

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής Α.Α. Οικονομίδης



University of Macedonia
Master in Information Systems
Course: Computer Networks
Professor A.A. Economides

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

«Συνοπτική καταγραφή τεχνολογιών Έξυπνων Σπιτιών»
“Basic Overview of Smart Home Technologies”



Εργασία στα Πλαίσια του Μαθήματος

«Δίκτυα Υπολογιστών»

των Φοιτητών:

Γεώργιος Παπαλαζαρίδης (*mis19016*)

Μιχάλης Μιχαλούδης (*mis19019*)

Υπεύθυνος Καθηγητής: Αναστάσιος Οικονομίδης
Μάιος 2019

Περίληψη

Οι έξυπνοι οικιακοί αυτοματισμοί έχουν σταθερά αυξανόμενη δημοφιλία εδώ και δεκαετίες, καθώς βελτιώνουν την άνεση και την ποιότητα ζωής, μειώνουν το ενεργειακό αποτύπωμα και προσφέρουν λύσεις ασφάλειας. Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), υπάρχουν νέες δυνατότητες.

Στη παρούσα εργασία εξετάζουμε εφαρμογές, συστήματα, πρωτόκολλα που πλαισιώνουν το έξυπνο σπίτι και καταγράφουμε ενδεικτικά σενάρια και παραδείγματα υλοποιήσεων. Προσπαθήσαμε να επικεντρωθούμε σε νέα πρωτόκολλα που διατίθενται στην αγορά.

Προτείνεται η ηλεκτρονική ανάγνωση της εργασίας από φορητή συσκευή (tablet) ή υπολογιστή για αξιοποίηση των εσωτερικών σύνδεσμων του εγγράφου αλλά και των εξωτερικών. Όλοι οι σύνδεσμοι της εργασίας προσπελάστηκαν τον Απρίλιο και Μάιο του 2019.

Λέξεις κλειδιά: Έξυπνο Σπίτι, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Οικιακοί αυτοματισμοί, Οικιακό Δίκτυο, Πρωτόκολλα

Abstract

Smart Home Automation technologies have steady increasing popularity in decades, since the increase the comfort, quality of life, reduce the energy footprint and enhance security. In recent years with the evolution of IoT, we face new possibilities.

In this paper we examine applications, systems, protocols for the Smart Home and we record some examples of real cases and scenarios. We tried to focus on the latest available new protocols of market. When connected to the internet, Smart Home is an IoT (Internet of Thing) device.

We propose to read this paper from electronic device to use the in-document and internet active links. All the url's have been accessed in April and May of 2019.

Keywords: Smart Home, Internet of Things, IoT, Home Automation, Home Network, Protocols

1 Ιστορικά στοιχεία - Εισαγωγή

Έξυπνο Σπίτι (Smart home) ή αλλιώς Αυτοματοποίηση Σπιτιού (Home Automation) ή *domotics* από το λατινικό *dome* - που σημαίνει σπίτι - ή ακόμη και Έξυπνες Οικιακές Τεχνολογίες (Smart Home Technologies / SHTs) αποκαλούμε τις τεχνολογίες που εμπλέκονται με την οικιακή αυτοματοποίηση. Ακόμη και ένα πλυντήριο ρούχων - αν και τώρα το θεωρούμε δεδομένο και αυτονόητο - αφορά την οικιακή αυτοματοποίηση.

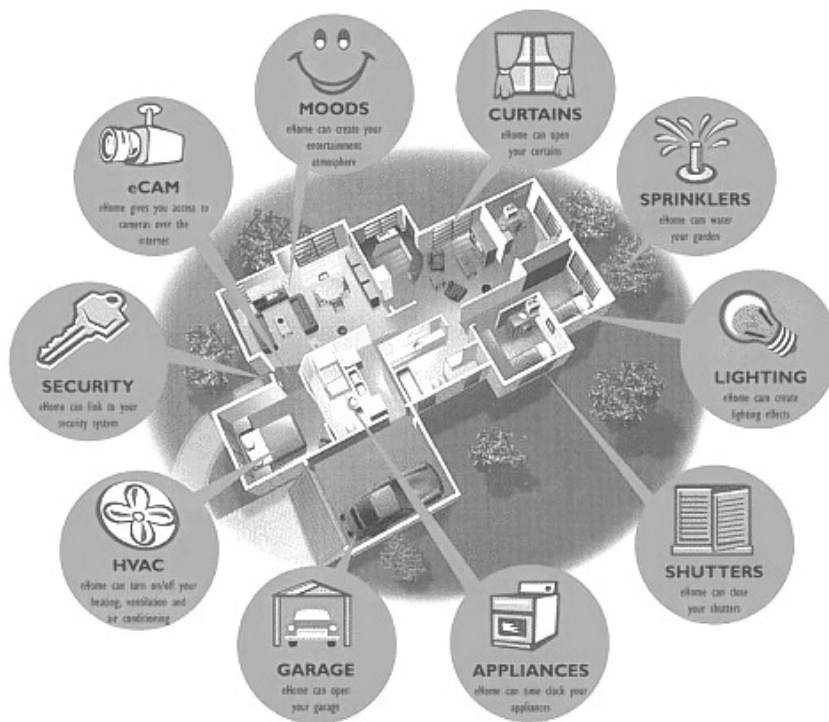
Ο οργανισμός Smart Home Association, ορίζει πως ΕΣ είναι η ενσωμάτωση τεχνολογίας και υπηρεσιών μέσω δικτυωμένων συσκευών για την βελτίωση της διαβίωσης (Rosslin & Tai-hoon 2010). Το ΕΣ επωφελείται από το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» (IoT: Internet of Things), ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων, από απλούς κόμβους αισθητήρων, μέχρι οικιακές συσκευές αλλά και εξελιγμένα έξυπνα τηλέφωνα, τα οποία διαθέτουν μοναδικές διευθύνσεις και βασίζονται σε πρότυπα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Η ιδέα των διασυνδεδεμένων αντικειμένων ή αλλιώς «έξυπνων αντικειμένων», αναφέρεται ως «διάχυτη» ή «πανταχού παρούσα πληροφορική» (ubiquitous computing). (Hoy & Brigham 2015; Stojkoska 2017; Economides 2017) Τα σπίτια είναι υπεύθυνα για το 25% (Pablo-Romero et al 2017) με 40% (Cook 2012) της ενεργειακής κατανάλωσης, οπότε υπάρχει οικονομικό και οικολογικό κίνητρο ώστε με αυτοματοποίηση να μειωθεί το ενεργειακό αποτύπωμα των σπιτιών.

Ο έλεγχος οικιακών συσκευών ξεκίνησε το 1975 με το πρωτόκολλο X10, από την Pico Electronics και έγινε δημοφιλής στην Αμερική. Το 2019, ένα στα τρία σπίτια στην Αμερική έχει μία συσκευή ΕΣ¹.

Έχουμε τις παρακάτω γενιές σε ΕΣ (Li et al 2016):

1. Η πρώτη γενιά είναι με έναν κεντρικό ελεγκτή που ελέγχει, παραλαμβάνει ή και επεξεργάζεται δεδομένα από συσκευές (actuators ή sensors). Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε το bluetooth ως μέσο μεταφοράς δεδομένων, αλλά σε πληθώρα συσκευών μπορεί να υπάρχει καθυστέρηση (latency) οπότε προτιμήθηκε το ZigBee ή αυτόνομες συσκευές με δική τους διεύθυνση (ip) αφού το IPv6 μας δίνει αυτή την δυνατότητα.
2. Η δεύτερη γενιά εξελίχθηκε σε Περιβάλλον Έξυπνου Σπιτιού (Smart Home Environment - SHE) χρησιμοποιώντας κάποια μορφή τεχνητής νοημοσύνης (AI). Προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια, άνεση και χαμηλότερο κόστος χρήσης. Αυτή η τεχνολογία υπήρχε μέχρι το 2015 μόνο σε εργαστηριακό περιβάλλον. Ένα παράδειγμα είναι η συσκευή Amazon Echo, που απαντά σε ερωτήσεις του χρήστη. Ελέγχει φώτα, θερμοστάτες και διακόπτες. Η συσκευή γίνεται έξυπνότερη με την χρήση και μαθαίνει μόνη της. Μερικά παραδείγματα ακόμη είναι το HomePod ή το Siri της Apple, η Cortana (Microsoft) και το Google Assistant.
3. Η τρίτη γενιά αφορά τα ρομπότ (robot) που αλληλεπιδρά με τους ανθρώπους. Ιδιαίτερη χρήσιμη σε ανθρώπους με κινητικά προβλήματα.

