίκτυο των Πάντων, αποτελεί την επόμενη ψηφιακή βιομηχανική επανάσταση. Το IoT εξελίχθηκε με την γρήγορη διάδοση του ασύρματου internet & των ενσωματωμένων αισθητήρων και έτσι οι άνθρωποι άρχισαν να αντιλαμβάνονται ότι η τεχνολογία θα μπορούσε να είναι σαφώς και επαγγελματικό εργαλείο και όχι μόνο προσωπικό. Το IoT είναι μία έννοια που αφορά τα αντικείμενα της καθημερινότητας μας, από βιομηχανικές μηχανές, μέχρι wearable συσκευές που χρησιμοποιούν ενσωματωμένους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων & την ανάληψη κάποιας δράσης σε αυτά τα δεδομένα μέσα σε ένα δίκτυο. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αφορά επίσης [2], τη διασύνδεση ανθρώπων, «έξυπνων» μηχανών, οικιακών συσκευών, απλών αντικειμένων και διαδικασιών, δημιουργώντας νέες δυνατότητες και προοπτικές για τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και τους πολίτες - καταναλωτές - χρήστες. Βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο υπολογιστικό «νέφος» (cloud) [40], στο mobile cloud computing [42],[44], στα «μεγάλα δεδομένα» (big data) [2] και στην κινητή τηλεφωνία πέμπτης γενιάς (5G).

Στο Διαδίκτυο των Πάντων (IoT) [3], μια αλληλουχία συσκευών και αντικειμένων διασυνδέονται με μια ποικιλία λύσεων επικοινωνίας, όπως Bluetooth, WiFi, ZigBee και GSM. Αυτές οι τεχνολογίες επικοινωνίας επιτρέπουν τη διασύνδεση μεταξύ ετερογενών IoT συσκευών που μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των πολιτών. Αναμένεται ότι περισσότερες από 50 δισεκατομμύρια συσκευές σύμφωνα με πρόβλεψη της Cisco, θα είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο μέχρι τα τέλη του 2020, μέσω αρκετών ετερογενών τεχνολογιών πρόσβασης δικτύου, όπως με την ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και με την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Η IDC προέβλεψε ότι οι παγκόσμιες δαπάνες για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα ανέλθουν στα 1,7 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2020. Η Telefonica εκτιμά ότι το 90% των αυτοκινήτων θα έχει συνδεθεί με το Διαδίκτυο έως το 2020. Η Gartner εκτιμά ότι μέχρι το 2020, θα συνδεθούν 250 εκατομμύρια οχήματα στο Διαδίκτυο, με σκοπό να παρέχονται νέες υπηρεσίες για κάθε όχημα, διατηρώντας ταυτόχρονα τις δυνατότητες αυτοματοποιημένης οδήγησης.

Ουσιαστικά γίνεται πλέον σαφές, ότι το διαδίκτυο δεν αποτελεί χρήσιμο εργαλείο μόνο για τους ανθρώπους αλλά και για τις μηχανές, τα προϊόντα, τα πράγματα. Αυτό συμβαίνει όχι για να σερφάρουν ελεύθερα [4], αλλά για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και να συντονιστούν προκειμένου να εξυπηρετήσουν όσο το δυνατόν αποδοτικότερα τον τελικό αποδέκτη όλων των ενεργειών τους, τον άνθρωπο. Πέραν της ανθρώπινης πραγματικότητας όμως, υπάρχει και μια ακόμη και είναι εκείνη των μηχανών, η οποία ξετυλίγεται μέσα από ατελείωτες γραμμές κώδικα, επωφελούμενη φυσικά από τη διείσδυση της ευρυζωνικότητας, την πτώση του κόστους του bandwidth και της επεξεργαστικής ισχύος αλλά και τη ραγδαία αύξηση των πωλήσεων των φορητών συσκευών.



Εικόνα 1: Η ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων συναρτήσει του χρόνου [39].

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων με τη ραγδαία ανάπτυξη του [1], όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1, χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο πλέον από τους καταναλωτές. Αυτό συμβαίνει διότι προσφέρει νέες πηγές δεδομένων και νέα επιχειρηματικά μοντέλα ενισχύοντας την παραγωγικότητα σε διάφορους κλάδους. Μερικοί εξ αυτών είναι οι παρακάτω:

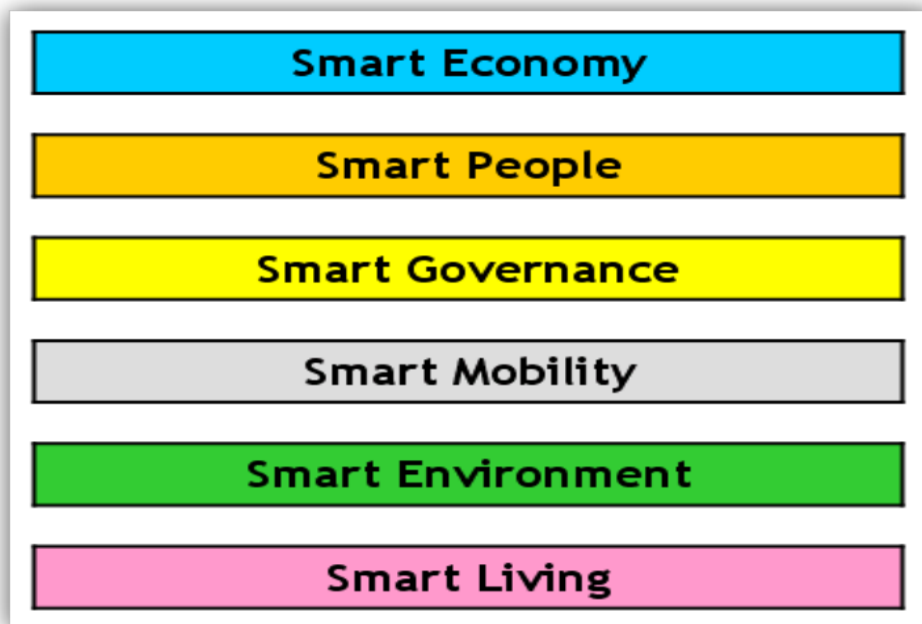
- **Υγειονομική Περίθαλψη:** πολλοί άνθρωποι έχουν ήδη υιοθετήσει wearable συσκευές για να παρακολουθούν την φυσική τους άσκηση, τον ύπνο ή άλλες συνήθειες τους αξιοποιώντας έτσι την εφαρμογή του IoT στον κλάδο της υγείας. Μερικά ακόμη παραδείγματα της εφαρμογής του IoT είναι οι συσκευές παρακολούθησης ασθενών, τα ηλεκτρονικά αρχεία και άλλα έξυπνα αξεσουάρ που μπορούν με τον τρόπο τους να «σώσουν» ζωές.
- **Βιομηχανική Παραγωγή:** πρόκειται για τον κλάδο που επωφελείται περισσότερο από το IoT. Αυτό επιτυγχάνεται με τους αισθητήρες συλλογής δεδομένων ενσωματωμένους σε μηχανήματα εργοστασίων ή στα ράφια των αποθηκών, οι

οποίοι μπορούν να «επικοινωνήσουν» προβλήματα ή να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τη χρήση των πόρων τους, καθιστώντας το εύκολο να εργαστούν πιο αποτελεσματικά και να μειώσουν το κόστος.

- **Λιανεμπόριο:** τόσο οι καταναλωτές όσο και τα καταστήματα μπορούν να επωφεληθούν από το IoT. Τα καταστήματα, για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το IoT για σκοπούς παρακολούθησης των αποθεμάτων ή της ασφάλειας. Οι καταναλωτές μπορούν να έχουν μία εξατομικευμένη εμπειρία αγορών μέσω των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες ή τις κάμερες.
- **Τηλεπικοινωνίες:** ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών θα επηρεαστεί σημαντικά από το IoT, αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι αυτός θα είναι ο κλάδος που θα διατηρεί όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιεί το IoT. Προσωπικές συσκευές όπως, smartphones, tablets και άλλες πρέπει να είναι σε θέση να διατηρούν μια αξιόπιστη σύνδεση στο Διαδίκτυο για να λειτουργήσει αποτελεσματικά το Internet of Things.
- **Μεταφορές:** παρότι τα αυτοκίνητα δεν έχουν φτάσει ακόμα στο σημείο να μετακινούνται αυτόνομα, είναι αναμφισβήτητα πιο τεχνολογικά προηγμένα από ποτέ. Το IoT επηρεάζει επίσης το κλάδο των μεταφορών σε μεγάλη κλίμακα: οι εταιρείες διανομής μπορούν να παρακολουθούν το στόλο τους με τη χρήση GPS λύσεων. Και οι δρόμοι μπορούν να παρακολουθούνται μέσω αισθητήρων για να είναι όσο το δυνατόν ασφαλέστεροι.
- **Ενέργεια:** οι έξυπνοι μετρητές (smart meters), όχι μόνο συλλέγουν δεδομένα αυτόματα, αλλά καθιστούν και δυνατή την εφαρμογή analytics για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της χρήσης της ενέργειας. Επίσης, αισθητήρες σε συσκευές όπως οι ανεμόμυλοι μπορούν να παρακολουθούν τα δεδομένα και να χρησιμοποιούν προγνωστική μοντελοποίηση ώστε να προγραμματιστεί η διακοπή λειτουργίας για πιο αποδοτική χρήση της ενέργειας.

2.2 Smart City

Η Έξυπνη Πόλη (Smart City) [5], είναι μια πόλη η οποία προσπαθεί να αντιμετωπίσει δημόσια ζητήματα με τη βοήθεια των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών και έχει υιοθετήσει τουλάχιστον μία πρωτοβουλία στο πλαίσιο της έξυπνης διακυβέρνησης, των έξυπνων ανθρώπων, της έξυπνης διαβίωσης, της έξυπνης κινητικότητας, της έξυπνης οικονομίας και του έξυπνου περιβάλλοντος. Επομένως η Έξυπνη Πόλη [6], όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2, είναι μια πόλη η οποία ενσωματώνει έξι θεμελιώδεις κατηγορίες χαρακτηριστικών: την έξυπνη οικονομία, τους έξυπνους ανθρώπους, την έξυπνη διακυβέρνηση, την έξυπνη κινητικότητα, το έξυπνο περιβάλλον και την έξυπνη διαβίωση.



Εικόνα 2: Οι βασικές κατηγορίες χαρακτηριστικών μιας Έξυπνης Πόλης [6].

Έξυπνη Οικονομία (Ανταγωνιστικότητα)

Η Έξυπνη Οικονομία περιλαμβάνει παράγοντες σχετικούς με, το καινοτόμο πνεύμα, την επιχειρηματικότητα, την οικονομική εικόνα και τα εμπορικά σήματα, την παραγωγικότητα, την ευελιξία της αγοράς εργασίας, την διεθνή ενσωμάτωση, καθώς και την ικανότητα αλλαγής.

Έξυπνοι Άνθρωποι (Κοινωνικό και Ανθρώπινο Κεφάλαιο)

Οι Έξυπνοι Άνθρωποι ενσωματώνουν παράγοντες όπως, το επίπεδο προσόντων, τη σχέση με τη δια βίου μάθηση, τον κοινωνικό και εθνικό πλουραλισμό, την ευελιξία, τη δημιουργικότητα, τον κοσμοπολιτισμό, καθώς και τη συμμετοχή στη δημόσια ζωή.

Έξυπνη Διακυβέρνηση (Συμμετοχή)

Η Έξυπνη Διακυβέρνηση περιλαμβάνει παράγοντες σχετικούς με, τη συμμετοχή στην λήψη αποφάσεων, τις δημόσιες και κοινωνικές υπηρεσίες, τη διαφάνεια στη διακυβέρνηση, καθώς και τις πολιτικές στρατηγικές και προοπτικές.

Έξυπνη Κινητικότητα (Μεταφορές και ΤΠΕ)

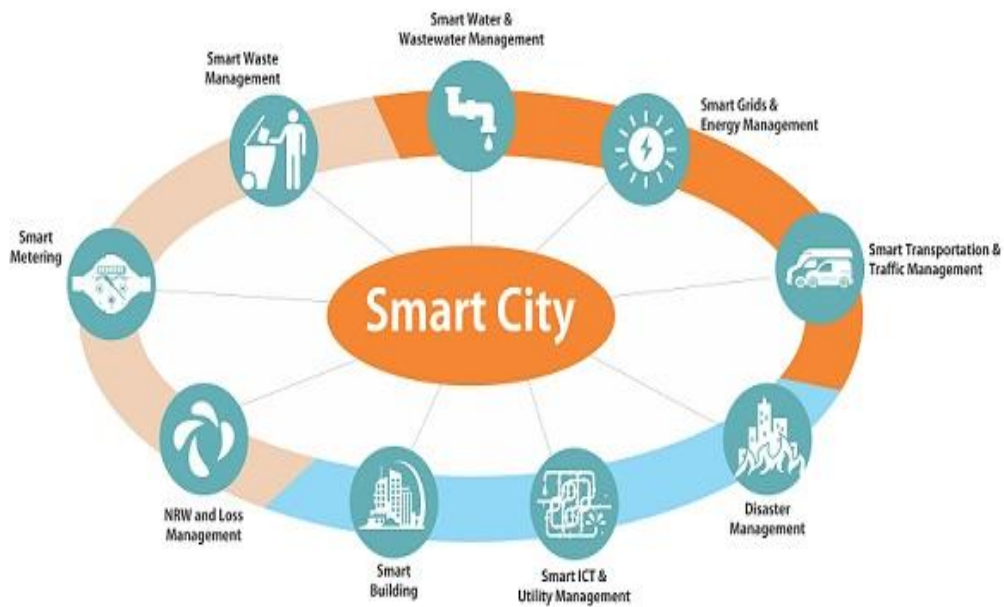
Η Έξυπνη Κινητικότητα ενσωματώνει παράγοντες όπως, την τοπική προσβασιμότητα, την διεθνή και εθνική προσβασιμότητα, τη διαθεσιμότητα Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) υποδομής, καθώς και τα βιώσιμα, καινοτόμα και ασφαλή συστήματα μεταφορών.

Έξυπνο Περιβάλλον (Φυσικοί Πόροι)

Το Έξυπνο Περιβάλλον περιλαμβάνει παράγοντες σχετικούς με, την ελκυστικότητα των φυσικών συνθηκών, τη μόλυνση, την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και τη βιώσιμη διαχείριση πόρων.

Έξυπνη Διαβίωση (Ποιότητα Ζωής)

Η Έξυπνη Διαβίωση ενσωματώνει παράγοντες όπως, τις πολιτιστικές παροχές, τις παροχές υγείας, την ατομική ασφάλεια, την ποιότητα στέγασης, τις παροχές εκπαίδευσης, την τουριστική ελκυστικότητα, καθώς και την κοινωνική συνοχή.



Εικόνα 3: Το μελλοντικό πιο «υγιές» και βιώσιμο περιβάλλον μιας έξυπνης πόλης [41].

Τα πλεονεκτήματα μιας Έξυπνης Πόλης (Smart City) ποικίλλουν μιας και οι έξυπνες πόλεις ενσωματώνουν στην καθημερινή λειτουργία τους καινοτόμες τεχνολογίες, με στόχο την βελτίωση της ποιότητας ζωής των δημοτών. Συνεπώς, με την υιοθέτηση «έξυπνων» λύσεων σε μια πόλη, όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 3, βελτιώνεται η καθημερινότητα των δημοτών, επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση πόρων, ενέργειας και χρημάτων, αναπτύσσονται οικολογικές πρακτικές και δημιουργούνται επιπλέον έσοδα [5]. Έτσι το μελλοντικό πρότυπο της έξυπνης πόλης [7], [37], [38], θα χρησιμοποιεί και θα διασυνδέει διάφορες καινοτόμες τεχνολογίες που θα συμβάλλουν σε πολλούς τομείς όπως στη κινητικότητα, στη διακυβέρνηση, στην επιχειρηματικότητα, στην οικονομία, στο περιβάλλον, στη γεωργία, στην εκπαίδευση, στο λιανεμπόριο, στην επικοινωνία, στις κτηριακές εγκαταστάσεις, καθώς και σε αρκετούς ακόμη, με πρωταρχικό στόχο την καλύτερευση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα καινοτόμων τεχνολογιών και υπηρεσιών που βελτιώνουν τις υπάρχουσες συνθήκες μιας πόλης και τη διαβίωση των πολιτών της αποτελούν, τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, που βρίσκουν εφαρμογή σε κτήρια, υποσταθμούς και στον δημοτικό φωτισμό, όπως επίσης και τα έξυπνα συστήματα

συλλογής ανακυκλώσιμων υλικών και απορριμμάτων. Επιπλέον τα ολοκληρωμένα συστήματα παρακολούθησης οχημάτων, ποδηλάτων και κάδων απορριμμάτων, το σύστημα έξυπνης στάθμευσης, η έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας με αισθητήρες καταμέτρησης οχημάτων και η διαχείριση ροής με φωτεινούς σηματοδότες μπορούν να χαρακτηριστούν ως καινοτόμες λύσεις στα πλαίσια μιας έξυπνης πόλης. Ακόμη με υπηρεσίες όπως, τις έξυπνες στάσεις με πληροφόρηση επιβατών σε πραγματικό χρόνο, το έξυπνο σύστημα πληροφόρησης πολιτών, την άμεση και συμμετοχική δημοκρατία, τις διοικητικές υπηρεσίες προς τον πολίτη, την τηλεφροντίδα για επιλεγμένο αριθμό πολιτών που έχουν ανάγκη και το αυτοματοποιημένο κέντρο εξυπηρέτησης πολίτη (e-ΚΕΠ) η καθημερινότητα των πολιτών θα απλοποιηθεί αρκετά και θα μετατραπεί σε λειτουργική και αποτελεσματική.

Σήμερα, περισσότερο από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές [8], με τις τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών να αποτελούνε πραγματικούς «διεγέρτες» για τον εκσυγχρονισμό τους, σε όλους τους τομείς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκκίνηση δράσεων εξέλιξης κάποιων πόλεων, σε «έξυπνες πόλεις» ανά την υφήλιο. Ενδεικτικά παραδείγματα έξυπνων πόλεων αποτελούνε πόλεις όπως, το Άμστερνταμ, η Βαρκελώνη, το Στράτφορντ του Καναδά, η Σιγκαπούρη, το Πόρτο και από ελληνικής πλευράς πόλεις όπως, τα Τρίκαλα, η Πάτρα, η Θεσσαλονίκη, το Ηράκλειο και τα Γιάννενα.

Το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα όλων των έξυπνων πόλεων ανά τον κόσμο, αποτελεί το Άμστερνταμ και ειδικά με την ενέργεια υλοποίησης της πλατφόρμας, Άμστερνταμ Smart City. Το Άμστερνταμ Smart City [5], είναι μια πλατφόρμα συνεργασίας που επιδιώκει να συνδέσει όλους τους «παίκτες» της αστικής ανάπτυξης, προκειμένου να εγκαθιδρύσουν τη μητροπολιτική περιοχή του Άμστερνταμ ως «Έξυπνη Πόλη». Λειτουργώντας ως θερμοκοιτίδα έργου, η πλατφόρμα επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα πρωτοβουλιών. Στο πλαίσιο αυτό, το Άμστερνταμ Smart City έχει σχεδιαστεί σαν ένα εργαστήριο καινοτομίας, όπου οι νέες χρηματοδοτικές μέθοδοι, οι τεχνολογίες, και οι συνεταιριστικές δράσεις θα συμβάλουν στην εφαρμογή μιας πιο αποτελεσματικής αστικής περιοχής, καθώς και σε μια μεγάλη αλλαγή νοοτροπίας. Το Άμστερνταμ Smart City, προσφέρει υπηρεσίες όπως το Smart Lighting, η οποία αποτελεί μία από τις υπηρεσίες που δημιούργησαν στην πόλη του Amsterdam για την φωταγώγηση της πόλης με έξυπνο φωτισμό, ο οποίος βελτίωσε το αίσθημα ασφαλείας των πολιτών ενώ παράλληλα βοήθησε στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η υπηρεσία Smart Lighting

ρυθμίζεται με σένσορες και απομακρυσμένα, έτσι ο τελικός φωτισμός ρυθμίζεται ανάλογα με τον καιρό και τις ανάγκες των πολιτών που κινούνται στην πόλη, με αποτέλεσμα η ενέργεια που εξοικονομείται να δίδεται σε άλλες λειτουργίες της πόλης. Επίσης η υπηρεσία Practical Trial tests intelligent solutions for traffic congestion, η οποία αποτελεί μια υπηρεσία που στοχεύει στο να «συνδέσει» μέσω κινητού, οδηγούς, συστήματα πλοήγησης, αυτοκίνητα και σηματοδότες ώστε να δίδονται πληροφορίες για θέματα κίνησης και πιο καθαρής πόλης στους πολίτες, ακόμη η υπηρεσία «Βρες το ποδήλατο μου» με τη δημιουργία ενός mobile app, το οποίο συνδέει όλα τα έξυπνα ποδήλατα της πόλης, στην προσπάθεια να εκλείψει η συνεχής κλοπή ποδηλάτων και τέλος η υπηρεσία GeoLight app, όπου μέσω έξυπνου τηλεφώνου μπορείς να ανοίξεις ή να κλείσεις το φωτισμό του δρόμου.

Η Βαρκελώνη [9], έχει κάνει σημαντικές μεταρρυθμίσεις για να μετατραπεί σε μια έξυπνη πόλη. Για να ανταποκριθεί στους αρχικούς στόχους μιας έξυπνης πόλης, η Βαρκελώνη χρησιμοποιεί τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών (ΤΠΕ) για τη μετατροπή εταιρειών, ιδρυμάτων, ειδικών χώρων, πανεπιστημίων, τεχνολογικών κέντρων και κατοικιών προς την αυτοματοποίηση. Με στόχο την υποστήριξη πρωτοβουλιών έξυπνης πόλης όσον αφορά τη συνδεσιμότητα, η Βαρκελώνη χρησιμοποιεί τεχνολογίες 3G και 4G, ένα WiFi mesh δίκτυο, ένα δίκτυο αισθητήρων, ένα δημόσιο WiFi δίκτυο, ένα νέο σχέδιο κινητικότητας, νέα συστήματα θέρμανσης και ψύξης και νέα ενεργειακά δίκτυα. Επιπλέον, αναπτύσσεται οπτική ίνα που καλύπτει 325 χιλιόμετρα της πόλης, για παροχή καλύτερων υπηρεσιών στην πόλη της Βαρκελώνης, όσον αφορά τη γρήγορη ανταπόκριση.

Πρόσφατα, το Στράτφορντ εξελίχθηκε σε «έξυπνη πόλη» ξεκινώντας ένα πρόγραμμα έξυπνης μέτρησης, με στόχο την συμμόρφωση με τους νέους κανονισμούς εξοικονόμησης ενέργειας και την τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης. Για να ανταποκριθεί στους αρχικούς στόχους που έθεσε η πόλη, αναπτύχθηκε η τεχνολογία MWAN(Motorola's 802.11n mesh wide area network). Με την βοήθεια της τεχνολογίας δόθηκε η δυνατότητα υλοποίησης ενός έξυπνου προγράμματος μέτρησης και κατέστη δυνατή η εξασφάλιση πρόσβασης υψηλής ταχύτητας mobile Internet, στους κατοίκους της. Το Motorola AP 7181 802.11n χρησιμοποιήθηκε ως ένα εξωτερικό σημείο πρόσβασης και ένα σύστημα GPON AXS1800 χρησιμοποιήθηκε για τη μετάδοση των κρυπτογραφημένων δεδομένων του έξυπνου μετρητή. Στην αρχή, οι μετρητές «παίρνανε» τις μετρήσεις χειροκίνητα μία φορά το μήνα. Για να εκτελεστούν οι δοκιμές,

τοποθετήθηκαν έξυπνοι μετρητές σε 200 σπίτια με βάση ένα δίκτυο πλέγματος (mesh network) 40 σημείων πρόσβασης. Κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής περιόδου, η Festival Hydro (Electric utility company in Stratford, Ontario) επιστρατεύτηκε για να υπάρξει πρόσβαση των μετρητών από απόσταση σε καθημερινή βάση, με στόχο τον καθορισμό του τρόπου μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα του προγράμματος έξυπνης μέτρησης ήταν πολύ ελκυστικά. Σε αυτό το project συμμετείχαν ως ενδιαφερόμενοι φορείς, οι Rhyzome Networks και Festival Hydro.

Η Σιγκαπούρη από την πλευρά της, οδεύει προς μια πιο έξυπνη πόλη και πιο βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Ένα από τα βασικά κίνητρα πίσω από τη μετατροπή της πόλης σε «Smart City», είναι η ανάγκη για έξυπνο σύστημα μεταφορών, για να ξεπεράσει μερικούς από τους περιορισμούς που υπάρχουν στην πόλη, όπως η απουσία φυσικών πόρων. Για την υλοποίηση του έξυπνου συστήματος μεταφορών, οι αισθητήρες αναπτύσσονται με την αξιοποίηση της ultra-high-speed 1 Gb/s ευρυζωνικής πρόσβασης και της ασύρματης ευρυζωνικής υποδομής στην ευρύτερη περιοχή της Σιγκαπούρης. Επιπλέον, για την επίτευξη των αρχικών στόχων, κάμερες, συσκευές GPS και ένα δίκτυο αισθητήρων, αναπτύσσονται σε taxicabs. Αυτές οι έξυπνες τεχνολογίες όχι μόνο βοηθούν στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας, αλλά και επιτρέπουν τις δυνατότητες πρόβλεψης μελλοντικής συμμόρφωσης, που μπορεί να οδηγήσει σε βέλτιστη διαχείριση διαδρομής. Ακόμη, για τη διευκόλυνση των ατόμων με αναπηρία, οι κάρτες RFID, χρησιμοποιούνται για να επεκτείνουν τους χρόνους διέλευσης των πεζών.

Το Πόρτο, με στόχο την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κινητικότητας και των μεταφορών, έχει προγραμματίσει να μετατραπεί σε μια έξυπνη πόλη. Τα προβλήματα, όπως οι μη συνδεδεμένες δημοτικές υπηρεσίες (unconnected municipal services) και η μη επαρκής αξιοποίηση των πόρων, ήταν τα κίνητρα πίσω από τη μετατροπή της πόλης προς την αυτοματοποίηση. Επίσης, παλαιότερα, μια έρευνα έδειξε ότι 413 δημόσιες υπηρεσίες και δημόσια οχήματα, ταξίδευαν σε απόσταση 28 km/ year. Ακόμη σε αυτήν την έρευνα εκτιμάται ότι, το είκοσι πέντε τοις εκατό (25%) αυτού του ταξιδιού είναι περιττό, με αποτέλεσμα την σπατάλη καυσίμων και χρημάτων, καθώς επίσης και τη ρύπανση της πόλης. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα, το Porto χρησιμοποίησε τη λύση της Veniam (company that provides services of vehicle based Mesh Networks), για την ανάπτυξη ενός οδικού δικτύου οχημάτων που βασίστηκε σε υπάρχουσες υποδομές οπτικών ινών και WiFi. Η Veniam για να συνδέσει τους

διάφορους τύπους οχημάτων που παρέχουν μεταφορά επιβατών, ανέπτυξε μια multi-network onboard unit (OBU) εξοπλισμένη με WiFi / DSRC / cellular interfaces, που ονομάζεται NetRider. Το NetRider κατευθύνει τα οχήματα σε σημεία πρόσβασης WiFi, που βοηθούν στην παροχή πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε άτομα μέσα και γύρω από τα οχήματα. Επιπλέον, το σημείο πρόσβασης NetRider (NetRider access point) έχει αναπτυχθεί και αυτό από τη Veniam, για να συνδέσει τα οχήματα με την ενσύρματη υποδομή ετερογενών παρόχων δικτύου και cloud. Η ανάπτυξη της Veniam στο Πόρτο την έχει μετατρέψει στο μεγαλύτερο δίκτυο WiFi-in-motion στον κόσμο.

