



# Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Διαδίκτυο των Πάντων :  
Τεχνολογία και Εφαρμογές  
Internet of Things :  
Technology and Applications

Διπλωματική Εργασία

Ηλίας Ελευθερίου

Επιβλέποντες: Μποζάνης Παναγιώτης,  
Καθηγητής ΠΘ

Τσομπανοπούλου Παναγιώτα,  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΘ

Βόλος, 2016



*Στην Χρυσάννα, την οικογένεια και τους φίλους μου,*

## Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας κ. Μποζάνη Παναγιώτη, Καθηγητή ΠΘ και κ. Τσομπανοπούλου Παναγιώτα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΘ για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπο μου με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το κ. Φεύγα Αθανάσιο για την βοήθεια που μου προσέφερε από την αρχή της εργασίας καθώς και για την άριστη συνεργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης του φίλους μου που ήταν δίπλα τόσο στην δημιουργία της εργασίας μου όσο και σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς και τα αδέρφια μου που καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου υπήρξαν αρωγοί των προσπαθειών μου και ήταν δίπλα μου προσφέροντας υποστήριξη, τόσο υλική όσο και ηθική.

Ηλίας Ελευθερίου

Βόλος, 2016

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	8
1.1    Τι είναι το Internet of Things.....	8
Εικόνα 1 Πηγή: <a href="http://blogs.cisco.com/diversity/the-internet-of-things-infographic">http://blogs.cisco.com/diversity/the-internet-of-things-infographic</a> .....	8
1.2    Το IoT σήμερα.....	9
1.3    Μελλοντική Εξέλιξη του IoT .....	11
Η Τεχνολογία του Internet of Things.....	12
2.1    Η αρχιτεκτονική του IoT .....	12
2.2    Μοντέλα διασύνδεσης συσκευών .....	14
2.3    Πρωτόκολλα Αλληλεπίδρασης μεταξύ συσκευών του IoT .....	21
2.3.1    Πρωτόκολλο REST.....	21
2.3.2    Πρωτόκολλο CoAP .....	23
2.3.3    Πρωτόκολλο MQTT.....	30
2.3.4    Πρωτόκολλο DDS.....	35
2.3.5    Πρωτόκολλο XMPP .....	38
2.4    Commercial IoT πλατφόρμες.....	42
2.4.1    Amazon Web Services IoT .....	44
2.4.2    Microsoft Azure IoT .....	45
2.4.3    IBM Watson IoT .....	47
2.4.4    Eclipse Foundation IoT .....	49
Εφαρμογές του Internet of Things .....	50
3.1    Smart Cities.....	50
3.2    Smart Home.....	54
3.3    Smart Transport.....	55
3.4    Εφαρμογές του Internet of Things στην Τομέα Υγείας .....	57
Βιβλιογραφία .....	59

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΠΗΓΗ: <a href="http://blogs.cisco.com/diversity/the-internet-of-things-infographic">HTTP://BLOGS.CISCO.COM/DIVERSITY/THE-INTERNET-OF-THINGS-INFOGRAPHIC</a>	8
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΑΡΧΙΚΟΙ ΚΛΑΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΛΥΣΕΩΝ ΙΟΤ ΚΑΙ ΛΟΓΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΧΘΗΚΑΝ ΠΗΓΗ: <a href="http://www.sas.com/el_gr/the-internet-of-things-infographic">WWW.SAS.COM/EL_GR/THE-INTERNET-OF-THINGS-INFOGRAPHIC</a>	10
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΤΟΜΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΙΟΤ ΠΗΓΗ: ΙΟΤ ANALYTICS <a href="https://iot-analytics.com/top-10-iot-project-application-areas-q3-2016/">HTTPS://IOT-ANALYTICS.COM/TOP-10-IOT-PROJECT-APPLICATION-AREAS-Q3-2016/</a>	11
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΙΟΤ ΠΗΓΗ : MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE	12
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΙΟΤ ΠΗΓΗ: TECHNOLOGIES, APPLICATIONS, AND GOVERNANCE IN THE INTERNET OF THINGS.INTERNET OF THINGS-GLOBAL TECHNOLOGICAL AND SOCIETAL TRENDS. FROM SMART ENVIRONMENTS AND SPACES TO GREEN ICT	13
ΕΙΚΟΝΑ 6 DEVICE-TO-DEVICE ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΗΓΗ: THE INTERNET OF THINGS: AN OVERVIEW, ROSE ET'AL	14
ΕΙΚΟΝΑ 7 DEVICE-TO-CLOUD ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΗΓΗ: THE INTERNET OF THINGS: AN OVERVIEW, ROSE ET'AL	15
ΕΙΚΟΝΑ 8 DEVICE-TO-GATEWAY ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΗΓΗ: THE INTERNET OF THINGS: AN OVERVIEW, ROSE ET'AL	16
ΕΙΚΟΝΑ 9 RASPBERRY PI MODEL B ΠΗΓΗ : <a href="http://www.raspberrypi.org">HTTP://WWW.RASPBERRYPI.ORG</a>	17
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟ RASPBERRY PI ΠΗΓΗ : <a href="http://www.raspberrypi.org">HTTP://WWW.RASPBERRYPI.ORG</a>	18
ΕΙΚΟΝΑ 11 BEAGLEBONE BLACK ΠΗΓΗ: <a href="http://www.beagleboard.org">HTTP://WWW.BEAGLEBOARD.ORG</a>	19
ΕΙΚΟΝΑ 12 INTEL GALILEO ΠΗΓΗ: <a href="http://www.intel.com/hardware/galileo">HTTP://WWW.INTEL.COM/HARDWARE/GALILEO</a>	20
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ REST ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΗΓΗ: <a href="https://axis3d.wordpress.com/2011/07/21/rest-ful-services/">HTTPS://AXIS3D.WORDPRESS.COM/2011/07/21/REST-FUL-SERVICES/</a>	22
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΣΩ COAP ΠΗΓΗ: ARM COAP TUTORIAL	24
ΕΙΚΟΝΑ 15 DTLS HANDSHAKE ΠΗΓΗ: «A DTLS BASED END-TO-END SECURITY ARCHITECTURE FOR THE INTERNET OF THINGS WITH TWO-WAY AUTHENTICATION»	25
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ COAP ΠΗΓΗ: INTERNET OF THINGS (IOT) PROTOCOLS COAP MQTT OSCON2014	25
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΠΗΓΗ: XI CHENG, "CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL FOR INTERNET OF THINGS"	26
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΠΗΓΗ: XI CHENG, "CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL FOR INTERNET OF THINGS"	27
ΕΙΚΟΝΑ 19 FORMAT ΕΝΟΣ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΠΗΓΗ: XI CHENG, "CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL FOR INTERNET OF THINGS"	27
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΚΑΙ ΜΗ ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ GET ΠΗΓΗ: XI CHENG, "CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL FOR INTERNET OF THINGS"	28
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΑΙΤΗΜΑ GET ΜΕ ΞΕΧΩΡΙΣΤΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΠΗΓΗ: XI CHENG, "CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL FOR INTERNET OF THINGS"	29
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΜΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΜΕΝΟ ΜΗΝΥΜΑ ΜΕ ΜΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΝΜΕΝΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΠΗΓΗ: XI CHENG, "CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL FOR INTERNET OF THINGS"	29
ΕΙΚΟΝΑ 23 MQTT PUBLISH/SUBSCRIBE ΠΗΓΗ : GETTING STARTED WITH MQTT   A PROTOCOL FOR THE INTERNET OF THINGS	30
ΕΙΚΟΝΑ 24 SINGLE-LEVEL WILDCARD ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΠΗΓΗ: HIVEMQ –MQTT ESSENTIALS	32
ΕΙΚΟΝΑ 25 MULTI LEVEL WILDCARD ΠΗΓΗ: HIVEMQ –MQTT ESSENTIALS	33
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΜΕ QOS-0 ΠΗΓΗ: HIVEMQ –MQTT ESSENTIALS	33

ΕΙΚΟΝΑ 27 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΜΕ QOS-1 ΠΗΓΗ: HIVEMQ –MQTT ESSENTIALS	34
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΜΕ QOS-2 ΠΗΓΗ: HIVEMQ –MQTT ESSENTIALS	35
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ DDS MIDDLEWARE ΠΗΓΗ: <a href="http://portals.omg.org/dds/what-is-dds-3/">HTTP://PORTALS.OMG.ORG/DDS/WHAT-IS-DDS-3/</a>	36
ΕΙΚΟΝΑ 30 DDS- GLOBAL DATA SPACE ΠΗΓΗ: <a href="http://www.prismtech.com/vortex/technologies/data-distribution-service">HTTP://WWW.PRISMTECH.COM/VORTEX/TECHNOLOGIES/DATA-DISTRIBUTION-SERVICE</a>	37
ΕΙΚΟΝΑ 31 SCALABILITY ΕΝΟΣ DSS ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΗΓΗ: <a href="http://portals.omg.org/dds/what-is-dds-3/">HTTP://PORTALS.OMG.ORG/DDS/WHAT-IS-DDS-3/</a>	38
ΕΙΚΟΝΑ 32 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΧΜΡΡ ΠΗΓΗ: <a href="http://www.algocomputing.com/portfolio1.html">HTTP://WWW.ALGOCOMPUTING.COM/PORTFOLIO1.HTML</a>	40
ΕΙΚΟΝΑ 33 STANZA ΤΥΠΟΥ NORMAL	41
ΕΙΚΟΝΑ 34 STANZA ΤΥΠΟΥ PRESENCE	42
ΕΙΚΟΝΑ 35 STANZA ΤΥΠΟΥ IQ ΠΟΥ ΕΠΙΣΤΡΕΦΕΙ ΤΗΝ ΛΙΣΤΑ ΕΠΑΦΩΝ	42
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΟΤ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΠΗΓΗ : <a href="http://iot-analytics.com">HTTP://ΙΟΤ-ANALYTICS.COM</a>	43
ΕΙΚΟΝΑ 37 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ AWS ΙΟΤ ΠΗΓΗ: AWS ΙΟΤ: DEVELOPER GUIDE	45
ΕΙΚΟΝΑ 38 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ AZURE ΙΟΤ SUITE ΠΗΓΗ: DEMYSTIFYING INTERNET OF THINGS WITH AZURE ΙΟΤ SUITE- WINWIRE TECNOLOGIES	46
ΕΙΚΟΝΑ 39 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΗΓΗ: MICROSOFT AZURE ΙΟΤ REFERENCE ARCHITECTURE	47
ΕΙΚΟΝΑ 40 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΗ IBM WATSON ΙΟΤ ΠΗΓΗ: WATSON ΙΟΤ REFERENCE GUIDE	48
ΕΙΚΟΝΑ 41 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ OPEN STACK ΙΟΤ ΠΗΓΗ: DEFINING AN OPEN ΙΟΤ STACK - PRESENTED AT ΙΟΤ WORLD 2015	49
ΕΙΚΟΝΑ 42 PROJECT VORTO ΠΗΓΗ: ECLIPSE VORTO- OVERVIEW	50
ΕΙΚΟΝΑ 43 SMART CITY CONCEPT ΠΗΓΗ: AGARTALA SMART CITY PROJECT	51
ΕΙΚΟΝΑ 44 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ ΤΟΥ AMSTERDAM ΠΗΓΗ: <a href="https://amsterdamsmartcity.com/p/about">HTTPS://AMSTERDAMSMARTCITY.COM/P/ABOUT</a>	52
ΕΙΚΟΝΑ 45 BUSAN GREEN U-CITY BLUEPRINT ΠΗΓΗ: SMART+CONNECTED CITY SERVICES CLOUD-BASED SERVICES INFRASTRUCTURE ENABLES TRANSFORMATION OF BUSAN METROPOLITAN CITY	53
ΕΙΚΟΝΑ 46 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NICE SMART PARKING ΠΗΓΗ: CORSRO A., “BUILDING THE INTERNET OF THINGS WITH DDS”	53
ΕΙΚΟΝΑ 47 SMART HOME CONCEPT ΠΗΓΗ: CONNECTED DEVICES FOR SMARTER HOME ENVIRONMENTS	54
ΕΙΚΟΝΑ 48 SMARTTHINGS HUB ΠΗΓΗ: <a href="http://allconnected.gr/news/h-samsung-ependyiei-sto-eygno-spiti-ifa-2015/">HTTP://ALLCONNECTED.GR/NEWS/H-SAMSUNG-ΕΠΕΝΔΥΕΙ-ΣΤΟ-ΕΞΥΠΝΟ-ΣΠΙΤΙ-IFA-2015/</a>	55
ΕΙΚΟΝΑ 49 PROJECT BUTLER ΠΗΓΗ : <a href="http://www.iot-butler.eu/wp-content/uploads/2011/10/butler_poc_smarttransport_poster_jub.png">HTTP://WWW.ΙΟΤ-BUTLER.EU/WP-CONTENT/UPLOADS/2011/10/BUTLER_POC_SMARTTRANSPORT_POSTER_JUB.PNG</a>	56
ΕΙΚΟΝΑ 50 SMART HEALTH ΠΗΓΗ: CONTINUA HEALTH ALLIANCE	58
ΕΙΚΟΝΑ 51 SMART HEALTH ΙΟΤ ΛΥΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ INTEL ΠΗΓΗ: TRANSFORMING HEALTHCARE WITH TELEMEDICINE SOLUTIONS BASED ON THE INTERNET OF THINGS (ΙΟΤ)”,	58

# Εισαγωγή

## 1.1 Τι είναι το Internet of Things



Εικόνα 1 Πηγή:<http://blogs.cisco.com/diversity/the-internet-of-things-infographic>

Το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» ή αλλιώς Internet of Things (IoT) αποτελεί θέμα συζητήσεων σε πολλούς τεχνολογικούς και εμπορικούς κύκλους ανά τον κόσμο. Ο όρος πλέον έχει ξεφύγει από τις απλές συζητήσεις μεταξύ ανθρώπων και συναντάται πλέον σε ειδησεογραφικά θέματα και τίτλους εφημερίδων. Τι είναι, όμως, το Internet of Things που ακούμε τόσο συχνά; Οι ορισμοί του γενικά ποικίλλουν. Αυτό που θα λέγαμε, όμως, ότι χαρακτηρίζει το IoT είναι ότι αποτελείται από «έξυπνα», δηλαδή εξοπλισμένα με υπολογιστή και συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο, «πράγματα», δηλαδή συσκευές, που συνδέονται τόσο μεταξύ τους, όσο και με βάσεις δεδομένων, δηλαδή servers, που στόχο έχουν να συλλέγουν δεδομένα από ένα πλήθος συσκευών παρέχοντας ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών.

Το "Διαδίκτυο των Πραγμάτων" είναι ένα εγχείρημα, μία ιδέα, που έχει την βάση του στην σύνδεση διάφορων μικρών και μεγάλων συσκευών ή και οχημάτων με ενσωματωμένους αισθητήρες και εξοπλισμό διασύνδεσης (tablets, τηλέφωνα, ηχεία, wearables, κάμερες, αισθητήρες, λευκές συσκευές, αυτοκίνητα και αναρίθμητες άλλες συσκευές) τόσο μεταξύ τους όσο και με τον κατασκευαστή, για να λαμβάνουν και να μεταδίδουν σχετικά δεδομένα με στόχο να προσφέρουν περισσότερες υπηρεσίες και πρόσθετη αξία.

Δηλαδή, πρόκειται για ένα αναπτυσσόμενο δίκτυο των καθημερινών αντικειμένων - από τις βιομηχανικές μηχανές έως τα καταναλωτικά αγαθά - που μπορεί να μοιράζεται πληροφορίες και να ολοκληρώνει εργασίες, ενώ εσείς είστε απασχολημένοι με άλλες δραστηριότητες. Για το θέσουμε πιο απλά, το IoT θα προσφέρει νέα αξία στις ζωές των καταναλωτών, μεταμορφώνοντας τα καθημερινά αντικείμενα σε έξυπνες συνδεδεμένες συσκευές που ουσιαστικά

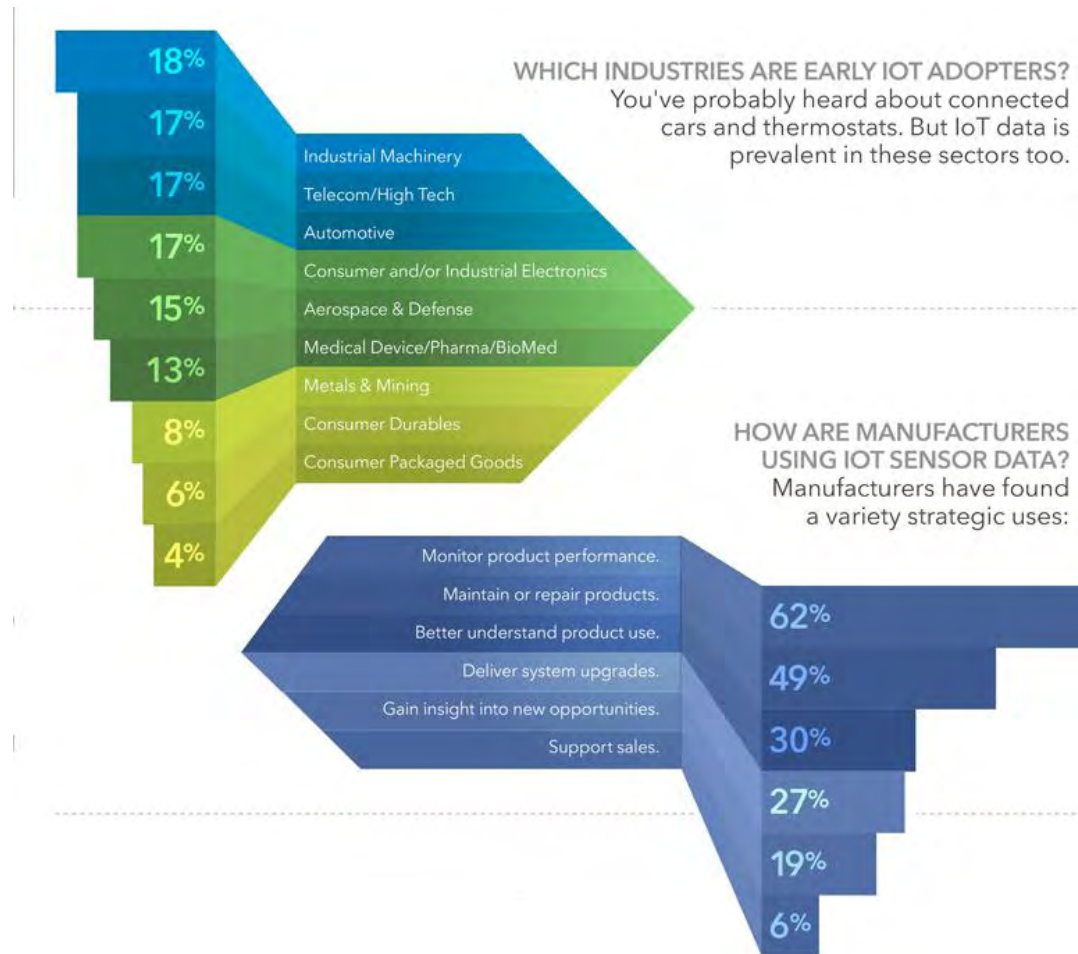


κατανοούν τους καταναλωτές και τους προσφέρουν πλεονεκτήματα και υπηρεσίες που καλύπτουν τις ανάγκες και τις επιθυμίες τους.[1]

## 1.2 Το IoT σήμερα

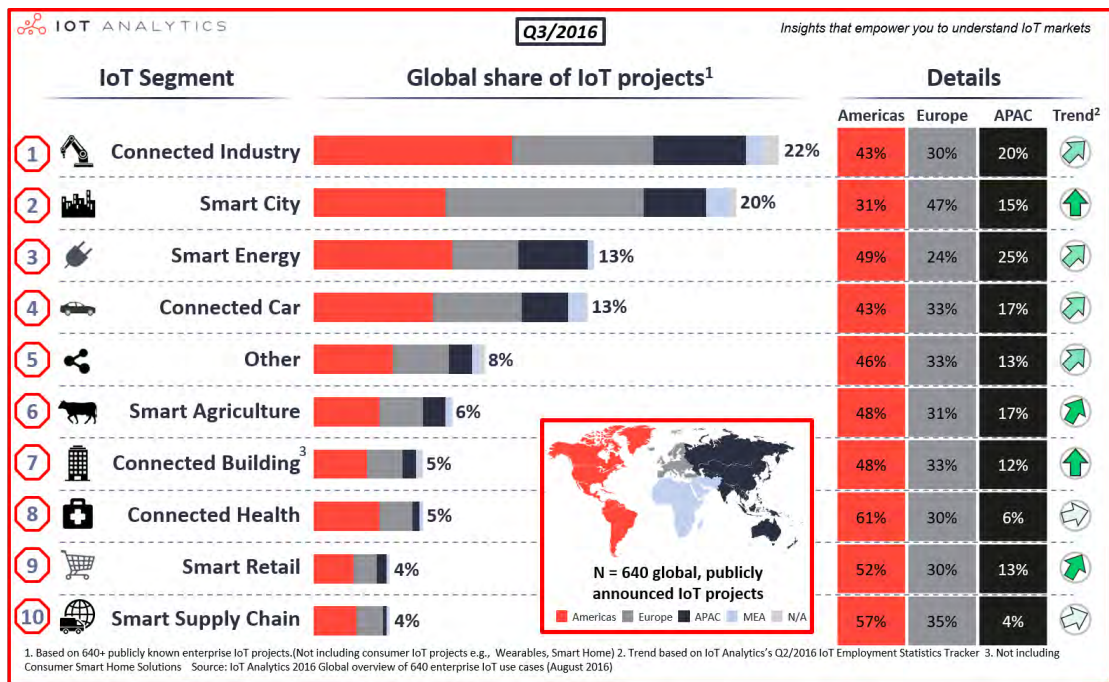
Όπως περιγράψαμε το Internet of Things (IoT) επιτρέπει την ύπαρξη διασυνδεδεμένων συσκευών στο πλαίσιο ενός δικτύου και την δυνατότητα αυτών να αλληλεπιδρούν εκτελώντας ενέργειες που σκοπό έχουν να αυξήσουν τα παραγωγικότητα των χρηστών. Υπό αυτή την έννοια το όλο concept του IoT μοιάζει βγαλμένο από σενάριο επιστημονικής φαντασίας, παρόλα αυτά όμως βλέπουμε υλοποιήσεις του ακόμα στις πιο απλές καθημερινές δραστηριότητες. Χρησιμοποιούμε το smartphone μας σε κάθε πτυχή της καθημερινότητας μας, από το να επικοινωνήσουμε μέχρι το να κλείσουμε εισιτήρια για παραστάσεις και αεροπορικά ταξίδια. Το έξυπνο ρολόι μας κρατά βιομετρικά στοιχεία καταγράφοντας την καρδιακή λειτουργία και την κινητική δραστηριότητα μας. Το αυτοκίνητο μας χρησιμοποιεί τεχνολογία εντοπισμού θέσης (GPS) για την πλοήγηση σε σημεία που δεν έχουμε γνώση και χρησιμοποιεί στοιχεία που έχουν συλλεχθεί από άλλους χρήστες για την κυκλοφορία σε δρόμους που χρησιμοποιούμε. Αν συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων στο διαδίκτυο συσκευών αυξήθηκε σε ποσοστά της τάξης του 600% σε σχέση με τις 6 δισεκατομμύρια ενεργές συσκευές το 2006 μπορούμε να αντιληφθούμε τι είναι , και ένα μέρος αυτών που μπορεί να προσφέρει, το Internet of Things [2].