¹<https://www.statista.com/outlook/279/109/smart-home/united-states>



Σχήμα 1: Είδη συσκευών Smart Home
(Rosslin & Tai-hoon 2010)

1.1 Τομείς Εφαρμογής

Μία συσκευή εκτός σπιτιού (π.χ. αυτοκίνητο που πλησιάζει στο σπίτι) κανονικά ανήκει σε άλλη κατηγορία αυτοματοποίησης (Smart Car), αλλά μπορεί να δράσει σαν ενεργοποιητής (trigger) για το Έξυπνο Σπίτι. Συσκευές που αφορούν την υγεία (Personal Health), ή την προσωπική βελτίωση (Wellbeing) σχετίζονται με το ΕΣ αν και ανήκουν σε άλλη κατηγορία. Για παράδειγμα εάν αποκοιμηθούμε ενώ χρησιμοποιούμε πολυμεσική εφαρμογή, ένας αισθητήρας δραστηριότητας το αντιλαμβάνεται ώστε να την κλείσει², κλείνουν τα φώτα, κλειδώνει το σπίτι, ή υπάρχει ειδοποίηση πως υπάρχει ανοιχτή πόρτα ώστε να την κλειδώσουμε.

Μερικές κατηγορίες εφαρμογής είναι: (Fawzi & Kwok 2015, σελ. 95)

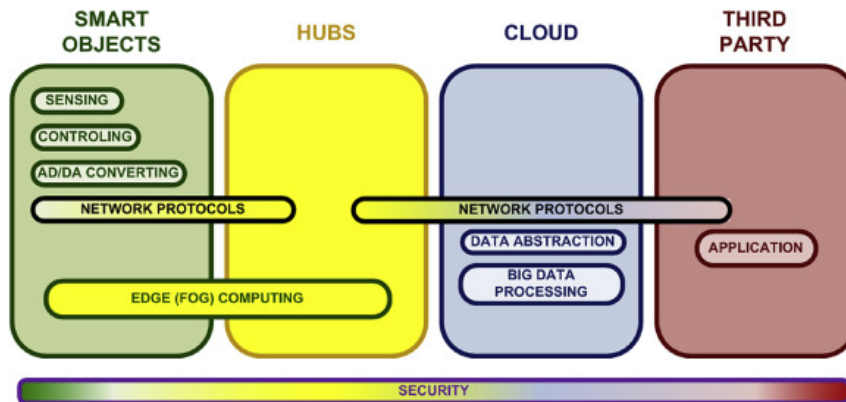
- **Περιβαλλοντικός έλεγχος**: Έξυπνος θερμοστάτης (π.χ. Nest), υγρασία, συναγερμός καπνού, πλημμυρίδας, σύστημα φωτισμού, κουρτίνες, παραθυρόφυλλα, πότισμα.
- **Ενέργεια**: Έξυπνοι μετρητές για ηλεκτροδότηση, καύσιμα, νερό, έλεγχος κλιματιστικού / θέρμανσης / ανεμιστήρων (HVAC). Έξυπνες συσκευές, όπως φυγεία, τζάκι, πλυντήριο πιάτων, πλυντήριο ρούχων, στεγνωτήριο, έξυπνες μπρίζες.
- **Ασφάλεια**: Παρακολούθηση με κάμερα, σύστημα συναγερμού (αισθητήρες κίνησης, παρουσίας), έλεγχος θυρών / παραθύρων.
- **Υγεία και γυμναστική**: Wearables (iWatch, Fitbit), συσκευές για χρόνιες παθήσεις (π.χ. μέτρηση διαβητικών), απομονωμένη διαβίωση, Wii Fit.
- **Δικτύωση / Πολυμέσα**: Πολυμεσικές συσκευές (set top boxes), παιχνιδιομηχανές, VoIP, ηχοσυστήματα, εκτύπωση, απομακρυσμένος έλεγχος, διαμοίραση αρχείων.

²βλ. Hack Fitbit + Netflix: <https://youtu.be/tMKDEH8KTak>.

2 Τεχνικά θέματα

Ένα ΕΣ είναι ένα οικιακό δίκτυο (HAN: Home Area Network) το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει ή να εμπλέκεται και με άλλα δίκτυα, όπως προσωπικά (PAN: Personal Area Network), σώματος (BAN: Body Area Network) ή ευρεία δίκτυα (WAN: Wide Area Network).

Συσκευές, μηχανισμοί κίνησης (actuators) και αισθητήρες χρησιμοποιούν το οικιακό δίκτυο και συνδέονται με τον Κεντρικό Σταθμό (Hub). Ο Κεντρικός Σταθμός - στην βιβλιογραφία αναφέρεται και ως *Gateway* ή *Processor*, στην αγορά ακόμη και ως *miniserver* - καταγράφει ελέγχει τις συσκευές, παίρνει αποφάσεις, δέχεται εντολές. Ελέγχεται φωνητικά, με διακόπτες ή με τηλεχειρισμό. Προαιρετικά συνδέεται με το διαδίκτυο (cloud), ώστε να ελέγχεται με κινητό ή υπολογιστή ή και τρίτες υπηρεσίες. Μπορούμε να δώσουμε πρόσβαση των δεδομένων μας σε άλλες υπηρεσίες (Third Party) ή να τις χρησιμοποιήσουμε για τον έλεγχο του σπιτιού. Επειδή τα περισσότερα σπίτια δεν έχουν υποδομή για δικτύωση (π.χ. δομημένη καλωδίωση), χρησιμοποιούνται συχνά ασύρματοι αισθητήρες που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με το κεντρικό σταθμό. Σχηματίζεται ένα *Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων - ΑΔΑ*, (Wireless Sensors Networks: WSN). βλ. Smart Objects στο σχήμα 2).



Σχήμα 2: Αρχιτεκτονική ενός SmartHome
(Stojkoska 2017)

Αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν: θερμοκρασίας, φωτός, υπέρυθρης ακτινοβολίας (UV), αέρα, σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος, υγρασίας εδάφους, σκόνης, φυσικού αερίου (gas), φωτιάς, καπνού, διαρροής νερού (flood sensor), ροής νερού, βαρομετρικής πίεσης, κλίσης, επιτάχυνσης, κίνησης, ποιότητας αέρα (NO₂, O₃, CH₄, CO, CH₃-CH₄, H₂, CH₃-CH₂-OH, H₂S) κ.ά.

Θα εξετάσουμε πως συνδέονται οι αισθητήρες με τον κεντρικό σταθμό, δημοφιλή πρωτόκολλα επικοινωνίας και μερικές επιλογές ως κεντρικό σύστημα. Θα εξετάσουμε τα πρώτα δύο βήματα και ελάχιστα το τρίτο (βλ. σχήμα 2).

