



Real cases of sensor networks for smart buildings

Εφαρμογές και παραδείγματα δικτύων αισθητήρων σε «έξυπνα» κτήρια

Σπυριδοπούλου Εύα, Μπέζα Βασιλική, Μπούικου Ανδρομάχη

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2017

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

UNIVERSITY OF MACEDONIA

Master in Information Systems

Course: Computer Networks

Professor: A.A. Economides



Περίληψη

Το "Internet of things" (IoT) είναι ένας νέος ορισμός τεχνολογιών που φέρουν ένα κοινό χαρακτηριστικό - είναι σε θέση να μοιράζονται τα δεδομένα τους όχι μόνο μεταξύ τους, αλλά και με άλλα συστήματα τεχνολογίας της πληροφορίας, επιτρέποντας μια ευρύτερη προοπτική στην αποτελεσματικότητά τους και το περιβάλλον τους. Οι νέες εξελίξεις στις τεχνολογίες των κτηρίων συνδυάζουν την ενεργειακή απόδοση, τους δικτυωμένους αισθητήρες και την καταγραφή δεδομένων με καινοτόμους τρόπους. Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις μπορούν να προσαρμόσουν τις λειτουργίες φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης, για να μεγιστοποιήσουν την απόδοση, να βελτιώσουν την φυσική ασφάλεια και να παράσχουν λεπτομερείς αναφορές σχετικά με τη χρήση του κτηρίου. Αυτή η εργασία θα διερευνήσει σύντομα την ιδέα των «έξυπνων κτηρίων» και θα περιγράψει μερικές από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται για αυτά τα κτήρια. Παρέχεται επίσης μια σύντομη λίστα με επιλεγμένα παραδείγματα χρήσης νέων τεχνολογιών έξυπνων κτηρίων. Γίνεται τέλος αναφορά στις σημαντικές προοπτικές που οι τεχνολογίες κτηρίων μπορούν να έχουν, ενώ παρουσιάζονται συνοπτικά και τυχόν δυσλειτουργίες που τα υπάρχοντα συστήματα καλούνται να υπερβούν.

Abstract

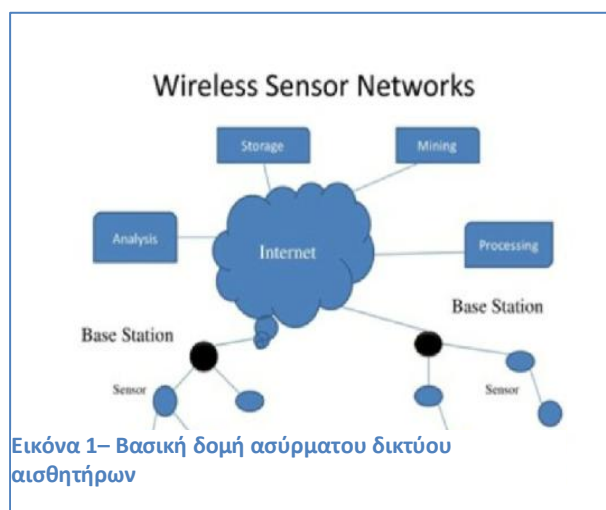
"Internet of things" (IoT) is a new definition of technologies that carry a common characteristic — they're capable of sharing their data not only with each other but also with other information technology systems, enabling a wider perspective into their effectiveness and their environment. Building technologies advances are combining energy efficiency, networked sensors, and data recording in innovative ways. Modern facilities can adjust lighting, heating and cooling outputs to maximize efficiency, provide better physical security and also provide detailed reports of building use. This essay will briefly explore the idea of "smart buildings" and describe some of the technologies that are currently being developed for these. A brief listing of selected smart building technologies is also provided. The essay concludes with a reference to the significant prospects that building technologies can have and finally, to a brief presentation of existing malfunctions that current systems need to overcome.



SMART BUILDINGS (SB) – Intelligent building systems

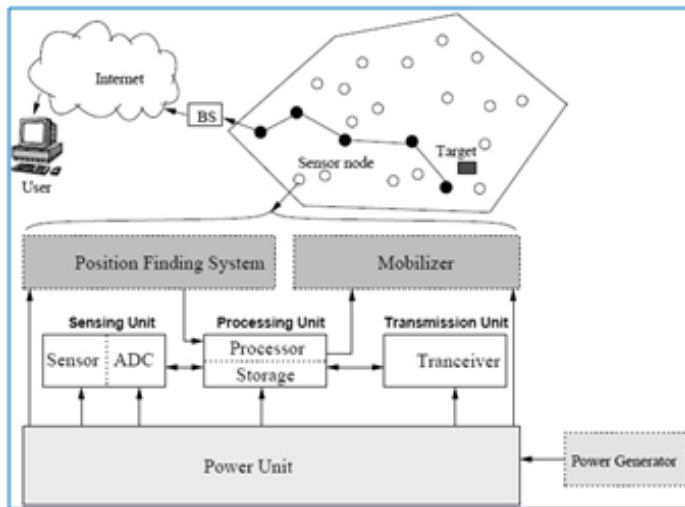
Τα έξυπνα κτήρια αναφέρονται και ως «αυτοματοποιημένα» ή κτήρια που ενσωματώνουν έξυπνη τεχνολογία. Λόγω της έντονης δυναμικότητας των νέων τεχνολογιών ωστόσο, παραμένει ένας αρκετά ασαφής όρος που σε βασικό επίπεδο έχει χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή κτηρίων που περιλαμβάνουν συγκεκριμένες τεχνολογίες όπως αυτοματοποιημένα συστήματα, ευφυή συστήματα διαχείρισης κτηρίων, μέτρα ενεργειακής απόδοσης, ασύρματες τεχνολογίες, ψηφιακή υποδομή, προσαρμοστικά ενεργειακά συστήματα, δικτυωμένες συσκευές, συσκευές συλλογής δεδομένων, δίκτυα πληροφοριών και επικοινωνιών, υποστηρικτικές τεχνολογίες και απομακρυσμένη παρακολούθηση. Ο έλεγχος των παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος διαχείρισης του κτηρίου (Building Management System, BMS).

Βασική δικτύωση και δομή επικοινωνίας ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων



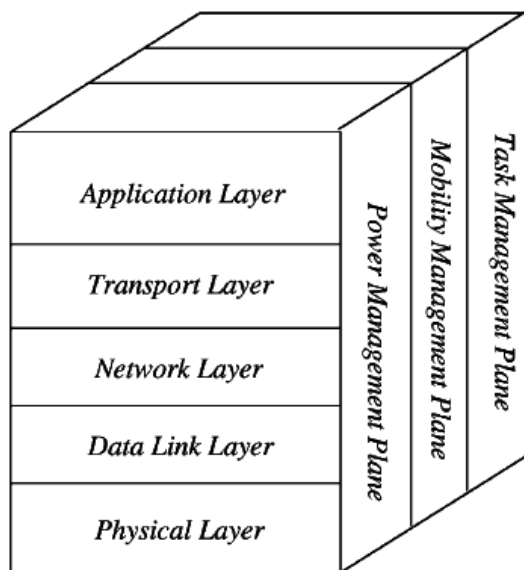
Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, όπου κάθε ένας είναι εξοπλισμένος με έναν αισθητήρα για την ανίχνευση φυσικών φαινομένων όπως το φως, η θερμοκρασία κλπ. Τα ασύρματα WSN θεωρούνται μια επαναστατική μέθοδος συλλογής πληροφοριών για την κατασκευή ενός συστήματος πληροφοριών και επικοινωνίας που θα βελτιώσει σημαντικά την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των συστημάτων

υποδομής. Σε σύγκριση με την ενσύρματη λύση, τα WSN διαθέτουν ευκολότερη εγκατάσταση και καλύτερη ευελιξία των συσκευών. Τα μέρη ενός WSN συνήθως περιλαμβάνουν κόμβους αισθητήρων (sensor nodes), κόμβους ενεργοποίησης (actuator nodes), πύλες (gateways) και πελάτες (clients). Οι κόμβοι αισθητήρων παρακολουθούν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και μεταδόθηκαν κατά μήκος άλλων κόμβων αισθητήρων με άλματα (hopping). Κατά τη διαδικασία της μετάδοσης, τα δεδομένα μπορούν να διακινούνται από πολλαπλούς κόμβους για να φτάσουν στην πύλη του κόμβου μετά από πολλές ανακλάσεις δρομολόγησης (multihop Routing), ώσπου να φτάσουν στον κόμβο διαχείρισης μέσω του διαδικτύου ή μέσω δορυφόρου. Ο χρήστης διαμορφώνει και διαχειρίζεται το WSN με το κόμβο διαχείρισης και τη συλλογή των δεδομένων παρακολούθησης (International Electrotechnical Commission).