Στην Ελλάδα παρά την οικονομική κρίση, έχουνε πραγματοποιηθεί σημαντικά βήματα τα τελευταία χρόνια για την εξέλιξη των πόλεων σε «έξυπνες πόλεις», με πρώτο και κύριο παράδειγμα να αποτελεί, η πόλη των Τρικάλων. Τα Τρίκαλα πρωτοπορούνε και υλοποιούνε ένα πιλοτικό τεχνολογικό εγχείρημα για τους πολίτες [10], συνδυάζοντας τις σύγχρονες ανάγκες και τη μελλοντική κατάσταση στις πόλεις, με εργαλείο τις εξελίξεις στο χώρο των ΤΠΕ. Ο Δήμος Τρικκαίων προτάθηκε από ομάδα διακεκριμένων εταιριών (διεθνούς και εθνικής εμβέλειας) να «φιλοξενήσει» ένα σημαντικής κλίμακας πιλοτικό έργο, που διαχέει στους πολίτες τις υπηρεσίες, που αξιοποιούν εξελιγμένα τεχνολογικά επιτεύγματα. Το Αυτοματοποιημένο Κέντρο Εξυπηρέτησης Πολίτη (e-ΚΕΠ), αποτελεί μια σημαντική υπηρεσία για τους δημότες της πόλης, αφού τα ειδικά μηχανήματα τύπου ATM παρέχουν νυχθημερόν τη δυνατότητα στους πολίτες να ζητούν και να εκτυπώνουν δημοτική ενημερότητα, πιστοποιητικά δημοτολογίου και άλλα σχετικά έγγραφα, με εύκολο και απλό τρόπο. Επίσης, οι πολίτες μέσω της mobile εφαρμογής Check App για κινητά τηλέφωνα, στέλνουν άμεσα τα αιτήματα τους στον Δήμο. Ακόμη με το σύστημα έξυπνου φωτισμού, γίνεται διαχείριση του δημοτικού ηλεκτροφωτισμού και επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας μεγαλύτερη από 60% έναντι των συμβατικών φωτιστικών συστημάτων αλλά και με το σύστημα έξυπνης διαχείρισης στάθμευσης, επιτυγχάνεται η εύρεση, η απεικόνιση και ο έλεγχος οριοθετημένων θέσεων στάθμευσης στο κέντρο της πόλης. Επιπλέον, το σύστημα παρακολούθησης περιβαλλοντικών συνθηκών, το σύστημα παρακολούθησης λειτουργίας φωτεινών σηματοδοτών της πόλης, το ολοκληρωμένο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και η συλλογή και ανάλυση δεδομένων από τη διασύνδεση χρηστών στο δημοτικό ασύρματο δίκτυο, αποτελούνε κρίσιμα τεχνολογικά επιτεύγματα για την βελτίωση της καθημερινότητας των πολιτών. Τέλος το κέντρο διαχείρισης της «έξυπνης πόλης», υλοποιήθηκε ως ένα κέντρο ελέγχου όλων των

παραπάνω υπηρεσιών, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 4, όπου εγκαταστάθηκαν κατάλληλες οθόνες παρακολούθησης για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των συστημάτων.



Εικόνα 4: Το control room του νέου πιλοτικού προγράμματος του Δήμου Τρικκαίων [10].

Στην Πάτρα [11], ο Δήμος Πατρέων γίνεται ο πρώτος Δήμος της χώρας και μια από τις πρώτες πόλεις της Ευρώπης που θα εφαρμόσει την τεχνολογία Narrow-Band Internet of Things. Σε συνεργασία με γνωστές εταιρίες στον χώρο των ΤΠΕ, ο Δήμος αξιοποιεί την τεχνολογία Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) μέσα από την εφαρμογή της για υπηρεσίες έξυπνης στάθμευσης και έξυπνου φωτισμού. Στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής του NB-IoT, τοποθετήθηκαν ειδικοί αισθητήρες έξυπνης στάθμευσης σε υφιστάμενες θέσεις του Δήμου και αισθητήρες έξυπνου φωτισμού. Οι οδηγοί θα ενημερώνονται άμεσα για το πού βρίσκονται ελεύθερες θέσεις στάθμευσης και πώς θα οδηγούνται εκεί, μέσω ειδικού mobile application. Αντίστοιχα, τα συστήματα έξυπνου φωτισμού θα προσαρμόζουν το φωτισμό σε διαφορετικά επίπεδα έντασης ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας, μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας.

Στα Γιάννενα [12], ένα σημαντικό τεχνολογικό εγχείρημα αποτελεί το μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών. Ο Δήμος Ιωαννιτών, είναι ένας από τους

ελάχιστους Δήμους στην Ελλάδα που χρησιμοποιεί τις υποδομές του δικτύου οπτικών ινών για την διασύνδεση των κτιρίων και των υπηρεσιών του. Υφίσταται λειτουργική διασύνδεση 25 δημοτικών κτιρίων, καθώς και άλλων υπηρεσιών, όπως, νοσοκομεία, σχολεία, επιμελητήρια, αστυνομία, πυροσβεστική, περιφέρεια και πρωτοδικείο. Επίσης υφίσταται το ασύρματο δίκτυο του Δήμου Ιωαννιτών και το ασύρματο δίκτυο πρόσβασης χρηστών (WI-FI) σε 80 σημεία του λεκανοπεδίου. Κάποιες από τις υπηρεσίες που αξιοποιούνται με τη βοήθεια της συγκεκριμένης τεχνολογικής υποδομής είναι, η πρόσβαση σε αγροτικά ιατρεία για ηλεκτρονική συνταγογράφηση, η πρόσβαση των τοπικών κοινοτήτων στο κεντρικό πρωτόκολλο, το δημοτολόγιο και τις εφαρμογές οικονομικής υπηρεσίας, καθώς και η αξιόπιστη και ταχύτερη πρόσβαση όλων των ΚΕΠ σε ηλεκτρονικές υπηρεσίες. Επιπλέον στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών συμβάλλουν τα συστήματα έξυπνης κινητικότητας όπως, η ολοκληρωμένη πλατφόρμα διαχείρισης και παρακολούθησης κυκλοφορίας με στόχο την πληροφόρηση πολιτών για συνθήκες κίνησης μέσω πολλαπλών καναλιών επικοινωνίας και το καινοτόμο σύστημα εξοικονόμησης πόρων και καυσίμων και βελτιστοποίησης της συλλογής απορριμμάτων.

Στο Ηράκλειο [13], με τη δημιουργία της διαδικτυακής πύλης του Δήμου Ηρακλείου Κρήτης, προσφέρεται η παροχή ηλεκτρονικών υπηρεσιών στους πολίτες. Η εξυπηρέτηση των πολιτών αποδεικνύεται το κυρίαρχο μέλημα του Δήμου, αφού για τις καθημερινές συναλλαγές τους με τις δημοτικές υπηρεσίες προσφέρονται, 163 υπηρεσίες πληροφόρησης και παροχής αιτήσεων σε ψηφιακή μορφή, 29 υπηρεσίες υποβολής αιτήσεων με ηλεκτρονικό τρόπο και ηλεκτρονικές πληρωμές. Ακόμη, από τον Δήμο παρέχονται, υπηρεσίες ηλεκτρονικών διαβουλεύσεων, ψηφοφοριών, εύρεσης των αποφάσεων των συλλογικών οργάνων, παρουσίασης όλων των καλλιτεχνών της πόλης με το έργο τους αλλά και τα καθημερινά γεγονότα στην πόλη. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα ανάγνωσης των εφημερίδων της πόλης από τον 19ο αιώνα ως το 1960, με επιστημονική τεκμηρίωση και ευέλικτο σύστημα αναζήτησης, καθώς και η παροχή υπηρεσιών ελεύθερης πρόσβασης στο Διαδίκτυο, από το ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιείται ευρέως από τους πολίτες και τους επισκέπτες της πόλης.

Στη Θεσσαλονίκη [14], πραγματοποιήθηκε η ένταξη της πόλης, στις ψηφιακά «έξυπνες πόλεις» με τη βοήθεια της IBM, με σκοπό τη δημιουργία μιας συνεργατικής ηλεκτρονικής πλατφόρμας ανοιχτών προτύπων στην κατεύθυνση της βελτίωσης της ποιότητας ζωής των κατοίκων της. Έτσι στο εγγύς μέλλον, θα εφαρμοστεί στην πράξη η πρόταση του Δήμου Θεσσαλονίκης να δημιουργηθεί μια ψηφιακή πλατφόρμα,

συνεργατικού χαρακτήρα, μέσω της οποίας όλοι οι φορείς της πόλης θα συνεισφέρουν δεδομένα τους προς χρήση από όλους (μεμονωμένους πολίτες, ερευνητές και ακαδημαϊκούς, επιχειρηματίες, φορείς λήψης αποφάσεων, εκπαιδευτικά ιδρύματα, κ.ά.). Η ψηφιακή, συνεργατική πλατφόρμα ανοιχτών δεδομένων, θα δώσει μελλοντικά τη δυνατότητα στον μέσο πολίτη να έχει ανά πάσα στιγμή ένα μεγάλο όγκο στοιχείων και πληροφοριών για τη Θεσσαλονίκη, αλλά και στους ερευνητές και ακαδημαϊκούς να υποστηρίξουν τις έρευνες τους, ενώ θα ανοίξει τον δρόμο για τη δημιουργία ψηφιακών εφαρμογών που διευκολύνουν την καθημερινότητα και κατά συνέπεια θα δώσει τη δυνατότητα σε έναν ολόκληρο κλάδο να αναπτυχθεί, συμβάλλοντας έτσι και στη στήριξη της επιχειρηματικότητας.

Τέλος, είναι γεγονός πως για να αναπτυχθεί μια έξυπνη πόλη απαιτούνται κάποιες βασικές αρχές, οι οποίες θα δημιουργήσουν τη κατάλληλη δομή, έτσι ώστε η εκάστοτε έξυπνη πόλη να αντιμετωπίζει τα ζητήματα που την αφορούν, με ασφαλές και ενδεδειγμένο τρόπο. Υπάρχουν και προτείνονται 8 βασικές αρχές [5], μέσω των οποίων μπορεί να αναπτυχθεί μια έξυπνη πόλη. Οι δημοτικές αρχές θα πρέπει να προχωρήσουν στην υλοποίηση των παρακάτω βημάτων:

1. Να προσδιορίσουν το δικό τους μοντέλο για την πόλη τους και το «όραμα» που έχουν για αυτή.
2. Να αναλύσουν τη δομή της πόλης τους και να προσδιορίσουν τις προτεραιότητες τους.
3. Να επεξεργαστούν από την αρχή τα συστήματα της πόλης και να μην κάνουν το λάθος να αναβαθμίσουν απλώς αυτό που υπάρχει.
4. Να αναπτύξουν την οικονομία των υπηρεσιών της πόλης μαζί με τους εταίρους τους.
5. Να κάνουν την πόλη πιο ελκυστική και να προωθήσουν μακροχρόνιες επενδύσεις.
6. Να οικοδομήσουν μια βιώσιμη πόλη, αυξάνοντας το δημόσιο χώρο για τους ανθρώπους.
7. Να αλλάξουν την οργάνωσή τους σπάζοντας τα στεγανά.
8. Να συνεργαστούν με άλλες πόλεις και να γίνουν μέλη του protocol society.

2.3 Smart Mobility

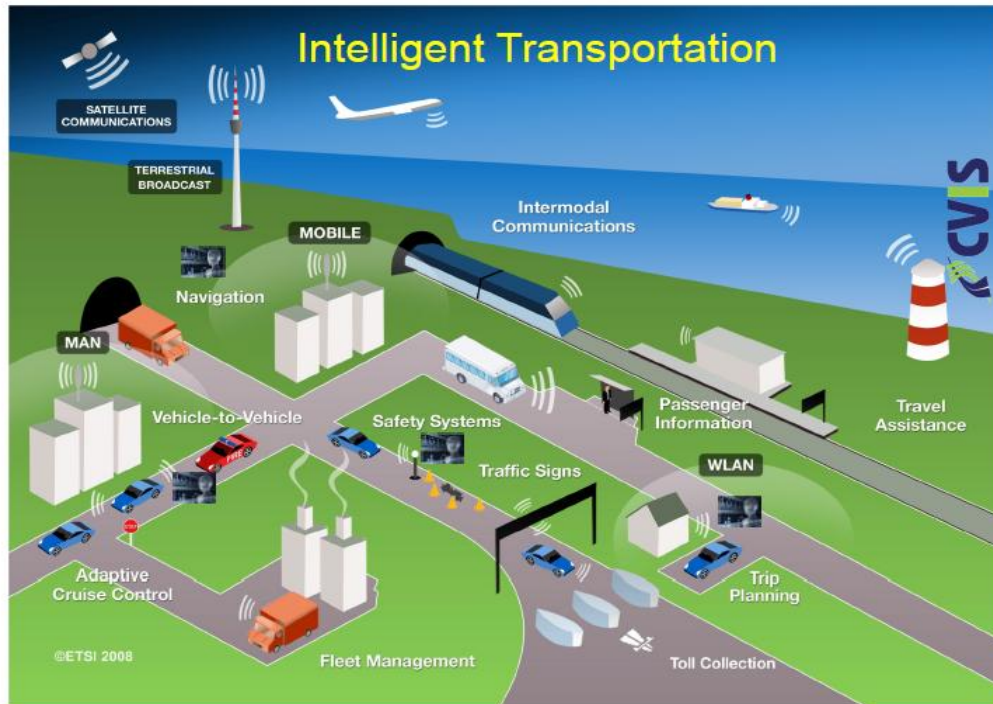
Στις μέρες μας [15], οι άνθρωποι, βρίσκονται «εν κινήσει». Ειδικότερα, για πρώτη φορά στον πολιτισμό το 2008, σημειώθηκε μια αξιοσημείωτη κατάσταση, όπου περισσότεροι άνθρωποι ζούσαν σε πόλεις παρά σε αγροτικές περιοχές. Με βάση αυτό και πληθώρα ερευνών, προβλέπεται ότι μέχρι το 2050, τα δύο τρίτα του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζουν σε μεγάλα αστικά κέντρα. Επομένως, για πολλές από τις πόλεις του κόσμου, αυτή η αλλαγή σημαίνει όχι μόνο περισσότερους ανθρώπους, αλλά και περισσότερα οχήματα και κατ' επέκταση περισσότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, αποτελεί ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα. Στην πραγματικότητα, σε όλο τον κόσμο οι οδηγοί και οι επιβάτες, έχουν σπαταλήσει μέχρι και 90 δισεκατομμύρια ώρες σε κυκλοφοριακή συμφόρηση. Το 2013, σε μια μόνο πόλη των ΗΠΑ, το Λος Άντζελες, οι οδηγοί βρισκόντουσαν στην κυκλοφορία κατά μέσο όρο 90 ώρες ή διαφορετικά περισσότερες από 11 εργάσιμες ημέρες.

Η αναποτελεσματικότητα στα συστήματα των αστικών μεταφορών που υπάρχουν σήμερα, όχι μόνο επηρεάζει την ποιότητα ζωής των οδηγών, των επιβατών και των μετακινούμενων μέσων μαζικής μεταφοράς, αλλά και τις επιχειρήσεις λόγω του διογκωμένου κόστους μεταφοράς, όπως επίσης και το περιβάλλον λόγω της μεγιστοποίησης του επιπέδου των εκπομπών καυσαερίων. Ορισμένες από τις πιο προφανείς λύσεις για την «ανακούφιση» της αστικής συμφόρησης δεν είναι βιώσιμες. Ο περιορισμένος φυσικός χώρος, οι «σφιχτοί» προϋπολογισμοί και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες, περιορίζουν την αποτελεσματικότητα, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να δημιουργηθούν νέοι «δρόμοι». Ορισμένες λύσεις, όπως τα τέλη κυκλοφοριακής συμφόρησης που εφαρμόζονται στο Λονδίνο και τη Στοκχόλμη, μειώνουν κάπως το πρόβλημα, αλλά θα μπορούσαν επίσης να καταστείλουν την οικονομική δραστηριότητα και να οδηγήσουν στην ανισότητα.

Η τεχνολογία, ήδη έχει αρχίσει να διαδραματίζει βασικό ρόλο στην επίλυση των προκλήσεων των αστικών μεταφορών. Μια από τις σημαντικότερες εταιρίες τεχνολογίας και συγκεκριμένα η Intel, θεωρεί ότι η χρήση σύγχρονων προηγμένων τεχνολογιών με καινοτόμους τρόπους, προσφέρει μια ολοένα και μεγαλύτερη προοπτική για να επιταχυνθεί η ανάπτυξη της «ευφυούς κινητικότητας», ανοίγοντας το δρόμο για επιταχυνόμενη ψηφιοποίηση και συστήματα που μεταφέρουν τους ανθρώπους και τα αγαθά αποτελεσματικότερα, οικονομικότερα και με περισσότερες επιλογές από ποτέ. Έτσι, από τη συναρπαστική πρόοδο με τα «αυτοκίνητα χωρίς οδηγό» και την άνεση των

υπηρεσιών διαμοιρασμού διαδρομών ολοένα και περισσότερα νέα μοντέλα μεταφοράς αναδύονται, που υποστηρίζονται από τεχνολογίες όπως, η διάχυτη συνδεσιμότητα και τα smartphones. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν ανοίξει την πόρτα του «Διαδικτύου των Πραγμάτων» και ενός επιπέδου εξατομικευμένων πληροφοριών και υπηρεσιών το οποίο φάνταζε απίθανο μόλις πριν από λίγα χρόνια.

Η αστική μεταφορά μπορεί πλέον να σημαίνει ενεργά συστήματα, που βασίζονται στους πολίτες, τα οποία διευρύνουν τις επιλογές κινητικότητας, εξυπηρετώντας τους ανθρώπους στις πόλεις με την μετακίνηση τους, είτε πρόκειται για περπάτημα, ή χρησιμοποιώντας τα δικά τους οχήματα, ή μισθωμένα οχήματα ή τη δημόσια συγκοινωνία. Σκοπός στο άμεσο μέλλον είναι να οικοδομηθεί μια πόλη, όπου οι φυσικοί και ψηφιακοί κόσμοι θα συγκλίνουν για να επιτρέψουν μια απρόσκοπτη εμπειρία μεταφοράς, που θα έχει ως αποτέλεσμα την παροχή εξελιγμένων υπηρεσιών, κάτι που διακρίνεται και στην Εικόνα 5. Μερικά παραδείγματα αποτελούνε, οι βελτιωμένες υπηρεσίες κινητικότητας με περισσότερη ευφυή παροχή καυσίμων και υπηρεσιών στάθμευσης, η εξέλιξη της δημόσιας μεταφοράς με συστήματα πληροφοριών εισιτηρίων και επιβατών επόμενης γενιάς, η αποδοτικότερη διαχείριση της κυκλοφορίας με την δημιουργία κέντρων ελέγχου κυκλοφορίας και με τη διαχείριση σηματοδότησης και διασταυρώσεων, οι ευέλικτες υπηρεσίες αναγνωριστικών(ID) και πληρωμών με ψηφιοποιημένη είσπραξη διοδίων και id οχήματος καθώς και με άδειες εισόδου κινητικότητας και η ασφαλής υποδομή με ανίχνευση συμβάντων, παρακολούθηση γεφυρών (bridge monitoring) και παρακολούθηση βίντεο (video surveillance).



Εικόνα 5: Το μελλοντικό διασυνδεδεμένο περιβάλλον της έξυπνης κινητικότητας [16].

Είναι γεγονός ότι με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, η σύνδεση των οχημάτων με το διαδίκτυο αυξάνεται με πληθώρα νέων δυνατοτήτων και εφαρμογών [17], οι οποίες προσφέρουν νέες λειτουργίες στα άτομα, κάνοντας τις μεταφορές ευκολότερες και ασφαλέστερες. Η έννοια του Διαδικτύου των Οχημάτων (Internet of Vehicles) αποτελεί το επόμενο βήμα για μελλοντικές εφαρμογές έξυπνης μεταφοράς και κινητικότητας και απαιτεί τη δημιουργία νέων κινητών οικοσυστημάτων βασισμένων στην εμπιστοσύνη, την ασφάλεια και την ευκολία στις κινητές/άνεπαφες υπηρεσίες και στις εφαρμογές μεταφοράς, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια, η ευκινησία και η άνεση σε συναλλαγές και υπηρεσίες που βασίζονται στον καταναλωτή.

Για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στο πλαίσιο της αυτοκινητοβιομηχανίας και της τηλεματικής, το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 6, μπορούμε να αναφερθούμε στα παρακάτω σενάρια εφαρμογής:

- Πρέπει να καθοριστούν πρότυπα σχετικά με την τάση φόρτισης των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος και πρέπει να ληφθεί απόφαση σχετικά με το εάν οι διαδικασίες επαναφόρτισης θα πρέπει να ελέγχονται από ένα σύστημα εντός του οχήματος ή από ένα σύστημα εγκατεστημένο στο σταθμό φόρτισης.

- Πρέπει να αναπτυχθούν δομικά στοιχεία για τις αμφίδρομες λειτουργίες και την ευέλικτη τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας, εάν τα ηλεκτρικά οχήματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, ως μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

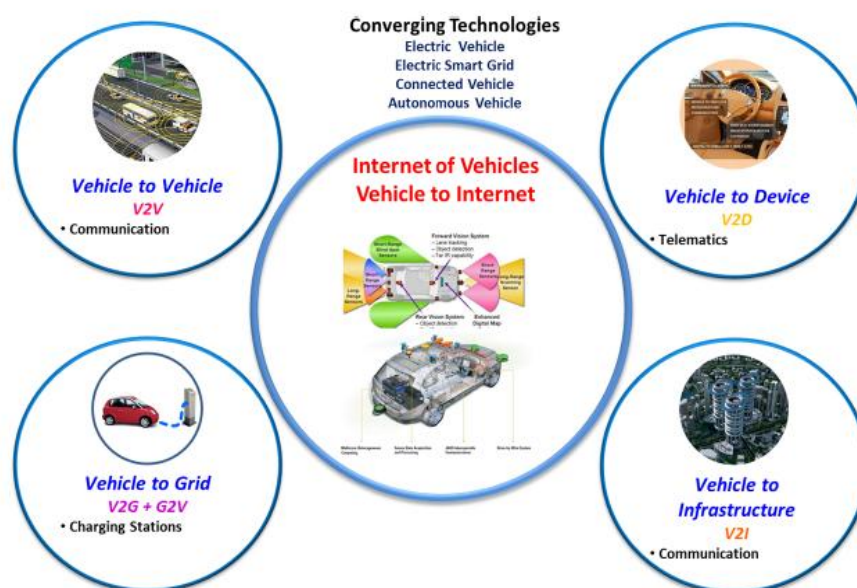
- **IoT ως εγγενές μέρος του συστήματος ελέγχου και διαχείρισης οχήματος:** Ήδη σήμερα ορισμένες τεχνικές λειτουργίες των συστημάτων επί των οχημάτων μπορούν να παρακολουθούνται on line από το κέντρο εξυπηρέτησης ή το γκαράζ, ώστε να επιτρέπουν προληπτική συντήρηση, απομακρυσμένη διάγνωση, άμεση υποστήριξη και έγκαιρη διαθεσιμότητα των ανταλλακτικών. Για το σκοπό αυτό συλλέγονται δεδομένα από αισθητήρες επί του οχήματος από μια έξυπνη μονάδα επί του οχήματος και διαβιβάζονται μέσω του διαδικτύου στο κέντρο εξυπηρέτησης.

- **IoT που επιτρέπει τη διαχείριση και τον έλεγχο της κυκλοφορίας:** Τα αυτοκίνητα πρέπει να είναι σε θέση να οργανώνονται μόνα τους με σκοπό να αποφεύγουν τις κυκλοφοριακές συμφορήσεις και να βελτιστοποιούν τη κατανάλωση ενέργειας από την οδήγηση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συντονισμό και συνεργασία, με την υποδομή ενός συστήματος ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας, της έξυπνης πόλης. Επιπλέον, η δυναμική τιμολόγηση των δρόμων και ο φόρος στάθμευσης μπορούν να αποτελέσουν σημαντικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος. Οι περαιτέρω αμοιβαίες επικοινωνίες μεταξύ των οχημάτων και της υποδομής, επιτρέπουν νέες μεθόδους για σημαντική αύξηση της κυκλοφοριακής ασφάλειας, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων.

- **IoT που επιτρέπει νέα σενάρια μεταφοράς (πολυτροπική μεταφορά):** Σε τέτοια σενάρια, π.χ. οι OEM εταιρίες της αυτοκινητοβιομηχανίας, θεωρούν τους εαυτούς τους, ως φορείς παροχής κινητικότητας και όχι ως κατασκευαστές οχημάτων. Έτσι, στον χρήστη θα διατίθεται η βέλτιστη λύση για μεταφορά από το σημείο Α στο σημείο Β, με βάση όλα τα διαθέσιμα και κατάλληλα μέσα μεταφοράς. Έτσι, με βάση τη στιγμιαία κατάσταση της κυκλοφορίας, μια ιδανική λύση μπορεί να είναι ένα μίγμα μεμονωμένων οχημάτων, κοινόχρηστων οχημάτων, σιδηροδρόμων και συστημάτων μετακίνησης. Για να είναι δυνατή η απρόσκοπτη χρήση και η έγκαιρη διαθεσιμότητα αυτών των στοιχείων

(συμπεριλαμβανομένου του χώρου στάθμευσης), η διαθεσιμότητα πρέπει να επαληθεύεται και να διασφαλίζεται μέσω της ηλεκτρονικής κράτησης και του online booking, ιδανικά σε αλληλεπίδραση με τα προαναφερθέντα έξυπνα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας.

- **Αυτόνομη οδήγηση και διασύνδεση με την υποδομή (V2V, V2D):** Οι προκλήσεις αντιμετωπίζονται με την αλληλεπίδραση μεταξύ του οχήματος και του περιβάλλοντος (αισθητήρες, ενεργοποιητές, επικοινωνία, επεξεργασία, ανταλλαγή πληροφοριών κλπ.), εξετάζοντας συστήματα οδικής πλοήγησης που συνδυάζουν τον εντοπισμό του δρόμου(road localization) και την εκτίμηση σχήματος του δρόμου(road shape estimation) για οδήγηση σε δρόμους όπου η εκ των προτέρων γεωμετρία του δρόμου είναι και δεν είναι διαθέσιμη. Ως στόχος τίθεται, ένα σύστημα σχεδιασμού μικτής λειτουργίας που είναι σε θέση να πλοηγηθεί αποτελεσματικά σε δρόμους και να κινείται με ασφάλεια μέσα από ανοιχτές περιοχές και χώρους στάθμευσης και να αναπτύσσει μια συμπεριφοριστική προσέγγιση μηχανής, ικανή να ακολουθήσει τους κανόνες του δρόμου αλλά και να τους αποφύγει εκεί που είναι απαραίτητο.



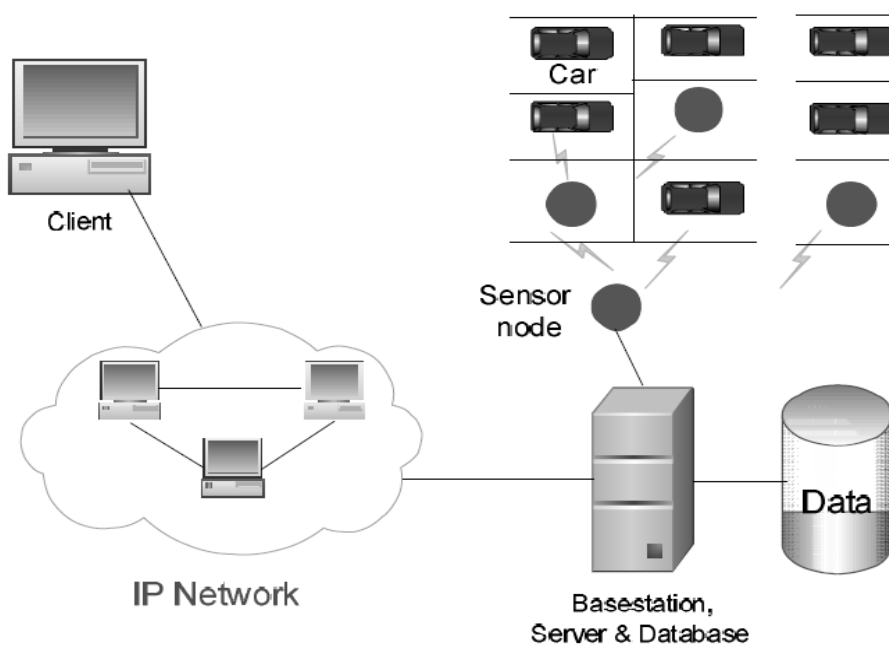
Εικόνα 6: Σύγκλιση τεχνολογιών - Περίπτωση του Διαδικτύου των Οχημάτων [17].

Με βάση τις παραπάνω τεχνολογίες γίνεται πλέον σαφές ότι, οι έξυπνοι αισθητήρες αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη της «ευφυούς κινητικότητας». Οι έξυπνοι αισθητήρες στις οδικές υποδομές και στις υποδομές ελέγχου της κυκλοφορίας πρέπει να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των δρόμων και της κυκλοφορίας, τις καιρικές συνθήκες και πολλές ακόμη. Αυτό απαιτεί ισχυρούς αισθητήρες (και ενεργοποιητές) οι οποίοι είναι ικανοί να παρέχουν με αξιοπιστία πληροφορίες στα προαναφερθέντα συστήματα. Μια τέτοια αξιόπιστη επικοινωνία πρέπει να βασίζεται σε πρωτόκολλα επικοινωνίας M2M, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους περιορισμούς χρόνου, προστασίας και ασφάλειας. Επίσης η αναμενόμενη μεγάλη ποσότητα δεδομένων, απαιτεί εξελιγμένες στρατηγικές εξόρυξης δεδομένων.