2.1 Μέσα επικοινωνίας και πρωτόκολλα

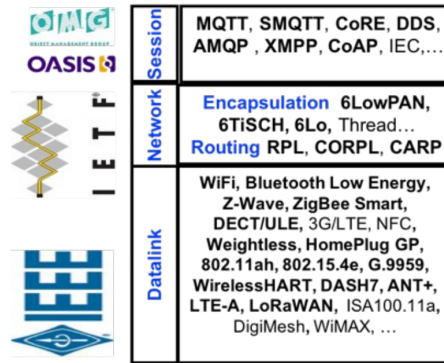
Το μέσο επικοινωνίας (OSI layer 1: PHY), που χρησιμοποιούν οι συσκευές είναι ασύρματο ή ενσύρματο. Ενσύρματα επικοινωνούν με το προ-υπάρχον δίκτυο ρεύματος (power line), της τηλεφωνίας, με ομοαξονικό καλώδιο³, με καλωδίωση συνεστραμμένου ζεύγους (RS485, / Ethernet Cat5), με ένα καλώδιο (1-wire) με ραδιοκύματα (RF). Ένα πρόσφατο πρότυπο εγκεκριμένο από τον IEEE από τον Μάρτιο του 2019 είναι το HD-PLC της Panasonic⁴ που μετατρέπει υπάρχοντες εγκαταστάσεις (ρεύματος, τηλεφώνου, τηλεόρασης) σε οικιακό δίκτυο.

³ π.χ. το καλώδιο της κεραίας τηλεόρασης.

⁴ <http://www.hd-plc.org/modules/press/index.php?page=article&storyid=22>

Πρωτόκολλα όπως τα KNX (Merz et al 2009, σελ. 44), Insteon και X10 υποστηρίζουν ενσύρματη και ασύρματη διασύνδεση. Ενδιαφέρουσα είναι η τεχνολογία των συσκευών της EnOcean, η οποία μετατρέπει οποιαδήποτε μορφής ενέργεια (κίνηση, μεταβολή θερμοκρασίας, φωτεινότητα) σε ενέργεια για να λειτουργήσει συσκευές που αφορούν την θέρμανση και ψύξη (HAVC). (Salman 2019)

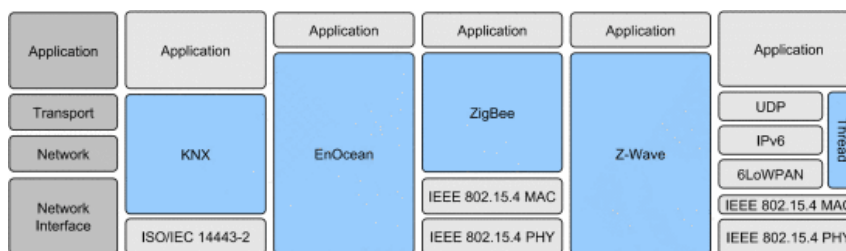
Ασύρματα οι συσκευές επικοινωνούν με BLE (low power Bluetooth), WiFi, NFC, RFID, DECT-ULE, ZigBee, Z-Wave κ.ά. (Salman 2019).



Σχήμα 3: Οργανισμοί και πρωτόκολλα σε διάφορα επίπεδα για IoT (Salman 2019)

Στον πίνακα 1 καταγράφουμε χαρακτηριστικά και δυνατότητες δημοφιλών και σύγχρονων διασυνδέσεων. Δεν καταγράψαμε κάποια πρωτόκολλα όπως X10 και Insteon ως παρωχημένα. Κάποια δεν καταγράψαμε για λόγους συντομίας⁵. Οι πίνακες έχουν τιμές από δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες βλ. (SiLabs 2018a; SiLabs 2018b; loxone; Ince 2014)⁶ και όχι τιμές από προδιαγραφές όπως αναφέρουν πολλές εργασίες π.χ. (Gomez et al 2012, σελ. 16).

Στο ΕΣ υπάρχει πληθώρα πρωτοκόλλων που μάλλον μπερδεύει. Επιπλέον δεν αφορούν μόνο ένα επίπεδο OSI / TCP-IP, αλλά πολλά. Για κατανόηση παραθέτουμε το σχήμα 4 που δείχνει πως ένα πρωτόκολλο μπορεί να αφορά πολλά επίπεδα.



Σχήμα 4: Πρωτόκολλα σε σχέση με το TCP-IP μοντέλο. (Marksteiner et al 2017)

Σημαντική ιδιότητα ενός δικτύου είναι η απόκριση (latency). Πρέπει να είναι μικρότερη των 200ms, ειδάλως δεν υπάρχει αμεσότητα στη χρήση και ο χρήστης νομίζει πως δεν λειτουργεί το σύστημα ή υπάρχει δυσαρέσκεια (SiLabs 2018b, σελ. 18). Αν για παράδειγμα έχουμε δίκτυο με καθυστέρηση (latency) πάνω από 200ms και ο χρήστης προσπαθεί να ανάψει μία λάμπα, λόγω της καθυστέρησης μπορεί να νομίζει πως δεν πέρασε η εντολή και να ξαναδοκιμάσει την ίδια εντολή.

Οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας προσφέρουν διαδίκτυακή σύνδεση σε περίπτωση που το ΕΣ δεν έχει πρόσβαση σε δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας. Μία συνηθισμένη λύση για συναγερούς ή απομα-

⁵KNX, Thread, Somfy, WiFi-ah (HaLow), ANT+, DASH7, WirelessHart.

⁶Μερικά συγκεντρωτικά συμπεράσματα εδώ <https://www.silabs.com/products/wireless/learning-center/mesh-performance>

Διασύνδεση	Εμβέλεια	Τοπολογία	Ενέργεια	Κόμβοι	Latency	Bandwidth	Παρατηρήσεις
1-wire	350m	Bus	Ελάχιστη	20(40)	94 – 750ms ^{α'}	16.3kpbs ^{β'}	Ανεπιβεβλητό σε παρεμβολές
RS485	1200m	Bus	Ελάχιστη	32(128)	40ms ^{γ'}	0.1 – 10Mbit	
CAT5	100m	Bus, Star	Μικρή	16.777.214	< 1ms	0.1 – 1Gbit	
HD-PLC	2km	Mesh	Μεγάλη (1-3W)	1024 ^{δ'}	< 10ms	210Mbps*	
HomePlug 1.0	300m	Mesh	< 4W		< 10ms	5 – 7Mbps	Η έκδοση Green ^{ε'} 75% λιγότερη ενέργεια.
HomePlug AV2	300m	Mesh	< 4W		< 10ms	90Mbps	Προκαλούν παρεμβολές ακόμη και σε ραδιοφωνικές συχνοτήτες.
NFC	1(3)cm	PTP	Ελάχιστη	500 ^{ε'}	~ 1000ms	424kpbs	Για ταυτοποίηση / πρόσβαση
RFID	10(30)cm	PTP	Ελάχιστη	150 ^{ε'}	< 20ms		Για τηλεχειρισμό / αναγνώριση
ZigBee	10(100)m	Mesh, Star, Tree	Χαμηλή	500(65k)*	25 – 150ms	10 – 250kpbs	2.4Ghz
Z-Wave	30(200)m	Mesh	Χαμηλή	30-100(232)*	< 200ms	40kpbs	800Mhz. Σε διαφορετική συχνότητα από WiFi, λιγότερες παρεμβολές.
Bluetooth LE	10(50)m	Mesh	Χαμηλή	32767*	10 – 900ms	3kpbs(1Mbps)	
WiFi (g,n)	30(5100)m	Mesh	Υψηλή	8191*	< 3ms	54Mbps(600Mbps)	
DECT ULE	70(600)m	Star	Χαμηλή	400*	100ms	1Mbps	

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά διασυνδέσεων εντός οικίας σε πραγματικές συνθήκες.

Σε παρένθεση εξαιρετικές ή ειδικές συνθήκες, με * θεωρητικά χαρακτηριστικά.

^α <https://arduino.stackexchange.com/a/25142>

^β 64kpbs (overdrive) για ανάγνωση iButton.