Πέρα όμως από τις καθημερινές εφαρμογές, υλοποιήσεις του Internet of Things χρησιμοποιούν και αρκετοί βιομηχανικοί κλάδοι. Πέρα από ευκολία για τους καταναλωτές οι λύσεις του IoT μπορούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα στους κλάδους αυτούς. Σύμφωνα με έρευνα του SAS Institute ο τομέας της βιομηχανικής παραγωγής αλλά και αυτοί των τηλεπικοινωνιών και της αυτοκινητοβιομηχανίας αποτέλεσαν τομείς που υιοθέτησαν μεθόδους και υπηρεσίες του IoT όταν αυτό ακόμα ήταν στο αρχικό στάδιο της ανάπτυξης του. Όπως έγινε εμφανές από τα αποτελέσματα της έρευνας ένα πολύ μεγάλο ποσοστό αυτών χρησιμοποίησε το IoT για την καταγραφή της απόδοσης των προϊόντων αλλά και στην διαδικασία συντήρησης και επισκευής.



Εικόνα 2 Αρχικοί Κλάδοι Εφαρμογής λύσεων IoT και λόγοι που επιλέχθηκαν  
Πηγή: [www.sas.com/el\\_gr/the-internet-of-things-infographic](http://www.sas.com/el_gr/the-internet-of-things-infographic)

Τέλος σύμφωνα με έρευνα του ομίλου IoT Analytics κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι παγκόσμιο επίπεδο υπάρχουν περισσότερα από 600 επιχειρηματικά IoT projects και η πλειονότητα αυτών αφορά το περιβάλλον της βιομηχανίας, τις λύσεις για “έξυπνες πόλεις” (smart cities) και τα δίκτυα διαχείρισης ενέργειας (smart energy) [3].



**Εικόνα 3 Τομείς Ανάπτυξης εφαρμογών IoT**  
 Πηγή: IoT Analytics <https://iot-analytics.com/top-10-iot-project-application-areas-q3-2016/>

### 1.3 Μελλοντική Εξέλιξη του IoT

Ένας μεγάλος αριθμός εταιριών και ερευνητικών οργανισμών προσπαθούν να προβλέψουν την επίδραση που θα έχει το Internet of Things στην ανάπτυξη του Διαδικτύου και της οικονομίας τα επόμενα 5 με 10 χρόνια. Επί παραδείγματι ο όμιλος Cisco εκτιμά ότι μέχρι το 2019 θα έχουμε περισσότερες από 24 δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο Internet [5] την στιγμή που ο οικονομικό κολοσσός Morgan Stanley προβλέπει 75 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές μέχρι το 2020 [6]. Ενώ McKinsey Global Institute προβλέπει τα οικονομικά οφέλη μέχρι το 2025 να κυμαίνονται μεταξύ του ποσού των 3.9 και 11.1 τρισεκατομμυρίων δολαρίων ανά έτος. Η έρευνα κατέληξε στο γεγονός ότι για να γίνουν πραγματικότητα οι εκτιμήσεις πρέπει:

1. Η δυνατότητα συνεργασίας (interoperability) μεταξύ διάφορων IoT πλατφόρμων να ακουμπήσει το 40% .
2. Την καλύτερη διαχείριση και αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται και την καλύτερη εκμετάλλευση των πληροφοριών που προσφέρουν.
3. Να γίνουν προσπάθειες χρήσης IoT από αναπτυσσόμενες οικονομίες σε σχέση με τις ήδη ακμάζουσες. Λόγω της μεγαλύτερης οικονομικής απόδοσης που θα έχει σε αυτές τις συνθήκες αξιοποίησης [7].

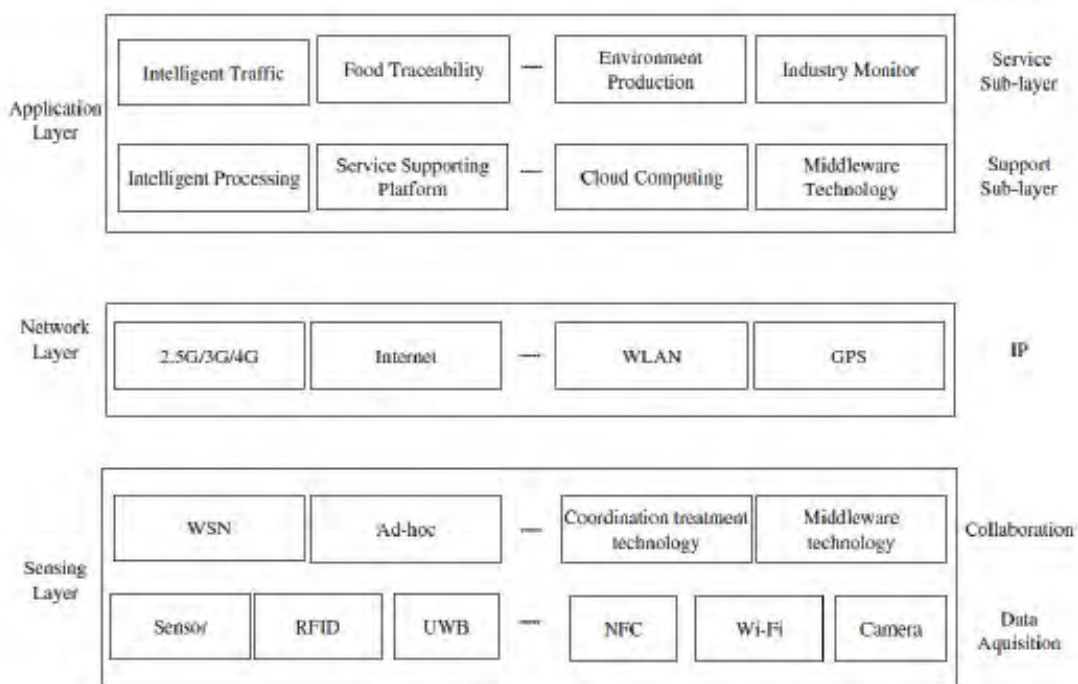


Εικόνα 4 Οικονομική Ανάπτυξη IoT  
 Πηγή : McKinsey Global Institute

## Η Τεχνολογία του Internet of Things

### 2.1 Η αρχιτεκτονική του IoT

Με την επέκταση του Internet of Things και την αύξηση των συσκευών που χρησιμοποιούνται σε IoT εφαρμογές πρέπει να αυξηθεί η ετερογένεια των συνδεδεμένων συσκευών. Τα μοντέλα αρχιτεκτονικής IoT εφαρμογών σε κατακόρυφο επίπεδο εστιάζει στην τεχνική υλοποίηση και χαρακτηρίζεται από την ασφαλή μετάδοση και αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων.



Εικόνα 5 Αρχιτεκτονική IoT

Πηγή: Technologies, applications, and governance in the internet of things. Internet of things-Global technological and societal trends. From smart environments and spaces to green ICT

Η αρχιτεκτονική αυτή αποτελείται από τρία επίπεδα το οποίο είναι το sensing επίπεδο, το network επίπεδο και το application επίπεδο.

### Επίπεδο Sensing

Στο επίπεδο αυτό η τεχνολογία επικεντρώνεται στην διαδικασία απόκτησης δεδομένων και της συνεργασίας των συσκευών που επικοινωνούν με λύσεις ανώτερων επιπέδων. Οι τεχνολογίες απόκτησης δεδομένων περιλαμβάνουν την σχεδίαση και υλοποίηση συσκευών υψηλής απόδοσης με μικρό μέγεθος και χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Η επικοινωνία αυτών των συσκευών θα πρέπει να υποστηρίζει πρωτόκολλα όπως RFID, NFC και Bluetooth.

### Επίπεδο Network

Για να επιτύχει η μετάδοση δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά το προηγούμενο επίπεδο πρέπει να δοθεί λύση στους εξής περιορισμούς έτσι ώστε όλες οι εφαρμογές IoT να πληρούν αυτές τις προϋποθέσεις. Πρώτον θα πρέπει κάθε συνδεδεμένη συσκευή να έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό που θα την ξεχωρίζει. Αυτό το αναγνωριστικό θα πρέπει να είναι μια διεύθυνση IP που θα παρέχεται από το IPv6. Δεύτερον να υπάρχει καλύτερη συνεργασία από τα διαδικτυακά πρωτόκολλα όπως το ιντερνέτ, τα ασύρματα δίκτυα μικρής εμβέλειας (WLAN), τα δίκτυα κινητής επικοινωνίας και τα δίκτυα δορυφόρων. Τέλος πρέπει να γίνει καλύτερη διαχείριση των πόρων και να υλοποίηση νέες τοπολογίες που διασφαλίσουν την ισχυρή φύση του δικτύου σε καταστάσεις δυναμικής προσθήκης και αφαίρεσης κόμβων.

### Επίπεδο Application

Το επίπεδο αυτό αποτελείται από 2 υπο-επίπεδα. Αυτό της υποστήριξης και αυτό των υπηρεσιών. Ένας τεράστιος όγκος δεδομένων πρέπει να αναλυθεί, να επεξεργαστεί και να δώσει απαντήσεις στα αιτήματα των χρηστών. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται τεχνικές κατακευματισμού επεξεργασίας δεδομένων όπως η peer-to-peer(P2P) και το cloud. Η αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων, η εξόρυξη αυτών καθώς και η έξυπνη διαχείριση πληροφορίας αποτελούν ερευνητικά πεδία του του επιπέδου αυτού [8].

## 2.2 Μοντέλα διασύνδεσης συσκευών

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που περιγράφηκε γίνεται σαφές ότι οι συσκευές που συνδέονται στο πλαίσιο του Internet of Things συνδέονται και επικοινωνούν κάνοντας χρήση προκαθορισμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Το 2015 ο οργανισμός Internet Architecture Board (IAB) εξέδωσε ένα κατευθυντήριο οδηγό για την διασύνδεση των έξυπνων συσκευών , το RFC 7452, το οποίο περιλαμβάνει το γενικό πλαίσιο αρχιτεκτονικής μοντέλων επικοινωνίας που χρησιμοποιείται από IoT συσκευές. Τα μοντέλα αυτά αποτελούνται από τα:

1. Μοντέλο επικοινωνίας συσκευής με συσκευή (Device-to-Device Communication)
2. Μοντέλο επικοινωνίας συσκευής με το cloud (Device-to Cloud Communication)
3. Μοντέλο επικοινωνίας συσκευής με πύλη δικτύου (Device-to-Gateway Communication) [9]

Το Device-to-Device Communication μοντέλο αναπαριστά την άμεση σύνδεση και επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών, χωρίς την χρήση κάποιου διακομιστή ενδιάμεσου λογισμικού, και χρησιμοποιούν πρωτόκολλα όπως το Bluetooth, το Z-Wave και το ZigBee.



Εικόνα 6 Device-to-Device Μοντέλο  
Πηγή: The Internet of Things: An Overview, Rose et'al

Τα δίκτυα επικοινωνίας συσκευής με συσκευή ακολουθούν συγκεκριμένα πρωτόκολλα και ανταλλάσσουν μηνύματα για να επιτύχουν τον σκοπό τους. Αυτό το μοντέλο επικοινωνίας χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε εφαρμογές οικιακής αυτοματοποίησης όπου τα πακέτα που ανταλλάσσονται είναι μικρού μεγέθους από συσκευές. Η άμεση αυτή σχέση επικοινωνίας τους επιτρέπει να έχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς ασφάλειας και πιστοποίησης στοιχείων και επίσης τους επιτρέπει να χρησιμοποιούν μοντέλα δεδομένων άρρηκτα συνδεδεμένα με την οικογένεια συσκευών που την χρησιμοποιεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο ZigBee να μην είναι συμβατές με αυτές που επικοινωνούν με το Bluetooth όμως αποτελεί πλεονέκτημα ότι συσκευές που χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο επικοινωνίας αποδίδουν αποτελεσματικά [10]

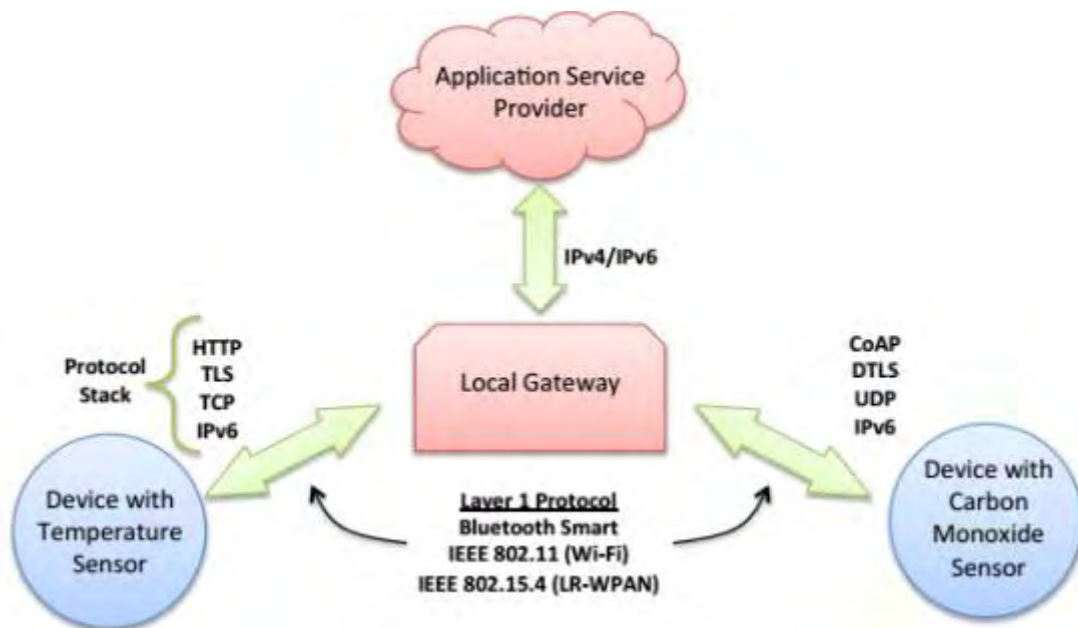
Η Device-to-Cloud επικοινωνία επιτρέπει την σύνδεση IoT συσκευών μέσα από μια διαδικτυακή υπηρεσία cloud η οποία επιβλέπει την ανταλλαγή δεδομένων και ελέγχει την ροή των μηνυμάτων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση εκμεταλλεύεται υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως το Ethernet ή το Wi-fi.



Εικόνα 7 Device-to-Cloud Μοντέλο  
Πηγή: The Internet of Things: An Overview, Rose et'al

Το μοντέλο αυτό επικοινωνίας χρησιμοποιείται από αρκετές εμπορικές λύσεις IoT εφαρμογών με γνωστότερη αυτών τον “έξυπνο” θερμοστάτη από την Nest Labs. Η συσκευή αυτή, πέρα από τον παραδοσιακό τρόπο χρήσης της, στηρίζεται στην επικοινωνία της με μια βάση δεδομένων σε cloud πλατφόρμα όπου αποθηκεύονται οι πληροφορίες που συλλέγει η συσκευή με βάση τις ώρες χρήσης της, την θερμοκρασία δωματίου, την θερμοκρασία που ορίστηκε από τον χρήστη καθώς και την θερμοκρασία περιβάλλοντος ώστε να γίνει ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας μια οικίας. Η cloud αυτή σύνδεση επιτρέπει στον χρήστη να αποκτήσει απομακρυσμένη πρόσβαση στην διαχείριση του [10,11].

Το Device-to-Gateway μοντέλο επικοινωνίας είναι μια επέκταση της Device-to-Cloud επικοινωνίας καθώς οι συσκευές IoT χρησιμοποιούν λογισμικό που τρέχει σε μία πύλη δικτύου (gateway) και δρα σαν ενδιάμεσος κόμβος σύνδεσης των συσκευών με την cloud εφαρμογή και λειτουργεί σαν ένα “τοίχο προστασίας” που εκτός από ασφάλεια παρέχει και δυνατότητα προσαρμογής δεδομένων και πρωτοκόλλων ώστε να επιτευχθεί αποτελεσματική επικοινωνία.



Εικόνα 8 Device-to-Gateway Μοντέλο  
 Πηγή: The Internet of Things: An Overview, Rose et’al

Στο μοντέλο αυτό επικοινωνίας τον ρόλο της πύλης δικτύου αναλαμβάνουν “έξυπνα” κινητά τηλέφωνα (smartphones) τα οποία χρησιμοποιούν κάποια εφαρμογή για να επιτρέψουν την επικοινωνία και την μεταφορά δεδομένων μιας συσκευής και με μια cloud υπηρεσία. Επί παραδείγματι την χρήση smartphone ως ενδιάμεση πύλη μεταφοράς δεδομένων, συνήθως μέσω του πρωτοκόλλου Bluetooth, χρησιμοποιούν συσκευές όπως “έξυπνα” ρολόγια (smartwatches), παλμογράφοι και συσκευές καταγραφής σωματικής δραστηριότητας (activity trackers) διότι δεν υποστηρίζουν εγγενώς την άμεση επικοινωνία με cloud υπηρεσίες εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων συνδεσιμότητας τους. Επιπλέον η χρήση αυτού του μοντέλου επιτρέπει την εισαγωγή νέων έξυπνων συσκευών σε ένα μία ήδη υπάρχουσα τοπική πύλη δικτύου κάτι που επιτρέπει την επεκτασιμότητα των IoT εφαρμογών, κανόνας που αποτελεί σημαντικό παράγοντα εξέλιξης στην ανάπτυξη και εδραίωση του Internet of Things [10, 12].

Λόγω του ότι το Internet of Things είναι από ένα όλο και αυξανόμενο αριθμό συσκευών τα οποία επικοινωνούν και έχουν δημιουργηθεί και εμπορικές λύσεις που κάνουν χρήση των παραπάνω αρχιτεκτονικών και



δίνουν την δυνατότητα με την χρήση πρωτοκόλλων ανοιχτού λογισμικού και μικρό κόστος να δημιουργήσουν εφαρμογές IoT. Οι πιο γνωστές λύσεις σε ενδιαμέσες πύλες δικτύου που κυκλοφορούν ευρέως στην αγορά αποτελούνται από:

1. Το Raspberry Pi
2. Το BeagleBone
3. Το Intel Galileo

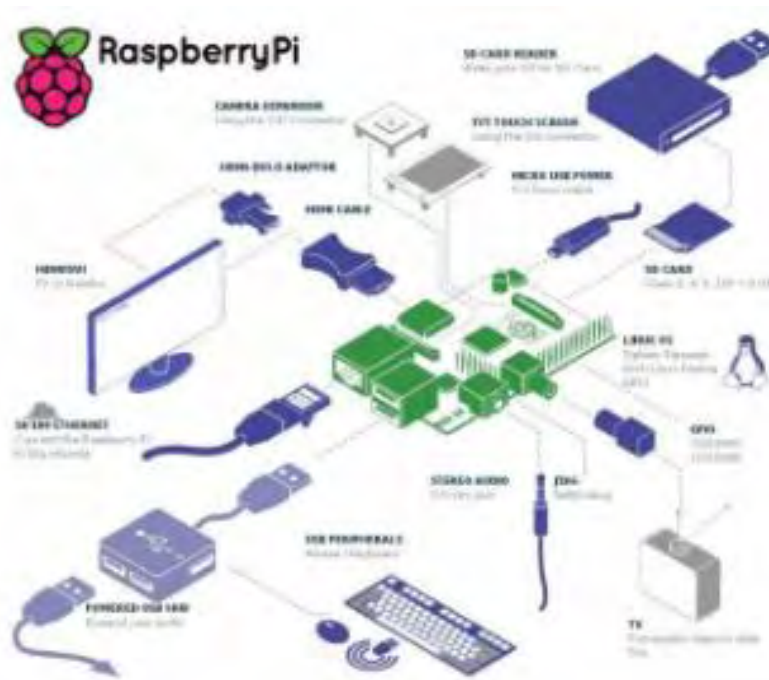
### Raspberry Pi

Το Raspberry Pi είναι μία μικρή και φτηνή υλοποίηση ενός υπολογιστή πλήρως παραμετροποιήσιμο και αποτελεί μια ιδανική πλατφόρμα για διασύνδεση πολλών συσκευών.