Τέλος, είναι αναγκαίο να τονίσουμε ότι, οι περισσότερες τεχνολογίες που σχετίζονται με την έξυπνη κινητικότητα βρίσκονται ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο. Παρόλα αυτά, είναι ικανές να μας προϊδεάσουνε, έτσι ώστε να αλλάξουμε την αντίληψη που έχουμε για τις μεταφορές του σήμερα αλλά και τον τρόπο που μετακινούμαστε καθημερινά. Αρκετοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι, βρισκόμαστε στο κατώφλι της επικρατήσας ονομασίας «τέταρτη βιομηχανική επανάσταση», εκεί που οι φυσικοί και ψηφιακοί κόσμοι θα συγκλίνουν πραγματικά. Συνεπώς, οι πόλεις που σκέφτονται ψηφιακά για τις μεταφορές του σήμερα, θα γίνουν τα ταχέως αναπτυσσόμενα αστικά κέντρα του αύριο.

2.4 Smart Parking System

Το σύστημα στάθμευσης αυτοκινήτων [18], αποτελεί πλέον ένα έξυπνο σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί ποικίλες τεχνολογίες. Το έξυπνο σύστημα στάθμευσης εφαρμόζεται σε πολλά περιβάλλοντα με διάφορα χαρακτηριστικά, όπου επιλύονται τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Η αρχιτεκτονική του συστήματος έξυπνης στάθμευσης, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 7, καθοδηγείται από την αρχή της κλιμακωτής λειτουργικότητας. Υπάρχουν τρία επίπεδα στην αρχιτεκτονική του συστήματος έξυπνης στάθμευσης. Πιο συγκεκριμένα, το χαμηλότερο επίπεδο που περιλαμβάνει τις λειτουργίες ανίχνευσης, το μεσαίο επίπεδο όπου πραγματοποιείται η μετάδοση των δεδομένων και το υψηλότερο επίπεδο που ασχολείται με την αποθήκευση δεδομένων, επεξεργασία και διεπαφών πελάτη.



Εικόνα 7: Η αρχιτεκτονική του συστήματος έξυπνης στάθμευσης [18].

Τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος έξυπνης στάθμευσης είναι πολλαπλά και σκοπός τους είναι να περιορίσουν σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της στάθμευσης, το οποίο παραμένει ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη διαχείριση των αστικών

συγκοινωνιών [19], αφού ο χώρος στάθμευσης μιας πόλης είναι περιορισμένος και το κόστος στάθμευσης είναι δαπανηρό. Αρχικά [18], λόγω της σωστής κατανομής, μπορούν να επιλυθούν διάφορα προβλήματα, αφού προσφέρει ευκολία στους χρήστες οχημάτων και αποτελεσματική χρήση του χώρου για τις εταιρείες αστικών περιοχών. Επίσης, η χρονοβόρα αναζήτηση στάθμευσης ελαττώνεται σημαντικά, διότι οι χρήστες μπορούν να εξοικονομήσουν χρόνο από τα έξυπνα συστήματα στάθμευσης. Τέλος, με τη χρήση των συγκεκριμένων συστημάτων, ο εκάστοτε οδηγός μπορεί να αποφύγει την περιττή κατανάλωση ενέργειας κατά την διάρκεια αναζήτησης χώρου στάθμευσης, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η εξοικονόμηση χρημάτων αλλά και η μείωση των εκπομπών ρύπων.

Τα συστήματα στάθμευσης έχουν αυξηθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η κατηγοριοποίηση τους. Τα περισσότερα εξ αυτών κατηγοριοποιούνται παρακάτω:

- **Centralized Assisted Parking Search (CAPS)**

Στην κεντρική υποβοηθούμενη αναζήτηση χώρου στάθμευσης (CAPS), την επεξεργασία πληροφοριών την αναλαμβάνει ο κεντρικός επεξεργαστής (server). Ο διακομιστής θα συλλέξει πληροφορίες από έναν αισθητήρα στο χώρο στάθμευσης και θα λάβει αποφάσεις αντίστοιχα.

- **Non-Assisted Parking Search (NAPS)**

Η μη υποβοηθούμενη αναζήτηση χώρου στάθμευσης (NAPS) δεν διαθέτει κάποιον διακομιστή και κατά συνέπεια, δεν θα παρέχονται πληροφορίες σε ένα χρήστη. Ο χρήστης πρέπει να περιπλανηθεί γύρω από το χώρο στάθμευσης για να βρει την κενή θέση. Η κενή θέση θα παραχωρηθεί στον χρήστη που θα φτάσει πρώτος στο συγκεκριμένο σημείο.

- **Opportunistically Assisted Parking Search (OAPS)**

Η οπportunιστικά υποβοηθούμενη αναζήτηση χώρου στάθμευσης (OAPS), χρησιμοποιεί ένα Mobile Storage Node (MSN). Η ροή πληροφοριών πραγματοποιείται με το MSN. Αυτό οδηγεί σε περαιτέρω ανάπτυξη, μέσω της αποτελεσματικότητάς του. Ωστόσο, οι πληροφορίες που διαδίδονται από αυτόν τον κόμβο δεν είναι πάντα χρήσιμες.

- **Car Park Occupancy Information System (COINS)**

Αυτό το σύστημα ελέγχει την κενή θέση στάθμευσης με αισθητήρα βίντεο. Χρησιμοποιείται η τεχνική επεξεργασίας εικόνας και εμφανίζονται πληροφορίες κενής θέσης σε μια οθόνη.

- **Parking Guidance and Information System (PGIS)**

Το Σύστημα Πληροφόρησης και Καθοδήγησης Χώρου Στάθμευσης (PGIS) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατηγορίες όπως, η συνολική περιοχή της πόλης ή ένα συγκεκριμένο περιβάλλον στάθμευσης. Το σύστημα αυτό παρέχει πληροφορίες στους οδηγούς σχετικά με τις κενές θέσεις για στάθμευση, στη ζώνη στάθμευσης. Οι πληροφορίες αποστέλλονται με Static/dynamic variable message signs (VMS). Οι απαιτούμενες οδηγίες παρέχονται από το PGIS, το οποίο έχει τέσσερα στοιχεία. Τα τέσσερα στοιχεία αποτελούνε, ο μηχανισμός διάδοσης πληροφοριών, ο μηχανισμός συλλογής πληροφοριών, το κέντρο ελέγχου και τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Με τη βοήθεια κινητού τηλεφώνου εντοπίζεται η τρέχουσα θέση του οδηγού, χρησιμοποιώντας, το GPS (Global Positioning System).

- **Transit Based Information System (TBIS)**

Το Σύστημα Πληροφοριών με βάση τη Διαμετακόμιση (TBIS), παρέχει καθοδήγηση για τις park-and-ride εγκαταστάσεις, δηλαδή τις εγκαταστάσεις που αποτελούνε χώρους στάθμευσης με συνδέσεις δημόσιων συγκοινωνιών επιτρέποντας στους μετακινούμενους και άλλους ανθρώπους να κατευθυνθούν στα κέντρα των πόλεων με κίνητρο να εγκαταλείψουν τα οχήματά τους και να μεταφερθούν σε ένα λεωφορείο, σιδηροδρομικό σύστημα (ταχεία διακίνηση ή σιδηροδρομικός σταθμός) ή carpool για το υπόλοιπο της διαδρομής. Αυτό το σύστημα επιτυγχάνει σημαντικά στην εφαρμογή του και μειώνει την ταλαιπωρία των χρηστών.

- **Smart Payment System**

Στο έξυπνο σύστημα πληρωμών, ο χρήστης πρέπει να πληρώσει για τη στάθμευση του οχήματος. Οι πρώτοι μετρητές μετρητών(cash counters), χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση των μετρητών, παρότι η συντήρησή τους είναι δύσκολη. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές για τη συγκέντρωση των πληρωμών. Χρησιμοποιώντας τεχνολογίες RFID, η πληρωμή πραγματοποιείται με Automated Vehicle Identification (AVI) tag. Αυτή η τεχνολογία RFID και οι κινητές συσκευές είναι ανέπαφες μέθοδοι, αντιθέτως οι μη ανέπαφες μέθοδοι είναι οι έξυπνες κάρτες, οι χρεωστικές κάρτες και οι πιστωτικές κάρτες.

- **Automated Parking**

Στο αυτοματοποιημένο πάρκινγκ, χρησιμοποιείται συγκεκριμένος μηχανισμός που ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτό το σύστημα τοποθετεί το αυτοκίνητο σε διαθέσιμο χώρο στάθμευσης μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή ενώ ενίοτε, απαιτείται συμμετοχή του χρήστη. Περιλαμβάνει σχεδίαση λογισμικού που αποτελείται από τρία επίπεδα: Logical Layer (LL), Safety Layer (SL) και Hardware Abstraction Layer (HAL) με απώτερο σκοπό την εφαρμογή της ορθής και αποτελεσματικής αποθήκευσης των οχημάτων με ασφαλή τρόπο.

- **E-Parking**

Το E-Parking είναι ένα σύστημα, το οποίο αξιοποιείται μέσω SMS ή Internet για την αποτελεσματική στάθμευση ενός οχήματος. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει επίσης έναν έξυπνο μηχανισμό πληρωμής. Για τον μηχανισμό κράτησης χρησιμοποιούνται κινητά τηλέφωνα ή κέντρα κράτησης. Τεχνολογίες όπως, Wireless Application Protocol (WAP) και Personal Digital Assistants (PDAs) χρησιμοποιούνται επίσης από αυτό το σύστημα.

- **Parking Reservation System (PRS)**

Το PRS θα απαιτούσε, τη δημιουργία κέντρων πληροφόρησης για τις διαδικασίες κράτησης θέσεων στάθμευσης, ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών και του PRS, την παρακολούθηση της τρέχουσας διαθεσιμότητας στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο και τις εκτιμήσεις της αναμενόμενης ζήτησης. Η αναμενόμενη ζήτηση θα μπορούσε να εκτιμηθεί με βάση τον αριθμό των ατόμων που κρατούσαν ένα συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης και τον αναμενόμενο αριθμό των non-reserved αφίξεων κατά τις επόμενες χρονικές περιόδους που θα μπορούσε να βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα άφιξης. Οι χρήστες θα μπορούν να κάνουν κράτηση χώρου στάθμευσης και να λαμβάνουν μια απάντηση από το PRS, μέσω διαφόρων μέσων επικοινωνίας όπως, τηλέφωνο, φαξ ή web.

- **Intelligent Transport System (ITS)**

Τα συστήματα ITS είναι ένα σύνολο πληροφοριών, επικοινωνιών και τεχνολογιών για οχήματα και υποδομές που εστιάζονται στη μεταφορά. Οι πληροφορίες μπορούν να προσφερθούν με μια ακριβή ταξινόμηση των οχημάτων χρησιμοποιώντας WSNs.

- **Intelligent Parking Assist System (IPAS)**

Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε για αντίστροφη παράλληλη στάθμευση. Δεν απαιτεί την προσοχή του οδηγού και μπορεί να τοποθετήσει αυτόματα το αυτοκίνητο καθοδηγώντας σωστά το όχημα. Αυτό το σύστημα είναι επίσης γνωστό ως Advanced Parking Guidance System (APGS).

- **Agent Based Guiding System (ABGS)**

Ένας agent μπορεί να είναι οποιαδήποτε οντότητα, ικανή να αντιλαμβάνεται γεγονότα μέσω αισθητήρων και να ενεργεί στο περιβάλλον μέσω επιδράσεων ή ανταλλαγής πληροφοριών. Έχει χρήσιμα χαρακτηριστικά όπως, η αυτονομία, η προσαρμοστικότητα, η ταχύτητα απόκρισης και η κοινωνική ικανότητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για προβλήματα υψηλής δυναμικής και αλληλεπιδραστικής συμπεριφοράς και έτσι εφαρμόζονται για τον καθορισμό του μηχανισμού αυτοματισμού στο σύστημα καθοδήγησης στάθμευσης. Ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων (MAS), είναι μια προσέγγιση μοντελοποίησης που σχεδιάστηκε για να αντιπροσωπεύει συστήματα των οποίων οι οντότητες, δηλαδή οι εγκεκριμένοι πράκτορες, επιδεικνύουν νοημοσύνη, αυτονομία και κάποιο βαθμό αλληλεπίδρασης, τόσο μεταξύ τους όσο και με το περιβάλλον.

Σημαντικότερο στοιχείο για την τεχνολογία Smart Car Parking, αποτελεί η επιτυχής εφαρμογή της σε πόλεις που ταλανίζονται από προβλήματα στάθμευσης. Ενδεικτικά παραδείγματα πόλεων που εφαρμόζουν την συγκεκριμένη τεχνολογία, αποτελούν πόλεις όπως, το Λονδίνο, το Σύδνεϋ, το Νιου Πλύμουθ (Νέα Ζηλανδία), το Άμστερνταμ και από ελληνικής πλευράς πόλεις όπως, η Χαλκίδα, τα Τρίκαλα, η Πάτρα, η Θεσσαλονίκη και τα Γιάννενα.

Σε μια παγκοσμίως γνωστή τοποθεσία του κέντρου της πόλης του Λονδίνου όπως, είναι το Westminster City Council [20], τρεις τεχνολογίες έξυπνου χώρου στάθμευσης συνδυάστηκαν για να μειώσουν τη συμφόρηση και να αυξήσουν τη διαθεσιμότητα στάθμευσης. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση της τεχνολογίας αισθητήρων ανίχνευσης οχήματος εντός εδάφους (In-Ground Vehicle Detection Sensors) καθώς και των τεχνολογιών SmartRep και RFID. Τον Οκτώβριο του 2014 το Δημοτικό Συμβούλιο του Westminster αποφάσισε να εφαρμόσει τη λύση Smart Parking's SmartPark, ένα ολοκληρωμένο πακέτο πρωτοποριακής τεχνολογίας που παρέχει στους οδηγούς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τους άδειους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων. Η ανάπτυξη περιλαμβάνει ένα δίκτυο, άνω των 3.400 αισθητήρων ανίχνευσης οχήματος εντός εδάφους εξοπλισμένων με RFID, οι οποίοι καταγράφουν εάν κάθε χώρος στάθμευσης είναι κατειλημμένος ή κενός. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται ζωντανά στο SmartRep, ένα εργαλείο λογισμικού διαχείρισης στάθμευσης

αυτοκινήτων, το οποίο συνδυάζει και συγκρίνει τα δεδομένα. Οι πληροφορίες τροφοδοτούνται στιγμιαία στο ParkRight του Δημοτικού Συμβουλίου, μια απλή στην χρήση εφαρμογή που μπορούν να εγκαταστήσουν οι οδηγοί στο smartphone τους. Στη συνέχεια, ο οδηγός χρησιμοποιεί το ParkRight για να προσδιορίσει τον καλύτερο διαθέσιμο χώρο στάθμευσης και να λάβει σαφείς, ακριβείς, κατευθυντήριες οδηγίες με βάση το GPS, για να προσεγγίσει το συγκεκριμένο σημείο. Τα δεδομένα του λογισμικού SmartRep, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικό προγραμματισμό ζωτικής σημασίας για την περαιτέρω βελτίωση των συστημάτων στάθμευσης του Westminster.

Στο Σύδνεϋ [21], οι αποβάθρες φόρτωσης αποτελούν το επίκεντρο των κοινοτήτων αλυσίδων εφοδιασμού, αλλά συχνά διασκορπίζονται γύρω από την πόλη είτε σε ιδιωτικά υπόγεια, είτε σε δρόμους με περιορισμένο χώρο, περιορισμένες καθορισμένες ζώνες φόρτωσης και χρονικά κρίσιμο προγραμματισμό. Επομένως δημιουργούνται ανάγκες για πολλαπλά ταξίδια για τους μεταφορείς, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί σε αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και σε απώλεια παραγωγικότητας της υπηρεσίας. Όμως όπως είναι ευρύτερα γνωστό, τα City Hubs εντός του Σύδνεϋ υλοποιούν την τεχνολογία Bestrane's MobileDOCK mobile/tablet application, για να προγραμματίσουν τις παραδόσεις εντός και γύρω από την πόλη. Με αφορμή τα παραπάνω, η εταιρία Smart Parking σε συνεργασία με τον κυβερνητικό οργανισμό Transport for New South Wales, την πόλη του Σύδνεϋ και την εταιρία Bestrane Pty. Ltd. έχουν αποκαλύψει νέα τεχνολογία, βοηθώντας τις αλυσίδες εφοδιασμού να λειτουργούν με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Έτσι, τρεις τεχνολογίες συνδυάστηκαν για να μειώσουν τη κυκλοφοριακή συμφόρηση και να αυξήσουν τη παραγωγικότητα. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση των τεχνολογιών Vehicle Detection Sensors, RFID και SmartCloud. Ενσωματώνοντας τις ετικέτες οχήματος RFID του έξυπνου χώρου στάθμευσης και τους ευφυείς αισθητήρες, οι οδηγοί εμπορικών οχημάτων που χρησιμοποιούν το Goulburn Street City Hub, έχουν πλέον πρόσβαση μέσω του MobileDOCK σε έναν ακριβή προγραμματισμό σε πραγματικό χρόνο στις διαθέσιμες θέσεις φόρτωσης. Οι υπηρεσίες ιστού SmartCloud API της Smart Parking, παρέχουν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου SmartTag και ενημέρωση για την κατοχή θέσεων φόρτωσης στην υπηρεσία προγραμματισμού του Bestrane MobileDock. Αυτή η συνδεδεμένη τεχνολογία σημαίνει ότι οι οδηγοί που παραδίδουν τα εμπορεύματα μπορούν να «εκδίδονται» με ηλεκτρονικές άδειες γνωστές ως «SmartTags» οι οποίες

επικοινωνούν με τους αισθητήρες θέσης φόρτωσης του City Hub και το MobileDOCK επιτρέποντας στην εφαρμογή να αναγνωρίζει αυτόματα την άφιξη και την αναχώρηση των οχημάτων στους κλειστούς χώρους στάθμευσης, ενημερώνοντας την κατάσταση των κρατήσεων και προειδοποιώντας για τις διακυμάνσεις της κράτησης, όπως η άφιξη χωρίς κράτηση, η άφιξη ενωρίτερα ή η μακρύτερη διαμονή από την προγραμματισμένη. Το SmartTag που μεταφέρεται στο όχημα, αναγνωρίζει με μοναδικό τρόπο το όχημα και για ποιον μεταφορέα εργάζεται και αν έχει επικυρωθεί για να χρησιμοποιήσει την θέση φόρτωσης. Οι οδηγοί είναι πλέον σε θέση να παρέχουν ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο για τη χρήση των χώρων φόρτωσης. Εάν υπάρχουν διαφωνίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα, το MobileDOCK μπορεί να επαναπρογραμματίσει τον οδηγό σε άλλη χρονικά θέση ή σε μια εναλλακτική σειρά αποστολών φόρτωσης, εξοικονομώντας από το «circling around the block», περιμένοντας να γίνει διαθέσιμος ο αρχικός χώρος φόρτωσης.

Το New Plymouth District Council της Νέας Ζηλανδίας [22], το οποίο αποτελεί έναν από τους κορυφαίους αστικούς χώρους του Βόρειου Νησιού και ένα σημείο εστίασης της γεωργίας και της εξόρυξης ενέργειας, έχει δεσμευτεί να αναπτύξει τη στρατηγική στάθμευσης του και να εξασφαλίσει δίκαιη πρόσβαση στην χρήση του χώρου στάθμευσης. Το Νομαρχιακό Συμβούλιο επεδίωξε να αλλάξει την αποτελεσματικότητα του on-street parking αλλά και να πραγματοποιήσει σημαντικές αναβαθμίσεις στις off-street parking εγκαταστάσεις. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε βασική διαχείριση στάθμευσης στο δρόμο και εκτός δρόμου με χρήση αισθητήρων ανίχνευσης οχήματος εντός εδάφους και χρήση των τεχνολογιών Overhead Guidance Indicators και SmartRep. Πιο αναλυτικά, εγκαταστάθηκαν 1.500 αισθητήρες ανίχνευσης οχημάτων εντός εδάφους σε έκταση 15 χιλιομέτρων από το κέντρο της πόλης του New Plymouth, καθένας από τους οποίους είναι συνδεδεμένος σε πραγματικό χρόνο με τις on-street μηχανές πληρωμής πολλαπλών θέσεων της πόλης. Κάθε αισθητήρας ανιχνεύει τότε ένας χώρος είναι κατειλημμένος ή κενός. Κατά την χρήση, ο οδηγός πληρώνει για το χώρο στάθμευσης και αυτές οι πληροφορίες πληρωμής μαζί με την κατάσταση «κατοχής» του χώρου στάθμευσης μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο στο λογισμικό SmartRep της εταιρίας Smart Parking και στη συνέχεια στη βάση δεδομένων του πάροχου μετρητών. Αυτό στη συνέχεια, ενημερώνει το φορητό υπολογιστή του «επόπτη», επιτρέποντας την έκδοση ποινών σε περίπτωση παράβασης. Επίσης, η εταιρία Smart Parking για τη στάθμευση εκτός δρόμου σε κυρίαρχη τοποθεσία λιανικής

πόλησης, έχει προσθέσει δυναμική σήμανση για τη διευκόλυνση της εύρεσης χώρου στάθμευσης. Αυτή η τεχνολογία μεταδίδει πληροφορίες από τους αισθητήρες και το λογισμικό SmartRep στις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων (Variable Message Signs - VMS), που επιτρέπουν στους πελάτες να γνωρίζουν πόσες θέσεις είναι διαθέσιμες στο χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων και επίσης, που δίνουν οδηγίες για τον εντοπισμό θέσεων στάθμευσης σε όλη την εγκατάσταση, μέχρι να φτάσει ο οδηγός σε μια διαθέσιμη θέση (παράδειγμα της τεχνολογίας VMS διακρίνεται στην Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Οι τεχνολογίες Overhead Guidance Indicators και VMS [23].

Στο Άμστερνταμ [24], το Park & Ride (P + R) αποτελεί έναν από τους πιο έξυπνους και φθηνούς τρόπους για τους οδηγούς έτσι ώστε, να σταθμεύσουν το αυτοκίνητό τους και να ταξιδέψουν στο κέντρο της πόλης. Αυτά τα πάρκα αυτοκινήτων βρίσκονται στα περίχωρα της πόλης κοντά σε αυτοκινητόδρομους και έχουν εξαιρετικές συνδέσεις με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Η δημόσια συγκοινωνία φέρνει τους επισκέπτες ή ακόμη και τους ντόπιους αμέσως στο κέντρο του Άμστερνταμ. Η στάθμευση σε ένα χώρο στάθμευσης P + R, κοστίζει ελάχιστα χρήματα για χρόνο

στάθμευσης 24 ωρών, έχοντας μάλιστα την δυνατότητα να επεκταθεί με μέγιστο χρόνο στάθμευσης τις 96 ώρες (με την επιφύλαξη εξαιρέσεων). Αυτό αποτελεί τεράστια αξία για τους επισκέπτες του Άμστερνταμ που θα ταξιδεύουν με έναν εναλλακτικό και με πολλαπλά οφέλη τρόπο, στη ζώνη του κέντρου της πόλης.

Στην Ελλάδα το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα σε επίπεδο πόλης που έχει υιοθετήσει την τεχνολογία Smart Car Parking, αποτελεί η πόλη της Χαλκίδας. Στη Χαλκίδα [25], η λύση της έξυπνης στάθμευσης εμπεριέχει εξοπλισμό με, ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα, ένα mobile application και τις απαραίτητες τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Σε συγκεκριμένους οδικούς άξονες έχουν εγκατασταθεί (εμφυτευθεί) στο οδόστρωμα, σε διαγραμμισμένες θέσεις, 69 αισθητήρες. Οι εν λόγω αισθητήρες (παράδειγμα αυτών απεικονίζεται στην Εικόνα 9), παράγουν ένα μαγνητικό πεδίο. Κάθε φορά που ένα όχημα σταθμεύει στη διαγραμμισμένη θέση καλύπτοντας τον αισθητήρα, το πεδίο αυτό διαταράσσεται και η εναλλαγή αυτή του πεδίου ερμηνεύεται ως στάθμευση οχήματος. Οι αισθητήρες αποστέλλουν με μια συχνότητα 32 δευτερολέπτων την πληροφορία σε εννιά αναμεταδότες που έχουν δημιουργήσει μια «ομπρέλα» κάλυψης σε όλο το δίκτυο, οι οποίοι με την σειρά τους την προωθούν στον κεντρικό συλλέκτη/gateway. Η gateway μέσω 3G/4G προωθεί την πληροφορία στο Data Center του ΟΤΕ που είναι εγκατεστημένη η εφαρμογή ParkAlot της OTS. Το ParkAlot αποτελεί το κύριο διαχειριστικό εργαλείο για τον Φορέα, μέσα από το οποίο έχει την δυνατότητα εποπτείας όλων των θέσεων στάθμευσης και της γενικότερης υποδομής. Επιπροσθέτως, μπορεί να ορίσει σημεία (ελεγχόμενα από αισθητήρες) όπου η στάθμευση απαγορεύεται (στροφές λεωφορείων, ράμπες αναπήρων) και να ενημερώνεται κάθε φορά που μια συναρτώμενη παράβαση λαμβάνει χώρα. Το σύστημα προσφέρει πλήθος στατιστικών στοιχείων και την δυνατότητα καθορισμού τιμολογιακής πολιτικής για κάθε θέση ξεχωριστά ή για ομάδες θέσεων, ορίζοντας τον τρόπο πληρωμής ανά ώρα ή ανά ζώνη ώρας. Ο οδηγός θα μπορεί, μέσω mobile application (iOS, Android) να ενημερώνετε σε πραγματικό χρόνο, με απεικόνιση σε χάρτη, για την ακριβή θέση του οχήματος και τις διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης, ενώ η εφαρμογή θα τον δρομολογεί προς την θέση στάθμευσης της επιλογής του. Σε περίπτωση που στο μεσοδιάστημα η προεπιλεγείσα θέση καταληφθεί από άλλο όχημα, η εφαρμογή θα επαναδρομολογεί τον οδηγό προς την πλησιέστερη διαθέσιμη θέση στάθμευσης. Η εφαρμογή προσφέρει την δυνατότητα αναζήτησης θέσεων στάθμευσης με πολλαπλά κριτήρια επιλογής, προβάλλει τις δέκα πλησιέστερες θέσεις στον οδηγό, ενώ παρέχει την δυνατότητα σε περίπτωση

που ο Δήμος επιλέξει την ενεργοποίηση πληρωμών, αυτές να γίνονται μέσα από την εφαρμογή.



Εικόνα 9: Η τεχνολογία In-Ground Vehicle Detection Sensors [25].

Στα Τρίκαλα [10], υλοποιήθηκε Σύστημα Έξυπνης Διαχείρισης Στάθμευσης, με το οποίο επιτυγχάνεται η εύρεση, η απεικόνιση και ο έλεγχος οριοθετημένων θέσεων στάθμευσης στο κέντρο της πόλης. Πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση δικτύου εξειδικευμένων αισθητήρων στο οδόστρωμα κεντρικών οδών της πόλης, έτσι ώστε να αντιστοιχεί ένας αισθητήρας για κάθε διακριτή, διαγραμμισμένη θέση στάθμευσης. Ο αισθητήρας τροφοδοτεί τα σημεία ελέγχου του δικτύου (controllers) στέλνοντας τα ανάλογα σήματα, όταν η θέση είναι ή δεν είναι κατειλημμένη. Επιπλέον οι πολίτες ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο για τη διαθεσιμότητα θέσεων στην επιλεγμένη περιοχή, τόσο μέσω της εφαρμογής στάθμευσης (mobile app) για κινητά τηλέφωνα, όσο και από πινακίδες που μπορούν να εγκατασταθούν σε κομβικά σημεία της πόλης. Επίσης παρέχεται και στα όργανα ελέγχου της στάθμευσης, ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο για περιπτώσεις παράνομου παρκαρίσματος. Μέσω της εφαρμογής παρέχεται και δυνατότητα αυτόματης πληρωμής του τιμήματος στάθμευσης. Ακόμη επιτυγχάνεται η έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας (smart mobility) αφού χρησιμοποιούνται αισθητήρες

καταμέτρησης οχημάτων και διασφαλίζεται η διαχείριση ροής με φωτεινούς σηματοδότες.