^γ http://www.obvius.com/sites/obvius.com/files/TW42_ModbusRS485_Time_Rev2.pdf

^δ <http://www.megachips.com/LiteratureRetrieve.aspx?ID=173937>

^ε Αποδεκτή από Ford, GM, BMW, Daimler, Porsche and VW για επικοινωνία με ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

^ς <https://community.nxp.com/thread/439777>

^ζ <https://learn.sparkfun.com/tutorials/simultaneous-rfid-tag-reader-hookup-guide>

	GPRS	EDGE	3G
Ενέργεια	Υψηλότερη	Υψηλότερη	Υψηλότερη
Latency	300 – 400ms	< 250(100)ms	< 100(10ms)
Bandwidth	64/42kbps	384kbps	14.4 – 5.87Mbps
Εμβέλεια	5(8)km	5(8)km	5(32)km
Παρατηρήσεις	Προς απόσυρση		

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά κυψελοειδών συσκευών WAN.

κρυσμένες κατοικίες. Σε περίπτωση όμως που θέλουμε χαμηλή κατανάλωση δεν είναι σωστές λύσεις αφού σε σύνδεση καταναλώνουν έως 2A.

Νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας ήρθαν να καλύψουν το κενό για συσκευές με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Είναι τα Sigfox, LoRaWAN και NB-IoT. Το Sigfox, δεν είναι διαθέσιμο στην Ελλάδα⁷. Το LoRaWAN είναι ένα μέσο και πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ιδιωτικά αφού λειτουργεί σε μη-αδειοδοτημένο φάσμα. Το Βέλγιο με έκταση 30.500km² καλύπτεται με επτά σταθμούς / κεραίες (Sinha et al 2017). Οι εταιρίες Cosmote⁸ και Vodafone⁹ ακολουθώντας την παγκόσμια πρακτική εγκατέστησαν δίκτυο NB-IoT. Το NB-IoT, απαιτεί υποδομή 4G, οπότε δεν αναμένεται να έχει εφαρμογή εκτός πόλεων.

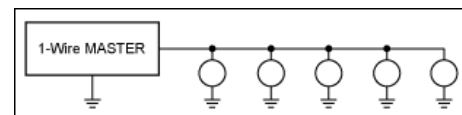
	NB-IoT	LoRaWAN	SigFox
Ενέργεια	Μέτρια (120-300mA)	Χαμηλή (32mA)	Μέτρια
Κόμβοι	40 (55k per cell)	Ανάλογα την κεραία	50k
Latency	< 10s	< 1000ms	
Bandwidth	0.5 – 200kbps	22bps – 50kbps	100bps
Εμβέλεια	< 35km	2km (πόλη) 15km (εκτός)	2km (πόλη) 50km (εκτός)
Αδειοδοτημένο	Ναι	Όχι	Ναι
Κόστος βάσης	15.000€	100-1.000€	4.000€
Κόστος συσκευής	> 20€	3-5€	< 2€
Παρατηρήσεις	Cosmote / Vodafone	Κάλυψη από ιδιώτες	Ελλιπής κάλυψη

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά διασυνδέσεων LPWAN.

* παραλαβή 140 μηνυμάτων την ημέρα και αποστολή τεσσάρων.

2.2 Τοπολογία

Οι συσκευές 1-wire, συνδέονται ως διάδρομος (bus) τοπολογία, σε απόσταση μικρότερη των 3 μέτρων. Η εταιρία ονομάζει την δικτύωσή τους MicroLan. Με υποβοήθηση η συνολική καλωδίωση φτάνει έως και 500μ. Αν και προκύπτουν δυσκολίες, μπορούν να συνδεθούν και σε αστέρας star τοπολογία με κεντρικό ελεγκτή. (MI 2018)



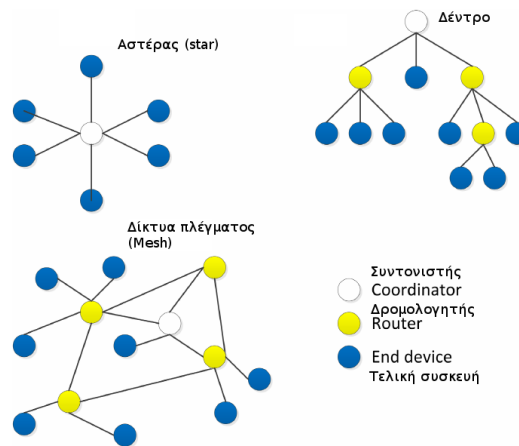
Τα ZigBee, Z-Wave και Insteon λειτουργούν ως δίκτυα πλέγματος mesh, δηλαδή οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους και όχι απαραίτητα μέσω του κεντρικού κόμβου / σταθμού (hub). Στα ZigBee

⁷<https://www.sigfox.com/en/coverage>

⁸ Δειγματικές εγκαταστάσεις: https://www.cosmote.gr/cs/business/en/success_stories.html

⁹ Αναπτύχθηκε στην Ελλάδα, βλ. <https://www.vodafone.gr/vodafone-ellados/arhra/iot/>

απαιτείται συντονιστής (coordinator). Οι Dect συσκευές συνδέονται ως αστέρας. Οι συσκευές



Σχήμα 5: Τοπολογία αστέρι, δέντρο και mesh
(Rovsin et al 2011, σελ. 310)

RS485 συνδέονται ως διάδρομος έως 32 και με προϋποθέσεις, 128 (ΤΙ 2004, σελ. 7). Θα μπορούσαν να συνδεθούν και ως αστέρας αλλά δεν προτείνεται. (ΤΙ 2004, σελ. 5)

2.3 Πρωτόκολλα σε επίπεδο εφαρμογής (Application Layer Protocols)

Μερικά πρωτόκολλα επικοινωνίας συσκευών σε επίπεδο εφαρμογών (Application, OSI Layer 7) είναι τα HTTP, CoAP, MQTT, XMPP, REST, AMQP, WebSockets (βλ. σχήμα 3, σελ. 6). Από αυτά, για συσκευές IoT, φαίνεται πως το αποδοτικότερο είναι το MQTT αφού χρειάζεται την λιγότερη ενέργεια. Διευκολύνει την μαζική επικοινωνία με QoS και με το μοντέλο publish / subscribe. (Karagiannis 2015) έχει σχεδιαστεί από την IBM ειδικά για IoT, προφέρεται ως “mosquitto” (Yuan 2017a).

3 Υλοποιήσεις

Πριν συνεχίσουμε με τεχνικά θέματα, αναφέρουμε ενδεικτικές υλοποιήσεις ή σενάρια σε όλους τους τομείς που αφορούν το ΕΣ.

3.1 Σενάρια

Μία ενδιαφέρουσα πρόταση από το MIT για τον τομέα της υγείας είναι το Vital Radio, μία συσκευή που απομακρυσμένα ελέγχει με ακρίβεια 98% τους παλμούς της καρδιάς από απόσταση ενός έως οκτώ μέτρων. Σχεδόν τα ίδια ποσοστά ακρίβειας πετυχαίνει με πολλαπλούς χρήστες. Σε αντίθεση με άλλους αισθητήρες προσφέρει διάχυτη / πανταχού παρούσα τεχνολογία (ubiquitous computing), αφού δεν χρειάζεται οι χρήστες να έχουν κάποια συσκευή πάνω τους. (Adib et al 2015) Μία υλοποίηση που αφορά τις κατηγορίες της ενέργειας, ασφάλειας, πολυμέσων είναι της Panasonic. Στο σπίτι δοκιμών τους¹⁰ έχουν μεταξύ άλλων έξι δικτυακές κάμερες. Όταν χτυπάει το κουδούνι φαίνεται στην τηλεόραση η εικόνα από την κάμερα της εξώπορτας, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο συνδέεται με το δίκτυο του σπιτιού με το καλώδιο φόρτισης και μπορούν να μεταφερθούν πολυμεσικά αρχεία. Οι συσκευές αναφέρουν την κατανάλωσή τους στην τηλεόραση ή μέσω διαδικτύου.