Εικόνα 9 Raspberry Pi Model B  
Πηγή : <http://www.raspberrypi.org>

Το Raspberry Pi αποτελείται από επεξεργαστή βασισμένο στην αρχιτεκτονική ARM11 χρονισμένο στα 700MHz και υπάρχει δυνατότητα επιλογής μεταξύ 256MB RAM (Model A) και 512MB RAM (Model B). Για την σύνδεση του με το διαδίκτυο υπάρχουν οι επιλογές σύνδεσης με Ethernet καλώδιο καθώς και μέσω εξωτερικής κεραίας συνδεδεμένης σε USB υποδοχή. Στο Raspberry Pi δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης, τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα, μιας ευρείας γκάμας προϊόντων η οποία περιλαμβάνει από απλούς αισθητήρες (κίνησης, θερμοκρασίας) μέχρι monitor υψηλής ευκρίνειας .



Εικόνα 10 Συνδεσιμότητα στο Raspberry Pi  
 Πηγή : <http://www.raspberrypi.org>

Χρησιμοποιεί λειτουργικό σύστημα που είναι βασισμένο Linux και ονομάζεται Raspbian. Το λειτουργικό σύστημα αυτό έγινε με βάση τα πρότυπα του Κώδικα Ανοικτού Λογισμικού και παρέχεται υψηλή υποστήριξη από την κοινότητα των χρηστών του καθώς και η δυνατότητα να λειτουργήσει ως διακομιστής σε ένα δίκτυο. Στα πλεονεκτήματα του Raspberry Pi συγκαταλέγεται η χαμηλή ανάγκη του για ενέργεια που του επιτρέπει να τροφοδοτείται ακόμα και από μπαταρίες ή ηλιακά πάνελ φόρτισης [13].

### BeagleBone

Το BeagleBone αναπτύχθηκε από την Texas Instruments και παρουσιάστηκε το 2008.



Εικόνα 11 BeagleBone Black  
Πηγή: <http://www.beagleboard.org>

Χρησιμοποιεί επεξεργαστή χρονισμένο στα 720 MHz, το OMAP3530 SoC, το οποίο βασίζεται στην αρχιτεκτονική ARM Cortex-A8 core και διαθέτει μνήμη RAM μεγέθους 256MB καθώς και μνήμη τύπου NAND μεγέθους 256MB. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του αποτελεί η ύπαρξη ακόμη ενός επεξεργαστή, του TMS320C64+- χρονισμένο στα 520MHz, που έχει την δυνατότητα αναπαραγωγής βίντεο υψηλής ευκρίνειας στα 720p@30fps. Το BeagleBone , όπως και το Raspberry Pi, είναι συστήματα υψηλής απόδοσης μικρού μεγέθους τα οποία δεν απαιτούν κατανάλωση μεγάλου ποσοστού ενέργειας επιτρέποντας την χρήση μπαταριών. Η ανάπτυξη του έγινε με γνώμονα την δυνατότητα υποστήριξης μεγάλου εύρους πρωτοκόλλων, λειτουργικών συστημάτων, γλωσσών προγραμματισμού και η επέκταση της χρήσης του οφείλεται στην ολοένα και αυξανόμενη κοινωνία χρηστών που το υποστηρίζουν Το BeagleBone υποστηρίζει:

1. Ενσωματωμένη θύρα Ethernet και εκτός από peer to peer σύνδεση προσφέρει διαδικτυακές υπηρεσίες όπως FTP και SSH και έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει ως διακομιστής δικτύου (web server).
2. Επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο με την χρήση VNC.
3. Μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές υλοποιημένες από γλώσσες όπως C, C++, Java, Python, Perl, Ruby, Ruby on Rails, Shell Scripting
4. Λειτουργικά συστήματα που αποτελούνται από τα Linux (Fedora, Angstrom, Ubuntu, Gentoo, Arch, Maemo), Android, Windows, Windows 10 IoT, Symbian, FreeBSD, RISC OS [14].

### Intel Galileo

Το Intel Galileo είναι βασισμένο στην αρχιτεκτονική Intel x86 και σχεδιάστηκε να είναι συμβατό με το λογισμικό και το υλικό που περιλαμβάνονται στο οικοσύστημα Arduino.



Εικόνα 12 Intel Galileo

Πηγή: <http://www.intel.com/hardware/galileo>

Το Galileo διαθέτει επεξεργαστή Quark X1000 SoC χρονισμένο στα 400MHz, 256MB RAM ,μνήμη flash μεγέθους 8MB και το λειτουργικό του σύστημα είναι μια ελαφριά υλοποίηση του Linux. Το λειτουργικό του σύστημα είναι βασισμένο στην διανομή Yocto και αυτο του επιτρέπει να εγκαταστήσει εργαλεία σε εξωτερική μονάδα μνήμης τύπου microSD. Σε αντίθεση με τις λύσεις που αναφέρθηκαν το Galileo δίνει την δυνατότητα να ενσωματώσεις μικρές PCI express κάρτες οι οποίες χρησιμοποιούν ρολόι πραγματικού χρόνου [15].

Τα μοντέλα που περιγράφηκαν εκτός από πύλες δικτύου έκαναν λόγο και για συσκευές, περιορισμένων δυνατοτήτων, που συνδέονται στο δίκτυο και παρέχουν δεδομένα ή προσφέρουν μια υπηρεσία. Οι συσκευές αυτές ονομάζονται αισθητήρες και υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα δεδομένα που συλλέγουν και την λειτουργία που παρέχουν. Ορισμένες σημαντικές κατηγορίες είναι οι :

1. RFID αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν μια συσκευή (RFID tag) και κάνουν ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων.
2. Αισθητήρες ρεύματος που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την ισχύ και την ένταση του ηλεκτρικού φορτίου.

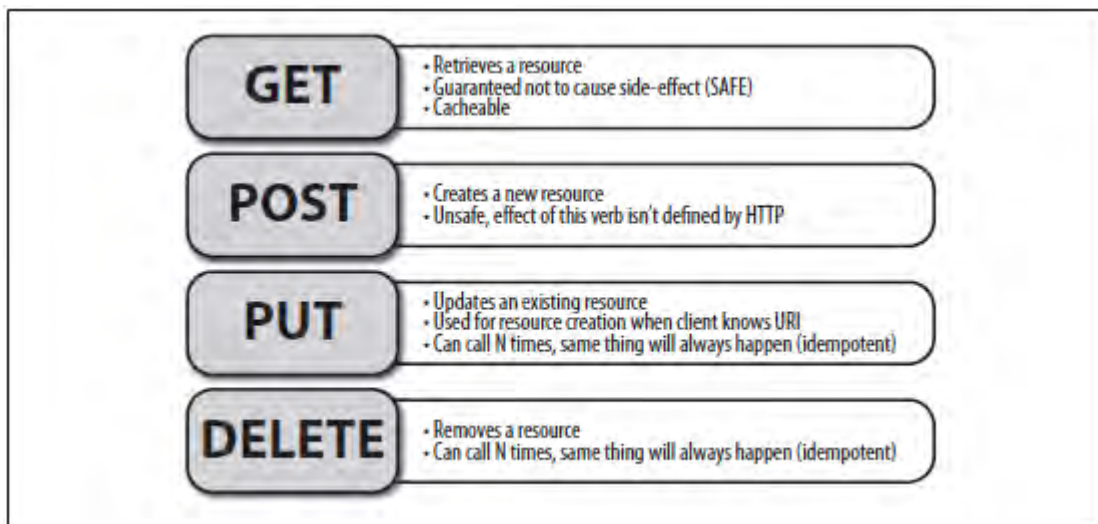
3. Αισθητήρες αερίων ,φωτός και ροής υγρών στοιχείων.
4. Αισθητήρες κίνησης (accelerometer)
5. Βιομετρικοί
6. Τοποθεσίας (GPS)
7. Αισθητήρες εγγύτητας (proximity)
8. Αισθητήρες ταχύτητας
9. Αισθητήρες πρόβλεψης καιρικών συνθηκών όπως θερμοκρασία, υγρασία, βαρομετρική πίεση

Όλα αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται στην δημιουργία εφαρμογών IoT για να λειτουργούν αυτές οι συσκευές αρμονικά υπάρχουν ορισμένα πρωτόκολλα και κανόνες που διέπουν την σύνδεση και ανταλλαγή δεδομένων [16].

## 2.3 Πρωτόκολλα Αλληλεπίδρασης μεταξύ συσκευών του IoT

### 2.3.1 Πρωτόκολλο REST

Το Representational State Transfer (REST) είναι μία γενικοποιημένη αρχιτεκτονική ανεξάρτητη γλώσσας προγραμματισμού και λειτουργικού συστήματος η οποία χρησιμοποιείται για την σχεδίαση διαδικτυακών εφαρμογών χρησιμοποιώντας το HTTP για σύνδεση μεταξύ των συσκευών. Το REST σχεδιάστηκε σαν ένα ελαφρύ πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου (point to point) το οποίο χρησιμοποιείται για επικοινωνία μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή (request/reply) από τις διασυνδεδεμένες συσκευές προς τον εξυπηρετητή στο cloud χρησιμοποιώντας τεχνολογία TCP/IP [17] . Ο Παγκόσμιος Ιστός (WorldWideWeb), βασικό δομικό υλικό του οποίου είναι το HTTP, μπορεί να θεωρηθεί σαν μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε REST. Οι RESTful εφαρμογές χρησιμοποιούν HTTP requests για να διαβάσουν δεδομένα (read), δημοσιεύσουν δεδομένα (post) καθώς και για να διαγράψουν δεδομένα (delete). Επομένως το REST χρησιμοποιεί το HTTP για όλες τις βασικές του λειτουργίες.



Εικόνα 13 Βασικές εντολές REST συστημάτων  
 Πηγή: <https://axis3d.wordpress.com/2011/07/21/rest-ful-services/>

Στο πρωτόκολλο αυτό υπάρχουν ορισμένοι αρχιτεκτονικοί περιορισμοί που ορίζουν ένα RESTful σύστημα. Οι τέσσερις βασικοί περιορισμοί είναι:

1. Μοντέλο Πελάτη-Εξυπηρετητή (Client-Server)
2. Το stateless πρωτόκολλο
3. Η δυνατότητα αποθήκευσης ενδιάμεσων απαντήσεων (caching)
4. Την ιεραρχική προσέγγιση (Layered system)

Το client-server μοντέλο περιγράφει την σχέση μεταξύ των συνεργαζόμενων προγραμμάτων σε μια εφαρμογή. Ο εξυπηρετητής παρέχει μια υπηρεσία σε έναν ή περισσότερους πελάτες, οι οποίοι κάνουν αίτηση να χρησιμοποιήσουν τους πόρους του εξυπηρετητή. Διαχωρίζοντας την διεπαφή χρήστη και τον τρόπο αποθήκευσης δεδομένων σε μια εφαρμογή δίνουμε δυνατότητα σε αυτή να μπορεί να μεταφερθεί σε διαφορετικές πλατφόρμες λογισμικού ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο της δυνατότητας επέκτασης της εφαρμογής. [18]

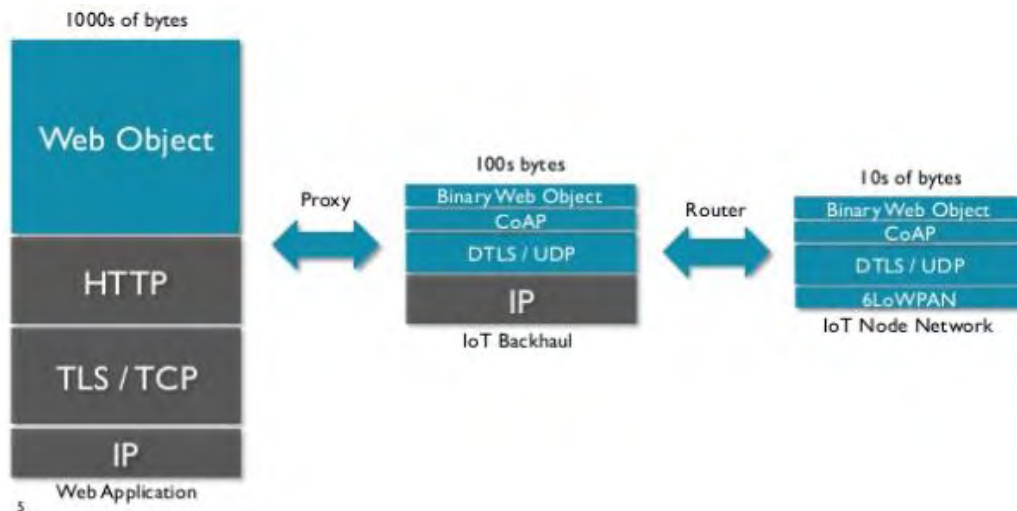
Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό των REST συστημάτων είναι ότι η δυνατότητα μη αποθήκευσης της ενδιάμεσης πληροφορίας μεταξύ των μηνυμάτων που ανταλλάσσουν ο πελάτης με τον εξυπηρετητή. Κάθε αίτηση προς τον εξυπηρετητή περιέχει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους που χρειάζονται για να εξυπηρετήσει την αίτηση. Ο εξυπηρετητής με αυτό τον τρόπο εκμεταλλεύεται το stateless πρωτόκολλο. Αυτό αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο διαχειρίζεται κάθε αίτηση προς τον εξυπηρετητή σαν μια ανεξάρτητη ανταλλαγή μηνυμάτων, τα οποία δεν έχουν σχέση με προηγούμενα μηνύματα προς τον εξυπηρετητή. Με αυτό τον τρόπο

η επικοινωνία αποτελείται από ανεξάρτητα ζευγάρια αιτημάτων και απαντήσεων (request-response).[17]

Σε ένα RESTful σύστημα οι clients και οι ενδιαμέσοι κόμβοι του συστήματος μπορούν να αποθηκεύσουν απαντήσεις του εξυπηρετητή. Η δυνατότητα αυτή ονομάζεται caching. Επομένως οι απαντήσεις από τον εξυπηρετητή σε αιτήματα θα πρέπει να μπορούν να αποθηκευθούν από τον χρήστη, καθιστώντας τις απαντήσεις cacheable, έτσι ώστε να αποφευχθεί η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ακατάλληλα δεδομένα σε επόμενα αιτήματα προς τον εξυπηρετητή. Η δυνατότητα του συστήματος να μπορεί να αποθηκεύει μηνύματα μειώνει τον αριθμό των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πελάτη-εξυπηρετητή βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την απόδοση του συστήματος. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που βελτιώνει την επεκτασιμότητα του συστήματος είναι η χρήση της ιεραρχικής προσέγγισης με στρώματα (layered approach). Η προσέγγιση αυτή δίνει την δυνατότητα στο σύστημα να αποκρύπτει από τον πελάτη την πληροφορία αν είναι συνδεδεμένος με τον τελικό εξυπηρετητή ή με κάποιον άλλον ενδιάμεσο σταθμό. Οι ενδιαμέσοι αυτοί κόμβοι αυξάνουν την ασφάλεια και βελτιώνουν την επεκτασιμότητα παρέχοντας διαμοιραζόμενη κρυφή μνήμη. Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος REST επηρεάζεται από τους περιορισμούς που περιγράφονται παραπάνω καθορίζοντας τους τρόπους που ένας εξυπηρετητής διαχειρίζεται και απαντά σε αιτήματα.[19]

### 2.3.2 Πρωτόκολλο CoAP

Το Constrained Application Protocol (CoAP) είναι ένα μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή μεταφοράς πληροφορίας μέσω του διαδικτύου, παρόμοιο με το HTTP, αλλά προορίζεται για συσκευές με περιορισμένους πόρους. Οι περισσότερες συσκευές που χρησιμοποιούνται σε ένα Δίκτυο Ασύρματων Αισθητήρων (WSN-Wireless Sensor Network) έχουν περιορισμένη χωρητικότητα σε μνήμη RAM καθώς και περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων. Οι συσκευές αυτές συνήθως συνδέονται σε δίκτυα με χαμηλό εύρος ζώνης, όπως το 6LoWPAN, τα οποία έχουν υψηλό ποσοστό απώλειας πακέτων. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τους αισθητήρες διανέμονται στο σύστημα μέσα από μηχανισμούς του διαδικτύου για αυτό και τα ΔΑΑ δεν πρέπει να θεωρούνται σαν ένα αυτόνομο δίκτυο μεταφοράς πληροφορίας. Με την χρήση του CoAP προσπαθούμε να εφαρμόσουμε τα βασικά στοιχεία του HTTP για μεταφοράς δεδομένων της εφαρμογής χρησιμοποιώντας δίκτυα περιορισμένης δυνατότητας.



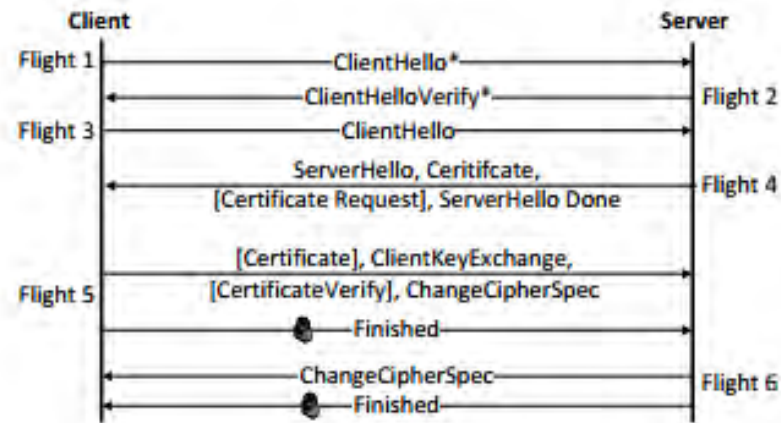
Εικόνα 14 Συνδεσιμότητα μέσω CoAP  
 Πηγή: ARM CoAP Tutorial

Το CoAP είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο έχει στοιχεία παρόμοια του HTTP, αλλά όμως επιτρέπει να πετύχουμε χαμηλό overhead και multicast. Παρόλα αυτά επειδή το HTTP είναι βασισμένο στο TCP πρωτόκολλο, το οποίο χρησιμοποιεί point to point επικοινωνία, καθιστώντας το πολύπλοκο για χρήση σε εφαρμογές του Internet of Things. Για αυτό το λόγο το CoAP χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο UDP το οποίο είναι ελαφρύ σε σχέση με το TCP και επιτρέπει multicast το οποίο ικανοποιεί την ανάγκη για ομαδική επικοινωνία. Επιπλέον το CoAP βασίζεται στην αρχιτεκτονική REST που του παρέχει την δυνατότητα χρήσης μεθόδων GET,PUT,POST και DELETE η χρήση των οποίων βοηθάει να ξεπεραστεί η αναξιοπιστία του πρωτοκόλλου UDP. [20]

Η χρήση CoAP αποτελεί την πιο διαδεδομένη λύση σε εφαρμογές IoT και η προστασία της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών και προστασία από άποψη διαφάνειας (integrity), εχεμύθειας (confidentiality) και εξακρίβωσης ταυτότητας (authentication) λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν. Το CoAP χρησιμοποιεί το DTLS πρωτόκολλο για προστασία των μεταδιδόμενων δεδομένων το εφαρμόζει τεχνικές του TCP. Αντίθετα όμως με άλλα πρωτόκολλα προστασίας που λειτουργούν στο επίπεδο δικτύου (Network Layer) το DTLS λειτουργεί στο επίπεδο εφαρμογής (Application Layer) προσφέροντας προστασία στην end to end επικοινωνία μεταξύ των κόμβων [23]. Για να επιτύχει στην προστασία των δεδομένων που ανταλλάσσονται μέσω του δικτύου χρησιμοποιεί 2-way authentication μέσω της χρήσης handshake. Υπάρχουν τριών ειδών handshake μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή προτού ξεκινήσει μεταφορά οποιασδήποτε πληροφορίας της εφαρμογής. Αρχικά γίνεται ένα handshake όπου καμία από τις δύο πλευρές



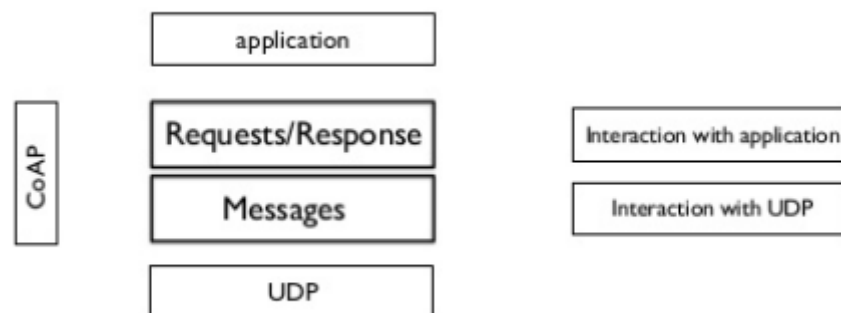
δεν είναι απαραίτητο να επιβεβαιώσει την ταυτότητα του στην άλλη πλευρά. Στη συνέχεια γίνεται το handshake επιβεβαίωσης του εξυπηρετητή όπου αποδεικνύει την ταυτότητα του στον χρήστη. Τέλος, ο χρήστης πρέπει να επιβεβαιώσει την ταυτότητα του στον εξυπηρετητή για να ολοκληρωθεί η διαδικασία ταυτοποίησης μεταξύ server και client [24].