Εικόνα 2-Δομή ασύρματου κόμβου αισθητήρα

μετατροπέα αναλογικού προς ψηφιακό (ADCs). Τα αναλογικά σήματα που παράγονται από τους αισθητήρες μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα από το ADC, και στη συνέχεια τροφοδοτούνται μέσα στη μονάδα επεξεργασίας. Η μονάδα επεξεργασίας συνδέεται γενικά με μια μικρή μονάδα αποθήκευσης και μπορεί να διαχειριστεί τις διαδικασίες που κάνουν τον κόμβο αισθητήρα να συνεργάζεται με τους άλλους κόμβους για την εκτέλεση της ανίχνευσης. Μια μονάδα πομποδέκτη συνδέει τον κόμβο στο δίκτυο. Ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά ενός κόμβου αισθητήρα είναι η μονάδα ισχύος. Μονάδες ισχύος μπορεί να υποστηριχθεί από μία μονάδα καθαρισμού ισχύος (scavenging unit) όπως τα ηλιακά κύτταρα. Οι άλλες υπομονάδες του κόμβου εξαρτώνται από την εκάστοτε εφαρμογή τους. (Islam, 2012)



Εικόνα 3- δομή επικοινωνίας ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων

Οι κόμβοι αισθητήρων είναι συνήθως διάσπαρτοι σε ένα πεδίο αισθητήρων. Κάθε ένας από αυτούς έχει τις δυνατότητες για τη συλλογή δεδομένων και τη διαδρομή πίσω στους τελικούς χρήστες. Τα δεδομένα δρομολογούνται στον τελικό χρήστη μέσω καθορισμένης υποδομής. Τα στρώματα πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται από τους κόμβους αισθητήρων δίνονται στην εικόνα 3. Η στοίβα πρωτοκόλλων αποτελείται από το στρώμα εφαρμογής, στρώμα μεταφοράς, το επίπεδο δικτύου, το στρώμα ζεύξης δεδομένων, το φυσικό στρώμα, το πλαίσιο διαχείρισης ισχύος, το πλαίσιο διαχείρισης κινητικότητας και το πλαίσιο διαχείρισης εργασιών. (I. F. Akyildiz, 2002) Διαφορετικοί τύποι λογισμικού εφαρμογών μπορεί να κατασκευαστούν και να

χρησιμοποιηθούν για το κάθε στρώμα, ανάλογα με τις εργασίες ανίχνευσης. Το στρώμα μεταφοράς συμβάλλει στη διατήρηση της ροής των δεδομένων. Το επίπεδο δικτύου φροντίζει για τη δρομολόγηση των δεδομένων που παρέχονται από το επίπεδο μεταφοράς, μέσω ειδικών πρωτοκόλλων ασύρματης δρομολόγησης πολλαπλών ανακλάσεων μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και του παραλήπτη. Το στρώμα ζεύξης δεδομένων είναι υπεύθυνο για την πολυπλεξία των ρευμάτων δεδομένων, την ανίχνευση πλαισίου και του ελέγχου σφάλματος (Kemal Akkaya, 2003). Επιπλέον, τα επίπεδα ενέργειας, η κινητικότητα και η διαχείριση των εργασιών παρακολουθούνται από τα επίπεδα Power, Management και Mobility Plane. Αυτά τα επίπεδα βοηθούν τους κόμβους αισθητήρων να συντονίζουν τις λειτουργίες ανίχνευσης και να μειώνουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. (V. Çağrı Güngör (Editor), 2017)

Ανοικτά πρωτόκολλα επικοινωνίας

Με τα χρόνια, έχουν αναπτυχθεί δεκάδες πρωτόκολλα για την αυτοματοποίηση των κτηρίων. Μερικά πρωτόκολλα, όπως το BACnet και το LonWorks, κατασκευάζονται για σχεδόν κάθε τύπο εξοπλισμού αυτοματισμού κτηρίων. Αυτός είναι και ο λόγος που τα περισσότερα συστήματα αυτοματισμού κτηρίων θα βασίζονται σε ένα από αυτά τα δύο πρωτόκολλα. Άλλα πρωτόκολλα είναι πιο εξειδικευμένα όπως για παράδειγμα, το DALI που δημιουργήθηκε μόνο για συστήματα φωτισμού και το Modbus που σχεδιάστηκε κυρίως για βιομηχανικό έλεγχο. Κάποιες φορές διαφορετικά πρωτόκολλα μπορούν να συνεργαστούν και άλλες όχι. Για παράδειγμα, τα συστήματα BACnet και LonWorks μπορούν να λειτουργήσουν με συστήματα φωτισμού DALI, αλλά όχι το ένα με το άλλο. Επίσης, υπάρχει ξεχωριστή κατηγορία ασύρματων πρωτοκόλλων, για συσκευές όπως ελεγκτές χώρου που επικοινωνούν με σήματα ραδιοσυχνότητας. (Sohraby K., 2007)

Σύντομη λίστα των σημαντικότερων πρωτοκόλλων και βιομηχανικών προτύπων αυτοματισμού

A. ΕΝΣΥΡΜΑΤΑ

- **BACnet** (building automation and control networks) αποκλειστικά προσανατολισμένο σε αυτοματισμούς κτηρίων, δημιουργήθηκε από την **ASHRAE** (Αμερικανική Εταιρεία) για θέματα θέρμανσης, εξαερισμού, κλιματισμού ή ψύξης (HVAC & R).
- **LonWorks**, πρωτόκολλο που δημιουργήθηκε από την Echelon Corporation για συσκευές δικτύωσης.
- **DALI**, δικτυακά συστήματα που ελέγχουν τον φωτισμό σε κτήρια
- **Clipsal C-Bus**, ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας βασισμένο σε ένα μοντέλο OSI επτά επιπέδων
- **Modbus**, χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική πελάτη / διακομιστή για τη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ ενός κεντρικού υπολογιστή και έξυπνων συσκευών, ειδικά αισθητήρων και συστημάτων συλλογής δεδομένων. Στον αυτοματισμό των κτηρίων χρησιμοποιείται για τον έλεγχο εξοπλισμού όπως ψύκτες, λέβητες και ανεμιστήρες. Υποκατηγορία του και το **MBUS**, ένα ευρωπαϊκό πρότυπο για την ανάγνωση των μετρητών κατανάλωσης (θερμότητα, Φυσικού αερίου κ.λπ.) .
- Το **OPC**, βιομηχανικό πρότυπο που χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή, στον έλεγχο της διαδικασίας και στον αυτοματισμό των κτηρίων

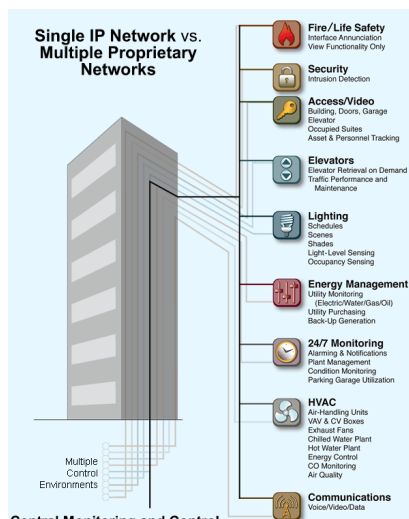
- **KNX**, σύστημα ελέγχου κατοικιών και κτηρίων
- **Webservices**, ένας τυποποιημένος τρόπος για να επιτρέπεται η αλληλεπίδραση διαφορετικών εφαρμογών και συστημάτων πληροφορικής μέσω διαδικτύου. Οι υπηρεσίες Web είναι στην πραγματικότητα μια συλλογή πρωτοκόλλων που συνεργάζονται για να υποστηρίξουν δραστηριότητες όπως άνοιγμα αρχείων, πρόσβαση και ανταλλαγή δεδομένων, μεταφόρτωση και λήψη πληροφορίας σε διάφορες πλατφόρμες. Στον αυτοματισμό των κτηρίων, χρησιμοποιείται συχνά για την ενσωμάτωση συστημάτων κτηρίων που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και την παροχή ενιαίας αναφοράς και ανάλυσης.