¹⁰<http://www.hd-plc.org/modules/feature/090828.html>

3.2 Εμπορικές υλοποιήσεις

Αναφέρουμε ενδεικτικά μία εγκατάσταση της Loxone με όνομα Minerva¹¹. Το σπίτι είναι εξοπλισμένο με συναγερμό, αισθητήρες χερουλιών που αναγνωρίζουν θραύση κρυστάλλων, αισθητήρες κίνησης, θυρών, υπερχειλήσης, φωτιάς, κάμερες παρακολούθησης, ενδοεπικοινωνία με εικόνα και προστασία καταγίδας με μετεωρολογικό σταθμό, ρύθμιση παραθυροφύλλων για προστασία από χαλάζι, κατάλληλη θέση των παραθυρόφυλλων επιθυμητή θερμοκρασία. Προσφέρουν και τηλεχειρισμό αφής σε τραπέζι, προσκέφαλο αλλά και σε ασύρματο τηλεχειρισμό όπου το σπίτι ενεργοποιεί συναγερμό, τα παραθυρόφυλλα μπαίνουν σε αυτόματο έλεγχο, σβήνουν τα φώτα και σε περίπτωση ανοιχτών παραθύρων ενημερώνεται ο χρήστης στο κινητό. Συνδυάζει ασφάλεια, περιβαλλοντικό έλεγχο και ανέσεις.

Στις πολυμεσικές εφαρμογές του ΕΣ, μέσω του πρωτοκόλλου DLNA, μπορούμε να διαμοιράζουμε πολυμεσικά αρχεία. Μέσω των Smart Speakers των εταιριών Amazon, Apple, Google μπορούμε να ακούμε μουσική με φωνητικές εντολές.

3.3 Αυτόνομες συσκευές

Μία από τις γνωστές υλοποιήσεις είναι ο θερμοστάτης μηχανικής μάθησης Nest. Μαθαίνει πόσο γρήγορα ζεσταίνεται ή κρυώνει το σπίτι, κλείνει μόνος του όταν ο κάτοχος απουσιάζει (έχει αισθητήρες για κοντινή αλλά και μακρινή απόσταση), ελέγχεται από το διαδίκτυο, μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε δωμάτιο, συνδυάζεται με άλλους θερμοστάτες Nest, επεξεργάζεται τις συνηθισμένες ρυθμίσεις του χρήστη, μετράει το φως, υπενθυμίζει για το καθαρίσμα φίλτρου του κλιματιστικού.



Μία άλλη αυτοματοποιημένη συσκευή είναι το robot σκούπα iRobot Roomba¹², η οποία προγραμματίζεται τότε θα καθαρίσει, ποιά δωμάτια θα καθαρίσει - μαθαίνει μόνο του τα δωμάτια -, ορίζονται γεωφράχτες, αντιλαμβάνεται σκαλιά ώστε να μην πέσει, ελέγχεται και από το διαδίκτυο.



Η συσκευή αποδείχτηκε πως κρατάει το σπίτι καθαρότερο, οι χρήστες απέκτησαν οικειότητα προς την συσκευή - κάποιιοι την δέχονται και ως μέλος της οικογένειας. (Sung et al UbiComp 2007, σελ. 145-162)

Σαν την ρομποτική ηλεκτρική σκούπα παραπάνω, υπάρχουν αυτόνομες συσκευές που καθαρίζουν παράθυρα. Η συγκεκριμένη (ecovacs winbot 950) ελέγχεται απομακρυσμένα μόνο με τηλεχειρισμό και όχι σε σύνδεση με hub.

Οι λαμπτήρες Philips Hue, συνδέονται σε hub και αλλάζουν χρώμα. Έτσι ανάλογα με την διάθεσή μας μπορούμε να ελέγχουμε τον φωτισμό. Ένα ακόμη παράδειγμα είναι η αλλαγή φωτισμού ανάλογα με το τί παίζει η τηλεόραση¹³.



3.4 Μεμονωμένες συσκευές

Ο μετεωρολογικός σταθμός Netatmo, συλλέγει δεδομένα (ρύπανση θορύβου, επίπεδα CO₂, υγρασία, θερμοκρασία, βαρομετρική πίεση), αξιολογεί το κλίμα που επικρατεί στην αυλή για να μας πει πότε είναι η κατάλληλη στιγμή για να φυτέψουμε νέους σπόρους.

Το Energenie / Gembird, EG-PMS2-LAN, είναι ένα πολύμπριζο που ελέγχεται μέσω υπολογιστή (USB / LAN / WiFi) με προγράμματα ανοιχτού κώ-



¹¹<https://www.loxone.com/enen/minerva/>

¹²βλ. διαφημιστικό <https://youtu.be/MoPCxCRRWcM>

¹³Netflix Hue - Hack Day - August 2014: <https://www.youtube.com/watch?v=jfA01wBms4U>



Σχήμα 6: Λογότυπα “Works With”

δικα¹⁴.

Ένα άλλο ενδιαφέρον προϊόν, με πρωτόκολλο z-wave είναι η μπρίζα της Fibaro η οποία εμφανίζει την κατανάλωση περιμετρικά με χρώμα που αντιστοιχεί στην τρέχουσα κατανάλωση, αρχειοθετεί την κατανάλωση και δημιουργεί στατιστικά. Μία χρήσιμη λειτουργία που θα μπορούσε να βοηθήσει με μηχανική μάθηση. π.χ. Να στείλει ειδοποίηση αν ηλικιωμένος άλλαξε συνήθειες, ή ξέχασε ανοιχτή συσκευή.

3.5 Λογισμικό

Στο λογισμικό όπως και σε όλους τους τομείς των ΤΠΕ υπάρχει κλειστό (proprietary / closed source) και ανοιχτό λογισμικό (Open Source). Η υπερπληθώρα επιλογών δημιουργεί κάποια προβλήματα. Οι εταιρίες δεν ακολουθούν πάντα κάποια πρότυπα, αλλά και τα πρότυπα / πιστοποιήσεις είναι πολλές. Ευτυχώς αρκετές υλοποιήσεις προσφέρουν διασύνδεση με πολλά συστήματα. Αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιες επιλογές. Για σύντομες περιγραφές και την ποιικιλία των επιλογών προτείνουμε την ιστοσελίδα του (OpenHAB 2019) με την λίστα των επεκτάσεων (add-ons).

Εδώ θα αναφερθούν ενδεικτικά κάποια συστήματα.

3.5.1 Εμπορικό Λογισμικό (Closed Source)

Οι γνωστές εταιρίες έχουν υλοποιήσει λογισμικό για ΕΣ το οποίο λειτουργεί στα (Hub) τους. Το σύστημα της Apple¹⁵, για να λειτουργήσει απομακρυσμένα χρειάζεται μία από τις συσκευές μόνιμα στο σπίτι: HomePod, Apple TV (4ης γενιάς), iPad¹⁶. Ελέγχονται οι λειτουργίες του σπιτιού με την φωνή. Την ίδια μέθοδο χρησιμοποιεί η Amazon (Echo), η Google (Google Home), η Microsoft (Cortana) και η Samsung (Bixby). Η Microsoft φαίνεται να έχασε την «μάχη» με τον ανταγωνισμό. Η Amazon, έχει εγκατεστημένη βάση 100 εκ. συσκευών, η Google 52 εκ. και η Cortana έχει χρησιμοποιηθεί από 150 εκ. χρήστες. Αν και έχει την μεγαλύτερη εγκατεστημένη βάση, λίγοι χρήστες χρησιμοποιούν τον υπολογιστή ως βοηθό, αλλά το σημαντικότερο πρόβλημα είναι πως έχει μερικές εκατοντάδες δεξιότητες (skills) αντί για 80.000 της Alexa¹⁷.

3.5.2 Ανοιχτό Λογισμικό (Open Source)

Υπάρχουν πολλές επιλογές¹⁸, μία ενδιαφέρουσα είναι η openHAB, όπου συνδυάζει όλα τα συστήματα, ακόμη και τηλεφωνικό κέντρο (Asterisk) με έξυπνες τηλεοράσεις Samsung. Έτσι όταν κάποιος τηλεφωνεί, μπορεί να φαίνεται ο αριθμός στην τηλεόραση. Ή όταν για παράδειγμα λείπουμε από το σπίτι, αυτόματα να προωθείται η κλήση σε άλλον αριθμό. Ακόμη ποιό εκλεπτυσμένη λειτουργία, να χτυπάει το εσωτερικό τηλέφωνο όπου υπάρχει άτομο και όχι σε όλους τους χώρους.