Εικόνα 15 DTLS Handshake

Πηγή: «A DTLS Based End-To-End Security Architecture for the Internet of Things with Two-Way Authentication»

Το CoAP είναι δομημένο σε δύο στρώματα και αυτά απαρτίζονται από το κομμάτι των μηνυμάτων που είναι υπεύθυνο να αλληλεπιδρά με το UDP (Message Layer), καθώς και το Request/Response κομμάτι που διαχειρίζεται την επικοινωνία πελάτη-εξυπηρετητή μέσω της εφαρμογής.



Εικόνα 16 Αρχιτεκτονική του CoAP

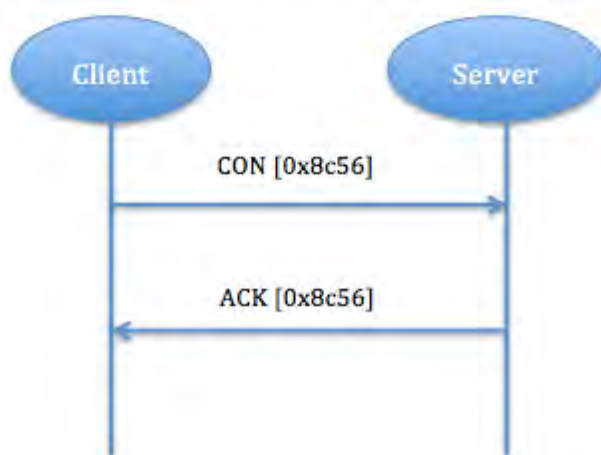
Πηγή: Internet of Things (IoT) protocols COAP MQTT OSCON2014

Το Message Layer του CoAP υποστηρίζει τέσσερις τύπους μηνυμάτων:

1. Μήνυμα αξιόπιστης μετάδοσης - CON (confirmable)
2. Μήνυμα αναξιόπιστης μετάδοσης - NON (non confirmable)
3. Μήνυμα επιβεβαίωσης λήψης - ACK (acknowledgement)
4. Μήνυμα επάναληψης αποστολής - RST (reset)

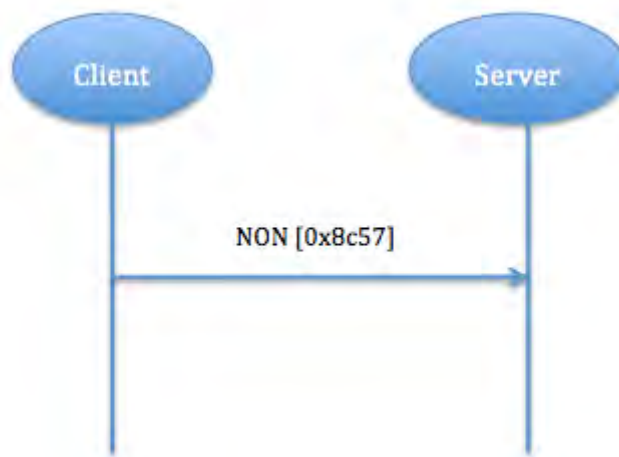
Οι ανταλλαγές μηνυμάτων μεταξύ αυτού του στρώματος και του UDP χαρακτηρίζονται από δυο κατηγορίες, την αξιόπιστη και την αναξιόπιστη μετάδοση μηνυμάτων.

Η αξιόπιστία στην μετάδοση μηνυμάτων γίνεται χαρακτηρίζοντας το μήνυμα ως CON. Ένα μήνυμα που έχει μαρκιαστεί με το χαρακτηριστικό CON αναμεταδίδεται, χρησιμοποιώντας προεπιλεγμένο χρονικό περιθώριο λήξης της συνεδρίας που μειώνεται εκθετικά με κάθε αναμετάδοση, έως ότου ο παραλήπτης στείλει μήνυμα επιβεβαίωσης (ACK) το οποίο θα έχει το ίδιο αναγνωριστικό μηνύματος (MessageID). Όταν ο αποδέκτης δεν είναι ικανός να επεξεργαστεί ένα CON μήνυμα στέλνει στον αποστολέα ένα μήνυμα επανάληψης RST αντί για μήνυμα επιβεβαίωσης ACK. [21]



Εικόνα 17 Αξιόπιστη μετάδοση μηνύματος  
Πηγή: Xi Cheng, “Constrained Application Protocol for Internet of Things”

Στην περίπτωση που για κάποιο μήνυμα δεν είναι απαραίτητη η χρήση αξιόπιστης μετάδοσης, δηλαδή ο αποστολέας να πάρει μήνυμα ACK από τον παραλήπτη, υπάρχει η δυνατότητα ένα μήνυμα να σταλεί με τον χαρακτηρισμό NON. Τα μηνύματα που μαρκάρονται NON κατά την αποστολή τους, είναι μηνύματα για τα οποία ο αποστολέας δεν περιμένει επιβεβαίωση παραλαβής. Ακόμα και μηνύματα που δεν χρειάζονται επιβεβαίωση διαθέτουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό (MessageID) έτσι ώστε να αποφευχθεί η αποστολή διπλότυπων μηνυμάτων. Όπως γίνεται στην περίπτωση της αξιόπιστης μετάδοσης όταν ο παραλήπτης δεν μπορεί να επεξεργαστεί το μήνυμα που παρέλαβε έχει την δυνατότητα να στείλει ένα μήνυμα RST, αν και αυτό δεν είναι υποχρεωτικό.



Εικόνα 18 Μη αξιόπιστη μετάδοση μηνύματος  
 Πηγή: Xi Cheng, “Constrained Application Protocol for Internet of Things”

Το CoAP εξ’ ορισμού βασίζεται στην ανταλλαγή μηνυμάτων, μικρού μήκους, τα οποία μεταδίδονται μέσω UDP. Τα μηνύματα αυτά είναι σταθερού μεγέθους ,χρησιμοποιούν δυαδική αναπαράσταση και αποτελούνται από την κεφαλίδα ( header ), ένα token που εξαρτάται από το μήκος της μεταβλητής, τον αριθμό των επιλογών που συμπεριλαμβάνονται στο μήνυμα (Options), καθώς και το ωφέλιμο φορτίο (Payload).

0		1								2								3																							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Ver		T		OC		Code								MessageID																											
Token (if any, TKL bytes)																																									
Options (if any)																																									
Payload (if any)																																									

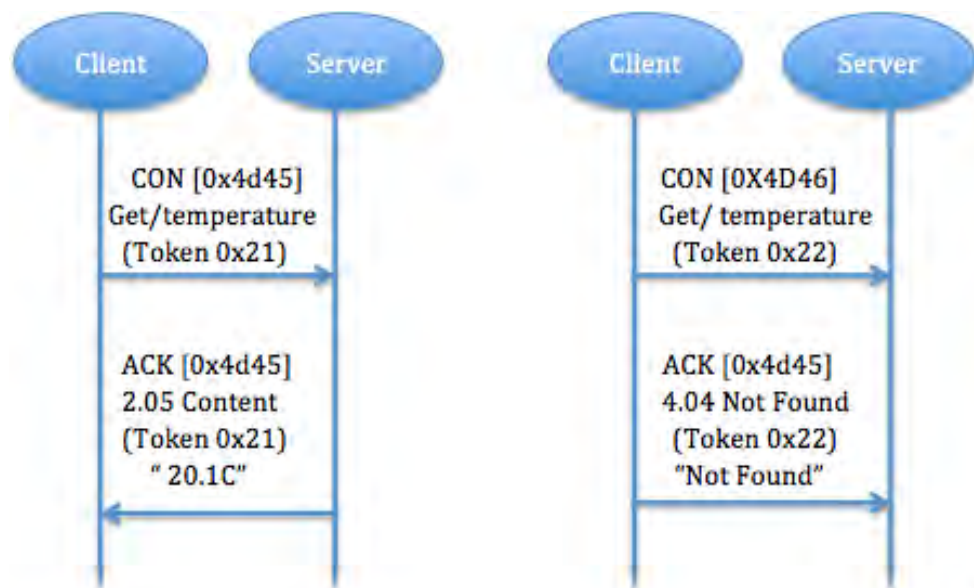
Εικόνα 19 Format ενός μηνύματος  
 Πηγή: Xi Cheng, “Constrained Application Protocol for Internet of Things”

Το CoAP για την ανταλλαγή μηνυμάτων με την εφαρμογή χρησιμοποιεί το Request/Response μοντέλο. Αυτά τα request/response χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. Piggy-backed
2. Ξεχωριστής απάντησης (Separate Response)
3. Μη επιβεβαιωμένο αίτημα και απάντηση

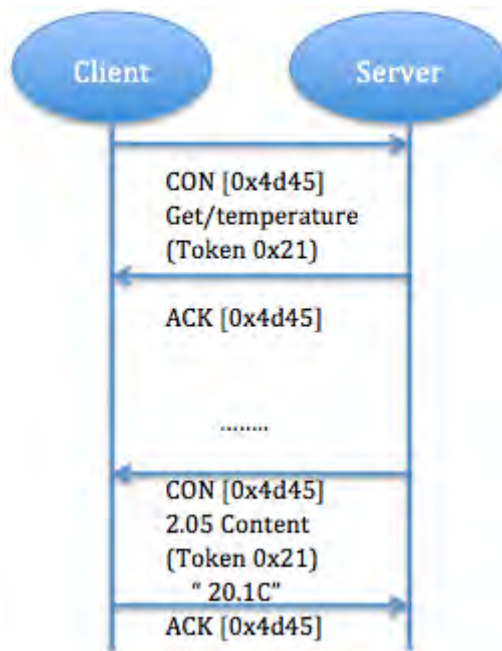
Στην περίπτωση της piggy-backed απάντησης αποστέλλεται αίτημα, που μπορεί να χαρακτηριστεί είτε CON είτε NON, και ο αποστολέας λαμβάνει άμεσα μήνυμα επιβεβαίωσης ACK. Όταν έχουμε επιτυχή μετάδοση του αιτήματος τότε το ACK μήνυμα περιέχει την απάντηση, η οποία αναγνωρίζεται

από το token του αναγνωριστικού αποστολής. Αντίθετα όταν δεν γίνει επιτυχής μετάδοση του μηνύματος το ACK μήνυμα περιέχει τον κωδικό λάθους.



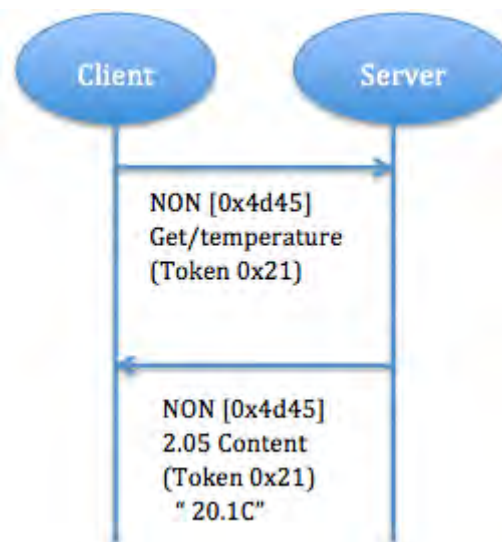
Εικόνα 20 Επιτυχής και μη επιτυχής χρήση της μεθόδου GET  
Πηγή: Xi Cheng, "Constrained Application Protocol for Internet of Things"

Η χρήση του μοντέλου ξεχωριστής απάντησης γίνεται μόνο για μηνύματα τύπου CON. Όταν ο εξυπηρετητής λάβει ένα μήνυμα τύπου CON αλλά δεν είναι σε θέση να εξυπηρετήσει άμεσα το αίτημα στέλνει ως απάντηση ένα κενό μήνυμα επιβεβαίωσης ACK, έτσι ώστε να μην υπάρξει αναμετάδοση του μηνύματος. Όταν η απάντηση στο αίτημα είναι έτοιμη τότε ο εξυπηρετητής στέλνει ένα νέο CON μήνυμα για το οποίο με την σειρά του θα περιμένει να λάβει μήνυμα επιβεβαίωσης από τον πελάτη.



Εικόνα 21 Αίτημα GET με ξεχωριστή απάντηση  
 Πηγή: Xi Cheng, "Constrained Application Protocol for Internet of Things"

Η διαδικασία αποστολής μη επιβεβαιωμένου αιτήματος, δηλαδή μηνύματος τύπου NON. Ο εξυπηρετητής λαμβάνει το αίτημα, το διεκπεραιώνει και με την σειρά του επιστρέφει ένα μήνυμα τύπου NON το οποίο περιλαμβάνει την απάντηση. [22]

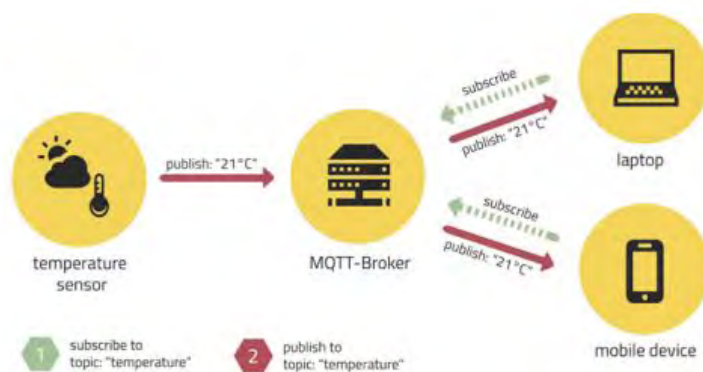


Εικόνα 22 Μη επιβεβαιωμένο μήνυμα με μη επιβεβαιωμένη απάντηση  
 Πηγή: Xi Cheng, "Constrained Application Protocol for Internet of Things"

### 2.3.3 Πρωτόκολλο MQTT

Το Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) αποτελεί το κυρίαρχο πρωτόκολλο στο πλαίσιο ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ κόμβων ενός IoT δικτύου. Είναι ελαφρύ, βασίζεται σε ανοικτό στο κοινό κώδικα και είναι εύκολο να υλοποιηθεί. Αυτά τα χαρακτηριστικά το κάνουν ιδανικό για χρήση σε δίκτυα που εμπλέκονται συσκευές περιορισμένων δυνατοτήτων όπως τα Machine to Machine (M2M) και Internet of Things (IoT).

Το MQTT υλοποιεί το Publish/Subscribe μοντέλο για την ανταλλαγή μηνυμάτων όπου ένας κόμβος του δικτύου, που ονομάζεται publisher, μπορεί να στέλνει μηνύματα σε έναν άλλον κόμβο (ή περισσότερους), που ονομάζεται subscriber με την χρήση ενός ενδιάμεσου διακομιστή που ονομάζεται broker. Με την χρήση του broker ως ενδιάμεσος κόμβος επιτυγχάνεται το φιλτράρισμα των μηνυμάτων και η παράδοση τους σε όλους τους ενδιαφερόμενους κόμβους.



Εικόνα 23 MQTT Publish/Subscribe

Πηγή : [Getting Started with MQTT | A Protocol for the Internet of Things](#)

Ο διαχωρισμός μεταξύ publisher και subscriber μπορεί να διαφοροποιηθεί στο πλαίσιο τριών διαστάσεων.

- Ο publisher δεν γνωρίζει την ύπαρξη του subscriber και αντίθετα. Αυτή η διάσταση ονομάζεται space decoupling
- Δεν χρειάζεται ο publisher και ο subscriber να είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένοι. Διάσταση time decoupling
- Υπηρεσίες που εκτελούνται σε ένα κόμβο δεν χρειάζεται να διακοπούν είτε κατά την διαδικασία αποστολής είτε παραλαβής μηνύματος. Η διάσταση αυτή ονομάζεται synchronization decoupling

Το MQTT υποστηρίζει 14 διαφορετικούς τύπους μηνυμάτων. Τα μηνύματα αυτά είναι:

1. CONNECT - Όταν ένα χρήστης ζητά να συνδεθεί με τον διακομιστή
2. CONNACK - Μήνυμα επιβεβαίωσης σύνδεσης
3. PUBLISH - Η δημοσίευση ενός καινούριου μηνύματος.
4. PUBACK - Απάντηση σε ένα PUBLISH μήνυμα με QoS 1
5. PUBREC - Το πρώτο κομμάτι μιας σειράς μηνυμάτων QoS 2
6. PUBREL - Το δεύτερο κομμάτι μιας σειράς μηνυμάτων QoS 2
7. PUBCOMP - Το τελευταίο κομμάτι μιας σειράς μηνυμάτων QoS 2
8. SUBSCRIBE – Μήνυμα που περιλαμβάνει το αίτημα συνδρομής σε συγκεκριμένο θέμα (topic)
9. SUBACK – Επιβεβαίωση εγγραφής σε ένα SUBSCRIBE μήνυμα
10. UNSUBSCRIBE – Μήνυμα διακοπής συνδρομής από συγκεκριμένα topics.
11. UNSUBACK - Επιβεβαίωση διακοπής συνδρομής
12. PINGREQ – Η αποστολή μηνύματος “Keep Alive” για την διατήρηση της σύνδεσης ενός κόμβου με τον broker
13. PINGRESP – Όταν ο broker λάβει ένα PINGREQ απαντάει με το συγκεκριμένο μήνυμα ως επιβεβαίωση για την διατήρηση της σύνδεσης.
14. DISCONNECT - Στέλνει μήνυμα διακοπής σύνδεσης στον broker.

Οι τελικοί χρήστες χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο τα μηνύματα CONNECT, PUBLISH, SUBSCRIBE και UNSUBSCRIBE. Οι υπόλοιποι τύποι μηνυμάτων χρησιμοποιούνται από εσωτερικούς μηχανισμούς επικοινωνίας του πρωτοκόλλου και από ροές μηνυμάτων [25].

Το MQTT χρησιμοποιεί τα θέματα (topics) για να απλουστεύσει την διαδικασία αποστολής μηνυμάτων. Τα θέματα χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν τον broker ποιος subscriber ενδιαφέρεται για τα μηνύματα. Τα topic έχουν την μορφή ενός UTF-8 string και μπορούν να αποτελούνται από διαφορετικά επίπεδα τα οποία χωρίζονται με τον χαρακτήρα “/”.

Μερικά παραδείγματα θεμάτων αποτελούν τα

- myhome/groundfloor/livingroom/temperature
- USA/California/SanFrancisco/Silicon Valley
- 5ff4a2ce-e485-40f4-826c-b1a5d81be9b6/status
- Greece/Volos/UTH/ECE

Όταν οι χρήστες κάνουν συνδρομή σε ένα θέμα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ακριβή ονομασία του θέματος που δημοσιεύτηκε το μήνυμα είτε μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα λεγόμενα wildcards. Τα wildcards αυτά μπορούν να είναι ενός επιπέδου ή πολλών επιπέδων.

Το wildcard ενός επιπέδου συμβολίζεται “+” και μπορεί να περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα ενός θέματος και στο επίπεδο που βρίσκεται ο χαρακτήρας “+” μπορεί να περιλαμβάνει όλες τις δυνατές επιλογές του επιπέδου.



- ✓ myhome / groundfloor / livingroom / temperature
- ✓ myhome / groundfloor / kitchen / temperature
- ✗ myhome / groundfloor / kitchen / brightness
- ✗ myhome / firstfloor / kitchen / temperature
- ✗ myhome / groundfloor / kitchen / fridge / temperature

Εικόνα 24 Single-Level Wildcard και παραδείγματα χρήσης  
Πηγή: HiveMQ –MQTT Essentials

Το wildcard πολλών επιπέδων συμβολίζεται με το “#” και τοποθετείται στο τέλος της περιγραφής του θέματος. Οι τιμές του είναι τυχαίες και μπορούν να περιλαμβάνουν όλες τους συνδυασμούς θεμάτων από το σημείο που τοποθετείται και έπειτα. Με την χρήση αυτού του wildcard ο συνδρομητής θα λάβει όλα τα μηνύματα για τα οποία ξεκινάνε με το pattern που περιγράφεται πριν την εισαγωγή του “#” όσο βαθειά και αν εκτίνεται το συγκεκριμένο topic





- ✓ myhome / groundfloor / livingroom / temperature
- ✓ myhome / groundfloor / kitchen / temperature
- ✓ myhome / groundfloor / kitchen / brightness
- ✗ myhome / firstfloor / kitchen / temperature

Εικόνα 25 Multi Level Wildcard  
Πηγή: HiveMQ –MQTT Essentials

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του MQTT αποτελεί το Quality of Service ή αλλιώς QoS καθώς διευκολύνει την επικοινωνία πάνω από μη αξιόπιστα δίκτυα διότι διαχειρίζεται πρωτόκολλα αναμετάδοσης και εγγυείται την παράδοση ενός μηνύματος. Υπάρχουν 3 επίπεδα QoS

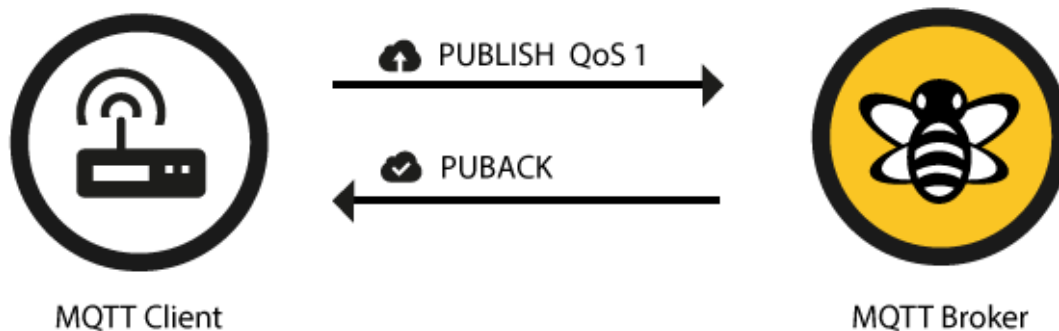
- At most once (0)
- At least once (1)
- Exactly once (2)

Τα μηνύματα που στέλνονται με τιμή 0, δηλαδή με το QoS 0, αποτελούν μηνύματα τα οποία δεν θα επιβεβαιωθεί η λήψη τους από τον αποστολέα και δεν θα αποθηκευθούν για την πιθανότητα επαναμετάδοσης από τον αποστολέα. Αποκαλούνται και “fire and forget” μηνύματα και παρέχουν αξιοπιστία όσο και το TCP πρωτόκολλο στην μετάδοση.