Στα Γιάννενα [26], ο Δήμος Ιωαννιτών συμμετέχει στο πρόγραμμα Motivate, προκειμένου να γίνει η πόλη πιο «έξυπνη» στο παρκάρισμα. Αυτό θα επιτευχθεί, με την υλοποίηση μιας εφαρμογής η οποία μέσω κινητού θα υποδεικνύει τις ελεύθερες θέσεις παρκαρίσματος σε κεντρικούς δρόμους της πόλης, σε πραγματικό χρόνο. Είναι μια εφαρμογή που θα ενημερώνει διευκολύνοντας τη στάθμευση, μέσω ενός συστήματος με αισθητήρες. Θα εφαρμοστεί πιλοτικά σε 200-300 θέσεις σε δρόμους γύρω από τους κεντρικούς πεζοδρόμους. Η εφαρμογή θα είναι κάτι περισσότερο από απλό «parking management», αφού οι πολίτες θα μπορούν να καταγράφουν τα σχόλια και τις παρατηρήσεις τους, μέσω διαφόρων τρόπων, στο μοτίβο του crowdsourcing, δηλαδή την κατάθεση απόψεων, παρατηρήσεων, ακόμα και κριτικών, μέσω internet (social media). Υπάρχουν σκέψεις ακόμα και για δυνατότητα «συγκέντρωσης πόντων» μέσω ενός διαδικτυακού απλού παιχνιδιού ή της συμμετοχής στο crowdsourcing, οι οποίοι θα «εξαργυρώνονται» με κάποιον τρόπο.

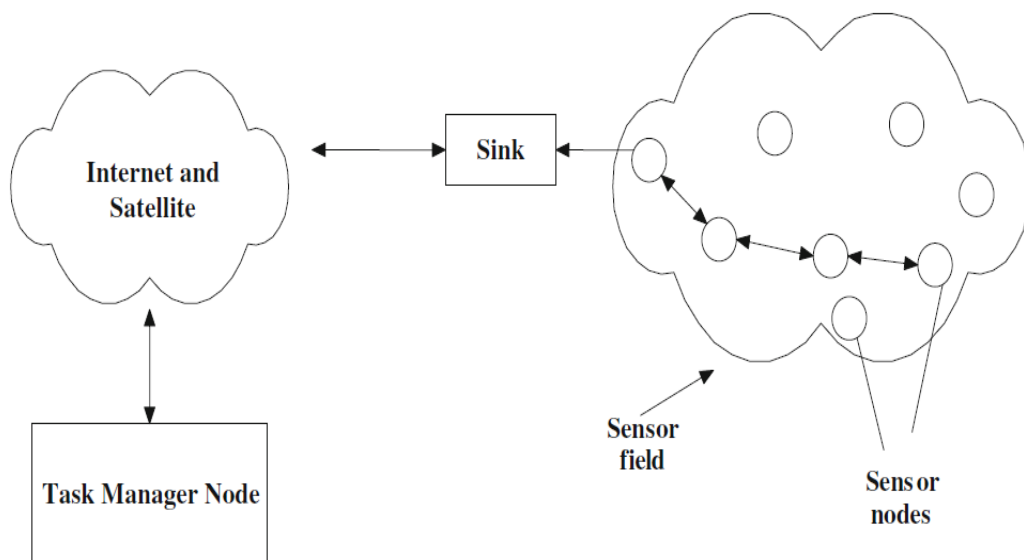
Στη Πάτρα [27], ο Δήμος Πατρέων σε συνεργασία με την Cosmote υλοποιεί σε επιλεγμένα σημεία στο κέντρο της Πάτρας, την πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) στην Ελλάδα και μια από τις πρώτες στην Ευρώπη. Το πιλοτικό έργο αναδεικνύει τις δυνατότητες του Internet of Things, αλλά και τα επιπλέον οφέλη που προσφέρει η καινοτόμος τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας Narrow-Band, μέσα από την εφαρμογή της για την υπηρεσία Έξυπνης Στάθμευσης. Στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής του NB-IoT, τοποθετήθηκαν ειδικοί αισθητήρες Έξυπνης Στάθμευσης σε υφιστάμενες θέσεις του Δήμου σε κεντρική οδό (οδό Πατρέως). Οι οδηγοί θα ενημερώνονται άμεσα για το πού βρίσκονται ελεύθερες θέσεις στάθμευσης και πώς θα φτάσουν εκεί, μέσω ειδικού mobile application. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, το NB-IoT υπερτερεί σημαντικά σε ποιότητα και ασφάλεια σε σχέση με άλλες τεχνολογίες IoT, αφού η μετάδοση δεδομένων γίνεται μέσω δικτύου κινητής, γεγονός που επιτρέπει και την καλύτερη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους. Επιπλέον, η χαμηλή απαίτηση σε ισχύ αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής στους αισθητήρες με μπαταρίες, που μπορεί να φθάσει και τα 10 χρόνια με δυο κοινές AA μπαταρίες.

Στη Θεσσαλονίκη [28], το νέο Σύστημα Ελεγχόμενης Στάθμευσης (THESi) του Δήμου Θεσσαλονίκης αποτελεί σημαντικό βήμα για μια πιο «έξυπνη πόλη» (smart city). Η υλοποίηση του συστήματος έγινε σε συνεργασία με την Ένωση Εταιριών

INTRAKAT – INTRASOFT μέσα από την χρήση των καινοτόμων συστημάτων και εφαρμογών της εταιρίας Park Pal, η οποία ειδικεύεται στον χώρο των ολοκληρωμένων λύσεων στάθμευσης. Το THESi είναι το νέο Σύστημα Ελεγχόμενης Στάθμευσης του Δήμου Θεσσαλονίκης. Αποτελεί ένα από τα πιο προηγμένα και ολοκληρωμένα τεχνολογικά συστήματα στην Ευρώπη, με online διασύνδεση λειτουργιών, υπηρεσιών, ελέγχου, πληροφόρησης κοινού. Το THESi έχει σκοπό να διευκολύνει την ανεύρεση θέσης στάθμευσης στη πόλη, να αποτρέψει τη παράνομη στάθμευση και όλα τα προβλήματα που αυτή προκαλεί στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, καθώς και να συμβάλει στην αποσυμφόρηση του κυκλοφοριακού προβλήματος.

2.5 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSNs) [29], είναι μια συλλογή εξειδικευμένων αυτόνομων αισθητήρων και ενεργοποιητών με υποδομή ασύρματων επικοινωνιών που προορίζονται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών σε διάφορες τοποθεσίες. Ένα WSN, αποτελείται από πολλαπλούς κόμβους, που στη πραγματικότητα κυμαίνονται από μερικές έως αρκετές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες, όπου κάθε κόμβος συνδέεται με έναν ή περισσότερους άλλους κόμβους. Οι κόμβοι μπορούν να σχεδιάζονται για να πραγματοποιούν μία ή περισσότερες λειτουργίες όπως, ανίχνευση, αναμετάδοση δεδομένων ή ανταλλαγή δεδομένων με ένα εξωτερικό δίκτυο. Ένας κόμβος για την ανίχνευση ονομάζεται sensor node, για την αναμετάδοση δεδομένων ονομάζεται router και για την ανταλλαγή δεδομένων με άλλα δίκτυα ονομάζεται base station ή sink node, ο οποίος είναι παρόμοιος με μια gateway σε ένα παραδοσιακό δίκτυο.



Εικόνα 10: Η δομή ενός τυπικού Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων [29].

Κάθε sensor node είναι εξοπλισμένος με μετατροπέα, μικροελεγκτή, ραδιοφωνικό πομποδέκτη και τροφοδοτικό, συνήθως μπαταρία. Ο μετατροπέας παράγει ηλεκτρικά σήματα που βασίζονται σε αισθητά φυσικά φαινόμενα και περιβαλλοντικές αλλαγές. Ο μικροελεγκτής επεξεργάζεται και αποθηκεύει την έξοδο ανίχνευσης. Ο ραδιοφωνικός πομποδέκτης με μια εσωτερική κεραία ή σύνδεση με εξωτερική κεραία

λαμβάνει εντολές από έναν κεντρικό υπολογιστή και μεταδίδει δεδομένα σε αυτόν τον υπολογιστή. Πιο πάνω στην Εικόνα 10, απεικονίζεται η έννοια των WSNs, όπου τα δεδομένα συλλέγονται από έναν sensor node και στη συνέχεια μεταδίδονται σε έναν sink node, ο οποίος συνδέεται με το Internet ή ένα δορυφορικό δίκτυο. Μέσω του Διαδικτύου και του δορυφορικού δικτύου, τα συλλεχθέντα δεδομένα λαμβάνονται τελικά από μια εφαρμογή. Οι sensor nodes δεν χρειάζεται να έχουν σταθερή θέση και οι περισσότεροι από αυτούς είναι τυχαία διατεταγμένοι για την παρακολούθηση ενός πεδίου αισθητήρων (sensor field). Οι sensor nodes επικοινωνούν συνήθως μεταξύ τους, μέσω ενός on-board ραδιοφωνικού πομποδέκτη.

2.5.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Ακριβώς όπως [30], ένα Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο (Wireless Local Area Network, WLAN), έτσι και ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (Wireless Sensor Network, WSN) διακρίνεται από μια σειρά χαρακτηριστικών. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων, είναι η αυτονομία που έχουν ως συσκευές όσον αφορά, τον τρόπο λειτουργίας και δρομολόγησης των δεδομένων αλλά και η ευκολία (convenience) που παρέχουν έτσι ώστε, να υπάρχει σύνδεση σε οποιοδήποτε σημείο και να είναι διαθέσιμη οποιαδήποτε στιγμή. Ακόμη, βασικό χαρακτηριστικό αποτελεί η επεκτασιμότητα (scalability) καθώς, τα συγκεκριμένα δίκτυα επεκτείνουν την περιοχή κάλυψης δηλαδή, το μέγεθος τους μέσω της επικοινωνίας των κόμβων, η οποία πραγματοποιείται με δρομολόγηση πολλαπλών αλμάτων (multi-hop routing), ανάλογα με τις ανάγκες τους.

Επίσης, άλλο ένα χαρακτηριστικό από την πλευρά των χρηστών αποτελεί η κινητικότητα (mobility). Με τον συγκεκριμένο όρο, περιγράφουμε την σύνδεση του χρήστη μέσω κινητής συσκευής την χρονική στιγμή που βρίσκεται σε κίνηση. Κατά συνέπεια, η κινητικότητα είναι ένα χαρακτηριστικό-πλεονέκτημα της ασύρματης σύνδεσης και κατ' επέκταση των WSNs, έναντι των τοπικών ενσύρματων συνδέσεων. Επιπλέον, το συγκεκριμένο πλεονέκτημα παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων τα οποία συλλέγουν και μεταδίδουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Επομένως, προκύπτει και το χαρακτηριστικό-πλεονέκτημα του γρήγορου χρόνου απόκρισης, ο οποίος βέβαια μειώνει τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Ένα χαρακτηριστικό των WSNs, το οποίο πλεονεκτεί έναντι άλλων τύπων δικτύων, είναι η ανοχή απέναντι σε σφάλματα (fault tolerance). Αυτό συνεπάγεται ότι, η

λειτουργία του συστήματος και επομένως, η συλλογή και η μετάδοση των δεδομένων δεν θα διακοπεί αν ένας κόμβος σταματήσει να λειτουργεί, αλλά θα πραγματοποιηθεί αυτόματα ανακατεύθυνση των μεταδιδόμενων δεδομένων μέσω εναλλακτικής διαδρομής, δηλαδή μέσω άλλων διαθέσιμων κόμβων του δικτύου.

Ακόμα ένα χαρακτηριστικό των WSNs, το οποίο αποτελεί και βασικό κριτήριο επιλογής για τον καταναλωτή, είναι το κόστος ανάπτυξης, εγκατάστασης και χρήσης ενός WSN. Το κόστος ανάπτυξης και εγκατάστασης του δικτύου αισθητήρων είναι χαμηλό καθώς, δεν απαιτείται εξειδικευμένος τεχνικός για την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας. Αντίθετα, μεγαλύτερη προσοχή δίνεται στον αριθμό των κόμβων σε ένα τέτοιο δίκτυο, διότι το κόστος μπορεί να αυξηθεί αισθητά.

Επιπρόσθετα, ένα χαρακτηριστικό το οποίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη αποτελεί, η συμβατότητα (adaptability). Κάθε εταιρία παροχής τέτοιου είδους υπηρεσιών κατασκευάζει τις δικές της συσκευές, οι οποίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνεργατικά με συσκευές που δεν ανήκουν στον ίδιο κατασκευαστή. Για αυτό το λόγο, η ανάγκη για συμβατότητα μεταξύ των συσκευών είναι αυξημένη και στη βάση αυτή έχει ήδη σημειωθεί πρόοδος καθώς, νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται και οι ήδη υπάρχουσες εξελίσσονται.

Τα WSNs, χαρακτηρίζονται από την ασύρματη σύνδεση και αυτό αποτελεί μια σημαντική αναγκαιότητα για αντιμετώπιση προβλημάτων αξιοπιστίας, όπως λόγου χάρη, η απώλεια πακέτων (packet loss). Επιπλέον, ένα σημαντικό πρόβλημα στο οποίο θα πρέπει να εστιάσουν οι ερευνητές, είναι το πρόβλημα της ενεργειακής απόδοσης (energy efficiency). Με βάση αυτό, θα πρέπει να εξετάσουν το ζήτημα της κατανάλωσης ενέργειας και συγκεκριμένα της μπαταρίας, η οποία οδηγεί στη μείωση της διάρκειας ζωής του αισθητήρα.

2.5.1.1 IEEE 802.15.4 Standard

Το πρότυπο IEEE 802.15.4 ανήκει στην οικογένεια των προτύπων IEEE 802, χωρίς ωστόσο, αυτό να σημαίνει ότι, έχει όλες τις ιδιαιτερότητες των άλλων προτύπων. Ο σκοπός που δημιουργήθηκε, είναι να υποστηρίξει τα Ασύρματα Προσωπικού Χώρου Δίκτυα-Χαμηλού Ρυθμού Μετάδοσης (Low Rate-Wireless Personal Area Networks, LR-WPANs). Ακόμη πέραν της συνεισφοράς του στο φυσικό επίπεδο, παρέχει και υπηρεσίες στο επίπεδο ζεύξης και πιο συγκεκριμένα, στο υπο-επίπεδο MAC (Media Access Layer) του δικτύου, το οποίο όπως, καταδεικνύει και το όνομα του, παρέχει πρόσβαση στα

πολυμέσα. Το πρότυπο αυτό, έχει ως στόχο την εξασφάλιση της αξιοπιστίας αλλά και των ασύρματων τεχνολογιών σε μικρές συσκευές. Οι ισχυρές αυτές ασύρματες τεχνολογίες, θα μπορούσαν να λειτουργούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, σε συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν μπαταρία.

Ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (WSN), αποτελείται από κόμβους αισθητήρων οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με ασύρματους αισθητήρες και πομποδέκτες. Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως τα WSNs παρέχουν υπηρεσίες σε πολλούς τομείς. Έτσι λοιπόν, το πρότυπο IEEE 802.15.4 είναι κατάλληλο για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, το οποίο χρησιμοποιείται σε αυτά, για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων αισθητήρων, μιας και εκείνοι, μπορούν να σχηματίσουν ένα LR-WPAN.

Κάποια από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προτύπου, είναι ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (low bit-rate), η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (low power consumption), το χαμηλό κόστος (low cost) και η μικρή εμβέλεια (short range). Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ταιριάζουν με τις απαιτήσεις που έχει ένα WSN. Ακόμη, το πρότυπο IEEE 802.15.4 για την πρόσβαση και χρήση του ασύρματου καναλιού με σκοπό, να μεταδώσει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, χρησιμοποιεί στο υπο-επίπεδο MAC το πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης Φορέα Αίσθησης με Αποφυγή Συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance CSMA/CA).

Επίσης, αρκετοί είναι εκείνοι οι οποίοι συγχέουν τον όρο IEEE 802.15.4 με την τεχνολογία Zigbee. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι, όταν αναφερόμαστε στο πρότυπο αυτό δεν εννοούμε τη τεχνολογία Zigbee. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετά πρωτόκολλα όπως για παράδειγμα, το Zigbee, το 6LoWPAN, καθώς και άλλα, τα οποία χρησιμοποιούν το πρότυπο IEEE 802.15.4.

Επιπλέον το πρότυπο αυτό, λειτουργεί (δηλαδή, η επικοινωνία πραγματοποιείται) σε διάφορες συχνότητες όπως, στα 868-868.8 MHz, στα 902-928 MHz και στα 2400-2483.5 MHz ή 2.4 GHz, η οποία είναι και η πιο δημοφιλής ζώνη.

2.5.1.2 ZigBee

Η τεχνολογία ZigBee, θεωρείται κατά γενική ομολογία πως αποτελεί, την πιο δημοφιλή τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης και χρησιμοποιείται για τη σύνδεση αισθητήρων, οργάνων και συστημάτων ελέγχου καθώς και για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση, τον έλεγχο και τις εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων. Το ZigBee θεωρείται επίσης, ότι είναι ένα «ανοιχτό, παγκόσμιο και βασισμένο σε πακέτα,

πρωτόκολλο», το οποίο παρέχει στα ασύρματα δίκτυα αξιοπιστία (reliability), αλλά και ασφάλεια (security), μέσω μιας εύκολης στη χρήση αρχιτεκτονικής. Το πρότυπο ZigBee όπως και το πρότυπο IEEE 802.15.4 είναι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης και υποστηρίζουν χαμηλού ρυθμού μετάδοση δεδομένων (low data rate). Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία ZigBee είναι υπεύθυνη για την μετάδοση των δεδομένων μέσω ραδιοσυχνοτήτων χαμηλής ισχύος (low power). Επιπλέον, το πρότυπο ZigBee, προσδιορίζει το επίπεδο δικτύου (network layer) και το επίπεδο εφαρμογής (application layer) ενώ, το πρότυπο IEEE 802.15.4 προσδιορίζει το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων.

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης τεχνολογίας όπως τονίστηκε και προηγουμένως, είναι οι χαμηλές τιμές του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων, ανάλογα με τη συσκευή που χρησιμοποιείται, οι οποίες διατυπώνονται παρακάτω στον Πίνακα 1.

Data Rate	Frequency Band
250 Kbps	2.4 GHz
40 Kbps	915 MHz
20 Kbps	868 MHz

Πίνακας 1: Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων με την τεχνολογία ZigBee [30].

Μερικά ακόμη χαρακτηριστικά, αποτελούν η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (low power consumption) με σκοπό την αύξηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, το χαμηλό κόστος (low cost) και το εύρος ζώνης το οποίο είναι και αυτό χαμηλό και μπορεί να εκπέμψει έως τα 100 μέτρα. Τέλος, ακόμη ένα χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι το σύνολο των κόμβων που μπορεί να διαχειριστεί ένα δίκτυο, το οποίο στηρίζεται στην τεχνολογία ZigBee και ο αριθμός αυτός προσεγγίζει τους 225 κόμβους.

Κάθε δίκτυο αισθητήρων, το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνολογία ZigBee, αποτελείται από 3 βασικούς κόμβους, ένα συντονιστή (coordinator), ένα δρομολογητή

(router) και μια τερματική συσκευή (end device). Αντίστοιχα, ο πρώτος κόμβος είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό των υπόλοιπων κόμβων, ο δεύτερος είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση και την επέκταση του δικτύου και ο τρίτος είναι υπεύθυνος για τη σύνδεση των κόμβων μεταξύ τους.

Επιπρόσθετα, ο οικιακός αυτοματισμός, ο αυτοματισμός στο γραφείο, ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η παρακολούθηση της υγείας και οι αισθητήρες χαμηλής ενέργειας είναι μερικά από τα οφέλη που παρέχει η τεχνολογία ZigBee.

Τέλος, ένα βασικό μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής, το οποίο πρέπει να αναφερθεί, είναι η έλλειψη διαλειτουργικότητας (lack of interoperability).

2.5.1.3 IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)

Η Internet Engineering Task Force (IETF), δημιουργήθηκε το 2004, με σκοπό να αντιμετωπίσει την πρόκληση της ασύρματης IPv6 επικοινωνίας στο πρότυπο IEEE 802.15.4 χαμηλής ισχύος (low power), το οποίο χρησιμοποιείται για συσκευές με περιορισμένη ισχύ, μνήμη και αποθηκευτικό χώρο, όπως, είναι για παράδειγμα οι κόμβοι αισθητήρων. Η IETF, λοιπόν, δημιούργησε ένα πρότυπο, το οποίο ονόμασε «IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network» ή «6LoWPAN» και το οποίο καθορίζεται από το RFC 6282 (Request for Comment), μια μορφή συμπύεσης για IPv6 πλαίσια δεδομένων (IPv6 datagrams) σε ασύρματα δίκτυα ή δίκτυα αισθητήρων που βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.15.4, το οποίο στην πραγματικότητα ορίζει, τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά των IPv6 πλαισίων δεδομένων σε ένα IEEE 802.15.4 ραδιο-κανάλι (radio link). Επομένως, ο κύριος στόχος του 6LoWPAN είναι να βελτιώσει την μετάδοση των IPv6 πακέτων, μέσω δικτύων χαμηλής ισχύος και δικτύων με απώλειες (Low-cost and Lossy Networks, LLNs). Στην ουσία αυτό που ήθελε να πετύχει η IETF, είναι να καθορίσει το 6LoWPAN ως τεχνική για την υλοποίηση του TCP/IP πρωτοκόλλου στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs).

Το 6LoWPAN, είναι μια τεχνολογία δικτύωσης η οποία αποτελεί μια αρκετά καλή επιλογή για τις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), αλλά και για την σύνδεση των «πραγμάτων» και των εφαρμογών με το cloud. Η συγκεκριμένη τεχνολογία συνδυάζει τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs), με τα ιδιαίτερα δημοφιλή και επιτυχημένα δίκτυα επικοινωνίας IP.

Πιο συγκεκριμένα, το 6LoWPAN παρέχει ασύρματους κόμβους αισθητήρων με ικανότητες IP επικοινωνίας δηλαδή, χρησιμοποιεί πρωτόκολλα IP δρομολόγησης (IP routing protocols) για τη διαχείριση των πινάκων δρομολόγησης (routing tables) στους IP δρομολογητές, οι οποίοι υποδεικνύουν τον επόμενο κόμβο στον οποίο θα προωθηθούν τα IP πακέτα έτσι ώστε, να φτάσουν στον προορισμό τους. Παρέχει στην ουσία ένα επίπεδο προσαρμογής (adaptation layer) πάνω από το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link layer), το οποίο μέσω μηχανισμών συμπίεσης (compression mechanisms), κατακερματισμού (fragmentation) και ενθυλάκωσης (encapsulation) βελτιώνει τη μετάδοση των IPV6 πακέτων στα δίκτυα που έχουν απώλειες και χαμηλή ισχύ, όπως για παράδειγμα τα IEEE 802.15.4 δίκτυα.

Πιο αναλυτικά, κατά τη συμπίεση κεφαλίδας (header compression) και λαμβάνοντας υπόψη, την χρήση κοινών πεδίων συμπιέζονται η IPV6 κεφαλίδα των 40 bytes και η UDP κεφαλίδα των 8 bytes. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι, το πρότυπο αυτό υποστηρίζει μόνο τη συμπίεση των IPV6 πακέτων και όχι των πακέτων IPV4. Επίσης, η συμπίεση της TCP κεφαλίδας δεν υποστηρίζεται από τη μορφή συμπίεσης RFC 6282.

2.5.1.4 Wireless Fidelity (Wi-Fi)

Η ευρέως γνωστή τεχνολογία Wi-Fi, η οποία χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών καθώς και συστημάτων, παρουσιάστηκε από την Wi-Fi Alliance και είναι βασισμένη στο πρότυπο IEEE 802.11 . Αρχικά δημιουργήθηκαν τα πρότυπα IEEE 802.11a και IEEE 802.11b και έπειτα για καλύτερη μετάδοση (transmission), κατανάλωση ενέργειας (power consumption), ταχύτητα (speed) και αξιοπιστία (reliability) δημιουργήθηκαν τα πρότυπα IEEE 802.11g και IEEE 802.11n, με το τελευταίο να αγγίζει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, της τάξεως των 300 Mbps. Η συγκεκριμένη τεχνολογία, χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια σε μεγάλο βαθμό από όλα τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless Local Area Networks, WLANs).

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Wi-Fi, όπως αναφέραμε και πιο πάνω, είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η ενισχυμένη ταχύτητα και ο χαμηλός ρυθμός αποτυχιών (low error rate), δηλαδή, η υψηλή αξιοπιστία. Επιπλέον, η χωρητικότητα (capacity) είναι και αυτή ενισχυμένη. Επίσης, ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής, είναι η ασφάλεια των δεδομένων που παρέχει.

2.5.2 Βασικές Τοπολογίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (WSN), όπως ήδη έχει αναφερθεί νωρίτερα, αποτελεί ένα σύνολο από κόμβους, οι οποίοι οργανώνονται σε ένα δίκτυο. Έτσι, η τοπολογία των κόμβων του WSN είναι ζωτικής σημασίας καθώς, βοηθάει με τη σειρά της να ξεπεραστούν οι διάφοροι περιορισμοί όπως, η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, η καθυστέρηση μεταφοράς ή αδράνεια (latency), η υπολογιστική κρίση των πόρων, η μείωση των παρεμβολών και η ποιότητα της επικοινωνίας.

Για αυτό το λόγο, είναι σημαντικό να συγκρίνουμε, για κάθε περίπτωση τις διάφορες τοπολογίες, έτσι ώστε να μπορούμε στη συνέχεια, να επιλέξουμε την τοπολογία που κρίνουμε πως είναι η βέλτιστη για το δίκτυο μας, κατά την σχεδίαση αλγορίθμων και πρωτοκόλλων.

2.5.2.1 Τοπολογία Σημείο προς Σημείο (Point to Point)

Η τοπολογία «Σημείο προς Σημείο» (Point to Point ή P2P Topology), αποτελείται από ένα ειδικό και μεγάλης εμβέλειας ασύρματο κανάλι επικοινωνίας, το οποίο συνδέει ασύρματα και με υψηλή δυναμικότητα, δύο κόμβους αισθητήρων. Αυτή η τοπολογία, ήταν η πιο κοινή τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.

Το βασικό πλεονέκτημα, το οποίο παράλληλα αποτελεί και μειονέκτημα της συγκεκριμένης τοπολογίας, είναι το μοναδικό κανάλι επικοινωνίας που διαθέτει διότι, από τη μια παρέχει ασφάλεια κατά την μετάδοση των δεδομένων και από την άλλη η ύπαρξη λάθους στο κανάλι αυτό, θα δημιουργήσει πρόβλημα στη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των δύο κόμβων του δικτύου.

2.5.2.2 Δενδροειδής Τοπολογία (Tree)

Η Δενδροειδής τοπολογία (Tree topology), θεωρείται συνδυασμός της τοπολογίας Point-to-Point και της τοπολογίας Αστέρα (Star), που θα αναλυθεί στην επόμενη υποενότητα. Στην τοπολογία αυτή, οι κόμβοι του δικτύου σχηματίζουν μια δενδρική δομή ή ένα λογικό δένδρο, όπου υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος «ρίζα», ο οποίος είναι ο συντονιστής (coordinator), που διαδραματίζει το ρόλο του κύριου δρομολογητή επικοινωνίας.

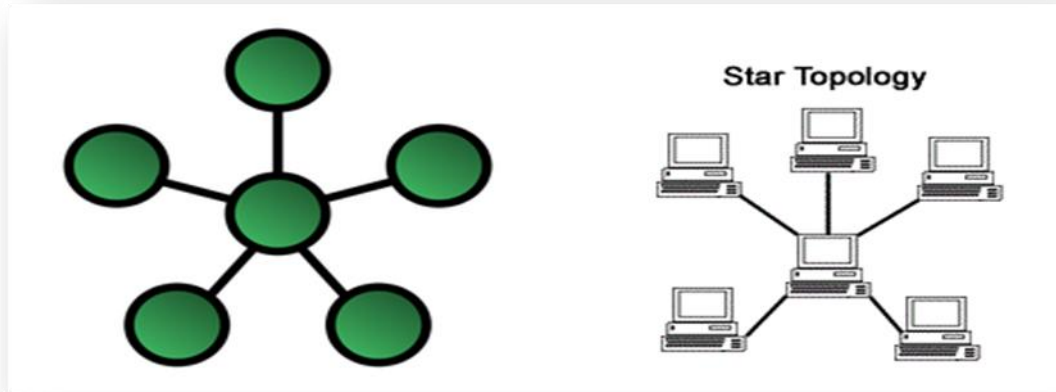
Στην Δενδροειδή τοπολογία, υπάρχουν 2 ειδών κόμβοι, ένας κόμβος γονέας (parent node) και ένας κόμβος παιδί (child node). Οι child nodes, είναι αυτοί οι οποίοι

συνδέονται σε ένα δίκτυο από coordinators. Οι FFD (Full Function Devices) συσκευές, μπορούν να στέλνουν αλλά και να λαμβάνουν πακέτα δεδομένων. Τέτοιες συσκευές είναι οι δρομολογητές (routers). Κάθε άλλη συσκευή (Reduced Function Devices, RFD) που βρίσκεται στο δίκτυο, μπορεί να επικοινωνεί μόνο με τον PAN(Personal Area Network) coordinator και ονομάζεται τελική συσκευή (end device). Πιο συγκεκριμένα, οι coordinators αλλά και οι δρομολογητές, έχουν την ιδιότητα να έχουν παιδιά κόμβους, κάτι το οποίο αυτόματα σημαίνει πως είναι γονείς κόμβοι. Αντίθετα, οι τελικές συσκευές δεν έχουν αυτή την ιδιότητα επομένως, μπορούν μόνο να στείλουν δεδομένα και όχι να λαμβάνουν, όπως συμβαίνει με τους γονείς κόμβους.