Άλλες υλοποιήσεις: home-assistant, calaos, agocontrol, domotics κ.ά.

¹⁴<http://sispmctl.sourceforge.net> και <https://github.com/unterwulf/egctl>

¹⁵<http://www.apple.com/ios/home/>.

¹⁶ Προϋπόθεση να είναι συνδεδεμένο στο ρεύμα και στο WiFi με έκδοση iOS 11 ή μεταγενέστερη.

¹⁷<https://www.tomsguide.com/us/cortana-is-dead,news-29308.html>.

¹⁸βλ. <https://opensource.com/tools/home-automation>

3.6 DIY (Κάντο μόνος σου)

Ως Hub, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας οποιοσδήποτε υπολογιστής, αν και το θεωρούμε υπερβολικό. Ένα Raspberry Pi 3¹⁹, φαίνεται υπεραρκετό. Και αν κάποιος ενδιαφέρεται για αυτονομία και μικρό μέγεθος μπορεί να χρησιμοποιήσει και το Arduino. Λέξεις «κλειδιά» οι εταιρίες **Adafruit**, **Sparkfun**, **Sunfounder** κ.ά., που κατασκευάζουν πρόσθετα **shields** για Arduino και παρόμοιους υπολογιστές.

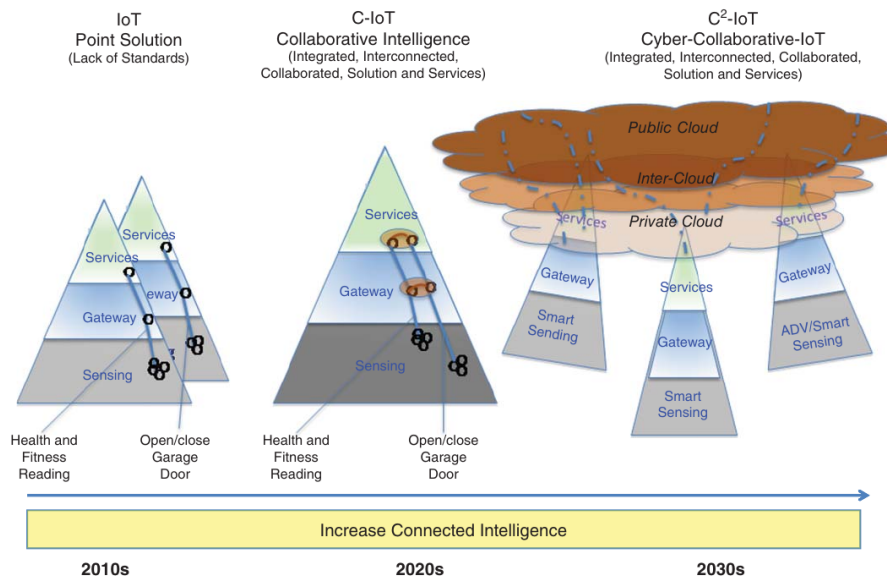
Ακόμη μία επιλογή μικρότερη του Arduino αλλά με ενσωματωμένο WiFi είναι το NodeMCU²⁰ με κόστος 2€ (Yuan 2017b).

Για προχωρημένες λειτουργίες (φωνητικές οδηγίες, έλεγχος με εικόνα) για τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί το AIY kit της Google, όπου η κάμερα μπορεί να αναγνωρίσει συγκεκριμένα πρόσωπα, την διάθεσή του, 4.000 διαφορετικά όντα, αναγνώριση σερβιρισμένου φαγητού. (AIY Google Video). Με το **AIY Google Voice Kit**, έχουμε μετατροπή φωνής σε κείμενο για φωνητικές εντολές στο Smart Home σύστημά μας.

Για λύση ανοιχτού λογισμικού για μετατροπή φωνής σε κείμενο αλλά και ανακοίνωση αποτελεσμάτων το **MyCroft.ai** project μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

¹⁹Η επιτυχία του ώθησε και μεγάλες εταιρίες όπως η Intel, να κυκλοφορήσουν υπολογιστές για ιδιοκατασκευές όπως NUC Board και TinkerBoard της ASUS.

²⁰Στην πραγματικότητα είναι μία συσκευή με μικροελεγκτή ESP8266.



Σχήμα 7: Χάρτης εξέλιξης IoT
(Fawzi & Kwok 2015)

3.7 Το Μέλλον

Από το 2014, φαίνεται πως μπορούμε να έχουμε *Internet of Useful Things*, αφού οι συσκευές μπορούν να συλλέγουν δεδομένα, να αναλύουν (απορρίπτοντας ασήμαντα δεδομένα) αλλά και να αλληλεπιδρούν συνέχεια (Fawzi & Kwok 2015, σελ. 26). Ένα τέτοιο παράδειγμα το wearable Fitbit Flex 2 όπου σε συνδυασμό με τους αισθητήρες του iPhone-5s²¹ ή μεταγενέστερου μπορεί να καταγράφει δραστηριότητα ποδηλασίας, κολύμβησης, αεροβικής γυμναστικής, ύπνου χωρίς να το ενεργοποιήσει ο χρήστης. Ένα καλύτερο παράδειγμα στο video της Boston Dynamics: Hey Buddy, Can You Give Me a Hand?²². Η τεχνολογία θα προσφέρει αισθητήρες που απαιτούν λιγότερη ενέργεια και ισχυρότερους επεξεργαστές. Θα έχουμε συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους, μαθαίνουν η μία απο την άλλη ακόμη και ελέγχει η μία την άλλη (Rose 2014). Αργότερα φαίνεται πως θα έχουμε όχι μόνο συσκευές που συνεργάζονται μεταξύ τους, αλλά και υπηρεσίες που θα συνεργάζονται, βλ. σχήμα 7.

Η τρίτη ηλικία αυξάνεται ραγδαία. Το 2017 το 1/5 του πληθυσμού (19%) ήταν άνω των 65 ετών. Έως το 2080, οι ηλικίες άνω των 80 θα υπερδιπλασιαστούν και θα φτάσουν το 13% του συνολικού πληθυσμού. Το 2016, περίπου οι μισοί ηλικίας 65-74 χρησιμοποίησαν το διαδίκτυο μία φορά την εβδομάδα. (Eurostat 2012) Φαίνεται πως θα υπάρχει έλλειψη φροντίδας για τους ηλικιωμένους. (Leitner 2015, σελ. 8)

²¹ Το iOS από την 8η έκδοση (Σεπτέμβριος 2014), μπορεί να κατανοεί αν ο χρήστης του ποδηλατεί, όπως επίσης αν περπατάει, τρέχει, είναι σε αυτοκίνητο, ή βρίσκεται γενικά σε κίνηση (Apple iOS SDK 2019). Σε συνδυασμό με την εφαρμογή του Fitbit, καταγράφεται η δραστηριότητα της ποδηλασίας.

²²<https://youtu.be/fUyU3lKzoio>

4 Αξιολόγηση

Στο τελευταίο μέρος αξιολογούμε την διασυνδεσιμότητα, υλοποιήσεις και μερικές αυτόνομες συσκευές και παραθέτουμε κριτήρια αξιολόγησης.

Η αξιολόγηση συσκευών μπορεί να γίνει με τα οκτώ λατινικά A's. Σε μετάφραση: «Απομακρυσμένη διαχείριση και έλεγχος, διεπαφή με επαυξημένη πραγματικότητα, επίγνωση περιεχομένου και τοποθεσίας, ανάλυση και ενέργεια, αυτοματοποίηση, προσδοκία και πρόβλεψη, αυτόνομο, γοητευτικό.» (Fawzi & Kwok 2015, σελ. 146)²³

Μία πληρέστερη αξιολόγηση μπορεί να έχει τριαντατρία κριτήρια (Economides 2017, σελ. 14). Στην παρούσα εργασία για λόγους συντομίας και απλότητας αξιολογούμε με σενάρια και παράθεση παραδειγμάτων.

