

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διδακτική της Τεχνολογίας και Ψηφιακά Συστήματα"

Δικτυοκεντρική Εφαρμογή
Ελέγχου και
Αυτοματισμού
Φωτοβολταϊκών Πάρκων
βασισμένη σε 3-Tier
Αρχιτεκτονική

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΟΥΒΑΚΗ Α. ΑΓΓΕΛΙΚΗ

A.M. ME09067

Επιβλέπων Καθηγητής: Μηλιώνης Απόστολος

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΙΟΣ 2012

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων	4
Εικόνες	4
Πίνακες	4
1. Εισαγωγή	6
1.1. Εισαγωγή στο θέμα	6
1.2. Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας	6
1.3. Δομή Εργασίας	8
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	9
2.1. Εισαγωγή στον Αυτοματισμό	9
2.1.1. Ορισμός	9
2.1.2. Αρχές Αυτοματισμού	11
2.1.3. Χαρακτηριστικά	13
2.1.4. Πλεονεκτήματα	14
2.2. Αυτόματος Έλεγχος	16
2.2.1. Συστατικά	17
2.2.2. Θεωρία Ελέγχου	19
2.2.3. Πεδία Εφαρμογών	26
2.3. Εργαλεία Αυτοματισμού	38
2.3.1. PLC (Programmable Logic Controller)	38
2.3.2. PAC (Programmable Automation Controller)	42
2.3.3. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)	46
2.3.4. HMI (Human Machine Interface)	49
2.4. Αρχιτεκτονικές	50
2.4.1. Πρωτόκολλα	50
2.2.4. Παρουσίαση αρχιτεκτονικών	61
2.2.5. Συμπεράσματα Πρωτοκόλλων - Αρχιτεκτονικών	67
3. Μελέτη & Προδιαγραφές Εφαρμογών Ελέγχου και Αυτοματισμού	68
3.1. Προδιαγραφές	68
3.1.1. Δικτύωση	68
3.1.2. Απομακρυσμένη διαχείριση λογισμικού	69
3.1.3. Ασφάλεια πρόσβασης	69
3.2. Εξοπλισμός – Συνολική Αρχιτεκτονική	72
3.3. Γενικές Λειτουργίες	76
3.3.1. Λειτουργία Παρακολούθησης (Monitoring Service)	76

3.3.2.	Λειτουργία Ελέγχου (Control Service).....	79
3.3.3.	Λειτουργία Ειδοποιήσεων (Notification Service).....	79
3.3.4.	Λειτουργία Αναφορών (Reporting Service).....	80
3.3.5.	Λειτουργία Εξαγωγής Δεδομένων (Export Data Service).....	80
3.4.	Ειδικές Λειτουργίες	81
3.4.1.	Εντοπισμός συναγερμών και αποτυχιών λειτουργιών	81
3.4.2.	Συλλογή, καταγραφή, αποθήκευση δεδομένων.....	81
4.	Ανάπτυξη Δικτυοκεντρικής Πλατφόρμας Ελέγχου & Διαχείρισης Ενέργειας.....	82
4.1.	Τεχνολογίες	82
4.2.	Σχεδιασμός Βάσης Δεδομένων	82
4.3.	Ανάπτυξη Εφαρμογής	85
4.4.	Αναλυτική Περιγραφή Εφαρμογής Ελέγχου	86
4.4.1.	Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο (Photovoltaic Effect).....	86
4.4.2.	Μονάδες Εγκατάστασης Ελέγχου και Παρακολούθησης	87
4.4.3.	Σήματα.....	88
4.4.4.	Συναγερμοί.....	92
4.4.5.	Λειτουργίες Πλατφόρμας.....	93
4.5.	Εγχειρίδιο Χρήσης	95
	Εγγραφή	95
	Επιλογή Πάρκου	95
	Προφίλ Χρήστη.....	96
	Παρακολούθηση Πάρκου Μέσω Κάμερας	96
	Έλεγχος Απόδοσης Πάρκου.....	97
	Έλεγχος Σημάτων – Εξαγωγή Δεδομένων	97
	Έλεγχος/Διαχείριση Συναγερμών.....	98
	Ειδοποιήσεις Συναγερμών	99
5.	Συμπεράσματα	100
4.1.	Αξιολόγηση Εφαρμογής – Συμπεράσματα.....	100
4.2.	Μελλοντικές Βελτιώσεις	101
	Βιβλιογραφία	102