Το ισχυρό πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας σε σύγκριση με άλλες τοπολογίες, είναι η μικρή κατανάλωση ενέργειας. Σημαντικό μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας, αποτελεί το κόστος το οποίο εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο είναι διαμορφωμένοι οι κόμβοι. Ακόμη, η δενδροειδής τοπολογία είναι χρονοβόρα και παρουσιάζει μεγάλη καθυστέρηση κατά την αποστολή δεδομένων από ένα κόμβο leaf σε ένα κόμβο parent καθώς, τα δεδομένα θα χρειαστεί να διασχίσουν όλους τους κόμβους της ομάδας. Επιπλέον, η συγκεκριμένη τοπολογία έχει ανομοιόμορφη κατανάλωση ενέργειας από τους κόμβους του δικτύου. Πιο ειδικά, οι κόμβοι του δικτύου, οι οποίοι βρίσκονται πιο κοντά στον κόμβο parent, καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από τους άλλους κόμβους, για την προώθηση των πακέτων. Τέλος, στο ενδεχόμενο αποτυχίας της μετάδοσης των δεδομένων από τον κόμβο parent, όλα τα επίπεδα κάτω από τον κόμβο αυτό καταργούνται.

2.5.2.3 Τοπολογία Αστέρα (Star)

Στην τοπολογία Αστέρα (Star topology), όπως διακρίνεται στην Εικόνα 11, υπάρχει και εδώ ένας κόμβος συντονιστής (coordinator), ο οποίος θα είναι ο κεντρικός κόμβος του δικτύου και στον οποίο μπορούν να συνδεθούν άμεσα δέκα έως δεκαπέντε τελικές συσκευές. Ο συντονιστής είναι υπεύθυνος για την μετάδοση των δεδομένων οπότε, λειτουργεί όπως, ένας «sink» κόμβος. Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τοπολογίας, αποτελούν η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας όπως και το γεγονός ότι, το δίκτυο είναι εύκολο να επεκταθεί, κάτι που καθιστά την τοπολογία Αστέρα επεκτάσιμη (scalable).

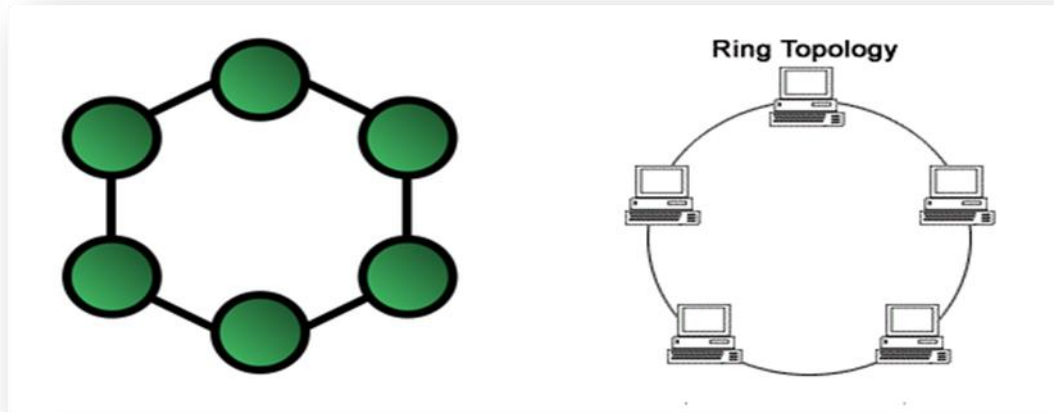


Εικόνα 11: Η τοπολογία Αστέρα (Star topology) [43].

Σημαντικό μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας, είναι πως σε περίπτωση που ο συντονιστής υποστεί κάποια βλάβη και δεδομένου ότι, δεν υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές για κάθε κόμβο, τότε το δίκτυο θα έχει σοβαρές απώλειες. Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη τοπολογία δεν χαρακτηρίζεται για την αξιοπιστία της.

2.5.2.4 Τοπολογία Δακτυλίου (Ring)

Σε μια τοπολογία Δακτυλίου (Ring topology) όπως, απεικονίζεται και πιο κάτω στην Εικόνα 12, κάθε κόμβος του δικτύου συνδέεται για να επικοινωνήσει με τους δύο γειτονικούς του κόμβους. Όλα τα πακέτα δεδομένων ακολουθούν την ίδια πορεία, είτε αυτή είναι αριστερόστροφη, είτε δεξιόστροφη.

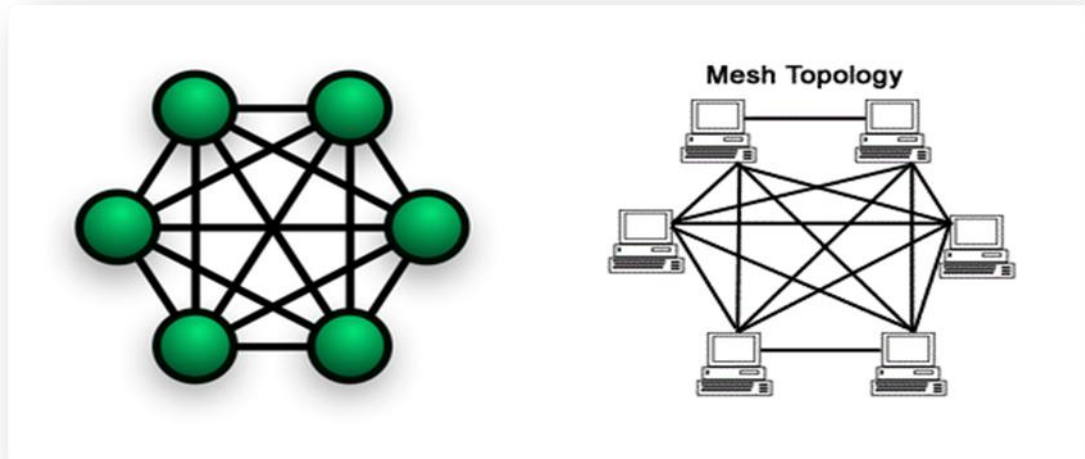


Εικόνα 12: Η τοπολογία Δακτυλίου (Ring topology) [45].

Σοβαρό μειονέκτημα της συγκεκριμένης τοπολογίας, είναι πως μια αποτυχία σε έναν κόμβο «χαλάει» το βρόγχο επανάληψης (loop) και το δίκτυο καταρρέει.

2.5.2.5 Τοπολογία Πλέγματος (Mesh)

Στην τοπολογία Πλέγματος (Mesh topology), όλοι οι κόμβοι μπορούν να συνδέονται και να ανταλλάζουν δεδομένα μεταξύ τους. Με βάση αυτό, κάθε κόμβος μπορεί να συμπεριφέρεται και ως δρομολογητής (router) και ως εξυπηρετητής (host). Η ικανότητα των πολλαπλών διαδρομών της συγκεκριμένης τοπολογίας, δίνει τη δυνατότητα σε κάθε μήνυμα, να μπορεί να ακολουθήσει οποιαδήποτε διαδρομή και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ένα δίκτυο πλέγματος, στο οποίο κάθε κόμβος συνδέεται με κάθε άλλον, ονομάζεται πλήρες δίκτυο πλέγματος (full mesh). Όμως, υπάρχουν και mesh δίκτυα, στα οποία οι κόμβοι συνδέονται μόνο έμμεσα με άλλους. Όπως διακρίνεται στην Εικόνα 13, υπάρχει και σε αυτήν τη τοπολογία ένας κόμβος συντονιστής (coordinator), ο οποίος συνδέεται με άλλες συσκευές, οι οποίες μπορεί να είναι είτε routers, είτε end devices και οι οποίες αποτελούν τα παιδιά κόμβους (child) του συντονιστή. Ένας router αντίστοιχα, μπορεί να συνδεθεί με τους άλλους κόμβους, οι οποίοι αποτελούν τα παιδιά του και με τους οποίους μπορεί να επικοινωνεί απευθείας όταν βρίσκονται εντός της εμβέλειας του router.

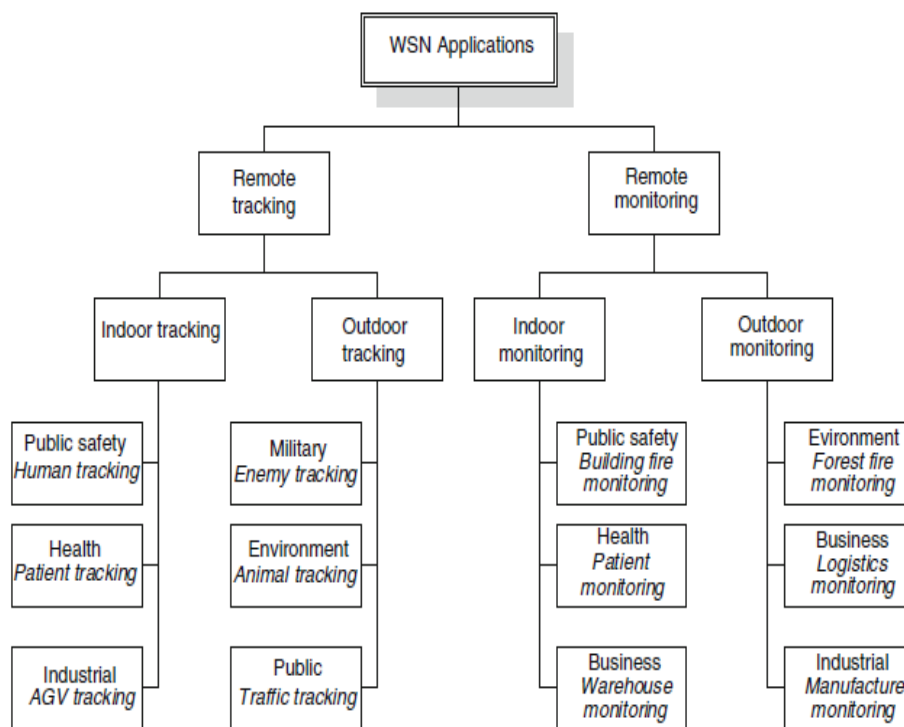


Εικόνα 13: Η τοπολογία Πλέγματος (Mesh topology) [46].

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της τοπολογίας πλέγματος, είναι η δυνατότητα των κόμβων να συνεχίζουν την επικοινωνία μεταξύ τους αλλά και να βρίσκουν νέες διαδρομές, σε περιπτώσεις που κάποιος κόμβος σταματήσει να λειτουργεί. Για τον λόγο αυτό λοιπόν, η τοπολογία πλέγματος χαρακτηρίζεται για την αξιοπιστία της. Επιπλέον, η συγκεκριμένη τοπολογία παρέχει στα ασύρματα δίκτυα τη δυνατότητα της επεκτασιμότητας.

2.5.3 Περιοχές εφαρμογής των WSNs

Τα WSNs στο άμεσο μέλλον με την εξάπλωση του Internet of Things [29], αναμένεται να παρουσιάσουν μεγάλη ζήτηση. Έτσι οι εφαρμογές WSN, θα ενταχθούν στην καθημερινότητα των πολιτών καθώς, θα επιλύουν προβλήματα σε διάφορους τομείς. Οι εφαρμογές WSN μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, την παρακολούθηση θέσης κινητού αντικειμένου (mobile object location tracking) και την απομακρυσμένη παρακολούθηση (remote monitoring). Και οι δύο κατηγορίες μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε εσωτερικές και εξωτερικές εφαρμογές. Παρακάτω η Εικόνα 14, παρουσιάζει μια ταξινόμηση κάποιων πιθανών εφαρμογών των WSNs.



Εικόνα 14: Επισκόπηση εφαρμογών WSN [29].

Οι εφαρμογές WSN παρακολούθησης θέσης κινητού αντικειμένου, χρειάζονται ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο των αποτελεσμάτων παρακολούθησης, ενώ οι εφαρμογές απομακρυσμένης παρακολούθησης των WSNs, μετρούν τις συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος περιοδικά και στέλνουν δεδομένα δειγματοληψίας ή προειδοποιήσεις κυρίως με τρεις τρόπους:

- Περιοδικά σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.
- Ως αποτέλεσμα ενός συγκεκριμένου συμβάντος, αυτό συμβαίνει συχνά όταν η τιμή μιας συγκεκριμένης μέτρησης φτάσει σε ένα προκαθορισμένο όριο.
- Ως απόκριση σε αίτημα από κάποιον χρήστη.

3 Μεθοδολογία

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται η μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, αναλύονται τα συστήματα έξυπνου χώρου στάθμευσης, με το μεγαλύτερο βάρος να δίνεται στην αρχιτεκτονική τους. Στη συνέχεια, αναλύονται οι παράμετροι μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί η συγκριτική αξιολόγηση των συγκεκριμένων συστημάτων και ακολούθως, ο πίνακας αξιολόγησης τους. Τέλος, παρατίθεται η επεξήγηση της αξιολόγησης καθώς και τα συμπεράσματα που προκύψανε από τη συνολική διαδικασία της μεθοδολογίας.

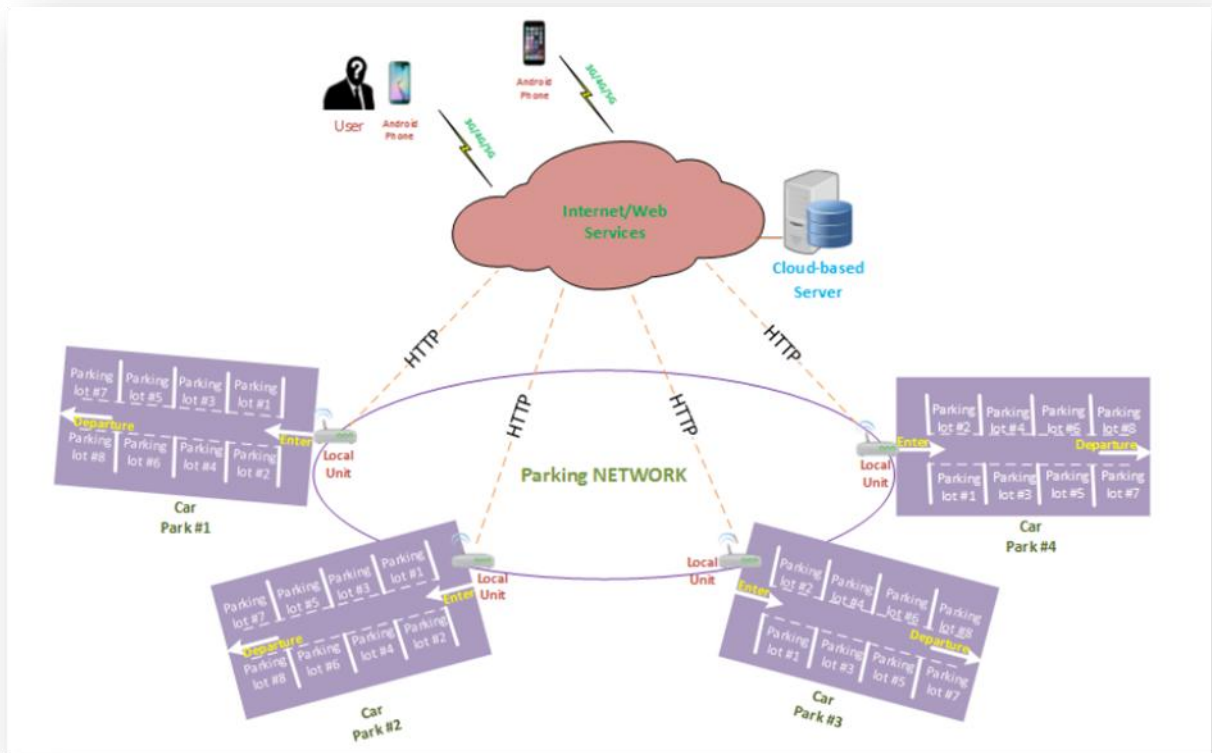
3.1 Ανάλυση Συστημάτων

A Cloud-Based Smart-Parking System Based on Internet-of-Things Technologies (System 1)

A. SYSTEM OVERVIEW

Το σύστημα προέρχεται από την ιδέα του IoT. Το σύστημα χρησιμοποιεί το WSN [31], που αποτελείται από την τεχνολογία RFID, για την παρακολούθηση των car parks. Ένας αναγνώστης RFID (RFID reader) μετρά το ποσοστό των ελεύθερων χώρων στάθμευσης σε κάθε car park. Η χρήση της τεχνολογίας RFID, διευκολύνει την υλοποίηση ενός συστήματος μεγάλης κλίμακας με χαμηλό κόστος. Το σύστημα παρέχει ένα μηχανισμό για την αποφυγή διαφορών-αμφισβητήσεων στο car park και συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της σπατάλης χρόνου στην αναζήτηση χώρου στάθμευσης. Μετά τη σύνδεση στο σύστημα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει έναν κατάλληλο χώρο στάθμευσης. Οι πληροφορίες σχετικά με την επιλεγμένη θέση στάθμευσης θα επιβεβαιώνονται στον χρήστη μέσω ειδοποίησης. Στη συνέχεια, το σύστημα ενημερώνει την κατάσταση του χώρου στάθμευσης σε «pending (σε εκκρεμότητα)» κατά τη διάρκεια της οποίας, το σύστημα δεν θα επιτρέψει σε άλλους χρήστες να κάνουν κράτηση στο συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης. Εάν μετά από μια ορισμένη περίοδο εκκρεμούς χρόνου, το σύστημα προσδιορίσει ότι κανένα αυτοκίνητο δεν είναι σταθμευμένο σε αυτό το χώρο, τότε αλλάζει την κατάσταση στο «available (διαθέσιμο)». Το σύστημα, θα ενημερώσει την κατάσταση από τον κόμβο WSN (κατάσταση χώρων στάθμευσης του car park) όταν ένα νέο αυτοκίνητο ενταχθεί στο σύστημα. Επομένως, η κατάσταση του συνολικού συστήματος στάθμευσης ενημερώνεται πάντα σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα θα

βοηθήσει στην απεικόνιση του χρόνου στάθμευσης για κάθε χώρο στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να υποστηρίξει την επιχείρηση με ωριαίες χρεώσεις στάθμευσης.



Εικόνα 15: Η αρχιτεκτονική του System 1 [31].

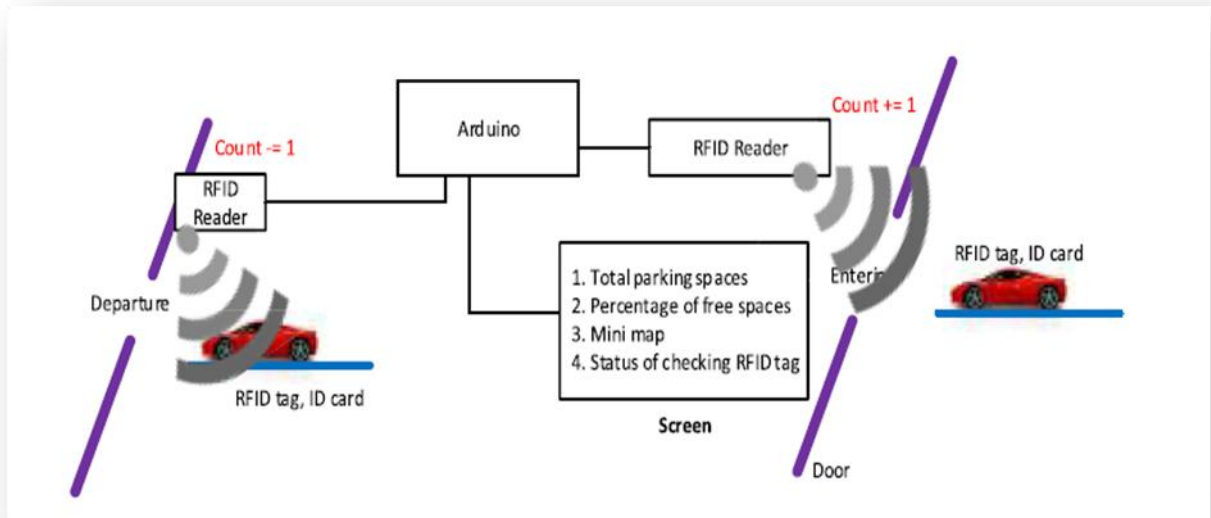
B. SYSTEM ARCHITECTURE

Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται το έξυπνο IoT σύστημα στάθμευσης.

Στοιχεία του συστήματος:

- **Cloud Based Server:** Πρόκειται για μια Web entity, που αποθηκεύει τις πληροφορίες πόρων (στο παράδειγμα μας, resources => χώροι στάθμευσης) που παρέχονται από τοπικές μονάδες (local units), που βρίσκονται σε κάθε car park. Το σύστημα επιτρέπει στον οδηγό να αναζητά και να βρίσκει πληροφορίες σχετικά με τους χώρους στάθμευσης από κάθε car park, χωρίς να χρειάζεται να

έχει απευθείας πρόσβαση στον local server node, με απευθείας πρόσβαση στον cloud-based server.



Εικόνα 16: Η Τοπική Μονάδα του System 1 [31].

- **Local Unit (Τοπική μονάδα):** Αυτή η μονάδα βρίσκεται σε κάθε car park και αποθηκεύει τις πληροφορίες για κάθε χώρο στάθμευσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16. Η τοπική μονάδα περιλαμβάνει τα εξής:

Control Unit (Μονάδα Ελέγχου): Αυτή είναι μια μονάδα Arduino, η οποία είναι συνδεδεμένη με συσκευή RFID reader. Ο card reader πιστοποιεί την αυθεντικότητα των πληροφοριών του χρήστη και στη συνέχεια εμφανίζει αυτές τις πληροφορίες στην οθόνη. Εάν οι πληροφορίες της ετικέτας RFID ή της κάρτας είναι σωστές, η μονάδα Arduino θα ελέγξει το άνοιγμα της πόρτας για την είσοδο του οχήματος. Η μονάδα Arduino συνδέεται με τον cloud server μέσω μιας σύνδεσης στο Internet, για τη μεταφορά δεδομένων από το τοπικό car park, στην βάση δεδομένων του cloud server.

Οθόνη: Εμφανίζονται πληροφορίες σχετικά με την χωρητικότητα του τοπικού car park, το συνολικό τρέχον ποσοστό ελεύθερων χώρων

στάθμευσης, την κατάσταση του ελέγχου των ετικετών RFID, την κάρτα χρήστη κατά την είσοδό του και ένα μίνι χάρτη του τοπικού car park.

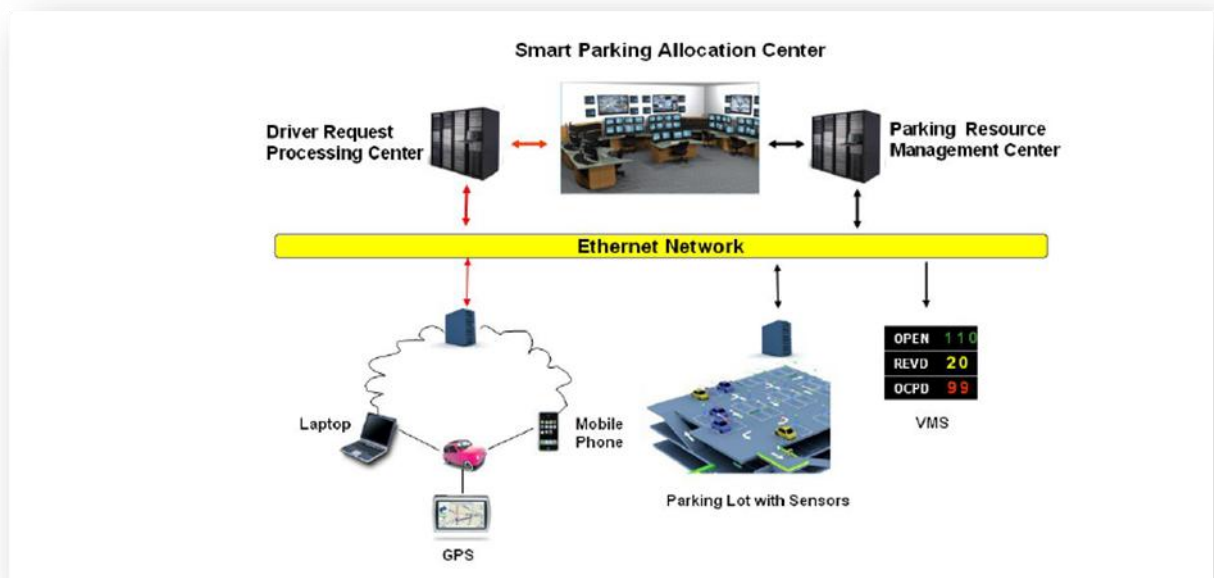
RFID Tag or ID Card: Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την πιστοποίηση της αυθεντικότητας των πληροφοριών του χρήστη και για τον υπολογισμό του ποσοστού των συνολικών ελεύθερων θέσεων στάθμευσης σε κάθε car park.

- **Software Client:** Πρόκειται για ένα σύστημα λογισμικού εφαρμογών (application software system). Εκτελείται σε λειτουργικό σύστημα Android, επομένως οι χρήστες θα το εγκαταστήσουν στα smartphones τους και θα το χρησιμοποιήσουν για να κάνουν κράτηση θέσεων στάθμευσης. Οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο σύστημα μέσω συνδέσεων κινητής τηλεφωνίας 3G/4G.

A New "Smart Parking" System Based on Optimal Resource Allocation and Reservations (System 2)

SYSTEM FRAMEWORK

Το συγκεκριμένο σύστημα «έξυπνης στάθμευσης», υιοθετεί τη βασική δομή [32], των συστημάτων PGI. Επιπλέον, ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει ένα Κέντρο Επεξεργασίας Αιτημάτων των Οδηγών (Driver Request Processing Center - DRPC) και ένα Κέντρο Κατανομής Έξυπνου Χώρου Στάθμευσης (Smart Parking Allocation Center - SPAC). Η Εικόνα 17, απεικονίζει αυτό το framework. Το Κέντρο Διαχείρισης Πόρων Στάθμευσης (Parking Resource Management Center - PRMC) συλλέγει και ενημερώνει όλες τις πληροφορίες στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο και τις διαδίδει μέσω VMS ή Internet. Το DRPC συγκεντρώνει αιτήματα στάθμευσης οδηγών και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (δηλ. θέση αυτοκινήτου), καταγράφει την κατάσταση κατανομής του οδηγού και αποστέλλει πίσω τα αποτελέσματα ταξινόμησης στους οδηγούς. Με βάση τα αιτήματα των οδηγών και των καταστάσεων πόρων στάθμευσης, το Κέντρο Κατανομής Έξυπνου Χώρου Στάθμευσης λαμβάνει αποφάσεις τοποθέτησης και κατανέμει καθώς και κάνει κράτηση θέσεις στάθμευσης για τους οδηγούς.



Εικόνα 17: Επισκόπηση του Smart Parking Framework [32].