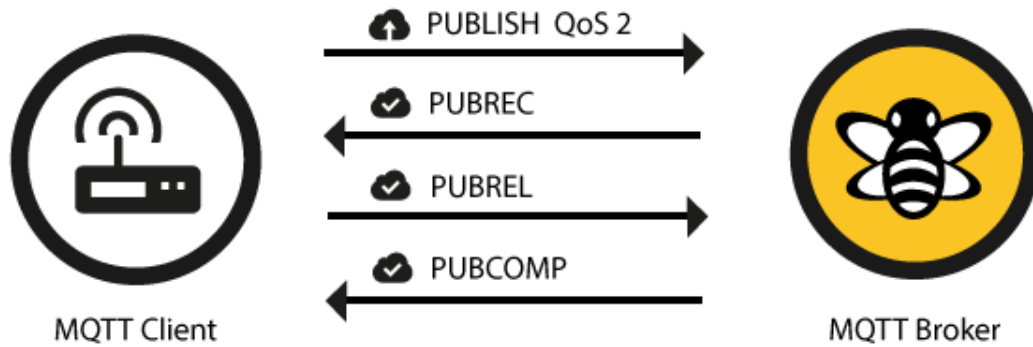
Εικόνα 26 Μετάδοση Μηνύματος με QoS-0  
Πηγή: HiveMQ –MQTT Essentials

Όταν χρησιμοποιείται το QoS-1 εξασφαλίζεται η μετάδοση του μηνύματος τουλάχιστον μια φορά, αλλά επίσης δεν αποκλείει την πιθανότητα να μεταδοθεί και περισσότερες. Μηνύματα με QoS-1 αποθηκεύονται από τον αποστολέα έως ότου λάβει μήνυμα επιβεβαίωσης , PUBACK, από τον παραλήπτη για να γίνει η συσχέτιση του μηνύματος που στάλθηκε με το μήνυμα που παραλήφθηκε γίνεται χρήση αναγνωριστικών στα μηνύματα. Αν ο αποστολέας δεν λάβει το μήνυμα επιβεβαίωσης σε ένα λογικό χρονικό όριο τότε θα ξανα κάνει αποστολή του ίδιου μηνύματος.



Εικόνα 27 Μετάδοση Μηνύματος με QoS-1  
Πηγή: HiveMQ –MQTT Essentials

Η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να λάβει το QoS είναι το 2 και αυτός ο τρόπος εξασφαλίζει ότι το μήνυμα θα σταλεί ακριβώς μια φορά. Ο τρόπος αυτός αποστολής αποτελεί την ασφαλέστερη επιλογή μετάδοσης αλλά και την πιο χρονοβόρα. Όταν ο παραλήπτης λάβει ένα PUBLISH μήνυμα με QoS-2 τότε θα προωθήσει το μήνυμα ανάλογα και θα στείλει στον αποστολέα ένα μήνυμα PUBREC. Ο παραλήπτης θα αποθηκεύσει το αναγνωριστικό του μηνύματος μέχρι να έρθει η ώρα να στείλει μήνυμα PUBCOMP, έτσι ώστε να αποφύγει την διαδικασία να διαχειριστεί το ίδιο μήνυμα δεύτερη φορά. Όταν ο αποστολέας λάβει το PUBREC μήνυμα τότε γνωρίζει με βεβαιότητα ότι ο παραλήπτης έλαβε το μήνυμα , το αποθηκεύει και απαντάει με PUBREL. Ο παραλήπτης τώρα όταν λάβει το PUBREL μπορεί να διαγράψει όλες τα προηγούμενα στιγμιότυπα και να απαντήσει με PUBCOMP για να επιβεβαιώσει ότι και οι δύο εμπλεκόμενες πλευρές έχουν λάβει γνώση του μηνύματος.

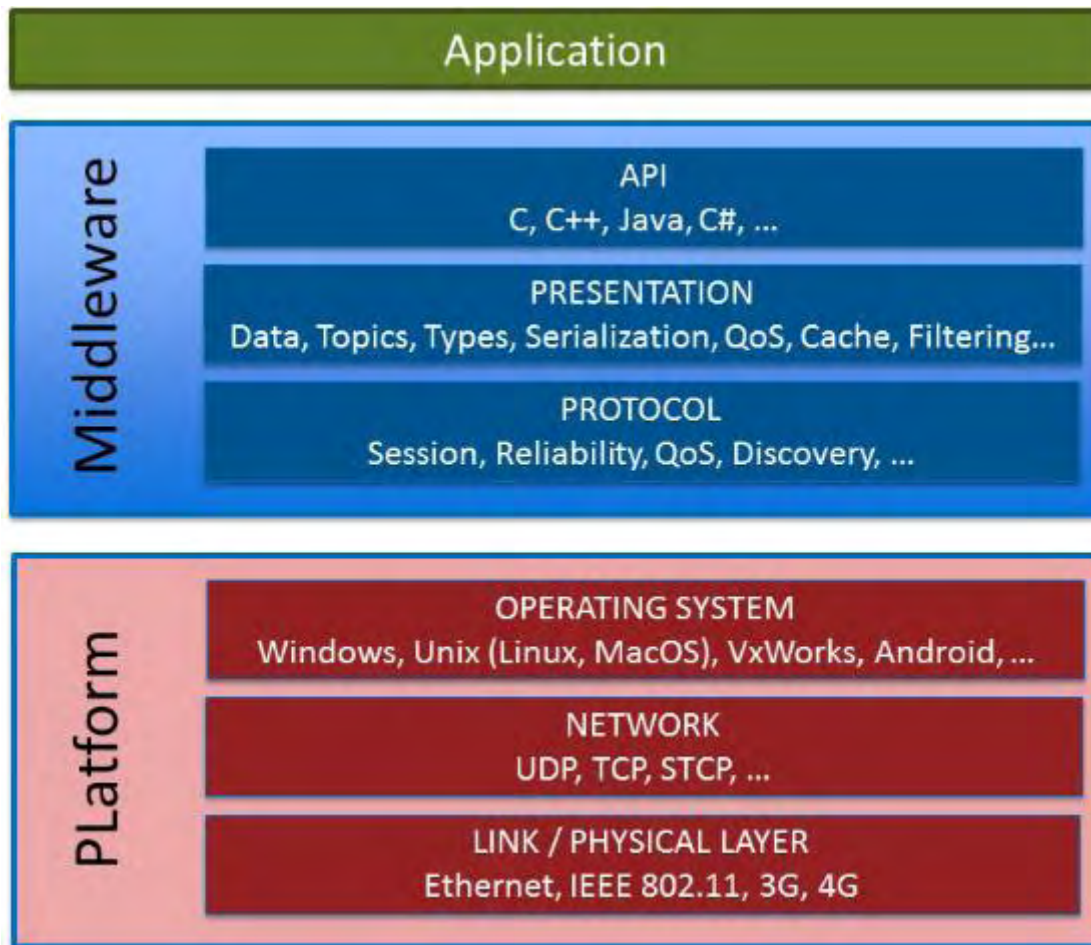


Εικόνα 28 Μετάδοση Μηνύματος με QoS-2  
 Πηγή: HiveMQ –MQTT Essentials

Τέλος το Last Will and Testament (LWT) είναι ένα χαρακτηριστικό του MQTT που χρησιμοποιείται όταν κόμβων σταματάει απροσδόκητα την συνδρομή του και όχι με την χρήση του μηνύματος DISCONNECT. Κάθε χρήστης την στιγμή που συνδέεται στον broker μπορεί να επιλέξει το LWT μήνυμα του, το οποίο είναι ένα απλό MQTT μήνυμα με topic και QoS. Το μήνυμα αυτό θα αποθηκευθεί από τον broker και όταν διαπιστώσει ότι ο χρήστης αποσυνδέθηκε με απροσδόκητο τρόπο θα στείλει σε όλους τους συνδρομητές του θέματος το μήνυμα του κόμβου που έχασε σύνδεση. Το αποθηκευμένο LWT μήνυμα θα διαγραφεί από τον broker στην περίπτωση που κάποιος κόμβος αποχωρήσει στέλνοντας μήνυμα DISCONNECT. Το LWT επιτρέπει την υλοποίηση στρατηγικών για την περίπτωση που ένας κόμβος χάσει την σύνδεση του και ενημερώνει και τους υπόλοιπους κόμβους για την κατάσταση του [26].

### 2.3.4 Πρωτόκολλο DDS

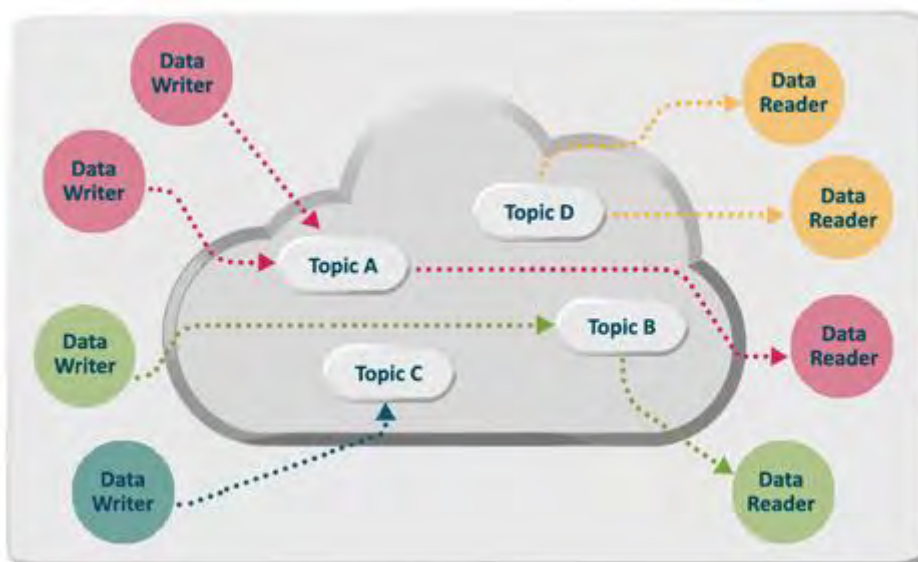
Το Data Distribution Service (DDS) είναι ένα ενδιάμεσο λογισμικό για επικοινωνία μεταξύ συσκευών ενός δικτύου (machine to machine - M2M) το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Object Management Group (OMG) που σκοπό έχει να επιτύχει υψηλή απόδοση στην δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων και εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο. Σε ένα κατακεντρωμένο σύστημα το DDS αποτελεί το ενδιάμεσο λογισμικό που συνδέει την εφαρμογή με το λειτουργικό σύστημα και επικεντρώνεται στην διαδικασία επικοινωνίας και μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των κόμβων του δικτύου για την εξυπηρέτηση των αιτημάτων που γίνονται παρά στην διαδικασία που απαιτείται για μετάδοση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών αρχιτεκτονικών και συστημάτων.[27]



Εικόνα 29 Αρχιτεκτονική του DDS Middleware  
 Πηγή: <http://portals.omg.org/dds/what-is-dds-3/>

Το DDS στηρίζεται στο μοντέλο Publish/Subscribe για ανταλλαγή δεδομένων, γεγονότων και εντολών ανάμεσα στους κόμβους ενός δικτύου. Κόμβοι του δικτύου που παράγουν πληροφορία (publishers) έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν θέματα (topics) στα οποία δημοσιεύονται δείγματα-samples. Για την παράδοση των μηνυμάτων στους ενδιαφερόμενους, δηλαδή όσους έχουν κάνει εγγραφή να λαμβάνουν τα μηνύματα ενός συγκεκριμένου θέματος (subscribe), το DDS αναλαμβάνει όλη την διαδικασία μετάδοσης στους αντίστοιχους παραλήπτες. Κάθε κόμβος του δικτύου δεν περιορίζεται σε ένα μόνο ρόλο και η υπάρχει η δυνατότητα ένας κόμβος να είναι ταυτόχρονα publisher και subscriber. Το βασικό πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι υποστηρίζει μηχανισμούς που βελτιώνουν το βασικό publish/subscribe μοντέλο μιας και οι κόμβοι δεν γνωρίζουν για τους άλλους κόμβους που συμμετέχουν στο δίκτυο συμπεριλαμβανομένων της ύπαρξης και τοποθεσίας τους. Το DDS διαχειρίζεται με διαφάνεια την διαδικασία αποστολής μηνυμάτων, χωρίς ενδιάμεση παρέμβαση των χρηστών, η οποία περιλαμβάνει την διαδικασία διαλογής των αποδεκτών κάθε μηνύματος, την τοποθεσία τους καθώς και τους μηχανισμούς που ενεργοποιούνται σε περίπτωση αποτυχίας στην παράδοση μηνυμάτων.[28]

Ένας παράγοντας που διακρίνει το DDS από άλλα πρωτόκολλα ενδιαμέσου λογισμικού επικοινωνίας είναι η κεντρική του θεώρηση στον διαμοιρασμό των δεδομένων, σε αντίθεση με άλλες λύσεις οι οποίες είναι περισσότερο εστιασμένες στο μήνυμα παρά στα δεδομένα αυτού. Σε ένα δίκτυο που εστιάζεται στην παράδοση μηνυμάτων αδιαφορεί για το ωφέλιμο φορτίο του καθώς και για τον ρόλο των υποδομών του δικτύου που διασφαλίζουν ότι το μήνυμα θα φτάσει στους αποδέκτες του. Το DDS όμως εστιάζει στα δεδομένα και στον τύπο αυτών όπως τα ορίζει ο χρήστης και είναι σε θέση να κατανοήσει το γενικό πλαίσιο των δεδομένων και να διασφαλίσει ότι σε όλους τους ενδιαφερόμενους χρήστες-subscribers γίνεται σωστή και συνεπής μετάδοση δεδομένων. Η θεώρηση αυτή βασίζεται στην ύπαρξη μιας βάσης δεδομένων που θα έχει μια γενική άποψη των δεδομένων και ποιοι έχουν πρόσβαση σε αυτά. Στο DDS η βάση αυτή ονομάζεται Global Data Space (GDS).



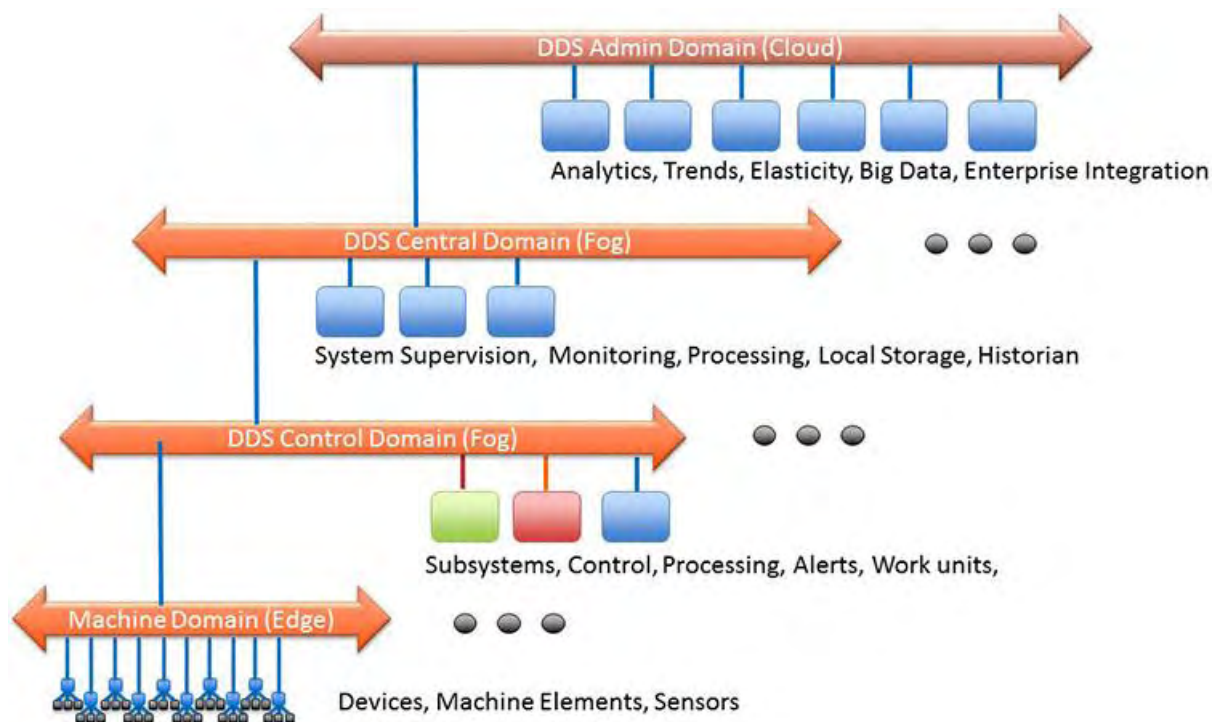
Εικόνα 30 DDS- Global Data Space

Πηγή: <http://www.primstech.com/vortex/technologies/data-distribution-service>

Το GDS αποτελεί ένα πλήρως καταναμημένο σύστημα όπου κόμβοι προστίθενται και αφαιρούνται με τρόπο δυναμικό. Κάθε χρήστης, είτε publisher είτε subscriber, μπορεί να συμμετάσχει ή να αποχωρήσει από το GDS οποιαδήποτε χρονική στιγμή το επιθυμεί μιας και η δυναμική ανακάλυψη χρηστών γίνεται με δεδομένα που εισάγονται από την εφαρμογή και οι πληροφορίες αυτές ενσωματώνονται στην διαδικασία. Στην πράξη η δυναμική ανακάλυψη χρηστών σημαίνει ότι όταν ένα σύστημα ξεκινά την λειτουργία του δεν χρειάζονται να γίνουν ρυθμίσεις. Το GDS θα ανακαλύψει δυναμικά χρήστες και η ροή των δεδομένων θα ξεκινήσει. Επιπλέον, λόγω της πλήρους καταναμημένης φύσης του δεν υπάρχει ο κίνδυνος μη διαθεσιμότητας του συστήματος λόγω της κατάρρευσης ενός εξυπηρετητή.

Παρόλα αυτά εφαρμογές μπορεί να τερματίζονται ή χρήστες να συνδέονται και να αποσυνδέονται χωρίς αυτό να επηρεάζει την λειτουργία του συστήματος. [29]

Η αρχιτεκτονική του DDS είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να επεκταθεί από συσκευές περιορισμένων δυνατοτήτων σε μεγάλα συστήματα μέσω του cloud. Οι εφαρμογές του IoT χρησιμοποιούν το DDS για να επεκταθούν σε χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια χρήστες μεταδίδοντας με δεδομένα με υψηλή ταχύτητα ενώ διαχειρίζεται χιλιάδες διαφορετικούς τύπους δεδομένων. [30]



Εικόνα 31 Scalability ενός DDS συστήματος  
Πηγή: <http://portals.omg.org/dds/what-is-dds-3/>

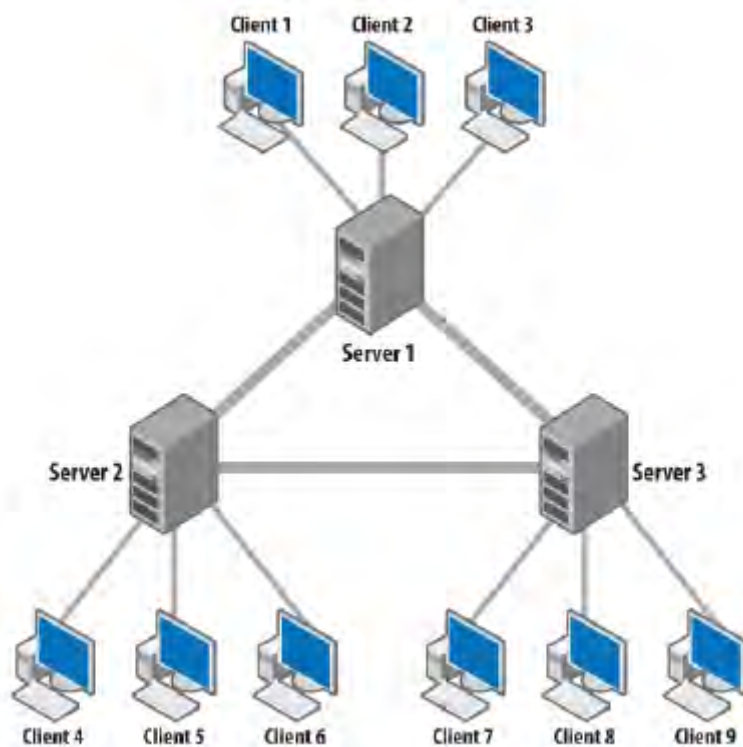
### 2.3.5 Πρωτόκολλο XMPP

Το Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP) είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας ενδιάμεσου λογισμικού χρησιμοποιώντας την XML για ανταλλαγή πληροφοριών. Στην πραγματικότητα το XMPP παρέχει ένα άμεσο τρόπο αποστολής μικρών XML αρχείων από ένα κόμβο του δικτύου σε ένα άλλο. Λόγω της αρχιτεκτονικής του είναι εύκολα επεκτάσιμο, για αυτό και προτιμάται σε IoT εφαρμογές, έχοντας την δυνατότητα να μεταδώσει πληροφορία σε χιλιάδες έως εκατομμύρια κόμβους ενός δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Κάθε λύση που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο XMPP έχει

στην διάθεση της ένα σύνολο υπηρεσιών και τεχνικών που αποτελούν τον πυρήνα της τεχνολογίας αυτής. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν:

1. Την χρήση κρυπτογραφημένου καναλιού (channel encryption) στην σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου, είτε πελάτη και διακομιστή είτε μεταξύ διακομιστών. Η υπηρεσία αυτή αποτελεί βασικό δομικό συστατικό στην κατασκευή ασφαλών εφαρμογών
2. Την δυνατότητα πιστοποίησης (authentication) των χρηστών μιας εφαρμογής η οποία διασφαλίζει ότι οι χρήστες που επιθυμούν να επικοινωνήσουν μέσω του δικτύου πρώτα πιστοποιούνται από τον διακομιστή.
3. Την ύπαρξη βιβλίου επαφών. Η υπηρεσία αυτή συναντάται κυρίως σε κοινωνικά δίκτυα και εφαρμογές ανταλλαγής μηνυμάτων με την μορφή "friends list". Παρόλα αυτά κάθε χρήστης συνδεδεμένος με ένα διακομιστή μπορεί να χρησιμοποιήσει τις επαφές σαν μία λίστα από αξιόπιστες διευθύνσεις.
4. Την δυνατότητα αποστολής άμεσων μηνυμάτων μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου (one-to-one messaging) καθώς και την δυνατότητα αποστολής ομαδικών μηνυμάτων (multi-party messaging). Στην πρώτη περίπτωση η επικοινωνία μπορεί να είναι ανταλλαγή XML αρχείων μεταξύ χρηστών, διακομιστών καθώς και συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο. Στην ομαδική επικοινωνία τα μηνύματα μπορεί να είναι είτε απλό κείμενο είτε να περιέχουν δεδομένα XML.
5. Την ύπαρξη peer-to-peer συνεδριών με χρήση πολυμέσων που σου δίνει την δυνατότητα χρήσης φωνής και βίντεο μεταξύ 2 χρηστών του δικτύου, την δυνατότητα μεταφοράς αρχείων καθώς και άλλου τύπου αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο.[32]

Η XMPP τεχνολογία χρησιμοποιεί ένα αποκεντριοποιημένο μοντέλο αρχιτεκτονικής παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στον Παγκόσμιο Ιστό.