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων

Εικόνες

ΕΙΚΟΝΑ 1 - ΦΟΡΜΑΛΙΣΜΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ	9
ΕΙΚΟΝΑ 2 - SINGLE-INPUT SINGLE-OUTPUT SYSTEM (SISO)	21
ΕΙΚΟΝΑ 3 - MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT SYSTEM (MIMO)	21
ΕΙΚΟΝΑ 4 - ΡΟΜΠΟΤ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ (ASSEMBLY ROBOT)	27
ΕΙΚΟΝΑ 5 - ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: (Α) ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	30
ΕΙΚΟΝΑ 6 - ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: (Β) ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ	31
ΕΙΚΟΝΑ 7 - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΟΥ BAS	33
ΕΙΚΟΝΑ 8 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ PLC ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 9 - ΔΟΜΗ P.L.C.	41
ΕΙΚΟΝΑ 10 - ΔΙΑΦΟΡΕΣ PLC ΚΑΙ PAC	44
ΕΙΚΟΝΑ 11 - ΒΑCNET ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	52
ΕΙΚΟΝΑ 12 - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΤΡΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	61
ΕΙΚΟΝΑ 13 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 2 ΕΠΙΠΕΔΩΝ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 14 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ TOFINO SECURITY APPLIANCE4.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 15 - ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ & ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ	75
ΕΙΚΟΝΑ 16 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 17 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 18 - ER ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	84
ΕΙΚΟΝΑ 19 - ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ	86
ΕΙΚΟΝΑ 20 - ΔΟΜΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΠΑΝΕΛ.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 21 - ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ	90
ΕΙΚΟΝΑ 22 – ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΥΓΡΑΣΙΑ	91
ΕΙΚΟΝΑ 23 - ΑC ΡΕΥΜΑ VS ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ / 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ)	92
ΕΙΚΟΝΑ 24 - ΕΓΓΡΑΦΗ ΧΡΗΣΤΗ	95
ΕΙΚΟΝΑ 25 - ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΚΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	95
ΕΙΚΟΝΑ 26 - ΠΡΟΦΙΛ ΧΡΗΣΤΗ	96
ΕΙΚΟΝΑ 27 - ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΚΩΝ	96
ΕΙΚΟΝΑ 28 - ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΑΡΚΟΥ	97
ΕΙΚΟΝΑ 29 - ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	98
ΕΙΚΟΝΑ 30 - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ/ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΑΓΕΡΜΩΝ.....	99
ΕΙΚΟΝΑ 31 - ΕΙΔΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΥΝΑΓΕΡΜΩΝ.....	99

Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - ΤΥΠΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	18
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ LAN	54

Αφιέρωση

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιά κ. Μηλιώνη Απόστολο για τη συνεχή καθοδήγηση και το αμείωτο ενδιαφέρον του στην εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας. Η προσφορά του στην προσπάθειά μου ήταν σημαντική και καθοριστική.

Η Διπλωματική μου Εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένεια και τους φίλους μου που με τη ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν κατάφερα να ξεπεράσω τα εμπόδια που συνάντησα στην πορεία μου ως μεταπτυχιακή φοιτήτρια. Ένα μεγαλύτερο ευχαριστώ ας μου επιτραπεί να αποδώσω στον πατέρα μου, που με στήριξε οικονομικά και με ώθησε στην απόφασή μου να συνεχίσω τις σπουδές μου σε μεταπτυχιακό επίπεδο.

1. Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγή στο θέμα

Οι εφαρμογές ελέγχου και αυτοματισμού παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες. Δημιουργούν λύσεις για να μειώσουν το κόστος των διαδικασιών όσον αφορά το χρόνο, το χρήμα και τη προσπάθεια, στοχεύοντας στη βελτίωση της ποιότητας είτε μιας υπηρεσίας είτε ενός προϊόντος. Ανάμεσα στα πιο αναπτυσσόμενα συστήματα αυτόματου ελέγχου βρίσκονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα (PV System). Στην εργασία αυτή παρουσιάζουμε μια δικτυοκεντρική εφαρμογή ηλιακών πάρκων για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των δεδομένων εισόδου και εξόδου του εξοπλισμού με σκοπό την αναγνώριση των χαμηλών επιδόσεων, την ανίχνευση συναγερμών, τις αποτυχημένες λειτουργίες, την ασφάλεια μέσα από κάμερες, τον έλεγχο πρόσβασης, τη συλλογή και καταγραφή των στατιστικών στοιχείων και την παροχή των εκθέσεων που αποθηκεύονται τοπικά ή αποστέλλονται ως email. Το έγγραφο περιγράφει μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων για την εφαρμογή, τον διαθέσιμο εξοπλισμό, τα σήματα, τους συναγερμούς και τις υπηρεσίες που θα υλοποιηθούν.