Η βασική διαδικασία κατανομής περιγράφεται ως εξής:

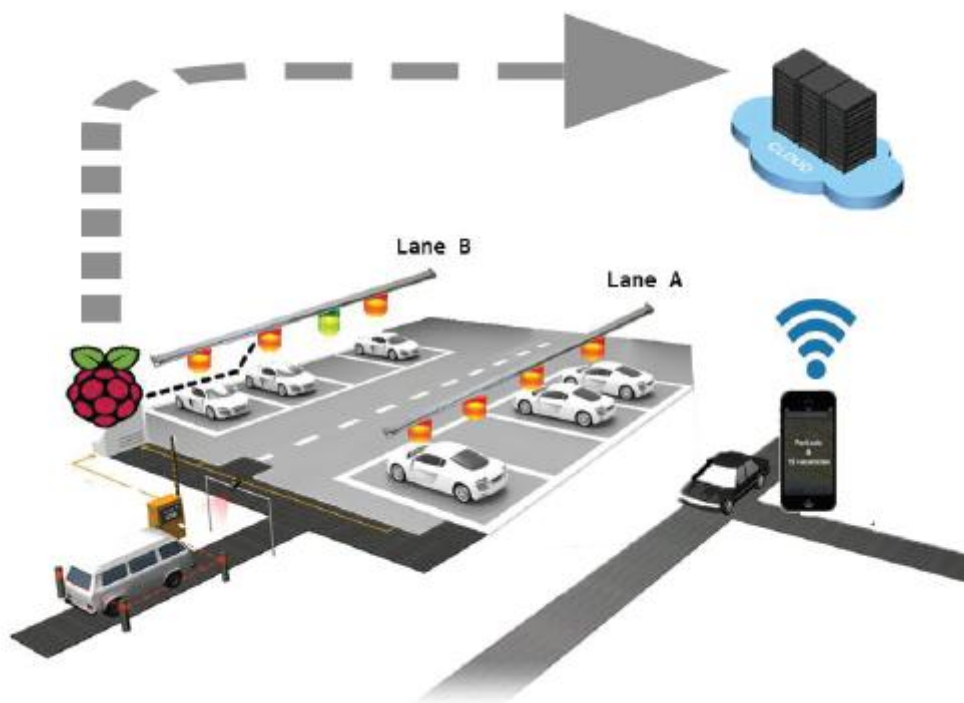
Οι οδηγοί που αναζητούν θέσεις στάθμευσης στέλνουν αιτήματα στο DRPC. Ένα αίτημα συνοδεύεται από δύο απαιτήσεις, έναν περιορισμό (άνω όριο) για το κόστος στάθμευσης και έναν περιορισμό (άνω όριο) στην απόσταση με τα πόδια μεταξύ ενός σημείου στάθμευσης και του πραγματικού προορισμού του οδηγού. Περιέχει επίσης τις βασικές πληροφορίες του οδηγού, όπως τον αριθμό της άδειας, την τρέχουσα θέση, το μέγεθος του αυτοκινήτου κλπ. Το SPAC συγκεντρώνει όλα τα αιτήματα των οδηγών στο DRPC, για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και κάνει μια συνολική κατανομή στα σημεία λήψης αποφάσεων εγκαίρως, επιδιώκοντας τη βελτιστοποίηση ενός συνδυασμού στόχων που αφορούν ειδικά τους οδηγούς και το σύστημα. Ένας καθορισμένος χώρος στάθμευσης στέλνεται πίσω σε κάθε οδηγό, μέσω του DRPC. Αν ένας οδηγός είναι ικανοποιημένος με τον προσδιορισμένο χώρο στάθμευσης, έχει την επιλογή να κάνει κράτηση αυτό το σημείο. Μόλις πραγματοποιηθεί μια κράτηση, ο οδηγός εξακολουθεί να έχει ευκαιρίες να αποκτήσει καλύτερη θέση στάθμευσης (με εγγύηση ότι δεν μπορεί ποτέ να είναι χειρότερη από την τρέχουσα) πριν να φτάσει στην τρέχουσα καθορισμένη θέση. Το PRMC ενημερώνει στη συνέχεια το αντίστοιχο σημείο στάθμευσης από vacant σε reserved και παρέχει την εγγύηση ότι οι άλλοι οδηγοί, δεν έχουν άδεια να κάνουν κράτηση σε εκείνο το σημείο. Εάν ένας οδηγός δεν είναι ικανοποιημένος με την καθορισμένη θέση (είτε λόγω περιορισμένων πόρων είτε λόγω υπερβολικά περιοριστικών απαιτήσεων στάθμευσης) ή εάν δεν την αποδεχθεί για οποιονδήποτε άλλο λόγο, πρέπει να περιμένει μέχρι την επόμενη απόφαση. Κατά τη διάρκεια των μεσοδιαστημάτων μεταξύ των αποφάσεων κατανομής που εκδίδει το κέντρο, οι οδηγοί που δεν έχουν καθορισμένη θέση στάθμευσης, έχουν την ευκαιρία να αλλάξουν τις απαιτήσεις κόστους ή τις απαιτήσεις για απόσταση με τα πόδια, ενδεχομένως να αυξήσουν την πιθανότητα να διατεθούν, αν το σύστημα στάθμευσης χρησιμοποιείται πολύ (είναι φυσικά πιθανό να μην διατεθεί χώρος στάθμευσης σε έναν οδηγό). Η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος «έξυπνης στάθμευσης» βασίζεται σε τρεις βασικές απαιτήσεις. Πρώτον, το κέντρο κατανομής πρέπει να γνωρίζει την κατάσταση όλων των σημείων στάθμευσης, τη θέση όλων των αιτημάτων που εκδίδουν τα οχήματα και των καταστάσεων κυκλοφορίας. Όπως είναι ευρέως γνωστό, οι σημερινές τεχνολογίες ανίχνευσης καθιστούν εφικτή την παρακολούθηση σημείων στάθμευσης. Επιπλέον, η τεχνολογία GPS παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις εντοπισμού και ταχύτητας των οχημάτων. Η δεύτερη απαίτηση περιλαμβάνει αποτελεσματική ασύρματη επικοινωνία μεταξύ

οχημάτων και ενός κέντρου κατανομής (allocation center). Αυτό είναι επίσης εφικτό μέσω των υφιστάμενων ασύρματων δικτύων, που μπορεί να είναι ιδιόκτητα ή μέρος των παρόχων κινητής τηλεφωνίας. Τέλος, το κέντρο πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόσει μια κράτηση, που εγγυάται ένα συγκεκριμένο σημείο στάθμευσης, σε έναν οδηγό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ασύρματης τεχνολογίας που διασυνδέει ένα όχημα που κατέχει υλικό (hardware), που καθιστά ένα σημείο προσβάσιμο, μόνο στον οδηγό που το έχει κρατήσει. Παραδείγματα περιλαμβάνουν πύλες, «πτυσσόμενες μπάρες» και εμπόδια που αναδύονται από το σημείο στάθμευσης και αποσύρονται στο έδαφος κάτω από ένα σημείο στάθμευσης. Αυτά είναι ασύρματα ενεργοποιημένα από συσκευές επί των οχημάτων, παρόμοια με μηχανισμούς για τα ηλεκτρονικά συστήματα διοδίων. Ένα «ελαφρύτερο» σχήμα, είναι η χρήση ενός red/green light system, που τοποθετείται σε κάθε σημείο στάθμευσης, όπου το κόκκινο δείχνει ότι το σημείο είναι κρατημένο και μόνο το όχημα που του έχει εκχωρηθεί μπορεί να το αλλάξει πάλι σε πράσινο (ένα όχημα που είναι σταθμευμένο όταν το φως είναι κόκκινο του επιβάλλεται πρόστιμο).

IoT based Smart Parking System (System 3)

SYSTEM ARCHITECTURE

Η παρακάτω εικόνα δίνει μια συνοπτική όψη [33], του πλήρους συστήματος.



Εικόνα 18: Συνοπτική όψη του IoT based Smart Parking System [33].

Η Εικόνα 18, απεικονίζει μια περιοχή στάθμευσης όπου, το συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης αποτελεί μια υλοποίηση, μαζί με τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η επικοινωνία μεταξύ διαφόρων παραγόντων. Οι βασικοί παράγοντες που αποτελούν το σύστημα στάθμευσης είναι οι εξής:

1) Parking Sensors: Για το συγκεκριμένο SPS, έχουνε χρησιμοποιηθεί αισθητήρες όπως, υπέρυθροι, παθητικοί υπέρυθροι (PIR) και αισθητήρες υπερήχων. Η εργασία αυτών των αισθητήρων είναι η ίδια, δηλαδή η «αίσθηση» του χώρου στάθμευσης και η «διαπίστωση» τους αν, μια θέση στάθμευσης είναι κενή ή όχι. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιηθήκανε αισθητήρες υπερήχων για να ανιχνευθεί η παρουσία ενός αυτοκινήτου. Οι αισθητήρες υπερήχων είναι ασύρματα συνδεδεμένοι με το Raspberry Pi χρησιμοποιώντας το τσιπ ESP8266. Ένα ESP8266 WiFi chip, αποτελείται από ένα

αυτόνομο SOC(System On Chip) με ενσωματωμένη στοίβα πρωτοκόλλων TCP / IP, που επιτρέπει σε κάθε μικροελεγκτή να έχει πρόσβαση σε ένα δίκτυο WiFi. Οι αισθητήρες συνδέονται με τροφοδοσία 5V είτε από το Raspberry Pi, είτε από εξωτερική πηγή. Η εξωτερική πηγή είναι προτιμότερη.

2) Processing Unit: Αποτελείται από το Raspberry Pi, το οποίο είναι processor on chip. Η μονάδα επεξεργασίας ενεργεί ως ένας ενδιάμεσος μεταξύ των αισθητήρων και του cloud. Όλοι οι αισθητήρες συνδέονται ασύρματα με τη μονάδα επεξεργασίας. Μία μεμονωμένη μονάδα Raspberry Pi περιλαμβάνει 26 GPIO (general-purpose input/output) pins, δηλαδή 26 διαφορετικοί αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν σε αυτήν. Ωστόσο, μπορούμε να αυξήσουμε αυτόν τον αριθμό προσθέτοντας σε αυτόν ένα πολυπλέκτη (MUX). Είναι σημαντικό ότι, η βάση Raspberry Pi και οι αισθητήρες πρέπει να συνδέονται για να μεταφέρουν τα δεδομένα χρησιμοποιώντας τα GPIO pins. Υπάρχει ένα Python script, που τρέχει στο τσιπ που ελέγχει την κατάσταση των διαφόρων GPIO pins και ενημερώνει αυτές τις πληροφορίες στο cloud. Τα δεδομένα που συλλέγονται από διάφορους αισθητήρες αποστέλλονται στο Raspberry Pi, μέσω του esp8266 chip. Το Raspberry Pi στη συνέχεια, μεταδίδει αυτά τα δεδομένα στον IBM MQTT Server μέσω πρωτοκόλλου MQTT, μέσω ενός καναλιού. Το πρωτόκολλο μεταφοράς MQTT (Message Queue Telemetry Transport) είναι ένα πρωτόκολλο publish-subscribe based «light weight» messaging, που χρησιμοποιείται πάνω από το πρωτόκολλο TCP / IP. Έχει σχεδιαστεί για να δημιουργεί συνδέσεις σε όλες τις απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου, πρέπει να μεταφερθεί περιορισμένη ποσότητα δεδομένων ή σε περιπτώσεις χαμηλής διαθεσιμότητας bandwidth.

3) Mobile Application: Η εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα λειτουργεί σαν μια διεπαφή (interface), για την αλληλεπίδραση των τελικών χρηστών με το σύστημα. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε Apache Cordova και Angular Js framework, χρησιμοποιώντας τη Javascript ως γλώσσα προγραμματισμού. Ο σκοπός της χρήσης του Apache Cordova είναι η δημιουργία εφαρμογών που μπορούν να λειτουργήσουν τόσο στην πλατφόρμα Android όσο και σε αυτή του iOS, με τον ίδιο πηγαίο κώδικα. Η εφαρμογή συνδέεται με τον IBM MQTT server, μέσω ασφαλούς καναλιού και ελέγχου ταυτότητας 2 παραγόντων. Ο σκοπός αυτής της εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα, είναι να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα χώρων στάθμευσης και να επιτρέπει στον τελικό χρήστη να κάνει κράτηση μιας θέσης στάθμευσης αντίστοιχα. Η μεταφορά

δεδομένων πραγματοποιείται σε μορφή JSON μεταξύ του IBM MQTT server και της εφαρμογής. Προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή επικοινωνία τόσο του Raspberry Pi όσο και της εφαρμογής, πρέπει να εγγραφούν σε συγκεκριμένο κανάλι στον IBM MQTT server.

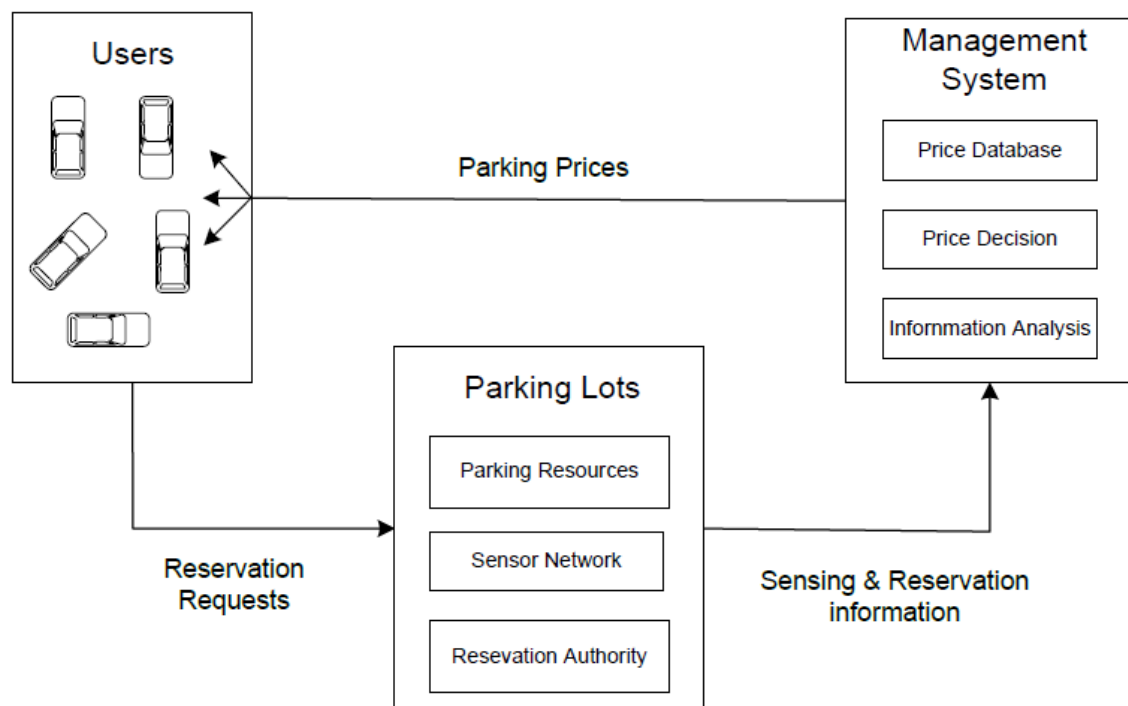
4) The Cloud: Ο IBM MQTT server φιλοξενείται στο Cloud. Το Cloud λειτουργεί ως βάση δεδομένων για την αποθήκευση όλων των εγγραφών, που σχετίζονται με τους χώρους στάθμευσης και των τελικών χρηστών που έχουν πρόσβαση στο σύστημα. Το Cloud «κρατάει» ένα αρχείο για κάθε χρήστη που είναι συνδεδεμένος με το σύστημα και διατηρεί πληροφορίες όπως, η ώρα που σταθμεύεται το αυτοκίνητο, η διάρκεια στάθμευσης για ένα αυτοκίνητο, το ποσό που πληρώνει ο χρήστης και ο τρόπος πληρωμής. Αυτό συμβαίνει λόγω της ευέλικτης φύσης του Cloud, που επιτρέπει στο σύστημα να προσθέσει οποιονδήποτε αριθμό χρηστών οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Ακόμη, πραγματοποιείται συνεχής δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στο Cloud, προκειμένου να διασφαλιστεί η εύκολη και γρήγορη ανάκτηση δεδομένων σε περίπτωση οποιασδήποτε βλάβης του συστήματος.

Υποσημείωση: Εξετάζοντας προσεκτικά την αρχιτεκτονική του συστήματος, φαίνεται ότι οι άδαιοι χώροι στάθμευσης υποδεικνύονται από το κόκκινο φως στη λωρίδα A ενώ, στη λωρίδα B από το πράσινο φως. Αυτό συμβαίνει διότι, στην περίπτωση της λωρίδας A αν και δεν υπάρχει αυτοκίνητο που σταθμεύει στη συγκεκριμένη θέση παρόλα αυτά, εξακολουθεί να υπάρχει ένα κόκκινο φως επειδή, για τη θέση αυτή έχει γίνει ήδη κράτηση από κάποιο χρήστη. Από την άλλη πλευρά, η θέση στάθμευσης στη Λωρίδα B δείχνει πράσινο φως επειδή, δεν έχει πραγματοποιηθεί κράτηση ούτε υπάρχει σταθμευμένο αυτοκίνητο σε αυτήν.

A Reservation-based Smart Parking System (System 4)

SYSTEM ARCHITECTURE AND DESIGN

Η αρχιτεκτονική και η σχεδίαση του συγκεκριμένου reservation-based smart parking system, το οποίο υλοποιεί μια υπηρεσία κρατήσεων χώρων στάθμευσης [34], για τη μείωση του όγκου της κίνησης που προκαλείται από το parking cruise (δηλαδή, στην περίπτωση που κάποιος οδηγός περιστρέφεται συνεχώς γύρω από μια συγκεκριμένη περιοχή προσπαθώντας να εντοπίσει κενό χώρο στάθμευσης) παρουσιάζεται παρακάτω:



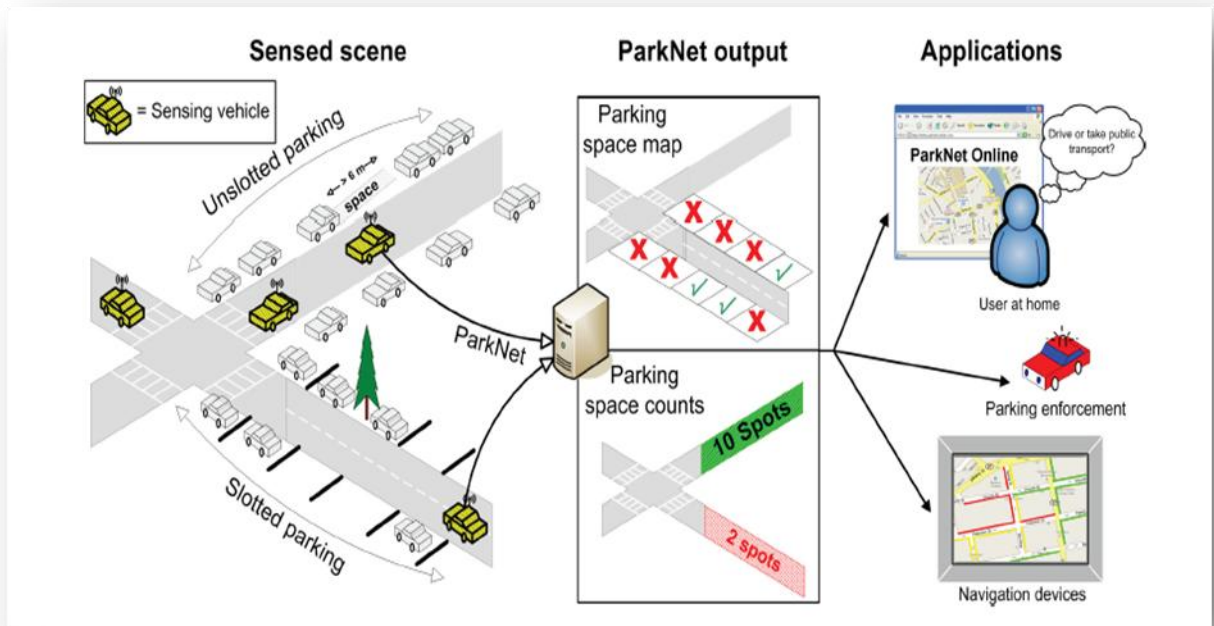
Εικόνα 19: Η αρχιτεκτονική του συστήματος RSPS [34].

Στην Εικόνα 19, παρουσιάζονται τρία στοιχεία στο μοντέλο έξυπνης στάθμευσης, συμπεριλαμβανομένων των χώρων στάθμευσης, των χρηστών και του συστήματος έξυπνης στάθμευσης. Το σύστημα διαχείρισης καθορίζει τις τιμές στάθμευσης και μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες διαθεσιμότητας στάθμευσης στους χρήστες (και στους οδηγούς). Κατά τη λήψη των πληροφοριών στάθμευσης, ο χρήστης επιλέγει ένα χώρο στάθμευσης που επιθυμεί και κάνει κράτηση το χώρο στάθμευσης. Κατά

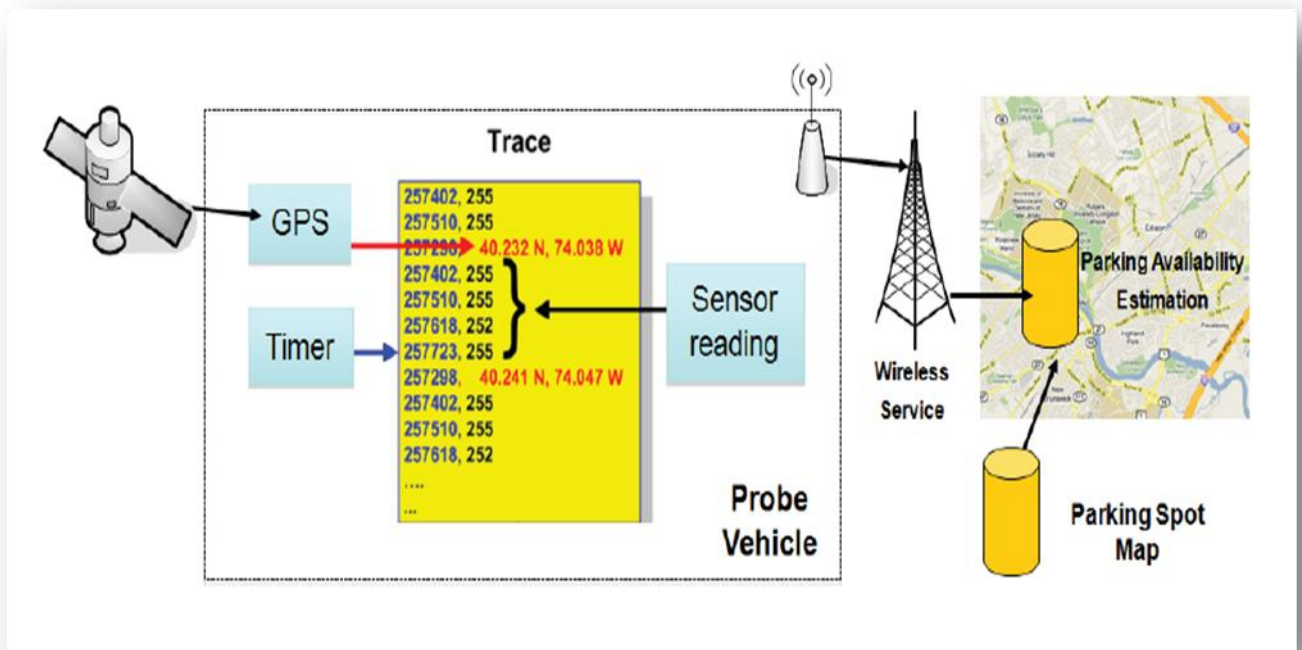
συνέπεια, η κατάσταση των πόρων στάθμευσης μεταβάλλεται από τις αποφάσεις στάθμευσης των χρηστών. Η περιοχή στάθμευσης (parking lot) αποτελείται από μια ομάδα χώρων στάθμευσης. Ο χώρος στάθμευσης στο δρόμο (on-street parking) μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως εικονική περιοχή στάθμευσης. Η κατάσταση μιας περιοχής στάθμευσης είναι ο αριθμός των κατειλημμένων χώρων έναντι των συνολικών χώρων. Κάθε χώρος στάθμευσης έχει πρόσβαση στο Internet για να επικοινωνεί με το σύστημα διαχείρισης και τους χρήστες και να μοιράζεται πληροφορίες στάθμευσης με άλλους χώρους στάθμευσης. Σε κάθε χώρο στάθμευσης, η αρχή κρατήσεων χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση της αυθεντικότητας της ταυτότητας του χρήστη και του αιτήματος κράτησης. Στην περίπτωση αυτή, η αρχή κρατήσεων στο χώρο στάθμευσης επικοινωνεί με τον συγκεκριμένο χρήστη ξεχωριστά. Μόλις επιβεβαιωθεί η εντολή κράτησης, η αρχή κρατήσεων ενημερώνει τις πληροφορίες κράτησης, για να κρατήσει τον σχετικό χώρο για τον χρήστη. Το σύστημα αισθητήρων που αναπτύσσεται στο χώρο στάθμευσης, είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της κατάστασης των χώρων στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο και παρέχει τις απευθείας συγκεντρωτικές πληροφορίες ανίχνευσης (τον αριθμό των διαθέσιμων χώρων ή το ποσοστό πληρότητας) στο έξυπνο σύστημα στάθμευσης. Οι πληροφορίες ανίχνευσης ενημερώνονται κατόπιν αιτήματος. Κατά την ανάκτηση των πληροφοριών στάθμευσης, το σύστημα ενημερώνει την κατάσταση του χώρου στάθμευσης. Με βάση την κατάσταση των χώρων στάθμευσης, το σύστημα (1) αναλύει την κατάστασή πληρότητας τους και το επίπεδο συμφόρησης, (2) καθορίζει τις τιμές στάθμευσης σύμφωνα με το σχέδιο τιμολόγησης τους, (3) μεταδίδει περιοδικά τις τιμές στάθμευσης σε όλους τους χρήστες και (4) αποθηκεύει τις πληροφορίες στάθμευσης και τις τιμές για περαιτέρω ανάλυση. Το σύστημα λειτουργεί ως κεντρικό όργανο λήψης αποφάσεων σε μια planned economy. Συνθέτει όλες τις αποφάσεις τιμολόγησης σχετικά με την κατάσταση των χώρων στάθμευσης και τις απαιτήσεις των χρηστών. Το σύστημα αυτό, είναι ένα σύστημα κλειστού βρόγχου (closed-loop system) που ρυθμίζει δυναμικά την τιμή στάθμευσης, εξισορροπεί τα οφέλη μεταξύ χρηστών και παρόχων υπηρεσιών και μειώνει την κίνηση που προκαλείται από την αναζήτηση στάθμευσης. Τοποθετώντας την αρχή κρατήσεων σε μεμονωμένους χώρους στάθμευσης, απλουστεύονται πολλά ζητήματα σχετικά με την υλοποίηση, συμπεριλαμβανομένων των γενικών εξόδων-δαπανών επικοινωνίας, του συγχρονισμού των κρατήσεων και της εξισορρόπησης-ισοκατανομής φορτίου. Δεδομένου ότι, κάθε χρήστης πρέπει να επικοινωνήσει μόνο με την θέση στάθμευσης που επιθυμεί για να κάνει την κράτησή

του, αντί για το κεντρικό σύστημα, τα γενικά έξοδα-δαπάνες επικοινωνίας της κράτησης, μειώνονται σημαντικά. Επίσης, εφόσον κάθε χώρος στάθμευσης διαχειρίζεται τις δικές του πληροφορίες κράτησης, αυτό κάνει τα αιτήματα κράτησης από χρήστες εύκολα να συγχρονιστούν, σε σύγκριση με τον συγχρονισμό κράτησης στο σύστημα.

ParkNet: Drive-by Sensing of Road-Side Parking Statistics (System 5)



Εικόνα 20: Ένα διάγραμμα που απεικονίζει τα διάφορα σενάρια και τα συμβάντα που εμπλέκονται στην ανίχνευση χώρου στάθμευσης με χρήση κινητών αισθητήρων [35].



Εικόνα 21: Σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει τη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος ParkNet [35].