B. ΑΣΥΡΜΑΤΑ

- Το πρότυπο **EnOcean**, για ασύρματη δικτύωση που αναπτύχθηκε αρχικά από τη Siemens, με συσκευές που χρησιμοποιούν τεχνικές κινητικής και θερμικής ενεργειακής συγκομιδής.
- **ZigBee**, πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης, που στοχεύει στην αυτοματοποίηση των κτηρίων. (Schneider electric)

	TCP/IP Protocol Stack	Z-Wave	ZigBee	6LoWPAN
Application	HTTP, RTP, FTP, etc.	Device & Command Classes	Application Profile(s)	HTTP
Transport	TCP UDP ICMP	Routing Layer	Application Support S...	UDP ICMP
Network	IP	Transfer Layer	NWK Layer	IPv6 with 6LoWPAN
Data Link	Ethernet MAC	Proprietary MAC	IEEE802.15.4 MAC	IEEE802.15.4 MAC
Physical	Ethernet PHY	Proprietary PHY	IEEE802.15.4 PHY	IEEE802.15.4 PHY

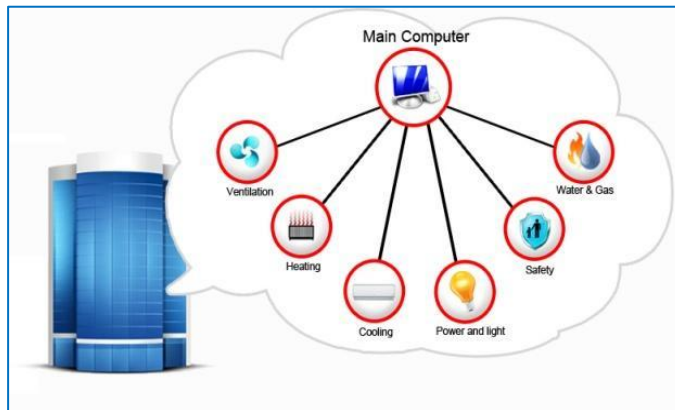
Εικόνα 4- συνοπτικός πίνακας των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε κάθε layer



Εικόνα 5– ενοποίηση μέσω ενός κοινού συστήματος ελέγχου

Η ολοκλήρωση (integration) ξεκινά με τη σύγκλιση των αγωγών, που σημαίνει ότι η υποδομή καλωδίωσης για κάθε σύστημα είναι κοινή. Στα παραδοσιακά κτήρια, τα διαφορετικά συστήματα (όπως HVAC, φωτισμός και ασφάλεια) έχουν τους δικούς τους ελέγχους και σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούν διαφορετική μέθοδο καλωδίωσης. "Το πρώτο βήμα" λέει ο Paul Ehrlich, πρόεδρος της Building Intelligence Group LLC, "είναι ότι όλα έρχονται σε μια κοινή υποδομή δικτύου". Μόλις ενσωματωθούν σε ένα δίκτυο IP ή σε δίκτυο Ethernet διαφορετικά συστήματα κτηρίων χρησιμοποιώντας δρομολογητές και διακόπτες στον πυρήνα του κτηρίου, μετατρέπονται σε IP μέσω ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου. Μετά την ολοκλήρωση της μετάφρασης, τα δεδομένα παραδίδονται στο δίκτυο των διακοπών και των πυλών και τελικά σε μια κεντρική εφαρμογή παρακολούθησης. Σε αυτό το σημείο, είναι προσβάσιμο και μέσω ασφαλούς προγράμματος περιήγησης στο Web.

1) BMS / BAS , EMS/ EBMS



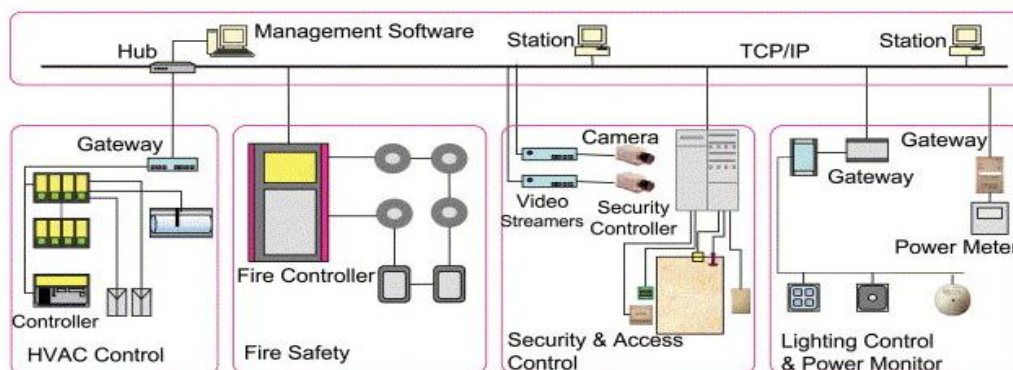
Εικόνα 6 – BMS, σχήμα λειτουργιών (smartek, 2017)

Γνωστό και ως σύστημα αυτοματισμού κτηρίων (building automation system, BAS), το BMS είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου εγκατεστημένο σε κτήρια που ελέγχουν και παρακολουθούν τον μηχανικό και ηλεκτρικό εξοπλισμό του κτηρίου, όπως αερισμό, φωτισμό, συστήματα ισχύος, πυροσβεστικά συστήματα και συστήματα ασφαλείας. Υπάρχουν δύο είδη BMS, το BMS παρακολούθησης

(monitoring BMS) και το BMS ελέγχου (control BMS). Το πρώτο αποτελείται από πολλούς αισθητήρες που συνδέονται με τον εξοπλισμό (π.χ. υγραντήρες, ανιχνευτές θερμοκρασίας και φωτισμού, ανεμιστήρας on / off). Στη συνέχεια το control BMS μέσω του κατάλληλου λογισμικού συλλέγει τα δεδομένα των αισθητήρων για να προβεί στις ανάλογες ενέργειες (smartek, 2017). Υπάρχουν επίσης τα συστήματα BEMS (EMS/Energy Monitoring/Management System ή EBMS) που είναι προσανατολισμένα αυστηρά στη διαχείριση ενέργειας και έχουν ευρεία χρήση σε πολλά δημόσια και ιδιωτικά κτήρια. Στην ουσία τους είναι όμοια με τα BMS, αλλά προσανατολίζονται αμιγώς στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που καταναλώνουν ενέργεια. Δεν περιλαμβάνουν, δηλαδή, συστήματα πρόσβασης, ασφάλειας και πυρανίχνευσης.