4.1 Διασυνδεσιμότητα

Αν πρέπει να δουλέψουμε μία συσκευή που απαιτεί μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης (π.χ. IP κάμερα), ένα αργό μέσο μετάδοσης δεν είναι αποδεκτό και θα πρέπει να προτιμήσουμε ένα γρήγορο όπως το ethernet το WiFi. Αν θέλουμε να λειτουργήσουμε ένα δικτυακό αποθηκευτικό μέσο (NAS) ώστε να διαμοιράζει μεγάλα αρχεία, θα πρέπει να το συνδέσουμε σε δίκτυο Ethernet Gbit. Σε μία εγκατάσταση για παρακολούθηση αντικειμένων που δεν έχουμε απαιτήσεις σε ταχύτητα, αλλά έχουμε απαίτηση σε χαμηλή ενέργεια για αυτονομία θα προτιμήσουμε ID tags σε διάταξη πλέγαμτς με διάρκεια ζωής της μπαταρίας πάνω από ένα χρόνο (Mason et al 2010). Αν όμως έχουμε απαιτήσεις για εμβέλεια θα προτιμήσουμε διασυνδεσιμότητα LPWAN. Ένας συναγερμός θα μπορούσε να λειτουργεί με το παραδοσιακό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (GPRS, EDGE, 3G) ή με LPWAN.

Η Apple έχει περιορισμένες επιλογές αφού τα hub της υποστηρίζουν μόνο συσκευές WiFi και Bluetooth LE, σε αντίθεση με Samsung (SmartThings)²⁴ που υποστηρίζει Z-wave και Zigbee. Ένα πλεονέκτημα της Apple είναι πως χρησιμοποιεί ως Hub και άλλες συσκευές όπως (Apple TV, iPad), έτσι πλεονεχτεί αφού ο έλεγχος του ΕΣ γίνεται από πολλούς χώρους και όχι μόνο από την χώρο του Κεντρικού Σταθμού. Η λύση της Amazon υποστηρίζει και ZigBee.

Όσον αφορά το ενεργειακό αποτύπωμα των συσκευών, οι τιμές κατανάλωσης για Bluetooth LE, WiFi, ZigBee σε συνδυασμό με την τοπολογία και εμβέλεια δείχνουν πως για Έξυπνο Σπίτι ένα πρωτόκολλο σαν το ZigBee, Z-Wave, Dect ULE, Bluetooth LE, είναι συνήθως το κατάλληλο αν θέλουμε ασύρματη δικτύωση (Kazeem 2017).

4.1.1 Υλοποιήσεις

Στο ΕΣ, αρκετοί χρήστες προσπαθούν να υλοποιήσουν δικό τους υλικολογισμικό επειδή υπάρχουν ασυμβατότητες. Συνήθως όμως το κλειστό λογισμικό είναι ευκολότερο στην εγκατάσταση και στην χρήση. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει ο κίνδυνος του abandonware, όπως στην περίπτωση του Iris²⁵ ή του revolv hub²⁶. Στην περίπτωση της Alexa υπάρχει ζήτημα ιδιωτικότητας²⁷, αφού εργαζόμενοι ακούνε συνομιλίες για την βελτίωση του συστήματος. Από τα κλειστά λογισμικά, της Apple φαίνεται να προστατεύει την ιδιωτικότητα αφού στέλνει τυχαίο αναγνωριστικό ως εντολέα που δεν συνδέεται

²³ "8A's: Automated Remote Provisioning and Management, Augmented Reality Human-Machine Interface HMI, Awareness of Context and Location, Analyze and Take Action, Automate, Anticipate and Predict, Autonomous, Attractive."

²⁴ Υπάρχει και το abandonware Iris.

²⁵ <https://www.theverge.com/2019/2/2/18208407/lowes-iris-smart-home-platform-shutting-down-march-2019>

²⁶ <https://www.businessinsider.com/googles-nest-closing-smart-home-company-revolv-bricking-devices-2016-4?r=UK>

²⁷ <https://gizmodo.com/the-terrible-truth-about-alexa-1834075404>, <https://gizmodo.com/your-worst-alexa-nightmares-are-coming-true-1826327301>

με τον χρήστη. Μία λύση ανοιχτού λογισμικού ή DIY, μπορεί να εξασφαλίσει την ιδιωτικότητα των δεδομένων μας.

Όσον αφορά την ποικιλία των συσκευών η SmartThings, προσφέρει και λευκές συσκευές. Η Fibaro, προσφέρει συσκευές σε παραλλαγές ώστε να συμβατές με όλα τα hub.

4.2 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με το Google Trends, υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τα ΕΣ. Στρέφεται κυρίως στην ασφάλεια αν και υπάρχουν ολοκληρωμένες υλοποιήσεις για όλες τις πτυχές των ΕΣ. Πιστεύουμε πως στο μέλλον τα σπίτια θα είναι εξοπλισμένα με αυτοματοποιημένες / διασυνδεδεμένες συσκευές, αφού οι περισσότεροι αισθητήρες είναι ήδη οικονομικοί, οπότε υπάρχει η δυνατότητα για προσιτές υλοποιήσεις.

Στο μέλλον με την καθολική χρήση των IoT, το Έξυπνο Σπίτι θα είναι συνδεδεμένο και με εξωτερικά συμβάντα.

Ένα από τα σοβαρά προβλήματα, όπως και με όλα τα τεχνολογικά ζητήματα στις ΤΠΕ, είναι οι ασυμβατότητες σε εφαρμογές αλλά και η διασυνδεσιμότητα σε φυσικό επίπεδο ή σε πρωτόκολλα.

Οι λευκές συσκευές²⁸, έχουν μείνει στάσιμες και οι πολυμεσικές είναι ασύμβατες. Ειδικά σε χαμηλές τιμές, η συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα (interoperability) είναι ανύπαρκτες. Υπάρχουν κάποιες εξαιρέσεις από πρωτοβουλίες και οργανισμούς όπως Enocean, z-Wave, Qvivicon, που επιτρέπουν τον συνδυασμό συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. (Leitner 2015, σελ. 39-42)

Ο Mark Weiser (1991) υποστηρίζει πως σημαντικές τεχνολογίες είναι αυτές που εξαφανίζονται. Μπαίνουν στην καθημερινότητά μας, μέχρι που δεν μπορούμε να τις διαχωρίσουμε²⁹. Θα πρέπει λοιπόν οι τεχνολογίες ΕΣ να γίνουν πανταχού παρούσες, διάχυτες και διαφανείς (ubiquitous computing), ώστε να γίνουν αποδεκτές.

²⁸ π.χ. ψυγείο, κουζίνα, κ.ο.κ.

²⁹ “The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.”