SYSTEM ARCHITECTURE

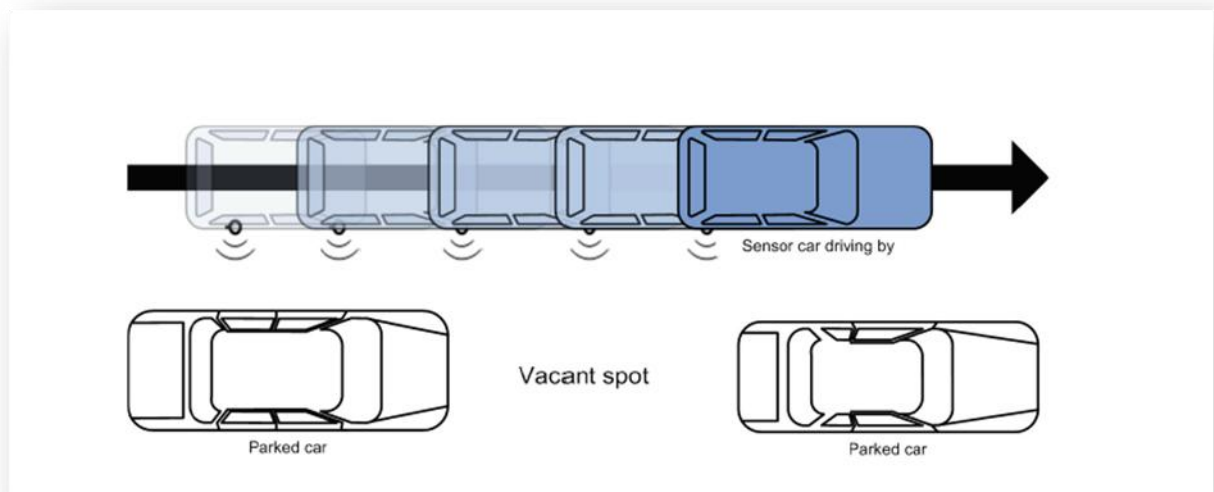
Το σύστημα έξυπνης στάθμευσης ParkNet, το οποίο αναλύεται στις Εικόνες 20 και 21, είναι ένα κινητό σύστημα (πλήρως αντίθετο με τα σταθερά συστήματα παρακολούθησης) που περιλαμβάνει οχήματα που συλλέγουν πληροφορίες κατά την οδήγηση [35], για την πληρότητα των χώρων στάθμευσης όσον αφορά, το road-side parking, με σκοπό το χαμηλότερο κόστος. Στο road-side parking, υπάρχει διάκριση μεταξύ περιοχών, με βάση την οποία, υπάρχουν περιοχές όπου τα οχήματα είναι διατεταγμένα σε θέσεις στάθμευσης με οριοθετημένες θέσεις στάθμευσης (συνχά διαχωρισμένες από γραμμές που σημειώνονται στο δρόμο), οι οποίες αναφέρονται ως slotted areas και περιοχές χωρίς οριοθετημένες θέσεις στάθμευσης που καλούνται unslotted areas. Το συγκεκριμένο δίκτυο αισθητήρων, αξιοποιεί την κινητικότητα των οχημάτων που σε γενικές γραμμές «χτενίζουν» μια πόλη, όπως taxicabs και άλλα κυβερνητικά οχήματα (π.χ. οχήματα επιβολής στάθμευσης, αστυνομικά αυτοκίνητα κ.λ.π.) για τη μείωση των απαιτούμενων αισθητήρων. Η εξοικονόμηση κόστους προέρχεται από το γεγονός ότι, η κατάσταση των χώρων στάθμευσης σε μια αστική περιοχή δεν αλλάζει πολύ γρήγορα με την πάροδο του χρόνου και επομένως η συνεχής αίσθηση μέσω σταθερών αισθητήρων είναι περιττή, εφόσον, ο απαιτούμενος ρυθμός δειγματοληψίας ανά σημείο στάθμευσης είναι σχετικά χαμηλός. Κάθε όχημα ParkNet, διαθέτει μια πλατφόρμα αίσθησης, η οποία αποτελείται από έναν αισθητήρα υπερήχων χαμηλού κόστους που αναφέρει απλώς την απόσταση από το πλησιέστερο εμπόδιο και ένα δέκτη GPS που σημειώνει την αντίστοιχη θέση, με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό της πληρότητας των χώρων στάθμευσης. Τα οχήματα αναφέρουν τις μετρήσεις των αισθητήρων τους (sensor readings), σε κεντρικό server εκτίμησης στάθμευσης. Αυτός ο server, συνδυάζει δύο τύπους πληροφοριών στάθμευσης:

1) Space Count (Καταμέτρηση χώρου): Ο αριθμός των διαθέσιμων χώρων στάθμευσης σε ένα δεδομένο τμήμα του δρόμου, ο οποίος είναι απλώς ο συνολικός αριθμός των σημειωμένων(marked) σημείων στάθμευσης, μείον των κατειλημμένων χώρων στάθμευσης.

2) Occupancy Map (Χάρτης πληρότητας): Χάρτης που δείχνει κάθε θέση στάθμευσης ως κατειλημμένη ή κενή. Οι χάρτες πληρότητας είναι εξαιρετικά πολύτιμοι για την επιβολή στάθμευσης (π.χ. ένα όχημα επιβολής στάθμευσης με αισθητήρα και συνδεσιμότητα σε μια βάση δεδομένων που παρακολουθεί τις

θέσεις στάθμευσης, για τις οποίες έχουν πραγματοποιηθεί οι πληρωμές, θα μπορούσε να καθορίσει εάν υπάρχει ένα αυτοκίνητο σταθμευμένο σε μια θέση στάθμευσης που δεν έχει πληρωθεί ή του οποίου ο χρόνος έχει λήξει).

Τα οχήματα μπορούν να αναφέρουν τα δεδομένα τους (sensor readings), μέσω κυψελοειδούς ανερχόμενης ζεύξης (cellular uplink), αλλά είναι επίσης πιθανή και η καιροσκοπική χρήση των συνδέσεων WiFi. Οι πληροφορίες διαθεσιμότητας χώρου στάθμευσης, μπορούν στη συνέχεια να διανεμηθούν σε συστήματα πλοήγησης ή εναλλακτικά μέσω του Διαδικτύου, έτσι ώστε να παρέχονται αυτές οι πληροφορίες σε clients που επερωτούν(query) το σύστημα, κατά την αναζήτηση χώρου στάθμευσης.



Εικόνα 22: Ο αισθητήρας υπερήχων (ultrasonic sensor) τοποθετημένος στο πλάι ενός αυτοκινήτου ανιχνεύει σταθμευμένα αυτοκίνητα και κενές θέσεις [35].

Παρατηρήσεις: Το ParkNet μπορεί να θεωρηθεί ότι απαιτεί σημαντική χωροχρονική ακρίβεια, καθώς η χωρητικότητα των χώρων στάθμευσης μπορεί να ποικίλει με την πάροδο του χρόνου και επιπλέον, ορισμένες εφαρμογές στο ParkNet ενδέχεται να απαιτούν σημαντική ακρίβεια θέσης, προκειμένου να συνδέονται τα αυτοκίνητα σε συγκεκριμένες θέσεις στάθμευσης. Στο συγκεκριμένο σύστημα, έχουν ξεπεραστεί οι βασικές προκλήσεις της ακρίβειας της θέσης που σχετίζονται με τις εφαρμογές παρακολούθησης στάθμευσης, μέσω της προσεκτικής ενσωμάτωσης μετρήσεων υπερήχων με GPS readings, που διορθώνονται μέσω της αποτύπωσης περιβαλλοντικών

δεδομένων (environmental fingerprinting). Χρησιμοποιήθηκε ένα Garmin 18-5Hz GPS με δέκτη 12 καναλιών που παρέχει 5 νέες GPS readings(αναγνώσεις) ανά δευτερόλεπτο και ένα real-time WAAS correction of errors (it's a system of satellites and ground stations that provides GPS signal corrections, giving us even better position accuracy). Τόσο ο αισθητήρας υπερήχων, ο οποίος διακρίνεται στην Εικόνα 22, όσο και το GPS παρέχουν δεδομένα σε σειριακή μορφή, τα οποία είναι προσβάσιμα μέσω μιας σειριακής θύρας USB σε έναν υπολογιστή. Τέλος, η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου κινητού συστήματος, βασίζεται σε 500 μίλια δεδομένων στάθμευσης που συλλέχθηκαν σε ένα χρονικό διάστημα 2 μηνών όπου διαπιστώθηκε ότι, οι μετρήσεις θέσεων στάθμευσης είναι 95% ακριβείς και οι χάρτες πληρότητας μπορούν να επιτύχουν ακρίβεια άνω του 90%.

3.2 Ανάλυση Παραμέτρων

1) Server Response Time: Ο χρόνος απόκρισης του διακομιστή, είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένας διακομιστής ιστού (web server) για να ανταποκριθεί σε ένα αίτημα από ένα πρόγραμμα περιήγησης (browser).

2) Complexity (Time): Η πολυπλοκότητα όσον αφορά το χρόνο. Το σύστημα στάθμευσης στοχεύει στην μείωση του κόστους σε χρόνο για κάθε όχημα, κατά την εύρεση ενός ελεύθερου χώρου στάθμευσης.

3) GUI - User Friendly: Για τους χρήστες που είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν το σύστημα και συγκεκριμένα κατά την αλληλεπίδραση του χρήστη με την συσκευή, εξετάζεται αν και πόσο φιλικό είναι το σύστημα προς εκείνον.

4) Security Mechanisms - Privacy: Εφαρμογή μηχανισμών ασφαλείας και διαφύλαξη του απορρήτου προσωπικών δεδομένων των χρηστών. Εξετάζεται αν και σε ποιο βαθμό, το σύστημα στάθμευσης έχει ως στόχο, την προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας και την ασφάλεια των πληροφοριών.

5) State of The Art Technologies: Οι τεχνολογίες που διαθέτει ένα σύστημα έξυπνης στάθμευσης. Εξετάζεται αν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί και σε ποιο βαθμό είναι σύγχρονες.

6) Device/Operating System Compatibility: Η συμβατότητα που παρέχεται από το λογισμικό του συστήματος στάθμευσης σε συσκευές/λειτουργικά συστήματα έτσι ώστε, να προτείνει μέσω αυτών, θέσεις στάθμευσης σε χρήστες που οδηγούν στο δρόμο και αναζητούν χώρο στάθμευσης (π.χ. μέσω συσκευής πλοήγησης ή smartphone με λειτουργικό σύστημα Android ή iOS).

7) Installation Cost: Το κόστος εγκατάστασης, το οποίο σχετίζεται με το συνολικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος στάθμευσης και όχι μόνο με το κόστος εγκατάστασης των αισθητήρων αλλά ούτε και με το building cost ή το operational cost ή το maintenance cost.

8) GPS Accuracy: Η ακρίβεια GPS, όπου το εκάστοτε σύστημα απαιτεί σημαντική χωροχρονική ακρίβεια, καθώς η χωρητικότητα των χώρων στάθμευσης μπορεί να ποικίλει με την πάροδο του χρόνου και επιπλέον, κάποια συστήματα ενδέχεται να απαιτούν σημαντική ακρίβεια θέσης, προκειμένου να συνδέονται τα οχήματα σε συγκεκριμένες θέσεις στάθμευσης.

9) Scale of Parking System: Η κλίμακα (το εύρος) ενός συστήματος στάθμευσης, το οποίο σχετίζεται με τον αριθμό των οχημάτων που μπορεί να φιλοξενήσει.

10) Number of Online Users (Server): Ο αριθμός των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι την ίδια στιγμή στον server του συστήματος στάθμευσης.

3.3 Σύστημα Αξιολόγησης

Στον Πίνακα 2 πιο κάτω, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της ερευνητικής μελέτης των πέντε συστημάτων «έξυπνου χώρου στάθμευσης», με βάση τις παραμέτρους που αναλύσαμε. Το σύστημα αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η κλίμακα βαθμολόγησης 1 έως 5, όπου 1: ανεπαρκής-ελλιπής κάλυψη, 2: χαμηλή κάλυψη, 3: μέτρια-σχετικά καλή κάλυψη, 4: πολύ καλή κάλυψη, 5: εξαιρετική κάλυψη. Σημειώνεται πως η βαθμολόγηση των συστημάτων είναι υποκειμενική, αλλά όχι αυθαίρετη καθώς, βασίζεται σε σχολαστική θεωρητική μελέτη και εις βάθος ανάλυση των αντίστοιχων ερευνητικών papers παρουσιάσής τους.

3.4 Συγκριτική Αξιολόγηση

Systems Parameters	<i>Thanh Nam Pham et al. Model[1]</i>	<i>Yanfeng Geng et al.Model[2]</i>	<i>Abhirup Khanna et al. Model[3]</i>	<i>RSPS[4]</i>	<i>ParkNet[5]</i>
Server Response Time	•••	••••	••••	•••	••••
Complexity (Time)	•••••	••••	••••	••••	••••
GUI - User Friendly	••••	•	••••	••••	••••
Security Mechanisms - Privacy	•	•	••••	•••	•
State of The Art Technologies	••••	•••	••••	•••	•••
Device/Operating System Compatibility	•••	•••••	••••	•••••	•••••
Installation Cost	••	•	••	••	•••
GPS Accuracy	••••	••••	••••	••••	•••••
Scale of Parking System	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
Number of Online Users (Server)	••••	•••	••••	•••	•••

Πίνακας 2: Αξιολόγηση των συστημάτων «έξυπνου χώρου στάθμευσης».

3.5 Επεξήγηση της Αξιολόγησης

Analysis Parameters of System 1 (A Cloud-Based Smart-Parking System Based on Internet-of-Things Technologies)

1) **Server Response Time:** Στο συγκεκριμένο paper, σημειώνεται πως όταν, ένας χρήστης θέλει να βρει μια κενή θέση στάθμευσης, πρέπει να συνδεθεί στο σύστημα. Μετά την επιτυχή σύνδεση, αποστέλλεται μήνυμα αίτησης για αναζήτηση ελεύθερης θέσης στάθμευσης. Στη συνέχεια, το σύστημα θα στείλει πίσω ένα μήνυμα απόκρισης (response message) που περιέχει τις πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένης της διεύθυνσης

του car park και τις οδηγίες για να φτάσει εκεί ο χρήστης. Συνεπώς γίνεται αντιληπτό ότι, ο χρόνος απόκρισης του διακομιστή σε αυτό το σύστημα στάθμευσης (το οποίο συλλέγει και μεταδίδει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο), είναι σχετικά καλός.

2) Complexity (Time): Στο συγκεκριμένο paper, έχει προταθεί ένα σύστημα στάθμευσης που βελτιώνει την απόδοση μειώνοντας τον αριθμό των χρηστών που δεν μπορούν να βρουν χώρο στάθμευσης. Η αρχιτεκτονική και το σύστημα αυτό, έχουν εξομοιωθεί και υλοποιηθεί με επιτυχία σε μια πραγματική κατάσταση, μιας και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αλγόριθμός που χρησιμοποιήθηκε μειώνει σημαντικά το μέσο χρόνο αναμονής των χρηστών για στάθμευση. Έτσι, ο μέσος χρόνος αναμονής για κάθε χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων καθίσταται ελάχιστος και ο συνολικός χρόνος κάθε οχήματος σε κάθε χώρο στάθμευσης μειώνεται. Άρα, η πολυπλοκότητα όσον αφορά το χρόνο είναι ελάχιστη, εφόσον το σύστημα στάθμευσης εξασφαλίζει σημαντική μείωση του κόστους σε χρόνο για κάθε όχημα, κατά την εύρεση ενός ελεύθερου χώρου στάθμευσης.

3) GUI - User Friendly: Σε γενικές γραμμές, το software (έχει αναπτυχθεί σε Android) του συγκεκριμένου συστήματος είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη. Παρά το γεγονός αυτό, κατά την αλληλεπίδραση του χρήστη με την συσκευή, ο χρήστης πρέπει να είναι εγγεγραμμένος ως μέλος του συστήματος, για να αξιοποιήσει το λογισμικό.

4) Security Mechanisms - Privacy: Στο συγκεκριμένο paper, αναφέρεται ότι σε μελλοντική μελέτη θα εξεταστούν οι πτυχές ασφαλείας του συστήματος στάθμευσης. Επομένως, η ασφάλεια των πληροφοριών και η προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογείται ως ελλιπής.

5) State of The Art Technologies: Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο σύστημα έξυπνης στάθμευσης είναι, το WSN που αποτελείται από την τεχνολογία RFID για την παρακολούθηση των car parks, ένας Cloud-Based Server που αποτελεί μια οντότητα Web (Web entity) όπου αποθηκεύει τις πληροφορίες πόρων (πληροφορίες των θέσεων στάθμευσης), μια μονάδα Arduino (Arduino module) όπου θα ελέγξει το άνοιγμα της θύρας για την είσοδο του οχήματος εάν οι πληροφορίες της ετικέτας ή της κάρτας RFID είναι σωστές και το Software System που «τρέχει» σε λειτουργικό σύστημα

Android του οποίου οι χρήστες θα έχουν πρόσβαση στο σύστημα μέσω συνδέσεων κινητής τηλεφωνίας 3G / 4G. Συνεπώς, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί αυτό το σύστημα στάθμευσης είναι σύγχρονες και αξιολογούνται ως κάτι λιγότερο από εξαιρετικές.

6) Device/Operating System Compatibility: Μιας και στο συγκεκριμένο paper, η μελέτη στοχεύει στην παροχή πληροφοριών σχετικά με τις θέσεις στάθμευσης για τον οδηγό και την πραγματοποίηση εγγυημένης κράτησης κάποιων λεπτών νωρίτερα, χρησιμοποιούνται διαφορετικές υποστηριζόμενες συσκευές, όπως smartphones και tablet PCs. Παρόλα αυτά, η συμβατότητα που παρέχεται από το λογισμικό του συστήματος στάθμευσης σε συσκευές/λειτουργικά συστήματα είναι μέτρια-σχετικά καλή, διότι το συγκεκριμένο λογισμικό δεν μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω συσκευής πλοήγησης ή άλλων κατηγοριών PCs (ενδεχομένως με κάποιον browser), αλλά και από άλλα λειτουργικά συστήματα πλην του Android.

7) Installation Cost: Το κόστος εγκατάστασης του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, κρίνεται ως αρκετά δαπανηρό μολονότι, γίνεται χρήση low cost τεχνολογιών, μιας και αποτελεί ένα large-scale system.

8) GPS Accuracy: Η ακρίβεια GPS του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, αξιολογείται ως πολύ καλή διότι, το σύστημα ενημερώνει περιοδικά την κατάσταση του εκάστοτε χώρου στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο (real time) έτσι ώστε να διασφαλίσει την ακρίβεια του.

9) Scale of Parking System: Το εύρος (η κλίμακα) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι κάτι παραπάνω από πολύ μεγάλο [36], μιας και αυτό το σύστημα στάθμευσης κατηγοριοποιείται ως large-scale system, έχοντας ως συνέπεια τη δυνατότητα φιλοξενίας σημαντικού αριθμού οχημάτων.

10) Number of Online Users (Server): Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, τεράστιος αριθμός χρηστών μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο υψηλή κίνηση. Ωστόσο, σε αυτό το σύστημα στάθμευσης οι τεχνολογίες που

χρησιμοποιούνται μπορούνε να φέρουνε εις πέρας τον μεγάλο φόρτο εργασίας, με πολύ καλά αποτελέσματα.

Analysis Parameters of System 2 (A New "Smart Parking" System Based on Optimal Resource Allocation and Reservations)

1) Server Response Time: Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, οι χρήστες μπορούν να λάβουν μια γρήγορη απόκριση [36], αλλά και να έχουν εγγυημένες κρατήσεις. Επομένως, ο χρόνος απόκρισης του διακομιστή σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογείται ως πολύ καλός.

2) Complexity (Time): Στο συγκεκριμένο paper, προκειμένου να εκτιμηθεί η συνολική απόδοση του συστήματος σε κάποιο χρονικό διάστημα, οριστήκανε αρκετές κατάλληλες μετρικές που αξιολογούνται σε ένα συνολικό αριθμό χρηστών που εξυπηρετούνται σε αυτό το διάστημα και οι οποίες καλούνται μετρικές απόδοσης, επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση του μέσου χρόνου στάθμευσης. Επομένως, η πολυπλοκότητα όσον αφορά το χρόνο είναι αρκετά μικρή.

3) GUI - User Friendly: Σε αυτό το paper, δεν γίνεται αναφορά στο γραφικό περιβάλλον χρήστη του λογισμικού του συστήματος στάθμευσης. Κατά συνέπεια, δεν γνωρίζουμε κατά πόσο είναι φιλικό προς τον χρήστη το software του συγκεκριμένου συστήματος επομένως, το GUI software development αξιολογείται ως ελλιπές.

4) Security Mechanisms - Privacy: Στο συγκεκριμένο paper, δεν αναφέρονται σε κάποιο σημείο οι μηχανισμοί ασφαλείας των πληροφοριών και προστασίας του απορρήτου των προσωπικών δεδομένων των χρηστών του smart parking system. Επομένως, η ασφάλεια των πληροφοριών και η προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογείται ως ελλιπής.

5) State of The Art Technologies: Το συγκεκριμένο σύστημα «έξυπνης στάθμευσης», υιοθετεί τη βασική δομή των συστημάτων PGI. Επιπλέον, ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει ένα Κέντρο Επεξεργασίας Αιτημάτων των Οδηγών (Driver Request Processing Center - DRPC) και ένα Κέντρο Κατανομής Έξυπνου Χώρου Στάθμευσης

(Smart Parking Allocation Center - SPAC). Επιπλέον, το Κέντρο Διαχείρισης Πόρων Στάθμευσης (Parking Resource Management Center - PRMC) που διαθέτει, συλλέγει και ενημερώνει όλες τις πληροφορίες στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο και τις διαδίδει μέσω τεχνολογιών Variable Message Signs ή Internet. Εκτός των άλλων, χρησιμοποιεί Bluetooth τεχνολογία, η οποία αναγνωρίζει κάθε αυτοκίνητο στα σημεία εισόδου και ενεργοποιεί τον αυτόματο έλεγχο κρατήσεων και την πληρωμή στάθμευσης. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογούνται ως σύγχρονες σε μέτριο βαθμό.

6) Device/Operating System Compatibility: Η συμβατότητα που παρέχεται από το λογισμικό του συστήματος στάθμευσης σε συσκευές/λειτουργικά συστήματα έτσι ώστε, να προτείνει μέσω αυτών, θέσεις στάθμευσης σε χρήστες που οδηγούν στο δρόμο και αναζητούν χώρο στάθμευσης είναι εξαιρετική, διότι οι οδηγοί έχουν πρόσβαση στο κεντρικό σύστημα μέσω κινητού τηλεφώνου ή Internet.

7) Installation Cost: Το κόστος εγκατάστασης του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, κρίνεται ως δαπανηρό σε πολύ μεγάλο βαθμό, μιας και αποτελεί ένα smart parking system τεράστιας κλίμακας όπου μάλιστα, χρησιμοποιεί τεχνολογίες οι οποίες δεν είναι και τόσο σύγχρονες και κατ' επέκταση χαμηλού κόστους.

8) GPS Accuracy: Η ακρίβεια GPS του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, αξιολογείται ως πολύ καλή διότι, το Κέντρο Διαχείρισης Πόρων Στάθμευσης (Parking Resource Management Center - PRMC) συλλέγει και ενημερώνει όλες τις πληροφορίες στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο (real-time parking information).

9) Scale of Parking System: Το εύρος (η κλίμακα) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι πάρα πολύ μεγάλο, μιας και επιχειρήθηκε «ομαδοποίηση» των σημείων στάθμευσης, όπου συγκεντρώθηκαν τα on-street parking spots και τα off-street parking spaces σε groups, για να αντιμετωπιστούν οι περιορισμοί του συγκεκριμένου προβλήματος.

10) Number of Online Users (Server): Σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, πάρα πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών μπορεί να συνδεθεί την ίδια χρονική στιγμή στον server,

προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο «high traffic». Παρόλα αυτά, στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης με την βοήθεια των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται επιτυγχάνεται η αντιμετώπιση του σημαντικού φόρτου εργασίας, σε σχετικά καλό βαθμό.

Analysis Parameters of System 3 (IoT based Smart Parking System)

1) Server Response Time: Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης όταν, ένας οδηγός έχει σταθμεύσει το αυτοκίνητο του στην επιλεγμένη θέση στάθμευσης, πρέπει να επιβεβαιώσει την πληρότητα της, μέσω του λογισμικού του συστήματος στάθμευσης και συγκεκριμένα μέσω του ελέγχου occupancy check του mobile app. Εάν ένας οδηγός δεν καταφέρει να επιβεβαιώσει την πληρότητα της συγκεκριμένης θέσης στα επόμενα 30 δευτερόλεπτα από τη στιγμή που στάθμευσε το αυτοκίνητο του, ένας συναγερμός θα αρχίσει να χτυπάει, με αποτέλεσμα οι αρχές να γνωρίζουν ότι ένα αυτοκίνητο έχει σταθμευθεί σε λάθος μέρος. Συνεπώς, με βάση τη παραπάνω διαδικασία η οποία, απαιτεί σημαντική ακρίβεια χρόνου, ο χρόνος απόκρισης του διακομιστή σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογείται ως πολύ καλός.

2) Complexity (Time): Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, το διάγραμμα ροής (flow chart) υποδεικνύει ότι κατά την εύρεση ενός ελεύθερου χώρου στάθμευσης, ο συνολικός χρόνος στάθμευσης κάθε οχήματος είναι μικρός. Επομένως, η πολυπλοκότητα όσον αφορά το χρόνο είναι αρκετά μικρή, εφόσον το σύστημα στάθμευσης εξασφαλίζει σημαντική μείωση του κόστους σε χρόνο για κάθε όχημα, κατά την εύρεση ενός ελεύθερου χώρου στάθμευσης.

3) GUI - User Friendly: Σε γενικές γραμμές, το λογισμικό (mobile application που έχει αναπτυχθεί σε Android και iOS) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι πολύ φιλικό προς τον χρήστη.

4) Security Mechanisms - Privacy: Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, για την διαφύλαξη της ασφάλειας των προσωπικών δεδομένων των χρηστών και την προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας, πραγματοποιείται συνεχής δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στο Cloud προκειμένου, να

διασφαλιστεί η εύκολη και γρήγορη ανάκτηση δεδομένων σε περίπτωση οποιασδήποτε βλάβης του συστήματος αλλά και ακόμη, πραγματοποιείται σύνδεση της εφαρμογής (mobile app) με τον διακομιστή IBM MQTT μέσω ασφαλούς καναλιού και ελέγχου ταυτότητας 2 παραγόντων (2 factor authorization). Κατά συνέπεια, για την ασφάλεια των πληροφοριών και την προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας σε αυτό το smart parking system εφαρμόζονται αρκετοί μηχανισμοί ασφαλείας των πληροφοριών και προστασίας του απορρήτου των προσωπικών δεδομένων των χρηστών επομένως, η κάλυψη αξιολογείται ως πολύ καλή.

5) State of The Art Technologies: Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο σύστημα έξυπνης στάθμευσης είναι, οι αισθητήρες υπερήχων για να γίνει ανίχνευση της παρουσίας ενός οχήματος, το Cloud το οποίο λειτουργεί ως βάση δεδομένων για την αποθήκευση όλων των εγγραφών, που σχετίζονται με τους χώρους στάθμευσης και των τελικών χρηστών που έχουν πρόσβαση στο σύστημα, το Raspberry Pi το οποίο είναι η μονάδα επεξεργασίας και ενεργεί ως ένας ενδιάμεσος μεταξύ των αισθητήρων και του cloud καθώς επίσης και η εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα που λειτουργεί σαν μια διεπαφή (interface), για την αλληλεπίδραση των τελικών χρηστών με το σύστημα και η οποία μπορεί να λειτουργήσει τόσο στην πλατφόρμα Android όσο και σε αυτή του iOS. Κατά συνέπεια, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογούνται ως σύγχρονες σε πολύ καλό βαθμό.

6) Device/Operating System Compatibility: Η συμβατότητα που παρέχεται από το λογισμικό του συστήματος στάθμευσης (mobile app) σε συσκευές/λειτουργικά συστήματα είναι πολύ καλή αλλά, όχι εξαιρετική διότι, το συγκεκριμένο λογισμικό δεν μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω συσκευής πλοήγησης ή άλλων κατηγοριών PCs (ενδεχομένως με κάποιον browser) εκτός των smartphones και tablet PCs, αλλά και από άλλα λειτουργικά συστήματα πλην του Android και του iOS.

7) Installation Cost: Το κόστος εγκατάστασης του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, αξιολογείται ως αρκετά μεγάλο εφόσον, αποτελεί ένα smart parking system πολύ μεγάλης κλίμακας παρά το γεγονός ότι, γίνεται χρήση low cost τεχνολογιών.

8) GPS Accuracy: Η ακρίβεια GPS του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, αξιολογείται ως πολύ καλή διότι, το σύστημα στάθμευσης παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (real time information), σχετικά με τη διαθεσιμότητα των θέσεων στάθμευσης σε μια περιοχή στάθμευσης.

9) Scale of Parking System: Η κλίμακα (το εύρος) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι αρκετά μεγάλη, μιας και αυτό το smart parking system μπορεί να φιλοξενήσει σημαντικό αριθμό οχημάτων.

10) Number of Online Users (Server): Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, γίνεται χρήση της τεχνολογίας Cloud (ως γνωστόν, με το Cloud οι εφαρμογές είναι πάντα λειτουργικές και παρέχονται συνεχείς και αδιάκοπες υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες). Το Cloud «κρατάει» ένα αρχείο για κάθε χρήστη που είναι συνδεδεμένος με το σύστημα στάθμευσης και διατηρεί πληροφορίες όπως, η ώρα που σταθμεύεται το αυτοκίνητο, η διάρκεια στάθμευσης για ένα αυτοκίνητο, το ποσό που πληρώνει ο χρήστης και ο τρόπος πληρωμής. Αυτό συμβαίνει λόγω της ευέλικτης φύσης του Cloud, που επιτρέπει στο σύστημα να προσθέσει πάρα πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας.