Ένα σύστημα BMS αποτελείται από:

1. έναν (τουλάχιστον) Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου (Κεντρική Μονάδα), που είναι το σημείο παρακολούθησης/ελέγχου του συστήματος από τους χειριστές,
2. Απομακρυσμένους Σταθμούς Ελέγχου (controllers) που αποτελούν κέντρα συλλογής και επεξεργασίας των σημάτων που στέλνονται από τους αισθητήρες και τα όργανα ελέγχου,
3. Το δίκτυο Περιφερειακών Μονάδων Ελέγχου, που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των controllers,
4. Δίκτυα συστημάτων και ανοιχτά πρωτόκολλα επικοινωνίας,
5. Τα όργανα λήψεως πληροφοριών (αισθητήρες, ανιχνευτές, βοηθητικές επαφές) και εκτέλεσης εντολών (βαλβίδες, ρελέ). (STAMATIS KARNOUSKOS, 2010)



Εικόνα 7 – ένα τυπικό μοντέλο BMS

Μέσω του BMS σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργίες ενός κτηρίου παραμετροποιούνται και έτσι η αυτοματοποίηση των λειτουργιών ενός κτηρίου μπορεί να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων και την διεκπεραίωση των εργασιών. Σύμφωνα με τον ορισμό της Siemens «Τα έξυπνα κτήρια βελτιώνουν την παραγωγικότητα ανθρώπων και διεργασιών μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας και ενεργητικής πληροφορίας που βοηθούν στην βελτιστοποίηση του κτηρίου και στη λήψη έξυπνων, αποτελεσματικών και βιώσιμων αποφάσεων». (Siemens Industry, Inc. , 2013)

Ένα BMS με δυνατότητες IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και τις διοικητικές δαπάνες και να διευκολύνει την επισκευή και συντήρηση. Για παράδειγμα, οι ιδιοκτήτες ακινήτων μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα που συλλέγουν οι αισθητήρες κίνησης και χρήσης σε επίπεδο κτηρίου για να ρυθμίσουν τον κλιματισμό και τον φωτισμό σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας έτσι το ενεργειακό κόστος και βελτιστοποιώντας το εσωτερικό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό οι Real Estate εταιρίες μπορούν επίσης να προσφέρουν επιπρόσθετη αξία στους μισθωτές με την χρήση των παραπάνω αλλά κυρίως την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας (Surabhi Kejriwal).

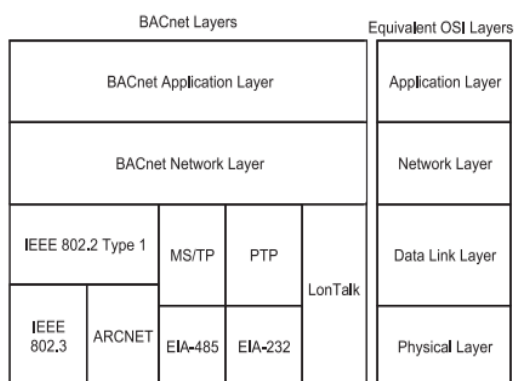
2) HVAC system

Τα συστήματα **HVAC** (Heating , Ventilation and Air Conditioning) ελέγχουν και παράλληλα ρυθμίζουν την λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης , εξαερισμού και κλιματισμού. Συγκεκριμένα, μέσω αισθητήρων λαμβάνονται δεδομένα για την ισχύουσα κατάσταση στον χώρο (πχ θερμοκρασία) και συγκρίνονται με μια επιθυμητή κατάσταση που έχει οριστεί. Ανάλογα με το συμπέρασμα που αντλεί το σύστημα ελέγχου λαμβάνει και τα αντίστοιχα μέτρα (πχ έναρξη λειτουργίας ανεμιστήρα). Στην συγκεκριμένη ενότητα θα αναπτυχθεί το σύστημα HVAC με βάση το πρωτόκολλο BACnet . (Shengwei Wanga, 2004)

Το πρωτόκολλο BACnet είναι αντικειμενοστραφές πρωτόκολλο και αναπτύσσεται υπό την αιγίδα της εταιρείας ASHRAE (htt). Το πρωτόκολλο υποστηρίζεται και συντηρείται από την Standing Committee Project ASHRAE 135. Είναι το μοναδικό ανοιχτό πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε για την αυτοματοποίηση των κτηρίων και υποστηρίζει λειτουργίες υψηλού επιπέδου όπως χρονοπρογραμματισμό και συναγερμό (Won Seok Songa, 2007). Το πρωτόκολλο BACnet ορίζει ένα σύνολο τυποποιημένων αντικειμένων των οποίων οι ιδιότητες αντιπροσωπεύουν τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ των στοιχείων των συστημάτων αυτοματισμού κτηρίων. Για την πρόσβαση και τον χειρισμό αυτών των πληροφοριών χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο εφαρμογής στρώματος. Το BACnet παρέχει επίσης έναν τρόπο για τη μετάδοση των πληροφοριών σε μια ποικιλία τοπικών και ευρείας

περιοχής δικτύων που διασυνδέονται για να σχηματίσουν ένα δίκτυο διαδικτύου. Το κοινό πρότυπο αντικειμένου και το πρωτόκολλο εφαρμογής στρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν με οποιαδήποτε από τις τέσσερις τεχνολογίες LAN ή ένα πρωτόκολλο point-to-point (PTP).

Όπως και πολλά άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας, το BACnet χρησιμοποιεί ως πρότυπο αναφοράς το μοντέλο OSI (Open



Εικόνα 8-BACnet αρχιτεκτονική

System Interconnection - OSI). Το BACnet εφαρμόζει στην πραγματικότητα μια πτυσσόμενη αρχιτεκτονική. Μόνο επιλεγμένα στρώματα του μοντέλου OSI υιοθετούνται από το BACnet για τη μείωση του μήκους του μηνύματος και της επεξεργασίας της επικοινωνίας γενικά. Όπως φαίνεται στην εικόνα 8, το BACnet έχει μόνο τέσσερα στρώματα, μια σύμπτυξη της αρχιτεκτονικής. Στην πραγματικότητα, απαιτεί περισσότερους πόρους του συστήματος και περισσότερο κόστος για την εφαρμογή όλων των επτά στρωμάτων στην πράξη. Επίσης, δεν είναι πάντα μια καλή επιλογή η εφαρμογή όλων των επιπέδων. Επομένως, πολλά πρωτόκολλα δεν εφαρμόζουν όλα τα επίπεδα, όπως το δημοφιλές TCP / IP (Internet). Στον αυτοματισμό κτηρίων και σε πολλές άλλες βιομηχανίες ελέγχου, δεν χρειάζεται να υλοποιηθούν και τα επτά επίπεδα. Η αρχιτεκτονική που συμπύσσεται σε τέσσερα στρώματα επιλέχθηκε μετά από προσεκτική εξέταση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και απαιτήσεων των δικτύων BACS, συμπεριλαμβανομένου του περιορισμού ότι το γενικό πρωτόκολλο έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Η χρήση ευρέως διαθέσιμων, ευρέως διαδεδομένων τεχνολογιών, όπως Ethernet, ARCnet και LonTalk, θα μειώσει το κόστος, θα αυξήσει την απόδοση και θα ανοίξει νέες πόρτες στην ολοκλήρωση του συστήματος (BACnetR, 2001).