Εικόνα 32 Αρχιτεκτονική XMPP

Πηγή: <http://www.algocomputing.com/portfolio1.html>

Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει σε αυτούς που αναπτύσσουν εφαρμογές με XMPP να επικεντρωθούν στην δημιουργία συστημάτων χωρίς ευάλωτα σημεία εφαρμόζοντας τις δικές τους τεχνικές κρυπτογράφησης καναλιού και πιστοποίησης στοιχείων [33].

Το XMPP χρησιμοποιεί μια μονάδα επικοινωνίας που ονομάζεται stanza. Το stanza έχει τον ρόλο του πακέτου ή μηνύματος που συναντάμε σε άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας και η σημασία τους εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

1. Το element που μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών message, presence και iq. Κάθε stanza διαφορετικού τύπου δρομολογείται διαφορετικά από τον διακομιστή και χρησιμοποιείται διαφορετικά από τους χρήστες.
2. Το στοιχείο type το οποίο εξαρτάται από τον τύπο του stanza και καθορίζει πως θα το διαχειριστεί ο παραλήπτης.
3. Το ωφέλιμο φορτίο, το οποίο είτε το διαχειρίζεται ο χρήστης είτε χρησιμοποιείται από κάποια αυτοματοποιημένη διαδικασία ανάλογα με τον χαρακτήρα του.

Τα stanza τύπου message είναι ο βασικός τρόπος μετάδοσης πληροφορίας (push) και διαχωρίζονται ανάλογα με την τιμή του στοιχείου type στα:

1. Normal που παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με τα email.



2. Chat για τα όποια είναι απαραίτητη μια συνεδρία μεταξύ δύο κόμβων του XMPP δικτύου
3. Groupchat τα οποία είναι μηνύματα που ανταλλάσσονται στα πλαίσια ενός δικτύου όπου κάθε μήνυμα έχει αποδέκτες όσους συμμετέχουν στην ομάδα.
4. Headline τα οποία χρησιμοποιούνται για την αποστολή ειδοποιήσεων
5. Error μήνυμα το οποίο αφορά κάποιο μήνυμα που στάλθηκε σε προηγούμενη επικοινωνία μεταξύ δυο κόμβων για το οποίο μήνυμα όποιος κόμβος διαπιστώσει το πρόβλημα θα στείλει μήνυμα για να ενημερώσει για τον τύπο του.

Επιπρόσθετα του στοιχείου type το stanza περιέχει και τα στοιχεία to και from, στα οποία περιγράφονται οι διευθύνσεις του αποστολέα και του παραλήπτη με την μορφή αναγνωριστικού (JabberID). Για να αποφευχθεί η περίπτωση υποκλοπής της ταυτότητας του αποστολέα (address spoofing) το στοιχείο from δεν παρέχεται από τον χρήστη του δικτύου αλλά συμπληρώνεται από τον διακομιστή που εξυπηρετεί το αίτημα αποστολής μηνύματος. Το ωφέλιμο φορτίο στα stanza τύπου message περιγράφονται με τα στοιχεία <body/> και <subject/> τα οποία χρησιμοποιούνται στην διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων.

```
<message from="ilias@uth.gr/disseration"
to="supervisor@uth.gr"
type="normal">
  <body>Everything in order?</body>
  <subject>Query</subject>
</message>
```

Εικόνα 33 Stanza Τύπου Normal

Ένα από τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα συστήματα επικοινωνίας πραγματικού χρόνου είναι η δυνατότητα να ενημερώνουν τους κόμβους του δικτύου για την διαθεσιμότητα ενός κόμβου, αν είναι δηλαδή συνδεδεμένος και διαθέσιμος για επικοινωνία. Το χαρακτηριστικό αυτό περιγράφεται με το πεδίο presence του stanza και αποτελεί σημαντικό καταλύτη για χρήση του Διαδικτύου στην επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των χρηστών μιας και υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να αλληλεπιδράσουν αν γνωρίζουν την διαθεσιμότητα του κάθε χρήστη που συμμετέχει στην λίστα επαφών τους. Στην ουσία το presence stanza είναι μια εξειδικευμένη υλοποίηση του Publish/Subscribe μοντέλου στο οποίο όταν κάποιος χρήστης κάνει subscribe λαμβάνει ενημερώσεις που αφορούν την διαθεσιμότητα ενός άλλου χρήστη με τον οποίο επιθυμεί να αλληλεπιδράσει

```
<presence from="ilias@uth.gr/myphone">
  <show>xa</show>
  <status>Available</status>
</presence>
```

Εικόνα 34 Stanza τύπου Presence

Το IQ (info/query) stanza παρέχει την δομή για αλληλεπιδράσεις τύπου request/response στο XMPP και χρησιμοποιεί μεθόδους που είναι αντίστοιχες των GET,PUT και POST, γνωστές από τα REST συστήματα. Τα IQ stanza καθορίζονται από τον τύπο που καθορίζει τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν από τον παραλήπτη, ο οποίος με την σειρά του πρέπει να στείλει την απάντηση στον αποστολέα. Για τα IQ stanza το πεδίο type παίρνει τις τιμές:

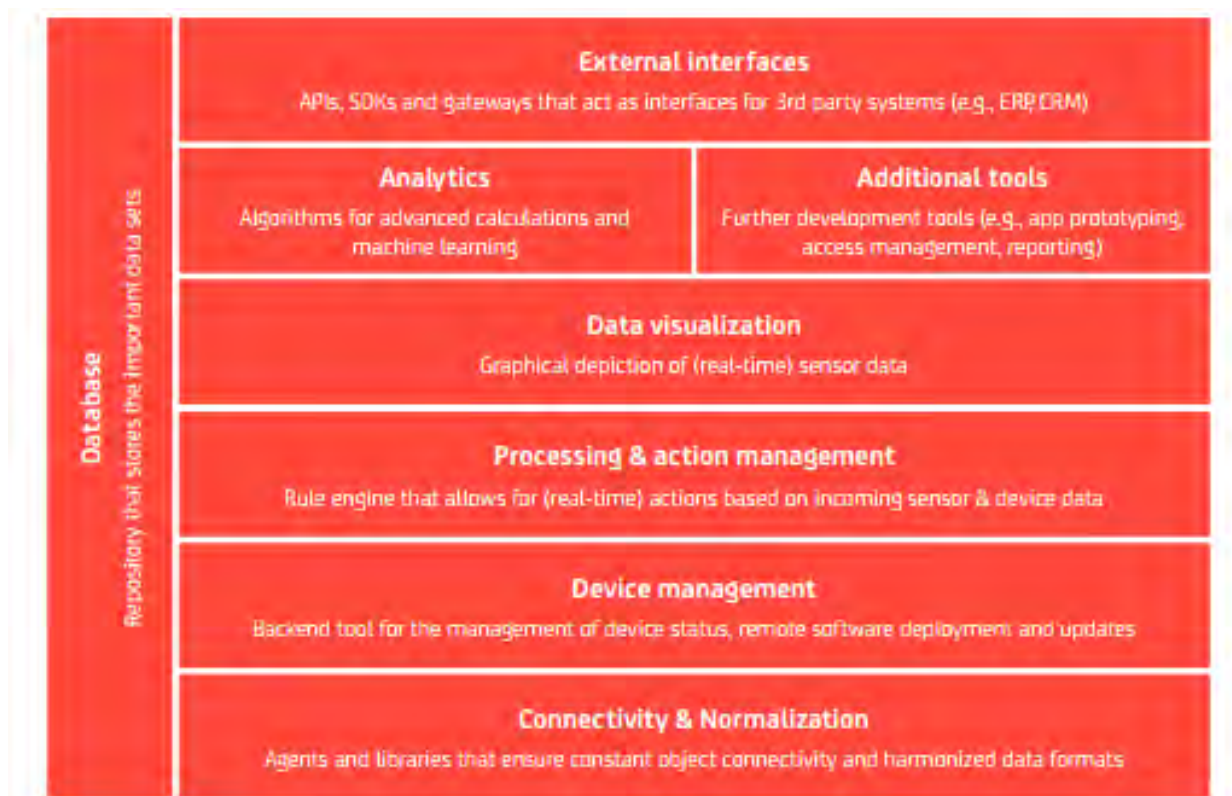
1. Get με το οποίο ο κόμβος που κάνει αίτημα ζητάει πληροφορίες.
2. Set με το οποίο ένας κόμβος παρέχει πληροφορίες σε ένα αίτημα.
3. Result ο παραλήπτης ενός αιτήματος στέλνει τα αποτελέσματα ενός αιτήματος get ή αναγνωρίζει ένα αίτημα set.
4. Error με το οποίο ο κόμβος παραλήπτης ή κάποιος άλλο ενδιαμέσος κόμβος, π.χ. ένας XMPP διακομιστής, ενημερώνει τον κόμβο που κάνει το set ή get αίτημα ότι δεν υπήρξε δυνατότητα διεκπεραίωσης [34].

```
<iq from="ilias@uth.gr/myphone"
  id="rr82a11f4"
  to="ilias@uth.gr"
  type="get">
  <query xmlns="jabber:iq:roster:/>
</iq>
```

Εικόνα 35 Stanza τύπου IQ που επιστρέφει την λίστα επαφών

## 2.4 Commercial IoT πλατφόρμες

Οι ολοκληρωμένες λύσεις για Internet of Things που προσφέρονται από εταιρείες σαν τις Microsoft και Amazon αποτελούν κλειδί στην εξέλιξη IoT εφαρμογών που συνδέουν τον πραγματικό κόσμο με τον ψηφιακό επιτυγχάνοντας την σύνδεση ανθρώπων με υπηρεσίες. Στην πιο απλή τους μορφή οι IoT πλατφόρμες ενεργοποιούν την σύνδεση μεταξύ αντικειμένων και απαρτίζονται από ένα σύνολο δομικών στοιχείων.



Εικόνα 36 Δομικά Στοιχεία IoT πλατφόρμας  
 Πηγή : <http://iot-analytics.com>

Τα 8 βασικά δομικά στοιχεία αποτελούνται από:

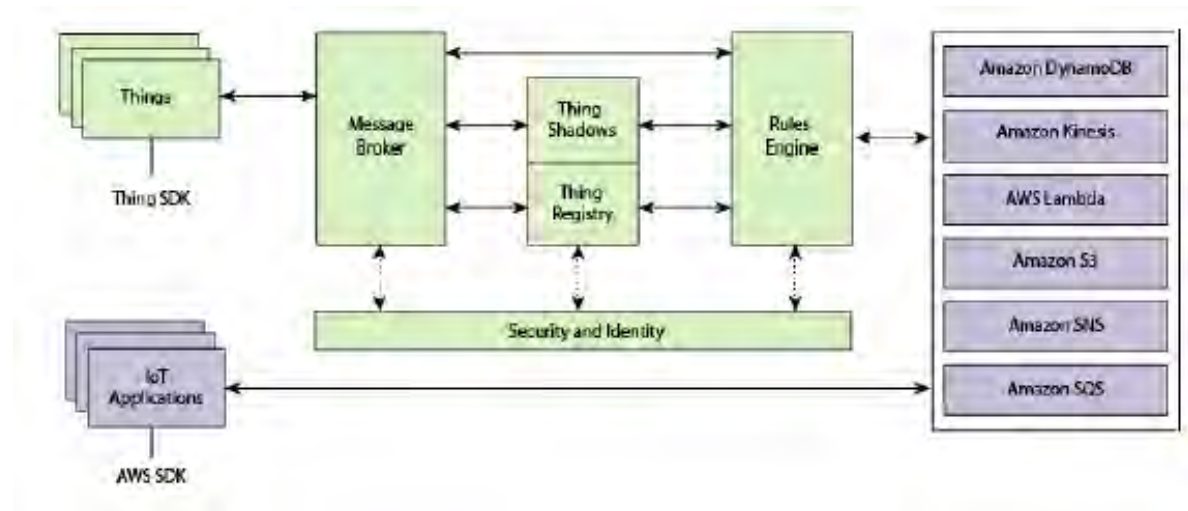
1. Συνδεσιμότητα και απλούστευση διαφορετικών τύπων δεδομένων από ένα “λογισμικό” διασφαλίζει την ακριβή μετάδοση δεδομένων και αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των συσκευών.
2. Διαχείριση συσκευών διασφαλίζει ότι όλες οι εμπλεκόμενες συσκευές τρέχουν την τελευταία ενημέρωση λογισμικού.
3. Βάση δεδομένων η οποία επιτρέπει την ύπαρξη δομών βασισμένες σε cloud για να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες ανάλυσης μεγάλου όγκου διαφορετικών ειδών δεδομένων.
4. Την ύπαρξη μηχανισμών που θα ενεργοποιούν αυτοματοποιημένες ενέργειες βασισμένες σε δεδομένα από γεγονότα του παρελθόντος
5. Η δυνατότητα να πραγματοποιήσει πολύπλοκες διαδικασίες ανάλυσης που κυμαίνονται από κατηγοριοποίηση δεδομένων μέχρι μηχανική μάθηση (machine learning)
6. Την οπτικοποίηση δεδομένων
7. Την ελευθερία ανάπτυξης εργαλείων ανάλογα με τις ανάγκες κάθε ξεχωριστού συστήματος.
8. Την δυνατότητα ενσωμάτωσης λύσεων από τρίτους για την περαιτέρω εξάπλωση του οικοσυστήματος.

Υπολογίζεται ότι υπάρχουν περισσότερες από 300 πλατφόρμες που υλοποιούν λύσεις για το Internet of Things και ο αριθμός αυτός αυξάνεται σε εβδομαδιαία βάση. Παρόλα αυτά φαίνεται να υπάρχουν λύσεις IoT που κυριαρχούν στην σημερινή αγορά [35].

#### 2.4.1 Amazon Web Services IoT

Το AWS IoT παρέχει ένα μια ολοκληρωμένη λύση για αμφίπλευρη επικοινωνία μεταξύ συσκευών , όπως αισθητήρες και έξυπνες οικιακές συσκευές με την AWS cloud πλατφόρμα. Αυτό επιτρέπει την συλλογή, αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων τηλεμετρίας. Τα βασικά στοιχεία αυτής της IoT πλατφόρμας αποτελείται από τα:

1. Πύλη Δικτύου (Gateway) που επιτρέπει την ασφαλή και αποτελεσματική επικοινωνία των διαφόρων συσκευών με το AWS IoT
2. Broker μηνυμάτων μοντέλου Publish/Subscribe που παρέχει ένα μηχανισμό MQTT ή MQTT over Websockets. Επίσης χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική REST για δημοσίευση δεδομένων.
3. Μηχανή Κανόνων (Rules Engine) που παρέχει τρόπο διαχείρισης του ωφέλιμου φορτίου των μηνυμάτων και διαμοίραση αυτών με άλλες υπηρεσίες όπως AWS Lambda και Amazon DynamoDB
4. Υπηρεσίες ασφάλειας και ταυτοποίησης
5. Αρχείο συσκευών (Things Registry) το οποίο δημιουργεί ένα κατάλογο των πόρων που σχετίζονται με κάθε συσκευή και αναθέτει έως και τρία χαρακτηριστικά ανά συσκευή. Επίσης αναθέτει και αναγνωριστικά (IDs) που διευκολύνοντας την διαχείριση.
6. Υπηρεσία Things Shadow η οποία αποτελείται από ένα JSON αρχείο που αποθηκεύει την κατάσταση μιας συσκευής ή εφαρμογής. Η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιείται για την ενημέρωσης της κατάστασης ενός αρχείου.



Εικόνα 37 Αρχιτεκτονική AWS IoT  
 Πηγή: AWS IoT: Developer Guide

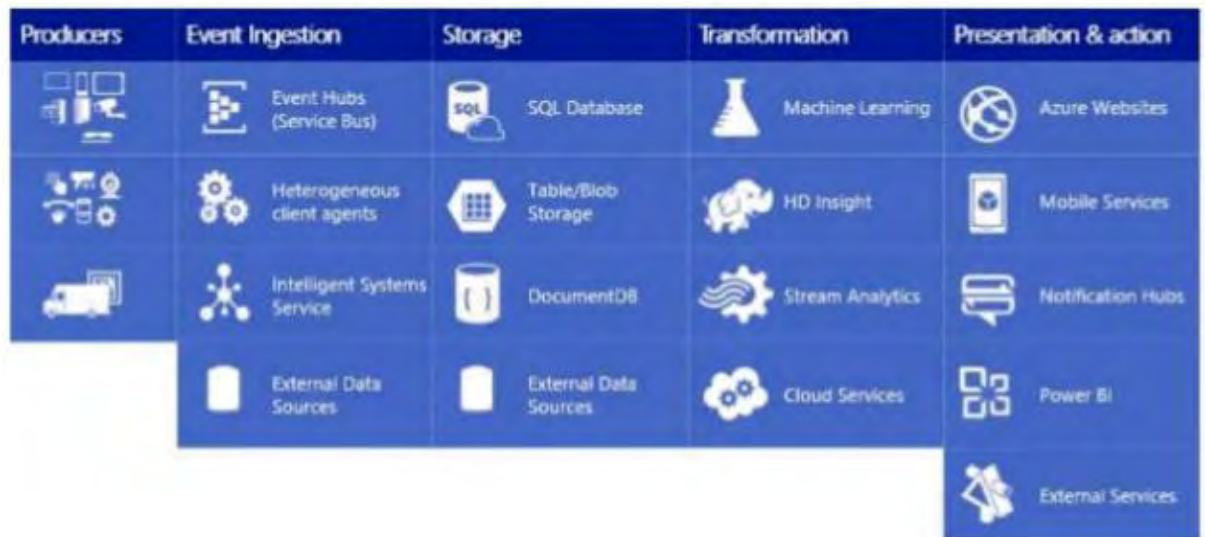
Το AWS IoT χρησιμοποιεί τέσσερα περιβάλλοντα δημιουργίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ των συσκευών

- Το AWS Command Line Interface (AWS CLI) που χρησιμοποιείται από το terminal σε Windows , macOS και Linux.
- Το AWS IoT API και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη εφαρμογών που εκμεταλλεύονται HTTP αιτήματα
- Τα AWS SDK που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση εφαρμογών ανάλογα με την γλώσσα που υποστηρίζει το SDK.
- Τα AWS IoT SDK που υλοποιούν εφαρμογές για συσκευές και επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με την cloud πλατφόρμα του AWS IoT.

Δημοφιλή προϊόντα της Amazon που κάνουν χρήση της πλατφόρμας IoT αποτελούν τα AWS IoT Button και Amazon Echo. Το AWS Button αποτελεί μια απλή υλοποίηση και χρησιμοποιείται για την παραγγελία προϊόντων με τον πάτημα ενός μόνο κουμπιού. Το Amazon Echo αποτελεί την υλοποίηση ενός έξυπνου ηχείου που έχει δυνατότητα να ανταποκρίνεται σε φωνητικές εντολές μέσω του βοηθού του που ονομάζεται “Alexa” [36].