1.2. Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Σκοπός

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ο αυτοματισμός και ο αυτόματος έλεγχος και αναλύονται οι προδιαγραφές των εφαρμογών ελέγχου και αυτοματισμού. Επίσης, περιλαμβάνεται η μελέτη ενδεικτικών πεδίων εφαρμογής του αυτόματου ελέγχου. Τέλος, υλοποιείται μια δικτυοκεντρική εφαρμογή ελέγχου και αυτοματισμού ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, η οποία απευθύνεται σε εταιρείες κατασκευής φωτοβολταϊκών πάρκων αλλά και σε κατόχους τους. Η εφαρμογή θα στηριχθεί σε μία ξεκάθαρη και λειτουργικά εφικτή αρχιτεκτονική, στην οποία θα περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες λειτουργίες ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου.

Αντικειμενικοί Στόχοι Εργασίας

Το αντικείμενο της εργασίας αποτελείται από τέσσερις βασικούς στόχους, οι οποίοι αποσκοπούν στο να επιτύχουν το σκοπό της. Συγκεκριμένα, οι στόχοι της παρούσας εργασίας είναι οι εξής:

- Να μελετηθεί η βιβλιογραφία και να κατανοηθούν οι βασικές έννοιες του αυτοματισμού και αυτόματου ελέγχου, τα εργαλεία αυτοματισμού και τα πεδία εφαρμογής τους.
- Να αναλυθεί και να σχεδιαστεί η αρχιτεκτονική του προς υλοποίηση συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης.
- Να υλοποιηθεί η δικτυοκεντρική εφαρμογή ελέγχου και παρακολούθησης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.
- Να περιγραφεί και να τεκμηριωθεί η εφαρμογή που υλοποιήθηκε.

1.3. Δομή Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στη θεματική περιοχή και παρουσιάζονται οι σκοποί και αντικειμενικοί στόχοι της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σύνταξη της εργασίας και την ανάπτυξη της εφαρμογής. Η εν λόγω βιβλιογραφία αφορά την εισαγωγή στον Αυτοματισμό και τον Αυτόματο Έλεγχο, τα εργαλεία αυτοματισμού και τις αρχιτεκτονικές που υπάρχουν.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την μελέτη και τις προδιαγραφές των εφαρμογών ελέγχου και αυτοματισμού. Επίσης, αναφέρονται οι γενικές και ειδικές λειτουργίες αυτών των συστημάτων.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιγράφει την υλοποίηση της δικτυοκεντρικής πλατφόρμας αναφέροντας τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, το σχεδιασμό της βάσης δεδομένων και τη δομή του project. Επιπλέον, περιγράφεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, τα σήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή και οι λειτουργίες της υλοποιημένης πλατφόρμας. Τέλος, παρουσιάζεται ένα σύντομο εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η αξιολόγηση της επιτυχίας των στόχων που τέθηκαν στην εισαγωγή και παραθέτονται παρατηρήσεις για μελλοντικές βελτιώσεις.

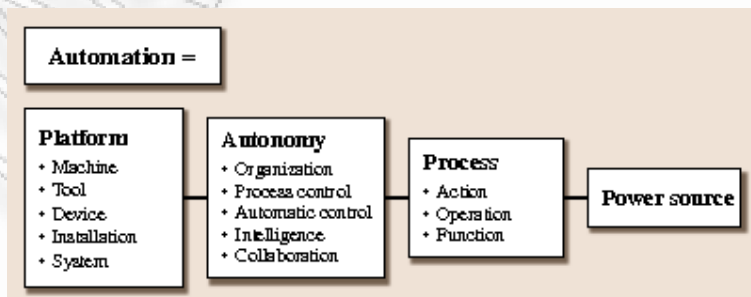
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1. Εισαγωγή στον Αυτοματισμό

Αυτοματισμός, είναι το πεδίο της επιστήμης και της τεχνολογίας που ασχολείται με την επιβολή μιας επιθυμητής συμπεριφοράς σε φαινόμενα και με την κατανόηση των μηχανισμών μέσω των οποίων καθορίζεται η λειτουργία ενός φαινομένου. Ο αυτοματισμός ονομάζεται και Επιστήμη του Ελέγχου.