Το σύστημα HVAC με βάση το BACnet

Το σύστημα HVAC παρακολουθεί και διατηρεί την επιθυμητή θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη στατική πίεση, τη σχετική υγρασία, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και τη διαχείριση ενέργειας. Ένα τυπικό σύστημα ελέγχου HVAC αποτελείται από έναν σταθμό εργασίας χειριστή (OWS), έναν ελεγκτή κτηρίου (BC), έναν προσαρμοσμένο ελεγκτή εφαρμογών (CAC), έναν ελεγκτή ειδικής εφαρμογής (ASC), αισθητήρες και ενεργοποιητές (ASHRAE, 2004). Το σύστημα δικτύου αποτελείται από ένα κεντρικό δίκτυο και τοπικά δίκτυα. Το τοπικό δίκτυο είναι αφιερωμένο στην επικοινωνία δεδομένων εντός του συστήματος HVAC σε μια δεδομένη περιοχή. Οι ελεγκτές HVAC αλληλεπιδρούν με τον έξω κόσμο μέσω εισόδων και εξόδων που συνδέονται με αισθητήρες και ενεργοποιητές. Σε ένα συμβατικό σύστημα HVAC, οι συσκευές I / O συνδέονται απευθείας με το BC, CAC ή ASC. Οι αισθητήρες εισόδου μεταδίδουν πληροφορίες στους ελεγκτές μέσω αλλαγής τάσης, ρεύματος ή αντίστασης. Οι ελεγκτές στέλνουν επίσης αναλογικά σήματα στους ενεργοποιητές. Οι ελεγκτές πρέπει να διαθέτουν δυνατότητες επεξεργασίας σήματος για τα δεδομένα του αισθητήρα και ενεργοποιητή, όπως κλιματισμό, φιλτράρισμα, μετατροπή A / D, μετατροπή μηχανικής μονάδας, μετατροπή D / A και δοκιμές. Αντίθετα, τα προηγμένα συστήματα HVAC υιοθετούν έξυπνους αισθητήρες (SSs) και έξυπνους ενεργοποιητές (SAs). Οι συσκευές έξυπνου πεδίου διαθέτουν δυνατότητα μικροεπεξεργαστή και ψηφιακής διευθυνσιοδότησης και συνδέονται άμεσα με το τοπικό δίκτυο. Τα σήματα SS προεπεξεργάζονται στον ίδιο τον αισθητήρα και τα δεδομένα του ψηφιακού αισθητήρα που μεταδίδονται στον ελεγκτή. Ο ελεγκτής παράγει επίσης ψηφιακά δεδομένα και το μεταδίδει στον ενεργοποιητή μέσω του τοπικού δικτύου. Οι ενεργοποιητές SAs ελέγχου πριν ενεργοποιήσουν τον εξοπλισμό. Σε ένα προηγμένο σύστημα HVAC, οι λειτουργίες ελέγχου διανέμονται μέχρι το επίπεδο συσκευής πεδίου χρησιμοποιώντας SS και SAs. Το άνοιγμα και η λειτουργικότητα του συστήματος ελέγχου διασφαλίζονται επίσης στο επίπεδο της συσκευής πεδίου. Σε ένα σύστημα HVAC που βασίζεται σε BACnet, η ανταλλαγή δεδομένων, καθώς και άλλες προηγμένες λειτουργικές λειτουργίες, όπως συναγερμοί και συμβάντα, χρονοδιαγράμματα, τάσεις και διαχείριση δικτύου εκτελούνται μέσω υπηρεσιών εφαρμογής BACnet. Οι υπηρεσίες εφαρμογής BACnet για συστήματα HVAC που εξετάζονται εδώ περιλαμβάνουν ιδιότητες ανάγνωσης / εγγραφής, πολλαπλή ιδιότητα ανάγνωσης / εγγραφής,

ειδοποίηση επιβεβαίωσης συμβάντος, ειδοποίηση επιβεβαίωσης αλλαγής τιμής (COV) και επιβεβαίωση συναγερμού. Ανάγνωση / εγγραφή πολλαπλών υπηρεσιών ιδιοκτησίας μπορεί να χειριστεί πολλαπλά δεδομένα χρησιμοποιώντας μια ενιαία συναλλαγή υπηρεσίας. Αυτή η υπηρεσία είναι πολύ χρήσιμη για την ενίσχυση της απόδοσης. (**Won Seok Song et al, 2006**)

3) Lighting system

Ο φωτισμός συμβάλει στο 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στον κόσμο (C. Atici, 2011). Στοχεύοντας στις προτιμήσεις φωτισμού των υπαλλήλων ενός γραφείου ο σκοπός ενός έξυπνου συστήματος φωτισμού είναι να δημιουργήσει ένα σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας φωτισμού σε έναν λογικό χρόνο εκτέλεσης ο οποίος να είναι κατάλληλος για ένα σύστημα απόκρισης σε πραγματικό χρόνο. Στην συνέχεια θα αναλυθεί ένα παράδειγμα smart LED lighting system χρησιμοποιώντας την τεχνολογία ασύρματου δικτύου, Zigbee .

Το Zigbee είναι μια χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος τεχνολογία ασύρματου δικτύου που στοχεύει στην ευρεία ανάπτυξη των συσκευών long life battery στις ασύρματες εφαρμογές ελέγχου και παρακολούθησης. Υποστηρίζει τόσο τα δίκτυα star όσο και τα Tree networks . Κάθε δίκτυο πρέπει να διαθέτει μια συσκευή συντονισμού όπου θα επιφορτίζεται η δημιουργία του ο έλεγχος των παραμέτρων και η συντήρηση του δικτύου. Βρίσκεται στο φυσικό επίπεδο (physical layer) σύμφωνα με το μοντέλο αναφοράς OSI (Aarushi Madan, 2014) και βασίζεται στο πρότυπο *IEEE 802.15.4 for low-rate WPANs* (htt2) .

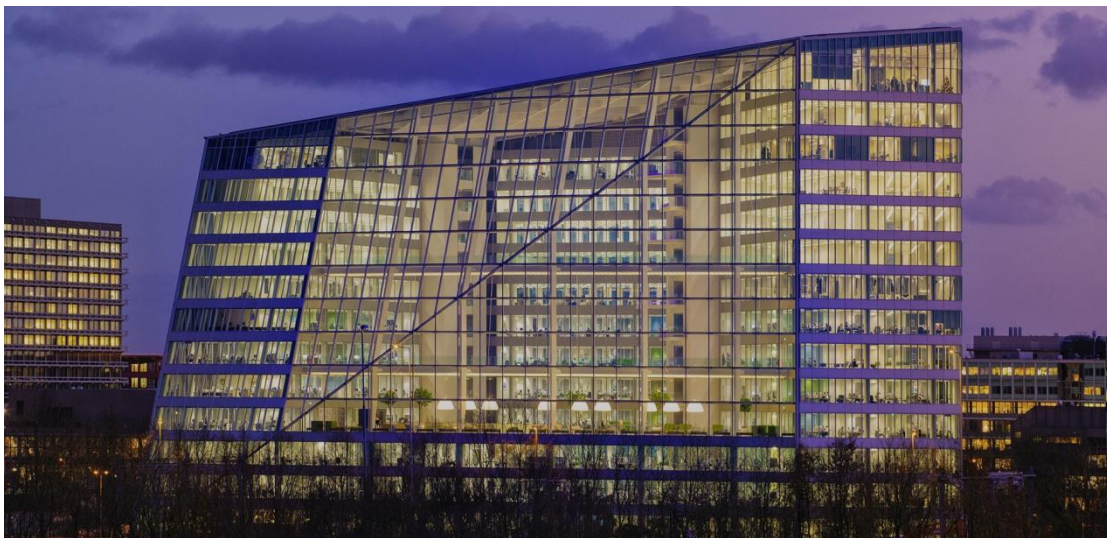
Σε ένα δίκτυο για να μπορέσουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους οι συσκευές θα πρέπει να ακολουθήσουν ένα κοινό πρωτόκολλο εφαρμογής που περιέχει το σύνολο των συμβάσεων μεταξύ τους .Ομαδοποιούνται σε προφίλ όπου στο καθένα ορίζονται οι δεσμεύσεις για την ταυτοποίηση των εισερχόμενων και εξερχόμενων cluster identifiers και συνδέονται με την εισερχόμενη και εξερχόμενη ροή δεδομένων στην εκάστοτε συσκευή. Οι πίνακες δέσμευσης περιέχουν ζεύγη προέλευσης και προορισμού. Η χρήση cluster identifiers απαιτεί την χρησιμοποίηση των πινάκων δέσμευσης οι οποίοι περιέχονται στους συντονιστές του Zigbee ώστε να είναι πάντα διαθέσιμοι στο δίκτυο. Η επικοινωνία γίνεται με άμεση ή έμμεση διευθυνσιοδότηση. Στην έμμεση , κάθε σχετικό πεδίο αποστέλλεται στον συντονιστή του δικτύου, ο οποίος συσχετίζει και μεταφράζει τα αιτήματα επικοινωνίας .Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί με αυτό τον τρόπο αποσυμφορεί μικρές συσκευές αφού οι διεργασίες και η αποθήκευση γίνεται στους συντονιστές. (htt3)

Το παράδειγμα **smart LED lighting system** απαρτίζεται από ομάδες led panel που αποτελούνται από πολλαπλούς αισθητήρες κίνησης και φωτισμού. Το σήμα PWM των κόμβων χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση της στάθμης της LED φωτεινότητας με το πλάτος του παλμού (διάρκεια) του σήματος μικροελεγκτή. Η τιμή του PWM αποφασίζεται από μια μονάδα ελέγχου, που δίνεται από έναν από τους διανεμημένους δρομολογητές που παρέχονται με αισθητήρες. Το Anyrouter χρησιμοποιεί τα δεδομένα των αισθητήρων για να προσαρμόσει την ένταση σύμφωνα με τις προτιμήσεις του χρήστη έχοντας στόχο τη μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας και των προτιμήσεων των χρηστών.