#### 2.4.2 Microsoft Azure IoT

Η Microsoft στην ήδη υπάρχουσα πλατφόρμα της , το Microsoft Azure, πρόσθεσε το IoT Suite που χρησιμοποιεί ένα σύνολο των υπηρεσιών που προσφέρει το Azure και συνθέτουν ένα σύνολο παραμετροποιήσιμων λύσεων για IoT εφαρμογές. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν υπηρεσίες για την διαχείριση γεγονότων, την αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων καθώς και την οπτικοποίηση τους



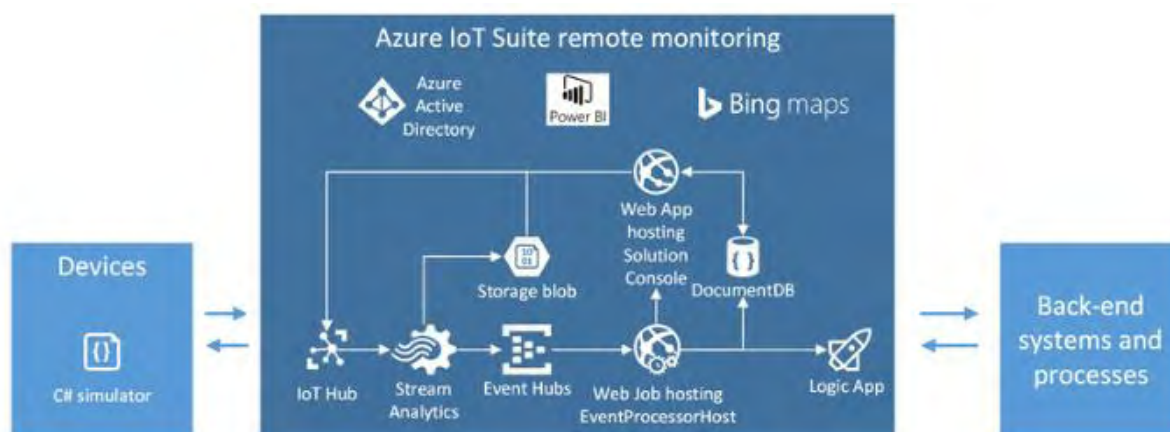
Εικόνα 38 Υπηρεσίες Azure IoT Suite

Πηγή: Demystifying Internet of Things with Azure IoT Suite- Winwire Tecnologies

Το Azure IoT Hub προσφέρει λύσεις στα προβλήματα σύνδεσης που αντιμετωπίζουν οι IoT εφαρμογές

- χρησιμοποιώντας ασφαλή σύνδεση και ταυτοποίηση για κάθε συσκευή που συνδέεται σε αυτό. Το επιτυγχάνει με την παροχή ενός κλειδιού (security key) σε κάθε συσκευή. Με την χρήση καταλόγου, το IoT Hub identity registry, αποθηκεύει την αντιστοίχιση κλειδιού με αναγνωριστικού (ID) συσκευής.
- παρέχοντας ένα αρχείο καταγραφής με τα γεγονότα σύνδεσης συσκευής. Το αρχείο αυτό παρέχει βοήθεια στην αναγνώριση και λύση προβλημάτων συνδεσιμότητας, όπως συσκευές που προσπαθούν να συνδεθούν σε υπηρεσίες για τις οποίες δεν έχουν πρόσβαση, συσκευές που στέλνουν μηνύματα με ασυνήθιστα μεγάλη συχνότητα ή συσκευές που απορρίπτουν την σύνδεση τους με την cloud πλατφόρμα.
- παρέχοντας ένα μεγάλο εύρος βιβλιοθηκών με τα Azure IoT device SDKs τα οποία υποστηρίζουν ανάπτυξη σε διάφορες γλώσσες και λειτουργικά συστήματα.
- την χρήση ανοικτών πρωτοκόλλων για συσκευές που δεν υποστηρίζονται από τις βιβλιοθήκες του Azure καθώς υποστηρίζει εγγενώς τα MQTT, HTTP και AMQP. Παρέχεται επίσης η δυνατότητα υποστήριξης custom πρωτοκόλλων με την χρήση του Azure IoT Gateway SDK το οποίο τα μετατρέπει σε πρωτόκολλα συμβατά με το IoT Hub
- Την δυνατότητα επέκτασης μιας εφαρμογής καθώς το Azure IoT Hub μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα εκατομμύρια συσκευές και να διαχειριστεί εκατομμύρια γεγονότα.

Μια από τις πιο δημοφιλείς έτοιμες λύσεις που προσφέρει το Azure IoT Suite είναι ο απομακρυσμένος έλεγχος συσκευών (remote monitoring solution). Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του οποίου δίνονται στην παρακάτω αρχιτεκτονική



Εικόνα 39 Μοντέλο Απομακρυσμένου Ελέγχου  
 Πηγή: Microsoft Azure IoT Reference Architecture

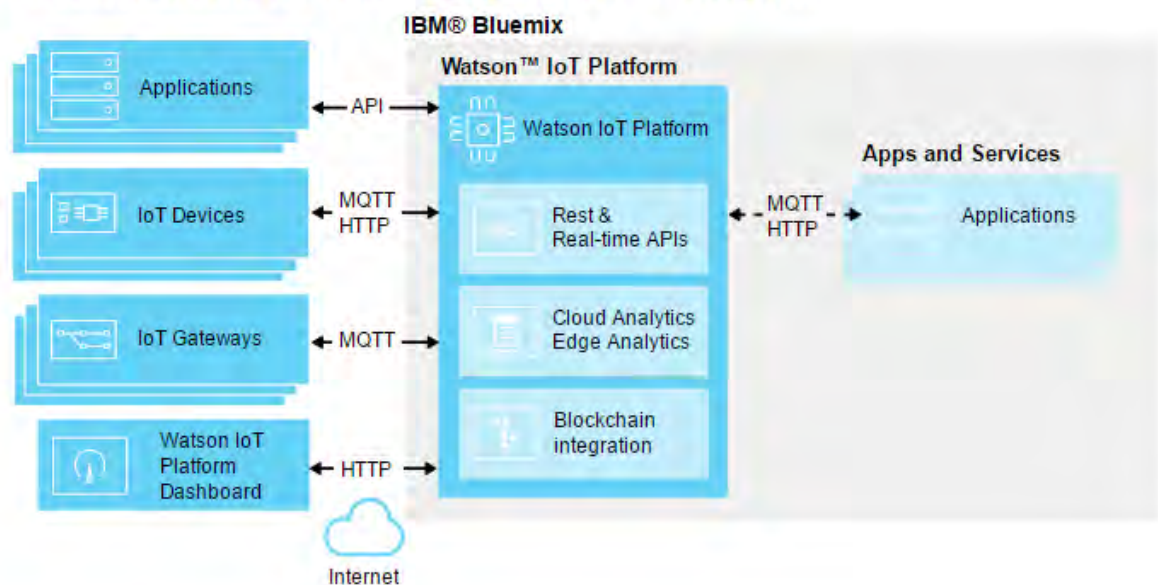
Όταν μια καινούρια συσκευή συνδέεται στο IoT Hub η λύση απομακρυσμένου ελέγχου συλλέγει τις πληροφορίες από την συσκευή και απαριθμεί στο χρήστη ή στον διακομιστή του τρόπους που μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτή. Στην περίπτωση του απομακρυσμένου ελέγχου οι τρόποι περιλαμβάνουν τους

1. Ping , όπου η συσκευή επιστρέφει επιβεβαίωση με την κατάσταση της.
2. Start Telemetry, όπου η συσκευή αρχίζει να στέλνει δεδομένα που συλλέγει
3. Stop Telemetry, όπου η συσκευή σταματά να στέλνει δεδομένα
4. Diagnostic Telemetry , όπου γίνεται διαγνωστικός έλεγχος της λειτουργίας της
5. Change Device State, όπου γίνεται αλλαγή της κατάστασης των δεδομένων που στέλνει και χρησιμοποιείται για έλεγχο των back-end συστημάτων [37].

### 2.4.3 IBM Watson IoT

Η IBM προσφέρει μια πλατφόρμα για IoT που συνεργάζεται με την cloud πλατφόρμα που προσφέρει η εταιρία, την Bluemix, η οποία είναι η βάση για πολλές από τις IoT υπηρεσίες που προσφέρει η πλατφόρμα. Για την ασφαλή επικοινωνία των συσκευών που συνδέονται χρησιμοποιεί TLS πρωτόκολλα και για την μετάδοση μηνυμάτων χρησιμοποιείται το Publish/Subscribe μοντέλο MQTT

## Architecture of the Watson IoT Platform



Εικόνα 40 Αρχιτεκτονική IBM Watson IoT  
Πηγή: Watson IoT Reference Guide

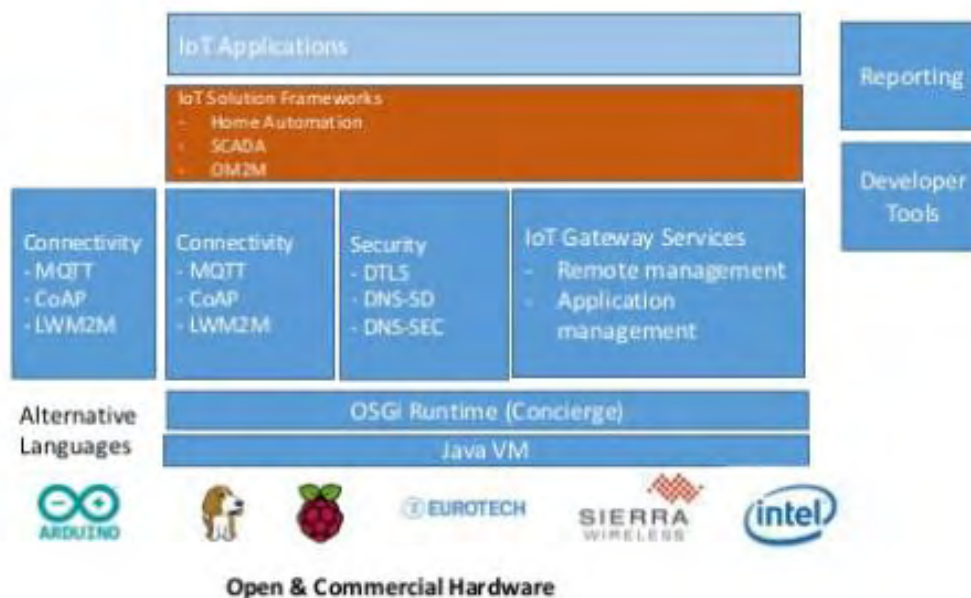
Όπως και σε άλλες IoT λύσεις οι συσκευές μπορεί να είναι οτιδήποτε μπορεί να συνδέεται με το διαδίκτυο. Παρόλα αυτά όμως δεν επιτρέπει άμεση επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Η επικοινωνία των συσκευών γίνεται με την χρήση εφαρμογών όπου δέχονται εντολές και επιστρέφουν ειδοποιήσεις γεγονότων. Οι συσκευές διακρίνονται σε ελεγχόμενες (managed) και μη ελεγχόμενες (unmanaged). Οι μη ελεγχόμενες συσκευές έχουν μόνο την δυνατότητα να στέλνουν και να λαμβάνουν εντολές και ειδοποιήσεις γεγονότων. Ενώ οι ελεγχόμενες συσκευές μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την πλατφόρμα Watson IoT μέσω του Device Management πρωτοκόλλου και να εκτελέσουν υπηρεσίες που περιλαμβάνουν ενημερώσεις τοποθεσίας, εγκατάσταση ενημέρωσης λογισμικού, επανεκκίνηση συσκευής καθώς και επαναφορά εργοστασιακών ρυθμίσεων [38].

Η IBM σκοπεύει να εξελίξει την πλατφόρμα IoT της και να ενσωματώσει τεχνολογίες όπως μηχανική μάθηση (machine learning), επεξεργασία φωνητικών εντολών καθώς και δεδομένα που προέρχονται από εικόνα και βίντεο. Οι τεχνολογίες αυτές βρίσκονται ήδη στο πορτφόλιο της εταιρίας και σκοπεύει να την δημιουργήσει ένα ενιαίο πλαίσιο συνεργασίας με το IoT Watson project και να δημιουργήσει αυτό που ονομάζει cognitive IoT [39].



## 2.4.4 Eclipse Foundation IoT

Το Eclipse Foundation παρέχει τις δικές του λύσεις για Internet of Things εφαρμογές οι οποίες έχουν υλοποιηθεί στα πρότυπα του Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα.



Εικόνα 41 Αρχιτεκτονική Open Stack IoT

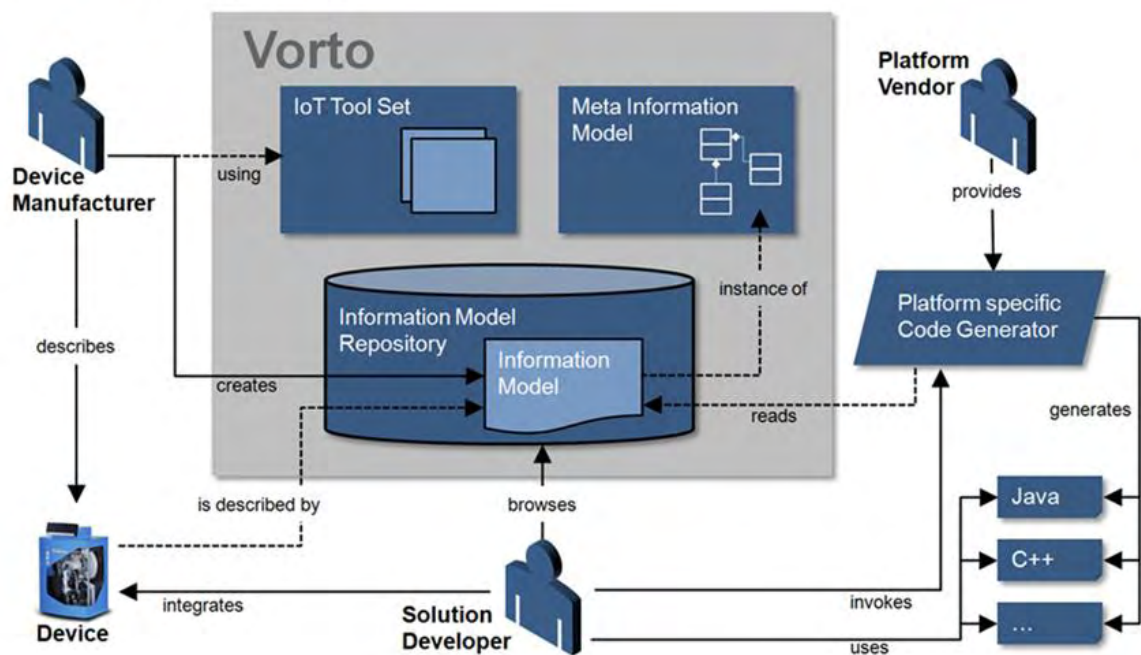
Πηγή: Defining an Open IoT Stack - Presented at IoT World 2015

Οι πιο δημοφιλείς λύσεις της αποτελούν τα:

- Eclipse Paho και Mosquitto που αποτελούν υλοποιήσεις του πρωτοκόλλου MQTT. Το Paho αποτελεί την βασική υλοποίηση του MQTT και παρέχει ανάπτυξη σε γλώσσες προγραμματισμού όπως Java, Python. Ενώ το Mosquitto αποτελεί μια υλοποίηση σε C για συστήματα με χαμηλές απαιτήσεις.
- Californium που είναι βασισμένο στο CoAP για σύνδεση και επικοινωνία συσκευών με περιορισμένες δυνατότητες υλικού.
- Kura που αναπτύσσει λογισμικό για σύνδεση με πύλες δικτύου (gateways)
- Vorto που προσπαθεί να δημιουργήσει ένα παγκόσμιο πρότυπο συνδεσιμότητας

Το Project Vorto προσπαθεί να επιτύχει την συνεργασία των κατασκευαστών υλικού, των ατόμων που υλοποιούν IoT εφαρμογές καθώς και των εταιριών που προμηθεύουν πλατφόρμες IoT λύσεων.

## Vorto at a glance



Εικόνα 42 Project Vorto  
Πηγή: Eclipse Vorto- Overview

Σκοπός του project αυτού είναι η τυποποίηση των μοντέλων πληροφορίας. Τα μοντέλα πληροφορίας αποτελούν αναπαραστάσεις πραγματικών συσκευών με την χρήση εργαλείων υλοποιημένα από το Eclipse. Αυτά τα μοντέλα θα είναι διαθέσιμα μέσα από αποθετήρια (repository) για ευκολία στον διαμορισμό τους [40].

## Εφαρμογές του Internet of Things

### 3.1 Smart Cities

Οι έξυπνες πόλεις είναι αστικές πόλεις οι οποίες χρησιμοποιούν ψηφιακές τεχνολογίες για να διαχειριστούν τους δήμους με στόχο να βελτιώσουν την οικονομική ανάπτυξη, να μειώσουν το κόστος και την κατανάλωση των πόρων καθώς και να αναβαθμίσουν το βιοτικό επίπεδο των πολιτών. Πρόκειται στην ουσία για χρήση εφαρμογών στο πλαίσιο του Internet of Things οι οποίες προσδιορίζονται ανάλογα με τους πολίτες, τα συνεργαζόμενα συστήματα, τη γενικότερη ψηφιακή υποδομή και τα εργαλεία που μια κοινότητα είναι σε θέση να προσφέρει στους πολίτες της.

Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2025 το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει σε αστικά κέντρα. Η εξάπλωση των συνόρων των πόλεων, που θα οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού και την ανάπτυξη νέων υποδομών, θα ωθήσει τις πόλεις να επεκταθούν και να ενσωματώσουν γειτονικές πόλεις δημιουργώντας υπερ-πόλεις (Mega Cities) πληθυσμού άνω των 10 εκατομμυρίων κατοίκων [41,45].

Στην Ευρώπη παράδειγμα αποτελεί το SmartSantander project που σκοπό έχει να ενεργοποιήσει IoT υποδομές αποτελούμενες από χιλιάδες συσκευές IoT σε διάφορες πόλεις της Ευρώπης (Σανταντέρ, Γκίλντφορντ και Βελιγράδι) που θα διευκολύνει στην ταυτόχρονη ανάπτυξη, αξιολόγηση υπηρεσιών και εκτέλεση ερευνητικών πειραμάτων δημιουργώντας το περιβάλλον μιας έξυπνης πόλης [42].

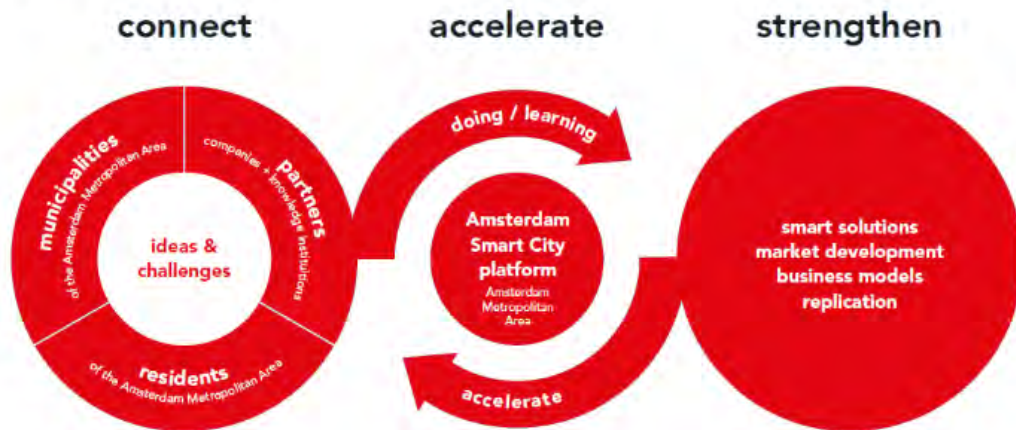


**Εικόνα 43 Smart City Concept**  
Πηγή: Agartala Smart City Project

Ανά τον κόσμο οι πόλεις που προσπαθούν να αναπτύξουν τις υποδομές τους με IoT λύσεις ώστε τα δεδομένα που θα συλλέγουν να βοηθήσουν στην παροχή υπηρεσιών προς τους κατοίκους τους είναι αρκετές. Τρία παραδείγματα που είναι άξια αναφοράς αποτελούν το Άμστερνταμ, Ολλανδία, το Μπουσάν, Νότιος Κορέα και η Νις, Γαλλία.

Το Άμστερνταμ αποτέλεσε έναν από τους πρώιμους σταθμούς εφαρμογής λύσεων IoT καθώς από το 2006 ξεκίνησαν πρωτοβουλίες, μέσω της πλατφόρμας καινοτομίας Amsterdam Smart City.

What does ASC do?



Εικόνα 44 Πλατφόρμα καινοτομίας του Amsterdam  
Πηγή: <https://amsterdamsmartcity.com/p/about>

Το 2013 ξεκίνησε , σε συνεργασία με την Cisco, η διαδικασία υιοθέτησης ενός “έξυπνου», συνδεδεμένου με το internet δικτύου φωτισμού. Σύμφωνα με την Cisco η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θα αποδειχθεί ιδιαίτερα αποδοτικό, και από άποψη χρησιμότητας αλλά και οικονομικά. Το δίκτυο φωτισμού της πόλης έχει υλοποιηθεί εδώ και δεκαετίες και ευθύνεται για το 19% της καταναλώμενης ενέργειας στην πόλη και η πρόταση “smart lighting” θα μπορούσε να επιφέρει οικονομικά κέρδη ύψους 13.1 εκατομμυρίων δολαρίων. Η υπηρεσία αυτή ξεκίνησε την πιλοτική της λειτουργία στην περιοχή Westergasfabriek με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα [43].