Βιβλιογραφία

- Fadel Adib & Hongzi Mao Zachary Kabelac & Dina Katabi & Robert C. Miller, 2015. “Smart Homes that Monitor Breathing and Heart Rate”, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 837-846, <https://doi.org/10.1145/2702123.2702200>
- Ferran Adelantado & Xavier Vilajosana & Pere Tuset-Peiro & Borja Martinez & Joan Melià-Seguí & Thomas Watteyne, 2017. “Understanding the Limits of LoRaWAN”, *IEEE Communications Magazine*, January 2017, <https://arxiv.org/pdf/1607.08011.pdf>
- Apple, 2019. *iOS SDK - CoreMotion Framework* ανακτήθηκε από: <https://developer.apple.com/documentation/coremotion/cmmotionactivity/1615451-cycling>
- Yasirli Amril & Mukhammad Andri Setiawan, 2018. “Improving Smart Home Concept with the Internet of Things Concept Using RaspberryPi and NodeMCU”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 325, conference 1, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/325/1/012021>
- Diane J. Cook, 2012. *How Smart Is Your Home?*, American Association for the Advancement of Science, <https://doi.org/10.1126/science.1217640>
- D. J. Dijk, T. L. Shanahan, J. F. Duffy, J. M. Ronda, and C. A. Czeisler. “Variation of electroencephalographic activity during non-rapid eye movement and rapid eye movement sleep with phase of circadian melatonin rhythm in humans”, *J. Physiol* 505 (Pt 3): pp. 851-858, 1997, <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-7793.1997.851ba.x>
- Economides A.A., 2017. “User Perceptions of Internet of Things (IoT) Systems”, *Obaidat M. (eds) E-Business and Telecommunications. ICETE 2016. Communications in Computer and Information Science*, vol 764. Springer, Cham <http://conta.uom.gr/conta/publications/PDF/2017-%20User%20Perceptions%20of%20Internet%20of%20Things%20%28IoT%29%20Systems.pdf>
- Eurostat, *Population Statistics*, ανακτήθηκε από: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Population_structure_and_ageing
- Fawzi Behmann & Kwok Wu, *Collaborative Internet of Things (C-IOT): For Future Smart Connected Life and Business*, Print ISBN:9781118913741, Online ISBN:9781118913734, DOI:10.1002/9781118913734, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118913734>
- Carles Gomez & Joaquim Oller & Josep Paradells, *Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology*, doi:10.3390/s120911734, https://res.mdpi.com/sensors/sensors-12-11734/article_deploy/sensors-12-11734.pdf
- Matthew B. Hoy & Tara J. Brigham, 2015. “The Internet of Things: What It is and What It Means for Libraries”, *Emerging Technologies*, 34(3), pp. 353-358, <https://doi.org/10.1080/02763869.2015.1052699>
- Google, *Machine learning models for AIY kits*, ανακτήθηκε από: <https://aiyprojects.withgoogle.com/models/>
- Google, *Google AIY Voice Kit*, ανακτήθηκε από: <https://aiyprojects.withgoogle.com/voice/>
- Vasileios Karagiannis, Francisco Vazquez-Gallego, Periklis Chatzimisios & Jesus Alonso-Zarate, 2015. *A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things*, <https://doi.org/10.5281/zenodo.51613>
- Olaide O. Kazeem & Olubiyi O. Akintade & Lawrence O. Kehinde, 2017. “A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi”, *International Journal of Internet of Things*, Vol. 6 No. 1, 2017, pp. 9-13, doi: 10.5923/j.ijit.20170601.02, <http://article.sapub.org/10.5923.j.ijit.20170601.02.html>

- Gerhard Leitner *The Future Home is Wise, Not Smart*, Springer, ISBN: 3319230921 <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2845106>
- Rita Yi Man Li & Herru Ching Yu Li & Cho Kei Mak & Tony Beiqi Tang, 2016. “Sustainable Smart Home and Home Automation: Big Data Analytics Approach”, *International Journal of Smart Home*, Vol.10, No.8, pp.177-198, <https://pdfs.semanticscholar.org/07d2/e25c97ef935a80811443da65a5ead545539e.pdf>
- loxone.com, 2019. *Wiring 1-Wire Devices*, <https://www.loxone.com/enen/kb/wiring-1-wire-devices>
- S. Marksteiner & V. J. Expósito Jimenez & H. Vallant & H. Zeiner, 2017. “An overview of wireless IoT protocol security in the smart home domain”, *2017 Joint 13th CTTE and 10th CMI Conference on Internet of Things Business Models, Users, and Networks*, Compenhagen, 2017, pp. 1-8, <https://doi.org/10.1109/CTTE.2017.8260940>
- A. Mason & A. Shaw & A. I. Al-Shamma’Aa, 2010. “Inventory Management in the Packaged Gas Industry Using Wireless Sensor Networks”, *Advances in Wireless Sensors and Sensor Networks*, (LNEE, volume 64), pp 75-100, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-642-12707-6_4
- Maxim Integrated, Application Note 3884, *How Far and How Fast Can You Go with RS-485?*, ανακτήθηκε από: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3884>
- Kais Mekki & Eddy Bajic & Frederic Chaxel & Fernand Meyer, 2018. “Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT”, *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*<https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2018.8480255>
- Kais Mekki & Eddy Bajic & Frederic Chaxel & Fernand Meyer, 2019. “A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment”, *ICT Express*, Vol. 5, issue 1, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>
- Maxim Integrated, Tutorial 148, *Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire Networks*, 2018, <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/148>
- OpenHAB, *Add-ons Reference*, 2019, <https://www.openhab.org/addons/>
- Philips, 2014. white paper: *Backgrounds on Light & Health and description of the HealWell System*, http://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Global/ODLI20150416.001-UPD-en_AA-healwell-white-paper-2014-int.pdf
- María del P.Pablo-Romero & Rafael Pozo-Bara & Rocío Yñiguez, 2017. “Global changes in residential energy consumption”, *Energy Policy*, vol. 101, pp. 342-352, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.032>
- David Rose, 2014. *Enchanted Objects: Design, Human Desire, and the Internet of Things*.
- Rosslin John Robles & Tai-hoon Kim, 2010. “Applications, Systems and Methods in Smart Home Technology: A Review”, *International Journal of Advanced Science and Technology - Vol. 15*, February, 2010, pp. 37-47, <http://modul.repo.mercubuana-yogya.ac.id/modul/files/openjournal/JournalOfDesign/4.261.pdf>
- Rovsing Poul Ejnar & Larsen Peter Gorm & Orcid Logo & Toftegaard Thomas Skjødeberg, 2011. “A Reality Check on Home Automation Technologies”, *Journal of Green Engineering*, Vol 1, issue 3, pp. 303-327, http://www.jgenng.com/wp-content/uploads/2019/01/RP_Journal_1904-4720-135.pdf
- Tara Salman & Raj Jain, *A Survey of Protocols and Standards for Internet of Things*, <https://arxiv.org/abs/1903.11549>

- Rashmi Sharan Sinha & Yiqiao Wei & Seung-Hoon Hwang, 2017. "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT", *ICT Express*, Vol 3, Issue 1, <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.03.004>
- Silicon Labs, *AN1142: Mesh Network Performance Comparison*, <https://www.silabs.com/documents/login/application-notes/an1142-mesh-network-performance-comparison.pdf>
- Silicon Labs, *AN1138: ZigBee Mesh Network Performance*, <https://www.silabs.com/documents/login/application-notes/an1138-zigbee-mesh-network-performance.pdf>
- Biljana L.Risteska Stojkoska & Kire V. Trivodaliev, "A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions", *Journal of Cleaner Production*, Volume 140, Part 3, 1 January 2017, Pages 1454-1464, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>
- Ja-Young Sung, Lan Guo, Rebecca E. Grinter & Henrik I. Christensen, 2017. "My Roomba Is Rambo": Intimate Home Appliances, *9th International Conference, UbiComp 2007 Innsbruck*, Austria, September 16-19, Proceedings, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-540-74853-3_9
- Merz Hermann & Hansemann Thomas & Hübner Christof, *Building Automation Communication systems with EIB/KNX, LON und BACnet*, 2009, Berlin, Heidelberg, Springer, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88829-1>
- Texas Instruments, *AN-979 The Practical Limits of RS-485*, application report, <http://www.ti.com/lit/an/snla042a/snla042a.pdf>
- A. Tahir INCE, Onur ELMA, Ugur S. SELAMOGULLARI, Bulent VURAL, 2014. "Data Reliability and Latency Test for ZigBee - based Smart Home Energy Management Systems", *7th International Ege Energy Symposium & Exhibition*, Usak, Turkey,
- Michael Yuan, *IBM Developer*, Article: Getting to know MQTT, 2017. <https://developer.ibm.com/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>
- Michael Yuan, *IBM Developer*, Tutorial: Getting to know NodeMCU and its DEVKIT board, 2017. <https://developer.ibm.com/tutorials/iot-nodemcu-open-why-use/>