Το δίκτυο Zigbee επιτρέπει την κατασκευή ενός κλιμακούμενου και αρθρωτού συστήματος που μπορεί εύκολα να επεκταθεί και επιτρέπει σε κάθε υποομάδα φώτων να είναι απολύτως ανεξάρτητη και ευέλικτη. Στην πραγματικότητα, κάθε δρομολογητής διαθέτει έναν εύκαμπτο και ελεγχόμενο αριθμό συνδεδεμένων πλαισίων ED και LED, τα οποία μπορεί να ελέγξει υπό τις ίδιες συνθήκες. Αυτό επιτρέπει την ύπαρξη διαφορετικών περιοχών με διαφορετικούς ελέγχους, με σκοπό να αυξηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας της προτιμήσεως των

χρηστών. Συγκεκριμένα, ο «συντονιστής» Zigbee διαχειρίζεται το δίκτυο και διασφαλίζει ότι όλες οι συσκευές δικτύου λειτουργούν σωστά. Επιπλέον, αυτή η μονάδα λειτουργεί ως πύλη με απομακρυσμένο κεντρικό υπολογιστή (φορητός υπολογιστής, ενσωματωμένες συσκευές τοίχου, ασύρματες συσκευές LAN / Bluetooth, και ούτω καθεξής) για να επιτρέψει την ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Με αποτέλεσμα, να δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να εφαρμόζουν τις εκάστοτε προτιμήσεις τους, όπως για παράδειγμα τη μείωση των φωτισμών σε επιθυμητές τιμές. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας καθορίζεται από διάφορους παράγοντες το δίκτυο Zigbee καθίσταται ένας σημαντικός παράγοντας καθώς ο χρήστης μπορεί να δείξει τις προτιμήσεις του και να το αξιολογήσει γραφικά. (Researcher Ijar, 2016)

The Smartest Building in the World- EDGE- Amsterdam



Το κτήριο 'Edge', το οποίο βρίσκεται στο Άμστερνταμ, θεωρείται το πιο έξυπνο κτήριο στον κόσμο με 28.000 αισθητήρες περίπου και με σκορ Βιωσιμότητας 98,4%. Αρχικά, όλοι οι εργαζόμενοι που δουλεύουν μέσα στο κτήριο έχουν ο καθένας μία εφαρμογή στο κινητό τους, η οποία κατά την είσοδο τους στο κτήριο, αφού μία κάμερα σκανάρει την πινακίδα κυκλοφορίας και επιτρέπει την είσοδο μόνο σε εξουσιοδοτημένα άτομα, θα τον οδηγήσουν στην πλησιέστερη διαθέσιμη θέση παρκινγκ. Έπειτα, η εφαρμογή γνωρίζοντας το ημερήσιο πρόγραμμα εργασίας, τον καθοδηγεί στο γραφείο το οποίο χρειάζεται. Στην συνέχεια, σε αυτό το προτεινόμενο γραφείο προσαρμόζει την θερμοκρασία και το φωτισμό ανάλογα με τις προτιμήσεις του. Επιπλέον, 'θυμάται' τον καφέ του εργαζομένου, καθώς και του προτείνει διαθέσιμο ντουλάπι το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει. Όσο αναφορά τα συστήματα στους χώρους του κτηρίου υπάρχουν Panels Led(Phillips) τα οποία χρησιμοποιούν ίδια καλώδια για τα ρεύμα και το διαδίκτυο, Mesh Panels τα οποία βρίσκονται ανάμεσα σε κάθε πάτωμα και ρυθμίζουν τον αέρα και συστήματα τα οποία διαχειρίζονται την κίνηση, την θερμοκρασία, τον φωτισμό και την υγρασία. Για την ασφάλεια του κτηρίου μικρά robots περιφέρονται στους χώρους και μέσω δικτύων αν σημάνει συναγερμός, φωτογραφίζουν το σημείο ώστε αν είναι λάθος να το γνωστοποιήσουν ή διαφορετικά να αναλύσουν τον κίνδυνο. Τέλος, sensors στα light panels εντοπίζουν ποια αίθουσα χρησιμοποιήθηκε περισσότερο και να επισημάνουν την εξονυχιστική καθαριότητά της. Η Deloitte συλλέγει δεδομένα για το πώς αλληλεπιδρά το Edge και οι υπάλληλοι του. (The Smartest Building in the World)

Microsoft Smart Campus in Redmond, Seattle



Το smart campus της Microsoft περιλαμβάνει 125 κτήρια, τα οποία διέθεταν μεν αισθητήρες και συστήματα BMS τα οποία όμως δεν ήταν μεταξύ τους συνδεδεμένα σε ένα κεντρικό σύστημα BMS. Τα κτήρια χτίστηκαν προοδευτικά και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους το καθένα, το οποίο γεγονός δυσκόλεψε την σύνδεση όλων των αισθητήρων, καθώς δεν υπήρχε μια σύγχρονη ενιαία τεχνολογία οι η οποία θα μπορούσε να τους ενοποιήσει. Επιπλέον, η Microsoft απέκλισε το ενδεχόμενο να εγκαταστήσει εκ νέου όλον τον εξοπλισμό λόγω υψηλού κόστους. Για αυτό χρειάστηκε να προβεί στην λύση του Λογισμικού 'Κουβέρτα' που θα κάλυπτε τα υπάρχοντα συστήματα BMS, θα συνέλεγε δεδομένα και θα τα παρείχε στους διαχειριστές των κτηρίων. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τις θερμάστρες, τον κλιματισμό, τους ανεμιστήρες και τα φώτα ανά εβδομάδα και η ανταλλαγή δεδομένων ανέρχεται σε 500 εκατομμύρια ανά ημέρα. Χρησιμοποιούνται περίπου 30.000 sensors οι οποίοι εξυπηρετούν αυτή την περισυλλογή και όλα αυτά μέσω της έξυπνης κεντρικής παρακολούθησης των κτηρίων βοήθησαν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την συγκέντρωση των οικονομικών της πόρων. (htt5)

SIEMENS



Η εταιρεία SIEMENS αποφάσισε την αναβάθμιση των εγκαταστάσεων της με στόχο την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας .Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν αρχικά η αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης, φωτισμού και κλιματισμού και βέβαια δόθηκε πολύ μεγάλη προσοχή στην βέλτιστη λειτουργία των κεντρικών συστημάτων κτηριακής διαχείρισης (BMS).Συγκεκριμένα, για το σύστημα θέρμανσης εγκαταστάθηκε καινούριο σύστημα ελέγχου των λεβητοστασίων, το οποίο ελέγχει δυναμικά ,με βάση την εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία , τις επιθυμητές θερμοκρασίες του χώρου. Επίσης, το σύστημα φωτισμού χωρίστηκε σε ζώνες οι οποίες ελέγχονται από το σύστημα BMS οπότε επιτρέπει την αύξηση της έντασης της φωτεινότητας και με την βοήθεια αισθητήρων την δημιουργία φυσικού φωτισμού στους χώρους. Τέλος, η εγκατάσταση καινούριου συστήματος BMS επικεντρώνεται στην παρακολούθηση ,διαχείριση των λειτουργιών του κτηρίου και καταγράφει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας των επιμέρους συστημάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον άμεσο έλεγχο των επιμέρους συστημάτων (HVAC, φωτισμού) και την ενεργειακή εξοικονόμηση εφαρμογή των παραπάνω μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας απέφερε μείωση των ενεργειακών δαπανών στην εταιρεία και επετεύχθηκε η ελάττωση του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης. (Siemens)