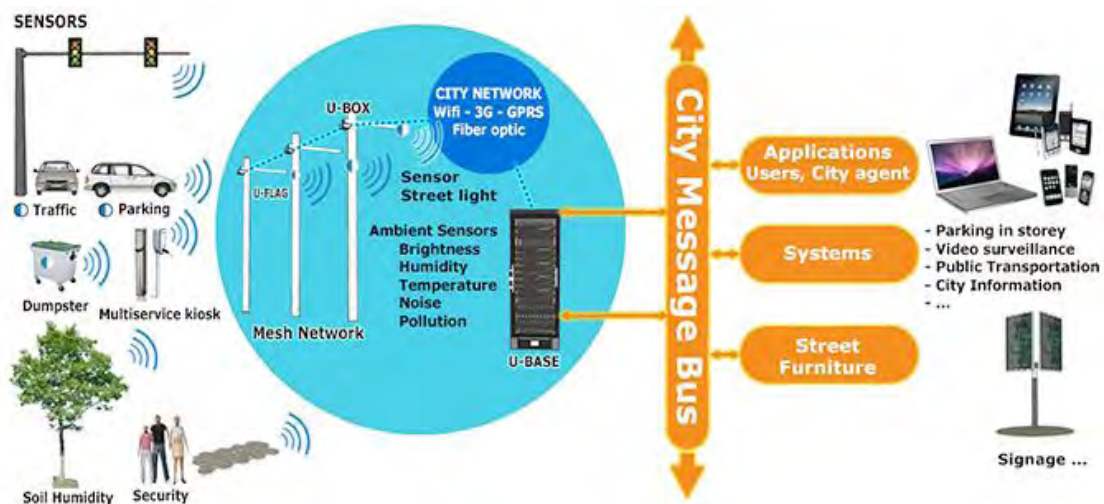
Το Μπουσάν στην Νότιο Κορέα αποτελεί μια πόλη που έχει θέσει βάσεις για πλήρη ενσωμάτωση IoT υπηρεσιών με σκοπό την ανάπτυξη της. Θέλοντας να εκμεταλλευτεί της υποδομές διαδικτύου υψηλών ταχυτήτων που διαθέτει συνεργάστηκε με την Cisco το μοντέλο “Green u-City”, το οποίο θα βοηθήσει στην οικονομική ανάπτυξη και την βελτίωση της ποιότητας ζωής. Προσφέρει δυνατότητα αλληλεπίδρασης των πολιτών και των επιχειρήσεων με δημόσιους παράγοντες πετυχαίνοντας ταυτόχρονα στόχους μείωσης καυσαερίων στην ατμόσφαιρα και κατανάλωσης φυσικών πόρων [44].



Εικόνα 45 Busan Green u-City blueprint

Πηγή: Smart+Connected City Services Cloud-Based Services Infrastructure Enables Transformation of Busan Metropolitan City

Ακόμα ένα παράδειγμα “έξυπνης πόλης” αποτελεί η Νις στην Γαλλία η οποία αποτελεί την 4<sup>η</sup> smartest city in the world σύμφωνα με την Juniper Research [, η οποία ενσωμάτωσε ένα σύστημα “έξυπνου παρκαρίσματος”. Εκτός της συγκεκριμένης υπηρεσίας η Νις διοργανώνει κάθε χρόνο το TM Forum Live event στις δράσεις των οποίων συμπεριλαμβάνονται και διαγωνισμοί λύσεων για έξυπνες πόλεις. Το 2015 η IoT υπηρεσία Internet of Parks κέρδισε το διαγωνισμό με την κατασκευή ενός ρομπότ που χρησιμοποιείται στην καθαριότητα των δημόσιων πάρκων της πόλης [43].

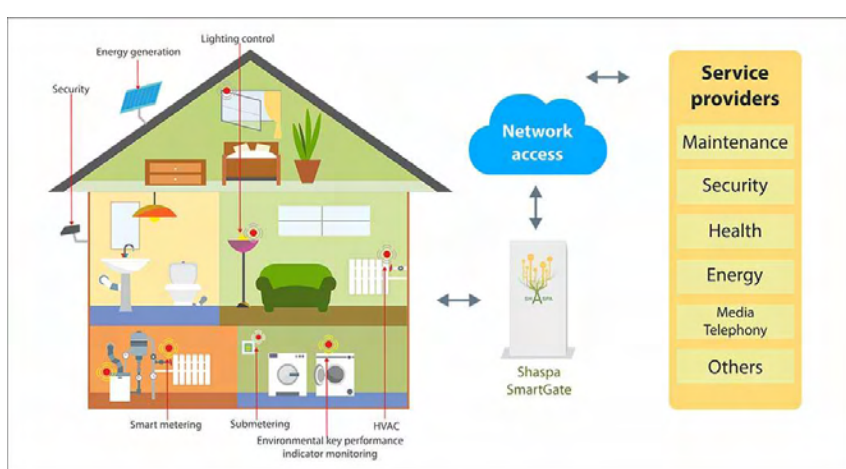


Εικόνα 46 Αρχιτεκτονική Nice Smart Parking

Πηγή: Corsro A., “Building the Internet of Things with DDS”

## 3.2 Smart Home

Αρκετοί κατασκευαστές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην δημιουργία συσκευών που θα επανδρώσουν οικίες κάνοντας το concept του “smart home” πραγματικότητα. Οι λύσεις αυτές εστιάζονται κυρίως στην παρακολούθηση και μεταβολή της θερμοκρασίας των χώρων ενός σπιτιού, στην διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας και στην παροχή ανέσεων με τον αυτοματισμό διεργασιών. Οι IoT εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στα έξυπνα σπίτια χρησιμοποιούν αισθητήρες που συλλέγουν πληροφορίες για την παραγωγή και μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας, την θέρμανση, τον κλιματισμό, τον φωτισμό καθώς και δεδομένα ασφάλειας του σπιτιού.[46]



Εικόνα 47 Smart Home Concept

Πηγή: Connected Devices for Smarter Home Environments

Στο τομέα του smart home αποφάσισε η εταιρία Samsung να ξεκινήσει να παρέχει υπηρεσίες στο πλαίσιο του Internet of Things. Στο πλαίσιο της έκθεσης IFA 2015 παρουσίασε μια σειρά προϊόντων που σκοπό έχουν την έξυπνη διαχείριση του σπιτιού. Βασική μονάδα αποτελεί το “κέντρο ελέγχου”, Samsung SmartThings Hub το οποίο είναι εξοπλισμένο με πληθώρα αισθητήρων και προσφέρει το “Smart Home Monitor” που χρησιμοποιεί πρωτόκολλα λογισμικού και επικοινωνίας του IoT για σύνδεση με τα SmartThings που προσφέρει η εταιρία.[47]



Εικόνα 48 SmartThings Hub

Πηγή: <http://allconnected.gr/news/η-samsung-επενδύει-στο-έξυπνο-σπίτι-ifa-2015/>

### 3.3 Smart Transport

Η σύνδεση των αυτοκινήτων με το διαδίκτυο προσφέρει ένα μεγάλο αριθμό δυνατοτήτων και επιλογών σε εφαρμογές που θα φέρουν νέες λειτουργίες και θα διευκολύνουν την καθημερινή μετακίνηση. Όταν μιλάμε για IoT εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία και στα δημόσια μέσα μεταφοράς πρέπει να λάβουμε υπόψιν τους ακόλουθους περιορισμούς:

1. Το IoT πρέπει να έχει έναν εγγενή ρόλο στον έλεγχο του οχήματος και το σύστημα διαχείρισης.
2. Θα πρέπει να χρησιμοποιεί IoT υπηρεσίες για διαχείρισης του προβλήματος κυκλοφορίας. Τα οχήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να σχεδιάζουν διαδρομές που αποφεύγουν την κυκλοφοριακή κίνηση μειώνοντας και την κατανάλωση καυσίμων. Η επικοινωνία μεταξύ των κινητών κόμβων του δικτύου με τις υποδομές μιας πιο πόλης, στα πλαίσια του smart city, θα δώσει μεγαλύτερη ασφάλεια μειώνοντας τα ατυχήματα.
3. Μελλοντικά να υπάρχει η δυνατότητα αυτόνομης οδήγησης και ενσωμάτωσης στο ήδη δομικό πλαίσιο των έξυπνων οχημάτων και των πόλεων.

Μία περίπτωση υπηρεσίας ΙοΤ που εφαρμόζεται στο τομέα των δημοσίων μεταφορών αποτελεί το προτζεκτ Butler που έγινε σε συνεργασία της εταιρίας με το Jacobs University και αφορά μια υπηρεσία για αστικά λεωφορεία.



Εικόνα 49 Project Butler

Πηγή : [http://www.iot-butler.eu/wp-content/uploads/2011/10/BUTLER\\_PoC\\_SmartTransport\\_Poster\\_JUB.png](http://www.iot-butler.eu/wp-content/uploads/2011/10/BUTLER_PoC_SmartTransport_Poster_JUB.png)

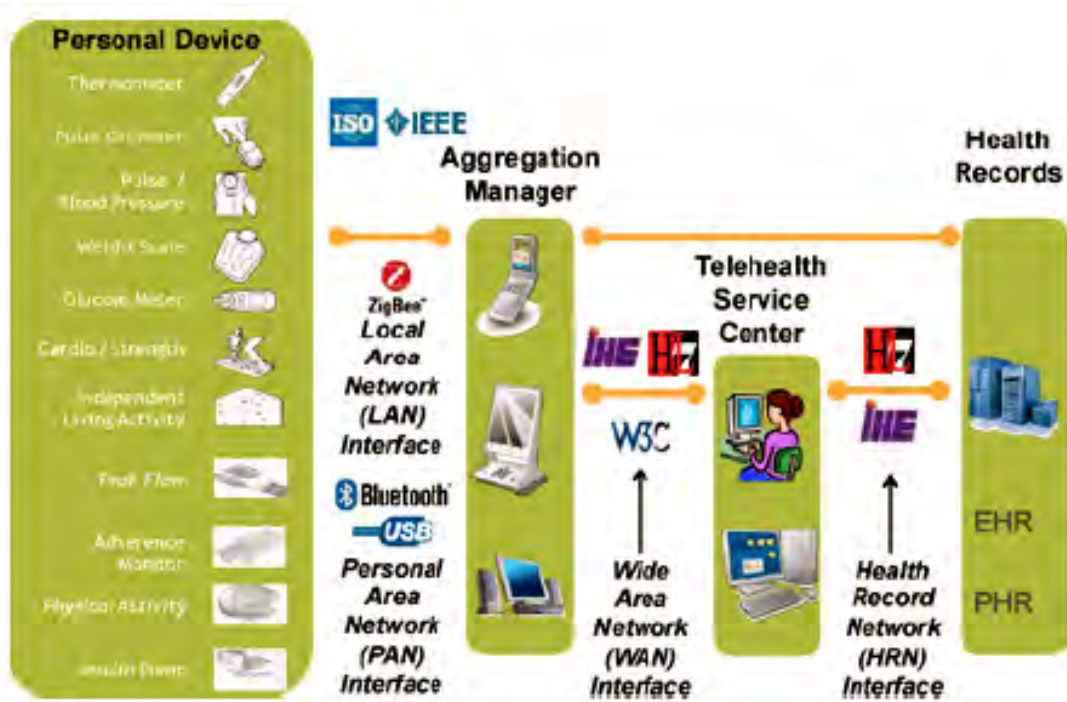


### 3.4 Εφαρμογές του Internet of Things στην Τομέα Υγείας

Η αγορά στον τομέα των συσκευών που καταγράφουν παράγοντες σχετικά με την υγεία ενός ανθρώπου χαρακτηρίζεται από λύσεις οι οποίες είναι εστιασμένες σε μία μόνο πτυχή ενός προβλήματος, δεν επιτρέπουν την συνεργασία με άλλες λύσεις και βασίζονται σε διάφορες αρχιτεκτονικές. Εφαρμογές IoT θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές πτυχές εφαρμογής της Ιατρικής, όπως στην κλινική παρακολούθηση ασθενών όπου ένα σύστημα βασισμένο σε IoT θα παρέχει συνεχή έλεγχο της κατάστασης ενός ασθενούς. Η εφαρμογή αυτή απαιτεί ένα σύνολο αισθητήρων που θα συλλέγουν δεδομένα στοχευόμενα με το πρόβλημα, μια πύλη δικτύου(gateway) για σύνδεση με cloud πλατφόρμα έτσι ώστε να γίνει αποθήκευση και ανάλυση των δεδομένων στα οποία άμεση πρόσβαση μπορούν να έχουν οι αρμόδιοι ιατροί για αξιολόγηση της κατάστασης. Οι τεχνικές αυτές μειώνουν το κόστος μιας και δεν απαιτείται συνεχή επαφή ενός ατόμου για την αξιολόγηση της κατάστασης και βελτιώνουν την ποιότητα της φροντίδας μέσω της συνεχούς παρακολούθησης. Επομένως οι συνδεδετικοί κρίκοι των εφαρμογών IoT πρέπει να περιλαμβάνουν:

1. Την συλλογή δεδομένων από αισθητήρες.
2. Αντοχή, ακρίβεια, αξιοπιστία και χαμηλές ενεργειακές ανάγκες
3. Την υποστήριξη απλού γραφικού περιβάλλοντος για την διευκόλυνση των χρηστών-ασθενών
4. Την ύπαρξη συνδεσιμότητας δικτύου για σύνδεση με Ινστιτούτα παροχής ιατρικών βοθηθιών.[48]

Το Continua Health Alliance είναι ένα οργανισμός που προωθεί τις εφαρμογές υγεία με χρήση IoT και έχει θέσει ένα σύνολο κανόνων για την χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας στην διασύνδεση των αισθητήρων. Χρησιμοποιεί πρωτόκολλα όπως το ZigBee λόγω της αξιοπιστίας που παρέχει και Bluetooth λόγω των χαμηλών ενεργειακών αναγκών του και του γρήγορου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων που παρέχει.



Εικόνα 50 Smart Health  
 Πηγή: Continua Health Alliance

Οι εταιρίες Dell και Intel επίσης προτείνουν μία λύση τηλειατρικής βασισμένη σε IoT που παρέχει υψηλή ασφάλεια, καλύτερες επιλογές στις ιατρικές αποφάσεις με την χρήση Analytics, λειτουργικότητα με πολλές διαφορετικές ιατρικές συσκευές και δυνατότητες επέκτασης [49].



Εικόνα 51 Smart Health IoT λύση από την Intel  
 Πηγή: Transforming Healthcare with Telemedicine Solutions based on the Internet of Things (IoT)",

## Βιβλιογραφία

1. Samsung Greece , (2015) “Το Ίντερνετ των πραγμάτων” ., <http://www.samsung.com/gr/discover/new/the-internet-of-things-smart-home/>.
2. Κηπουρόπουλος Π., (2014) “Internet of things: Αυτός ο μεγάλος άγνωστος”, <http://propaganda.gr/internet-things-aftos-o-megalos-agnostos/>
3. SaS Institute , (2015) “What is the Internet of Things (IoT)?”., [http://www.sas.com/el\\_gr/insights/big-data/internet-of-things.html#iotusers](http://www.sas.com/el_gr/insights/big-data/internet-of-things.html#iotusers)
4. IoT Analytics, (2016)“The top 10 IoT application areas – based on real IoT projects”., <https://iot-analytics.com/top-10-iot-project-application-areas-q3-2016/>
5. Cisco ., (2015) “Cloud and Mobile Network Traffic Forecast - Visual Networking Index (VNI).”, <http://cisco.com/c/en/us/solutions/serviceprovider/visual-networking-index-vni/index.html>
6. Danova T., (2013) “Morgan Stanley: 75 Billion Devices Will Be Connected To The Internet Of Things By 2020.” *Business Insider.* , <http://www.businessinsider.com/75-billion-devices-will-be-connected-to-the-internet-by-2020-2013-10>
7. James M., Chui M., Bisson P., Woetzel J., Dobbs ., Bughin J., Aharon D., (2015) “The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype.” McKinsey Global Institute.
8. Zheng, L., Zhang, H., Han, W., Zhou, X., He, J., Zhang, Z., & Wang, J. (2011). “Technologies, applications, and governance in the internet of things.Internet of things-Global technological and societal trends. From smart environments and spaces to green ICT”, River Publishers
9. Rose K., Eldridge S., Chapin L., (2015) “The Internet of Things: An Overview | Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World”
10. [RFC 7452] Tschofenig, H., et. al., (2015) “Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech”., Internet Architecture Board
11. “Meet the Nest Thermostat | Nest.” (2015) Nest Labs <https://nest.com/thermostat/meet-nest-thermostat/>

12. Duffy Marsan C., (2015) "IAB Releases Guidelines for Internet-of-Things Developers." IETF Journal 11.1, Internet Engineering Task Force.
13. Maksimovic M., Vujovic V., Davidovic N., Milosevic V., Perisic B. (2014) "Raspberry Pi as Internet of Things hardware: Performances and Constraints", IcETRAN 2014, Vrnjacka Banja, Serbia
14. Nayyar A., Puri V., (2016) "A Comprehensive Review of BeagleBone Technology: Smart Board Powered by ARM"., International Journal of Smart Home, Vol 10, No. 4
15. Sousa M., (2013) "Internet of Things with Intel Galileo | Employ the Intel Galileo board to design a world of smarter technology for your home", Packt Publishing.
16. Bell C., (2014) "Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi",. Technology in Motion.
17. Fielding Roy Thomas, (2000). Chapter 5 "Representational State Transfer (REST)". Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures(Ph.D.). University of California, Irvine
18. Benatallah B., Casati F., Toumani F., (2004). "Web service conversation modeling: A cornerstone for e-business automation". IEEE Internet Computing. 8: 46
19. Fielding Roy Thomas, (2000). "Chapter 2: Network-based Application Architectures". Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures(Ph.D.). University of California, Irvine
20. Shelby Z., Sensinode, Hartke K., (2012) "Constrained Application Protocol (CoAP)," Internet Engineering Task Force (IETF)
21. Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y., (2012) "Internet of Things, Smart Spaces and Next Generation Networking". , 12th International Conference, NEW2AN 2012, and 5th Conference, ruSMART 2012, St. Petersburg, Russia.
22. Castellani A., Fossati T., Loreto S., (2012) "HTTP-CoAP cross protocol proxy: an implementation viewpoint," Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), IEEE 9th International Conference
23. Jung W., Hong S., Ha M., Kim Y-J., Kim D., (2009) "SSL-Based Lightweight Security of IP-Based Wireless Sensor Networks", Proceedings of

the International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshop,.

24. Kothmayr T., Schimitt C., Wen Hu, Bruning M., (2012) “ A DTLS Based End-To-End Security Architecture for the Internet of Things with Two-Way Authentication ”, Technische Universitat Munchen, Germany

25 Obermaier D., “Getting Started with MQTT | A Protocol for the Internet of Things”., Dzone Refcardz

26. “HiveMQ Blog: In-depth MQTT explanations and articles”  
<http://www.hivemq.com/blog>

27. Object Management Group (2012), “What Can DDS Do For Android”, Retrieved:[http://www.omg.org/hot-topics/documents/dds/Android and DDS1.pdf](http://www.omg.org/hot-topics/documents/dds/Android_and DDS1.pdf)

28. Object Management Group., (2004) “Data distribution service for real time systems”.

29.Pardo-Castellote G., (2003) “OMG Data-Distribution Service: Architectural Overview”., ICDCSW '03 Proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems, IEEE Computer Society Washington, DC, USA.

30.Object Management Group., (2006) “Data distribution service interoperability wire protocol”.

31.Oki B., Pfluegl M., Siegel A., Skeen D., (2009) "The Information Bus -- An Architecture for Extensible Distributed Systems", SOSP14

32. Saint-Andre P., Smith K., Troncon R., (2009), “XMPP: The Definitive Guide Building Real-Time Applications with Jabber Technologies”., O'Reilly Media.

33. Saint-Andre P., (2004) , [RFC 3920] “Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core”., Internet Engineering Task Force (IETF).

34.Saint-Andre P., (2004) , [RFC 3921] “Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Instant Messaging and Presence”., Internet Engineering Task Force (IETF).

35. IoT Analytics (2015), report: “IoT platforms | The Central Backbone for the Internet of Things”, <http://iot-analytics.com>.

36. "AWS IoT: Developer Guide", Amazon Web Services, Amazon Inc.
37. "Microsoft Azure IoT Reference Architecture", Microsoft Inc.
38. "Watson IoT Reference Guide", IBM Bluemix.
39. Green H., (2015) "Cognitive IoT: Making the Internet of Things Deliver for All of Us", <https://www.ibm.com/blogs/think/2015/12/15/cognitive-iot-making-the-internet-of-things-deliver-for-all-of-us/>
40. "Eclipse Vorto- Overview". Eclipse Foundation
41. Frost & Sullivan., "Mega Trends: Smart is the New Green" <http://www.frost.com/prod/servlet/our-services-page.pag?mode=open>
42. Vermesan O., Friess P., Guillemin P., Sundmaeker H. et al., (2013) "Internet of Things Strategic Research and Innovation Agenda", Chapter Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems, Rivers Publishers.
43. IndustrialIoT5G., (2016) "3 smart city use cases: Amsterdam, Busan and Nice", <http://industrialiot5g.com/20160426/channels/use-cases/3-smart-city-use-cases-amsterdam-busan-nice-tag17-tag99>
44. Kim T., Mitchell S., Villa N., (2011) "Smart+Connected City Services Cloud-Based Services Infrastructure Enables Transformation of Busan Metropolitan City", Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)
45. Καραφυλίδη Α., Ριζούλη Β., (2014) "Smart Lighting: Μια λύση στο πλαίσιο υλοποίησης των Smart Cities", <http://blog.ots.gr/2014/07/18/smart-lightingμια-λύση-στο-πλαίσιο-υλοποίησης-των/#.WAcnjBZkjIU>
46. IBM Data Magazine., (2014) "Connected Devices for Smarter Home Environments" <http://www.ibmbigdatahub.com/blog/connected-devices-smarter-home-environments>
47. Ορφανίδης Β., (2015) "Η Samsung επενδύει στο "έξυπνο" σπίτι @ IFA 2015", <http://allconnected.gr/news/η-samsung-επενδύει-στο-έξυπνο-σπίτι-ifa-2015/>
48. "The Internet of Things for Medical Devices - Prospects, Challenges and the Way Forward", (2015), Tata Consultancy Services, IoT Solution World Congress
49. "Transforming Healthcare with Telemedicine Solutions based on the Internet of Things (IoT)", Solution Blueprint Internet of Things by Intel <http://www.intel.com/content/dam/www/program/embedded/internet-of-things/blueprints/iot-dell-telemedicine-blueprint.pdf>