Analysis Parameters of System 4 (A Reservation-based Smart Parking System)

1) Server Response Time: Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, τα δεδομένα συλλέγονται και μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο. Συνεπώς, ο χρόνος απόκρισης του διακομιστή σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογείται ως σχετικά καλός.

2) Complexity (Time): Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μια κατανεμημένη στρατηγική κράτησης. Συγκεκριμένα όταν, ένας οδηγός επιλέξει τον επιθυμητό χώρο στάθμευσης, το σύστημα θα επανασυνδέσει τον οδηγό στο υποσύστημα σε σχετικό χώρο στάθμευσης και έτσι, ο οδηγός μπορεί να ολοκληρώσει την κράτηση χωρίς να επικοινωνήσει με το κεντρικό σύστημα. Κατά συνέπεια, γίνεται σαφές ότι, η πολυπλοκότητα όσον αφορά το χρόνο είναι αρκετά μικρή, εφόσον το

σύστημα στάθμευσης εξασφαλίζει σημαντική μείωση του κόστους σε χρόνο για κάθε όχημα, κατά την εύρεση ενός ελεύθερου χώρου στάθμευσης.

3) GUI - User Friendly: Σε αυτό το paper, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε το πρωτότυπο ενός Smart Parking System (RSPS) με βάση την κράτηση, όχι μόνο για να μεταδίδει πληροφορίες στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο στους οδηγούς ως μέρος μιας κοινής εφαρμογής, αλλά και για να παρέχει υπηρεσία κράτησης στοχευμένη στον χρήστη (user-targeted service). Επομένως, το λογισμικό (system software) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη.

4) Security Mechanisms - Privacy: Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, για την διαφύλαξη της ασφάλειας των προσωπικών δεδομένων των χρηστών και την προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας, πραγματοποιήθηκε χωριστά σχεδίαση ενός αποθετηρίου δεδομένων ανίχνευσης (repository of sensing data) και μιας βάσης δεδομένων κρατήσεων (mirror database of reservation). Το αποθετήριο είναι ο «υποδοχέας» των δεδομένων ανίχνευσης και η βάση δεδομένων συγχρονίζεται με το αποθετήριο και αποθηκεύει τις πληροφορίες κράτησης. Έτσι, οι οδηγοί μπορούν να ελέγχουν και να ενημερώνουν τις πληροφορίες, μόνο στη mirror database. Σε αυτήν την περίπτωση, προστατεύεται η ασφάλεια των πληροφοριών στάθμευσης και παράλληλα, επιτυγχάνεται η ελάττωση των πληροφοριών. Συνεπώς, για την ασφάλεια των πληροφοριών και την προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, εφαρμόζονται κάποιοι μηχανισμοί ασφαλείας των πληροφοριών και προστασίας του απορρήτου των προσωπικών δεδομένων των χρηστών με αποτέλεσμα, η κάλυψη να αξιολογείται ως σχετικά καλή.

5) State of The Art Technologies: Το υλικό (hardware) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, οργανώνεται σε τρία βασικά συστατικά, το δίκτυο αισθητήρων, τον κεντρικό εξυπηρετητή και την κινητή συσκευή. Στο υπάρχον σύστημα έχουν αναπτυχθεί διάφορες λειτουργίες σε αισθητήρες ZigBee που παρέχουν ένα συνεχές μέτρο της κατάστασης στάθμευσης για κάθε χώρο. Κάθε αισθητήρας είναι ενσωματωμένος με δύο ασύρματους κόμβους (wireless motes). Ο Mote 2, φιλοξενεί τη μονάδα επικοινωνίας του Bluetooth. Ως αποτέλεσμα, ο αισθητήρας γεφυρώνει την επικοινωνία μεταξύ του Zigbee on mote και της μονάδας Bluetooth (Bluetooth module)

στο smartphone. Οι οδηγοί επικοινωνούν με τους αισθητήρες μέσω ασύρματης σύνδεσης Bluetooth για την επαλήθευση της ταυτότητάς τους. Επιπλέον, η αρχιτεκτονική λογισμικού (software architecture) αυτού του συστήματος στάθμευσης, οργανώνεται σε τρία βασικά συστατικά, το δίκτυο αισθητήρων, το iRev και τον Web Server. Το iRev, είναι η κεντρική θέση του συστήματος έτσι ώστε να φιλοξενεί εφαρμογές και λειτουργίες ως σημείο ελέγχου και διαμόρφωσης για το καταναμημένο σύστημα. Επομένως, με βάση τα παραπάνω οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογούνται ως σύγχρονες σε μέτριο βαθμό.

6) Device/Operating System Compatibility: Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, οποιαδήποτε συσκευή με συνδεσιμότητα δικτύου ή συγκεκριμένα το κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιείται για πρόσβαση στο Διαδίκτυο, μέσω Wi-Fi ή δικτύου κινητής τηλεφωνίας GSM (GSM cellular network), για να αποκτήσει πληροφορίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα των χώρων στάθμευσης και να κάνει κράτηση στάθμευσης από τον web server. Επομένως, η συμβατότητα που παρέχεται από το λογισμικό του συστήματος στάθμευσης σε συσκευές/λειτουργικά συστήματα αξιολογείται ως εξαιρετική.

7) Installation Cost: Το κόστος εγκατάστασης του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, αξιολογείται ως αρκετά δαπανηρό αφού, αποτελεί ένα smart parking system μεγάλης κλίμακας μολονότι, χρησιμοποιεί τεχνολογίες οι οποίες είναι χαμηλού κόστους όπως, με την τεχνολογία ZigBee.

8) GPS Accuracy: Η ακρίβεια GPS του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, αξιολογείται ως πολύ καλή διότι, το smart parking system παρέχει πληροφορίες στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο (real-time parking information), σχετικά με τη διαθεσιμότητα των θέσεων στάθμευσης σε μια περιοχή στάθμευσης.

9) Scale of Parking System: Το εύρος (η κλίμακα) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι κάτι παραπάνω από πολύ μεγάλο, μιας και αυτό το smart parking system είναι ικανό να φιλοξενήσει σημαντικό αριθμό οχημάτων.

10) Number of Online Users (Server): Σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, πάρα πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών μπορεί να συνδεθεί την ίδια χρονική στιγμή στον server, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο υψηλή κίνηση. Παρόλα αυτά, στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης με την βοήθεια των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται επιτυγχάνεται η αντιμετώπιση του σημαντικού φόρτου εργασίας, σε σχετικά καλό βαθμό.

Analysis Parameters of System 5 (ParkNet: Drive-by Sensing of Road-Side Parking Statistics)

1) Server Response Time: Το συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, απαιτεί σημαντική χωρική αλλά και χρονική ακρίβεια καθώς, η χωρητικότητα των χώρων στάθμευσης μπορεί να ποικίλει με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, λόγω της επιτυχούς ανταπόκρισης της απαίτησης για σημαντική χρονική ακρίβεια από τη πλευρά του συστήματος στάθμευσης, ο χρόνος απόκρισης του διακομιστή, αξιολογείται ως πολύ καλός.

2) Complexity (Time): Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, οι λεπτομερείς πληροφορίες που παρέχονται μέσω των 2 τύπων πληροφοριών στάθμευσης (Space Count και Occupancy Map), επιτρέπουν στα άτομα που αναζητούν χώρο στάθμευσης να καταλήξουν σε καλύτερες αποφάσεις και κατ' επέκταση να ελαχιστοποιήσουν το χρόνο. Συνεπώς, η πολυπλοκότητα όσον αφορά το χρόνο είναι αρκετά μικρή, εφόσον το σύστημα στάθμευσης εξασφαλίζει σημαντική μείωση του κόστους σε χρόνο για κάθε όχημα, κατά την εύρεση ενός ελεύθερου χώρου στάθμευσης.

3) GUI - User Friendly: Σε γενικές γραμμές, το λογισμικό του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι πολύ φιλικό προς τον χρήστη.

4) Security Mechanisms - Privacy: Στο συγκεκριμένο paper, δεν αναφέρονται σε κάποιο σημείο οι μηχανισμοί ασφαλείας των πληροφοριών και προστασίας του απορρήτου των προσωπικών δεδομένων των χρηστών του smart parking system. Επομένως, η ασφάλεια των πληροφοριών και η προστασία του απορρήτου της επικοινωνίας σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, αξιολογείται ως ελλιπής.

5) State of The Art Technologies: Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης αρχικά είναι, οχήματα ParkNet, όπου κάθε ένα από αυτά διαθέτει μια πλατφόρμα αίσθησης, η οποία αποτελείται από έναν αισθητήρα υπερήχων χαμηλού κόστους που αναφέρει απλώς την απόσταση από το πλησιέστερο εμπόδιο και ένα δέκτη GPS που σημειώνει την αντίστοιχη θέση, με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό της πληρότητας των χώρων στάθμευσης. Τα οχήματα αναφέρουν τις μετρήσεις των αισθητήρων τους (sensor readings), σε κεντρικό server εκτίμησης στάθμευσης. Τα οχήματα μπορούν να αναφέρουν τα δεδομένα τους (sensor readings), μέσω κυψελοειδούς ανερχόμενης ζεύξης (cellular uplink), αλλά είναι επίσης πιθανή και η καιροσκοπική χρήση των συνδέσεων WiFi. Οι πληροφορίες διαθεσιμότητας χώρου στάθμευσης, μπορούν να διανεμηθούν σε συστήματα πλοήγησης ή εναλλακτικά μέσω του Διαδικτύου. Συνεπώς, με βάση τα παραπάνω οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί αυτό το smart parking system, αξιολογούνται ως σύγχρονες σε μέτριο βαθμό.

6) Device/Operating System Compatibility: Στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης, οι χρήστες που οδηγούν στο δρόμο και αναζητούν θέση στάθμευσης, μπορούν να το πράξουν μέσω συσκευής πλοήγησης (navigation device) ή κινητού τηλεφώνου (ή μέσω οποιασδήποτε συσκευής με συνδεσιμότητα δικτύου) με τη βοήθεια του Διαδικτύου. Επομένως, η συμβατότητα που παρέχεται από το λογισμικό του συστήματος στάθμευσης σε συσκευές/λειτουργικά συστήματα αξιολογείται ως εξαιρετική.

7) Installation Cost: Το κόστος εγκατάστασης του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης, αξιολογείται ως δαπανηρό σε μέτριο βαθμό παρότι, αποτελεί ένα smart parking system πολύ μεγάλης κλίμακας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι, το ParkNet βασίζεται στην χρήση λιγότερων αισθητήρων και μάλιστα mobile sensors σε σύγκριση με κάποιο σύστημα με σταθερούς αισθητήρες (fixed sensor system), όπου αναλογεί ένας αισθητήρας σε κάθε θέση στάθμευσης.

8) GPS Accuracy: Το σύστημα στάθμευσης ParkNet, μπορεί να θεωρηθεί ότι απαιτεί σημαντική χωροχρονική ακρίβεια καθώς, η χωρητικότητα των χώρων στάθμευσης μπορεί να ποικίλει με την πάροδο του χρόνου και επιπλέον, ορισμένες εφαρμογές στο ParkNet ενδέχεται να απαιτούν σημαντική ακρίβεια θέσης, προκειμένου να συνδέονται τα αυτοκίνητα σε συγκεκριμένες θέσεις στάθμευσης. Στο σύστημα αυτό, έχουνε

ξεπεραστεί οι βασικές προκλήσεις της ακρίβειας της θέσης που σχετίζονται με τις εφαρμογές παρακολούθησης στάθμευσης, μέσω της προσεκτικής ενσωμάτωσης μετρήσεων υπερήχων με GPS readings, που διορθώνονται μέσω της αποτύπωσης περιβαλλοντικών δεδομένων (environmental fingerprinting). Συνεπώς, η ακρίβεια GPS του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης αξιολογείται ως εξαιρετική.

9) Scale of Parking System: Το εύρος (η κλίμακα) του συγκεκριμένου συστήματος στάθμευσης είναι κάτι παραπάνω από πολύ μεγάλο, μιας και αυτό το σύστημα στάθμευσης εφαρμόστηκε σε δύο περιοχές του Σαν Φρανσίσκο (σε μια μεγαλύτερη αλλά και σε μια μικρότερη περιοχή στο κέντρο της πόλης).

10) Number of Online Users (Server): Σε αυτό το σύστημα στάθμευσης, πάρα πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα στον server, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο «high traffic». Παρόλα αυτά, στο συγκεκριμένο σύστημα στάθμευσης με την βοήθεια των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται επιτυγχάνεται η αντιμετώπιση του σημαντικού φόρτου εργασίας, σε σχετικά καλό βαθμό.

3.6 Συμπεράσματα

Με βάση τον Πίνακα 2, μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποιο σύστημα «νικητή» όσον αφορά, τη συνολική απόδοση μέσω των παραμέτρων που εξετάσαμε. Ωστόσο, η εργασία αυτή δεν έχει σκοπό να καταλήξει σε ένα τέτοιο συμπέρασμα αλλά, να συγκρίνει με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους τις δυνατότητες των συστημάτων αυτών, για ενδεχόμενη μελλοντική πρόταση κάποιου μοντέλου που θα συνδυάζει δύο ή και περισσότερα συστήματα, λαμβάνοντας από το καθένα τα χαρακτηριστικά που το καθιστά αποδοτικό. Πέραν τούτου, κατά την επιλογή ενός συστήματος στάθμευσης, μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν οι απαιτήσεις του εκάστοτε ιδιοκτήτη ή οι συγκεκριμένες ανάγκες της εκάστοτε πόλης που θέλει να το εφαρμόσει και όχι τόσο η συνολική αποδοτικότητα του συστήματος.

4 Επίλογος

4.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, κατέστη σαφές ότι, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων συμμετέχει καθοριστικά στην επίλυση ενός μεγάλου φάσματος προβλημάτων και διαπιστώθηκε πως θα αποτελέσει το επίκεντρο του ενδιαφέροντος στον τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στο άμεσο μέλλον. Ειδικότερα, η εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε επίπεδο πόλεων, θα αποτελέσει ένα ισχυρό εφόδιο για την ομαλή εξέλιξη τους σε Έξυπνες Πόλεις, με σημαντικά οφέλη τόσο για τους κατοίκους, όσο και για τις επιχειρήσεις.

Συνεπώς, οι Έξυπνες Πόλεις πλέον, θα μπορούν να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικότερα τα δημόσια ζητήματα τους, αξιοποιώντας τις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών. Αδιαμφισβήτητα, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στις πόλεις αποτελεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση ως αποτέλεσμα, της διαρκώς αυξανόμενης κινητικότητας των οχημάτων αλλά και των τεχνολογικά παρωχημένων συστημάτων μεταφοράς. Η τεχνολογία, μπορεί να συμβάλει στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης μέσω της «Έξυπνης Κινητικότητας» και πιο συγκεκριμένα μέσω των προηγμένων συστημάτων μεταφοράς, στα οποία εντάσσεται και το Έξυπνο Σύστημα Στάθμευσης (Smart Parking System).

Στην εργασία αυτή εκτός όλων των άλλων, πραγματοποιήθηκε σχολαστική μελέτη, εις βάθος ανάλυση αλλά και σύγκριση πέντε Συστημάτων Έξυπνης Στάθμευσης με χρήση τεχνολογιών Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (WSNs) έτσι ώστε, να διαπιστωθεί το εύρος των δυνατοτήτων τους και η αποτελεσματική εφαρμογή τους στις Έξυπνες Πόλεις. Η συγκριτική ανάλυση των συστημάτων, πραγματοποιήθηκε μέσω συγκεκριμένων παραμέτρων καταλήγοντας με αυτόν τον τρόπο, στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις δυνατότητες του κάθε συστήματος.

4.2 Όρια και περιορισμοί της έρευνας

Στη παρούσα έρευνα, πραγματοποιήθηκε μελέτη ενός σημαντικού συνόλου ερευνών σε γνωστικά αντικείμενα σχετικά με, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, την Έξυπνη Πόλη, την Έξυπνη Κινητικότητα, τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων και κυρίως τα Συστήματα Έξυπνης Στάθμευσης. Ειδικότερα, η εργασία αυτή περιορίστηκε στην ανάλυση και σύγκριση πέντε συστημάτων έξυπνης στάθμευσης με βάση συγκεκριμένες

παραμέτρους, έτσι ώστε να εξεταστούν οι δυνατότητες των συστημάτων αυτών και κατ' επέκταση, αν μπορούνε να εφαρμοστούνε αποτελεσματικά στις Έξυπνες Πόλεις. Επίσης, δεν εξάγεται κάποιο συμπέρασμα για το αποδοτικότερο συνολικά σύστημα, καθώς σκοπός της έρευνας δεν είναι να καθορίσει ποιο σύστημα είναι το καλύτερο, δεδομένου ότι αυτο σχετίζεται και με το πεδίο εφαρμογής του κάθε συστήματος. Ακόμη, οι αξιολογήσεις (οι βαθμολογίες) των έξυπνων συστημάτων στάθμευσης, βασίζονται σε προσωπική εκτίμηση, βάσει των papers που έχουνε μελετηθεί. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, κάποιες αξιολογήσεις βασίζονται στους ισχυρισμούς του εκάστοτε συγγραφέα καθώς, ήταν αδύνατο να «δοκιμαστεί» το προτεινόμενο σύστημα σε πραγματικές συνθήκες διότι, δεν παρέχεται από κάποια πηγή ή δεν υπάρχει διαθέσιμο στην αγορά. Επιπλέον, εφόσον, τα συγκεκριμένα papers δημοσιεύτηκαν σε έγκυρα διεθνή επιστημονικά περιοδικά θεωρήσαμε ως δεδομένο ότι, έχουνε ελεγχθεί οι συγκεκριμένες παράμετροι, αποδεικνύοντας έτσι, την βασιμότητα τους.

4.3 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Ως μελλοντική έρευνα, θα μπορούσε να προταθεί ένα νέο σύστημα έξυπνης στάθμευσης που θα συνδυάζει δύο ή και περισσότερα συστήματα της παρούσας έρευνας, λαμβάνοντας από το καθένα τα θετικά του χαρακτηριστικά, τα οποία το καθιστούν αποδοτικό. Η μελλοντική αυτή πρόταση θα πρέπει να περιέχει και πειραματικό στάδιο, δηλαδή κάποια πειράματα με βάση τις παραμέτρους που εξετάστηκαν και σχετική σύγκριση με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα έξυπνης στάθμευσης, ώστε να εκτιμηθεί το ποσοστό βελτιστοποίησης για κάθε παράμετρο αλλά και η γενική καθολική απόδοση του προτεινόμενου μοντέλου.

Βιβλιογραφία

- [1] SAS Institute, "Internet of Things (IoT): Τι είναι και γιατί είναι σημαντικό", https://www.sas.com/el_gr/insights/big-data/internet-of-things.html
- [2] Αντωνόπουλος Γιώργος, "Το Internet των Πραγμάτων αλλάζει τα πάντα έως το 2020", Φεβρουάριος 2016, <https://www.dikaiologitika.gr/eidhseis/oikonomia/93481/to-internet-ton-pragmaton-allazei-ta-panta-eos-to-2020>
- [3] I. Yaqoob *et al.*, "Internet of Things Architecture: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Challenges," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 3, pp. 10-16, June 2017. doi: 10.1109/MWC.2017.1600421
- [4] Πέτρος Κηπουρόπουλος, "Internet of things: Αυτός ο μεγάλος άγνωστος", Σεπτέμβριος 2014, <http://popaganda.gr/internet-things-aftos-o-megalos-agnostos/>
- [5] ΕΝΩΣΗ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ (ΕΕΚΤ) - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, "Οι κινητές επικοινωνίες οδηγούν την ανάπτυξη και την καινοτομία στις Πόλεις", Οκτώβριος 2016, https://smartcities.ellak.gr/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/EEKT_presentation_Smart_Cities_fnl.pdf
- [6] Rudolf Giffinger Vienna UT, Christian Fertner Vienna UT, Hans Kramar Vienna UT, Robert Kalasek Vienna UT, Nataša Pichler-Milanović University of Ljubljana, Evert Meijers Delft UT, "Smart cities - Ranking of European medium-sized cities", pp. 1-28, October 2007.
- [7] Vasileios A. Memos, Kostas E. Psannis, Yutaka Ishibashi, Byung-Gyu Kim, and B. B. Gupta, "An Efficient Algorithm for Media-based Surveillance System (EAMSuS) in IoT Smart City Framework", *Future Generation Computer Systems (FGCS)*, pp. 1-26, May 2017.
- [8] Kalyani.S. Agarkar, Payal K Alizad, Swamini A Chandre, Prajakta P Deshmukh, Prof M.D Nirmal, "DEVELOPING SMART CITY THROUGH INTERNET OF THINGS.", Vol. 2, Issue 3, pp. 1-6, 2016.
- [9] I. Yaqoob, I. A. T. Hashem, Y. Mehmood, A. Gani, S. Mokhtar and S. Guizani, "Enabling Communication Technologies for Smart Cities," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 1, pp. 112-120, January 2017.
- [10] Δήμος Τρικκαίων, "Smart Trikala", <http://trikalacity.gr/smart-trikala/>
- [11] Δήμος Πατρέων, "Η πρώτη εφαρμογή τεχνολογίας Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT)", Απρίλιος 2017, <http://ots.gr/2017/04/06/>
- [12] Epirus News, " Η πόλη των Ιωαννίνων στα χνάρια της έξυπνης εξειδίκευσης", Δεκέμβριος 2015, <http://www.epirusnews.eu/i-poli-ton-ioanninon-sta-chnaria-tis-exipnis-exidikesis-2/>
- [13] Ζωή Λιάκα, "Οι έξυπνες πόλεις της Ελλάδας", Αύγουστος 2011, <http://www.tanea.gr/news/greece/article/4646982/?iid=2>

- [14] Δήμος Θεσσαλονίκης, "Στις ψηφιακά «έξυπνες» πόλεις η Θεσσαλονίκη με τη βοήθεια της IBM", Νοέμβριος 2016, <http://www.ert.gr/ert3/thessaloniki/569228-2/>
- [15] Intel ISG Transportation Perspective, "The Promise of Intelligent Mobility - Urban Transportation Transformed", pp. 1-2, January 2016.
- [16] Flavio Bonomi, "The Smart and Connected Vehicle and the Internet of Things", CISCO WSTS, pp. 1-53, 2013.
- [17] O. Vermesan and P. Friess Eds., "Internet of Things Applications - From Research and Innovation to Market Deployment", pp. 1-374, 2014.
- [18] G. Revathi and V. R. S. Dhulipala, "Smart parking systems and sensors: A survey," 2012 International Conference on Computing, Communication and Applications, Dindigul, Tamilnadu, 2012, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICCCA.2012.6179195
- [19] Jong-Ho Shin, Hong-Bae Jun, "A study on smart parking guidance algorithm", Vol. 44, pp. 1-19, July 2014.
- [20] Smart Parking, "In-Ground Vehicle Detection Sensors, SmartRep and RFID Technology - Westminster City Council - London", <https://www.smartparking.com/keep-up-to-date/case-studies/city-of-westminster-london>
- [21] Smart Parking, "Vehicle Detection Sensors, RFID, SmartCloud - Intelligent Docks for Smart Supply Chains - Sydney, Australia", <https://www.smartparking.com/keep-up-to-date/case-studies/intelligent-docks-for-smart-supply-chains-sydney>
- [22] Smart Parking, "New Plymouth District Council - New Zealand - In-Ground Vehicle Detection Sensors, Overhead Guidance Indicators and SmartRep", <https://www.smartparking.com/keep-up-to-date/case-studies/new-plymouth-new-zealand>
- [23] ALVI Technologies, <http://www.alvi.com.au/>
- [24] Amsterdam Marketing, <https://www.iamsterdam.com/en/plan-your-trip/getting-around/parking/park-and-ride>
- [25] OTS, "Υλοποίηση λύσεων έξυπνων πόλεων στο Δήμο Χαλκίδας", Μάρτιος 2017, <http://blog.ots.gr/2017/03/08/>
- [26] Γιώργος Τσαντικός, ΤΥΠΟΣ i, Απρίλιος 2017, <https://typos-i.gr/article/e3ypno-parkarisma-mesw-kinhtoy>
- [27] PCMag, "COSMOTE: Το μέλλον των έξυπνων πόλεων πιλοτικά στην Πάτρα", Απρίλιος 2017, <http://gr.pcmag.com/cosmote/26130/news/cosmote-to-mellon-ton-exupnon-poleon-pilotika-sten-patra>
- [28] THESi, <http://www.thesi.gr/sxetika-me-to-ses/ti-einai-to-thesi/>

[29] Shuang-Hua Yang, "Wireless Sensor Networks: Principles, Design and Applications (Signals and Communication Technology)", 1st edition, 2014.

[30] Πλαγεράς Ανδρέας, «Διαχείριση των Τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων και του Υπολογιστικού Νέφους για την υποστήριξη της Διάχυτης Υγειονομικής Περίθαλψης Ασθενών», Διπλωματική Εργασία, ΠΜΣ Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Ιούνιος 2016.

[31] T. N. Pham, M. Tsai, D. B. Nguyen, C. Dow and D. Deng, "A Cloud-Based Smart-Parking System Based on Internet-of-Things Technologies," in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1581-1591, 2015. doi: 10.1109/ACCESS.2015.2477299

[32] Y. Geng and C. G. Cassandras, "A new "smart parking" system based on optimal resource allocation and reservations," 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Washington, DC, 2011, pp. 979-984. doi: 10.1109/ITSC.2011.6082832

[33] A. Khanna and R. Anand, "IoT based smart parking system," *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, Pune, 2016, pp. 266-270. doi: 10.1109/IOTA.2016.7562735

[34] Hongwei Wang and Wenbo He, "A Reservation-based Smart Parking System," *2011 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, Shanghai, 2011, pp. 690-695. doi: 10.1109/INFCOMW.2011.5928901

[35] Suhas Mathur, Tong Jin, Nikhil Kasturirangan, Janani Chandrashekharan, Wenzhi Xue, Marco Gruteser, Wade Trappe, "ParkNet: Drive-by Sensing of Road-Side Parking Statistics", *MobiSys'10*, pp. 1-14, June 2010.

[36] Vishwanath Y, Aishwarya D Kuchalli, Debarupa Rakshit, "Survey paper on Smart Parking System based on Internet of Things", Vol. 2, Issue 3, pp. 1-5, March 2016.

[37] A. P. Plageras *et al.*, "Efficient Large-scale Medical Data (eHealth Big Data) Analytics in Internet of Things," *2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI)*, Thessaloniki, 2017, pp. 21-27. doi: 10.1109/CBI.2017.3

[38] A. P. Plageras, K. E. Psannis, Y. Ishibashi and B. Kim, "IoT-based surveillance system for ubiquitous healthcare," *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florence, 2016, pp. 6226-6230.

[39] Cool Infographics, "The Growth of the Internet of Things", May 2016, <http://coolinfographics.com/blog/2016/5/11/the-growth-of-the-internet-of-things.html>

[40] Christos Stergiou, Kostas E. Psannis, Byung-Gyu Kimb, and Brij Gupta, "Secure integration of IoT and Cloud Computing", *Future Generation Computer Systems*, Vol. 78, Part 3, pp. 964-975, January 2018. doi: 10.1016/j.future.2016.11.031

[41] SPML Infra Limited, "Smart City", <http://www.spml.co.in/business/smart-city/smart-city.html>

[42] Kostas E. Psannis, Stelios Xinogalos, and Angelo Sifaleras, "Convergence of Internet of things and mobile cloud computing", Systems Science & Control Engineering: An Open Access Journal, Vol. 2, pp. 476–483, May 2014.
doi: 10.1080/21642583.2014.913213

[43] Network Topology Tutorials 101, "Physical Topology – Star Topology", September 2015,
<https://networktopologytutorials101.wordpress.com/2015/09/07/physical-topology-star-topology/>

[44] Christos Stergiou and Kostas E. Psannis, "Recent advances delivered by Mobile Cloud Computing and Internet of Things for Big Data applications: a survey", International Journal of Network Management, Vol. 27, Issue 3, May 2016.

[45] Network Topology Tutorials 101, "Physical Topology – Ring Topology", September 2015,
<https://networktopologytutorials101.wordpress.com/2015/09/07/physical-topology-ring-topology/>

[46] Network Topology Tutorials 101, "Physical Topology – Mesh Topology", September 2015,
<https://networktopologytutorials101.wordpress.com/2015/09/07/physical-topology-mesh-topology/>