NASA's Sustainability Base, California



Το κτήριο της NASA είναι διαφορετικό από κάθε άλλο κυβερνητικό κτήριο διότι αρχικά κατασκευάστηκε για να εξυπηρετούνται οι εργασίες για διαστημικά ταξίδια και εξερεύνηση ενώ παράλληλα θα έπρεπε να εξυπηρετηθούν και οι χώροι γραφείων εργασίας. Είναι σχεδιασμένο σε αρμονία με το περιβάλλον με επάρκεια φυσικού φωτός και αέρα. Το σύστημα ελέγχου που χρησιμοποιείται παρέχει πληροφορίες και ελέγχει σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα φωτισμού LED που διαθέτει ενισχύει την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου προσαρμόζοντας τα μέγιστα επίπεδα φωτισμού και επίσης οι αισθητήρες απενεργοποιούν τα φώτα όταν δεν χρειάζονται. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα στους εργαζομένους να εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους του κτηρίου αφού έχουν πρόσβαση σε ασύρματο δίκτυο. (Nasa Sustainability Base)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ συστημάτων BMS

- Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης κτηρίου/συγκροτήματος. Η εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση BMS μπορεί να φτάσει το 30%.
- Ενοποίηση συστημάτων, εποπτεία και διαχείριση διαφορετικών συστημάτων, τα οποία παραδοσιακά ήταν ανεξάρτητα μεταξύ τους.
- Αυξημένη προστασία του περιβάλλοντος που απορρέει απ' την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
- Συμβολή στην κοινωνική ανάπτυξη κάνοντας τους εργασιακούς χώρους πιο άνετους, λειτουργικούς και υγιεινούς.
- Σωστή διαχείριση πολλών διαφορετικών λειτουργιών του συστήματος ελέγχου. Η κεντρική ενοποίηση συμβάλλει στην πιο γρήγορη και βέλτιστη πολιτική επεμβάσεων που πρέπει να ακολουθηθεί στη συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών.
- Με τη χρήση δικτύων επικοινωνίας, εξασφαλίζεται η άμεση πρόσβαση σ οποιοδήποτε Απομακρυσμένο Σταθμό Ελέγχου από ένα εξωτερικό κεντρικό σταθμό ελέγχου, όταν δεν υπάρχει δυνατότητα χειρισμού απ' το Κεντρικό Σύστημα.

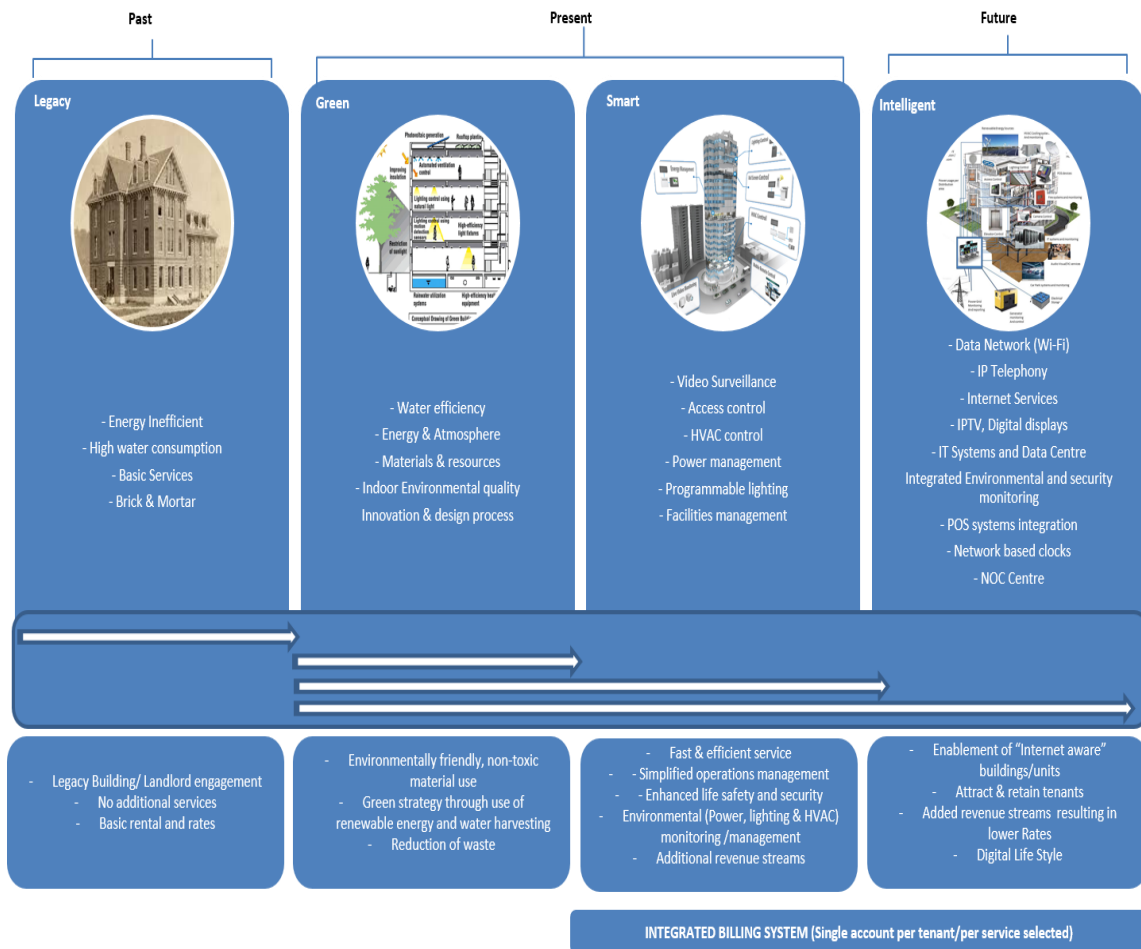
Η αυτοματοποίηση είναι συνήθως κατάλληλη για διαδικασίες που είναι επαναλαμβανόμενες, σταθερές και υψηλής έντασης, διαφορετικά η διαδικασία αυτοματοποίησης θα κοστίζει περισσότερο.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ συστημάτων BMS

- Το κόστος εγκατάστασης συστήματος κεντρικής διαχείρισης είναι αρκετά υψηλότερο από το αντίστοιχο μιας συμβατικής εγκατάστασης.
- Ανάγκη διαρκούς update των συστημάτων σύμφωνα με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις. Χρειάζεται επίσης ένας εξειδικευμένος χειριστής.
- Η σχετική έλλειψη προσαρμοστικότητας (flexibility) για χρήσεις που ποικίλουν με την ηλικία, το μέγεθος και τον τύπο ιδιοκτησίας του κτηρίου.
- Λόγω του υψηλού κινδύνου υποκλοπής δεδομένων από το δίκτυο, παρατηρείται δυσπιστία ιδιωτών αλλά και μεγάλου μέρους της βιομηχανίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά, η τεχνολογία των Smart Buildings έχει ωριμάσει την τελευταία δεκαετία. Συστήματα που ακολουθούν ανοικτά πρότυπα, όπως το BACnet, το LonTalk και το Modbus, είναι πλέον αρκετά διαδεδομένα και διατίθενται από αρκετούς πωλητές. Παρόλο που έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη των απαιτούμενων τεχνολογιών και προτύπων που διευκολύνουν τα έξυπνα κτίρια υπάρχουν ακόμα σημαντικές προκλήσεις. Παραδείγματα περιλαμβάνουν: Ανελευστήρες, δημιουργία αντίγραφων ασφαλείας των γεννητριών ισχύος και έκτακτης ανάγκης, παρακολούθηση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας, εξοπλισμός κέντρου δεδομένων (UPS, μονάδες CRAC), ανίχνευση χημικών, βιολογικών και ραδιενεργών ουσιών, επεξεργασία νερού και μαζική ειδοποίηση, είναι μερικά τα οποία συνεχώς αναπτύσσονται. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αναβαθμισμένα συστήματα κεντρικής διαχείρισης των κτηρίων, προσφέρουν ακόμη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Στην εικόνα 9, παρουσιάζεται η εξέλιξη των κτηρίων ανά τα έτη. ([htt4](#))



Εικόνα 9-Εξέλιξη των κτηρίων



Εικόνα 10-Intelligent Building

Ο όρος "έξυπνος" και "πράσινος" συχνά χρησιμοποιείται εναλλακτικά στον τομέα της αρχιτεκτονικής, ωστόσο δεν είναι όλα "πράσινα" και "έξυπνα" και αντίστροφα. Στόχος αποτελεί πλέον, η εξέλιξη των Intelligent Buildings, που θα περιλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης κτηρίων και πλατφόρμες πληροφορικής με σκοπό την παροχή υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου. Για την προστασία όμως των δεδομένων και των συστημάτων απαιτούνται υψηλά επίπεδα συστημάτων ασφάλειας πληροφορικής. (Internet of Things - IOT).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

I. F. Akyildiz, W. S., Overview of Wireless Sensor Network , 2012

International Electrotechnical Commission. (n.d.). Internet of Things:Wireless Sensor Networks. Ανάκτηση 2014, από IEC: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>

Islam, M. M. , Wireless Sensor Networks - Technology and Protocols, 2012

Sawhill, B. (n.d.). ebusiness strategies. Ανάκτηση από <http://askebiz.com>:
<http://askebiz.com/blog/smart-buildings-intelligent-solutions>

Siemens Industry, Inc. . (2013). siemens.com. Ανάκτηση από
<https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10592604>

Sinopoli, J. (2015). smart-buildings. Ανάκτηση από
<http://www.automatedbuildings.com/editors/jsinopoli.htm>

smartek. (2017). smartek.az/. Ανάκτηση από
<http://www.smartek.az/index.php?a=pages&id=378&lang=en>

SQREAM TECHNOLOGIES. (n.d.). sqream.com. Ανάκτηση 2016, από
<http://sqream.com/big-data-and-internet-of-things-combine-to-produce-smart-buildings/>

Surabhi Kejriwal, S. M. (n.d.). Smart Buildings: How IoT technology aims to add value for real estate companies. Ανάκτηση από deloitte:
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/real-estate/deloitte-nl-fsi-real-estate-smart-buildings-how-iot-technology-aims-to-add-value-for-real-estate-companies.pdf>

(n.d.). Ανάκτηση από <http://www.bacnet.org>

(n.d.). Ανάκτηση από http://ac.els-cdn.com/S0967066106001201/1-s2.0-S0967066106001201-main.pdf?_tid=0578c5b2-30fa-11e7-8675-00000aab0f27&acdnat=1493923785_cadf2f73d9abe9dcfd4508f3f3bf9152

(n.d.). Ανάκτηση από https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4

(n.d.). Ανάκτηση από <https://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

(n.d.). Ανάκτηση από <http://www.e2econsulting.co.za/smart-or-green-building-design/>

(n.d.). Ανάκτηση από <https://www.realcomm.com/advisory/579/1/microsoft-collecting-500-million-building-data-points-from-campus-per-day>

(Wireless Sensor Networks, S. K. (n.d.).

135, A. S. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.bacnet.org>

135, A. S. (n.d.). *ASHRAE SSPC 135*.

Aarushi Madan, A. T. (2014). *OSI Reference Model* .



ASHRAE. (2004). *Guideline 13*.

BACnetR, A. (2001). , *A data communication protocol for building automation and control networks*, American Society of Heating Refrigerating, and AirConditioning Engineers.

C. Atici, T. O. (2011). *Exploring user-centered intelligent roadlighting design: a road map and future research directions*.

I. F. Akyildiz, W. S. (2002). *Overview of Wireless Sensor Network* .

International Electrotechnical Commission. (n.d.). *Internet of Things:Wireless Sensor Networks*. Ανάκτηση 2014, από IEC: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>

Islam, M. M. (2012). *Wireless Sensor Networks - Technology and Protocols*.

Kemal Akkaya, M. Y. (2003). *A survey on routing protocols for wireless sensor networks* .

Nasa Sustainability Base. (n.d.). Ανάκτηση από Nasa.gov:
<https://www.nasa.gov/ames/facilities/sustainabilitybase>

Researcher Ijar, M. S. (2016). *Smart LED Light Control using wireless sensor network for green building*.

Sawhill, B. (n.d.). *ebusiness strategies*. Ανάκτηση από <http://askebiz.com>:
<http://askebiz.com/blog/smart-buildings-intelligent-solutions>

Schneider electric. (n.d.). *Guide to open protocols in building automation*. Ανάκτηση 2015, από http://blog.schneider-electric.com/wp-content/uploads/2015/11/SE-Protocols-Guide_A4_v21.pdf

Shengwei Wanga, Z. X.-z. (2004). *Investigation on intelligent building standard communication protocols and application of IT technologies*.

Siemens. (n.d.). A showcase of building-related energy efficiency projects in manufacturing facilities – a collaboration of Siemens Real Estate and Building Technologies. Στο *The EEP*. www.siemens.com.

Siemens Industry, Inc. . (2013). *siemens.com*. Ανάκτηση από <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10592604>

Sinopoli, J. (2015). *smart-buildings*. Ανάκτηση από <http://www.automatedbuildings.com/editors/jsinopoli.htm>

smartek. (2017). *smartek.az/*. Ανάκτηση από <http://www.smartek.az/index.php?a=pages&id=378&lang=en>

Sohraby K., M. D. (2007). *Wireless Sensor Networks*.

SQREAM TECHNOLOGIES. (n.d.). *sqream.com*. Ανάκτηση 2016, από <http://sqream.com/big->



data-and-internet-of-things-combine-to-produce-smart-buildings/

STAMATIS KARNOUSKOS, J. V. (2010). The Internet of Things and the Convergence of Networks. *TECHNOLOGY CONNECTED*.

Surabhi Kejriwal, S. M. (n.d.). *Smart Buildings: How IoT technology aims to add value for real estate companies*. Ανάκτηση από deloitte:
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/real-estate/deloitte-nl-fsi-real-estate-smart-buildings-how-iot-technology-aims-to-add-value-for-real-estate-companies.pdf>

The Smartest Building in the World. (n.d.). Ανάκτηση από Bloomberg:
<https://www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building/>

V. Çağrı Güngör (Editor), G. P. (2017). *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards (Industrial Electronics)*.

Won Seok Songa, S. H. (2007). *The effects of service delays on a BACnet-based HVAC control system*.

S.T. Bushby, BACnet: a standard communication infrastructure for intelligent buildings, *Automation in Construction*, 6 (1997), pp. 529–540

E. Finch, Remote building control using the internet, *Facilities*, 16 (12/13) (1998), pp. 356–360

W. Hetherington, Intelligent Building Concept, EMCS Engineering, Ontario (1999)

A.J. Schofield, T.J. Stonham, P.A. Mehta, Automated people counting to aid lift control, *Automation in Construction*, 6 (1997), pp. 437–445

W.L. Chan, A.T.P. So, *Intelligent Building Systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston (1999)

M. Thuillard, P. Ryser, G. Pfister, *Life Safety and Security Systems*

O. Gassmann, H. Meixner, J. Hesse, J.W. Gardner, W. Gopel (Eds.), *Sensor Application Vol. 2: Sensors in Intelligent Buildings*, Wiley-VCH, Weinheim (2001), pp. 307–397

H. Guo, S. Letourneau, C. Yang, National Research Council of Canada (2014)

CISCO Press, "Internetworking Technologies Handbook", Chapter 51 - Security Technologies, http://users.freenet.am/~file/DownDB/CISCO_PDF/SecurityTechnologies_CISCO.pdf

R. Robles, T. Kim, A Review on Security in Smart Home Development, 2010

Smart Buildings: Business Case and Action Plan, Diamond, Rink, 2009