2.1.1. Ορισμός

Ο αυτοματισμός γενικά, υπονοεί την ανεξάρτητη διαχείριση ή δράση ή αυτό-ρύθμιση, χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση. Ο όρος προέρχεται από την ελληνική λέξη *automatos*, που σημαίνει ότι κάτι ενεργεί μόνο του ή αυθόρμητα. Ο αυτοματισμός περιλαμβάνει τις μηχανές, τα εργαλεία, τις συσκευές, τις εγκαταστάσεις και τα συστήματα που είναι όλα πλατφόρμες που αναπτύσσονται από τους ανθρώπους για να εκτελέσουν ένα δεδομένο σύνολο δραστηριοτήτων χωρίς την ανθρώπινη συμμετοχή κατά τη διάρκειά τους. Βέβαια, υπάρχουν πολλές παραλλαγές αυτού του ορισμού. Για παράδειγμα, πριν από το σύγχρονο αυτοματισμό (που καθορίζεται συγκεκριμένα στο σύγχρονο πλαίσιο από τη δεκαετία του '50), η μηχανοποίηση ήταν μια έκδοση του αυτοματισμού. Όταν ο αυτόματος έλεγχος προστέθηκε στη μηχανοποίηση ως χαρακτηριστικό γνώρισμα νοημοσύνης, η διάκριση και τα πλεονεκτήματα της αυτοματοποίησης έγιναν σαφή. Από το γενικό ορισμό του αυτοματισμού, ο φορμαλισμός του παρουσιάζεται στην Εικόνα 1 και αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία: την πλατφόρμα, την αυτονομία, τη διαδικασία και την πηγή ισχύος [1].



Εικόνα 1 - Φορμαλισμός Αυτοματισμού

Όσον αφορά τη βιομηχανία, ο αυτοματισμός είναι ένα βήμα παραπάνω από τη μηχανοκίνηση. Ενώ η μηχανοκίνηση παρείχε μηχανές που χειρίζονταν από ανθρώπους, ο αυτοματισμός μειώνει δραματικά την ανάγκη ανθρώπινης εργασίας στην παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών.

Ο αυτοματισμός ερευνά τη συμπεριφορά δυναμικών συστημάτων μοντελοποιώντας τα με τα μεθοδολογικά και μαθηματικά εργαλεία της επεξεργασίας σήματος. Έτσι μεταχειρίζεται τα συστήματα ως μαύρα κουτιά με είσοδο και έξοδο. Ως είσοδος θεωρείται ένα σήμα, αναλογικό ή ψηφιακό, συλλεγόμενο από κάποιο σημείο του συστήματος. Τα ενδιάμεσα κουτιά αναπαριστούν τις διάφορες διαταράξεις που επηρεάζουν το σήμα, τους ελεγκτές.

Τα στοιχεία των ελεγκτών συνήθως αναπαρίστανται με μαθηματικές συναρτήσεις, τις συναρτήσεις μεταφοράς. Μία συνάρτηση μεταφοράς προσδιορίζει ένα σύστημα και τον τρόπο που μεταβάλλει κάθε σήμα εισόδου. Η ύπαρξη της συνάρτησης μεταφοράς δίνει την δυνατότητα της μαθηματικής επεξεργασίας του κάθε συγκεκριμένου προβλήματος, που επιχειρούμε να λύσουμε με τον κάθε αυτοματισμό. Στην πραγματικότητα όλο το βάρος της μαθηματικής επεξεργασίας πέφτει στην εύρεση και επεξεργασία της συνάρτησης μεταφοράς. Η έξοδος του συστήματος ονομάζεται *αναφορά* και ανταποκρίνεται στην τιμή του σήματος κατόπιν ενεργοποίησης των προηγούμενων συναρτήσεων μεταφορών σε αυτήν. Όταν μια ή περισσότερες μεταβλητές εξόδου ενός συστήματος πρέπει να ακολουθήσουν την τιμή κάποιας αναφοράς που μεταβάλλεται με τον χρόνο, χρειάζεται να προστεθεί ένας ελεγκτής που να χειρίζεται τις τιμές των σημάτων εισόδου έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή έξοδος.

2.1.2. Αρχές Αυτοματισμού

Ο αυτοματισμός μπορεί να θεωρηθεί ως ο συνδυασμός τεσσάρων βασικών αρχών: Μηχανοποίηση, συνοχή διαδικασίας, αυτόματος έλεγχος και οικονομική, κοινωνική και τεχνολογική αιτιολόγηση.

2.1.2.1. Μηχανοποίηση

Η μηχανοποίηση ορίζεται ως η εφαρμογή των μηχανών για την εκτέλεση μιας εργασίας. Οι μηχανές μπορούν να εκτελέσουν διάφορους στόχους, σε διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας. Όταν η μηχανοποίηση σχεδιάζεται με γνωστικές λειτουργίες και λήψεων αποφάσεων, όπως ο έλεγχος διεργασίας και ο αυτόματος έλεγχος, ο όρος του σύγχρονου αυτοματισμού γίνεται κατάλληλος. Μερικές μηχανές, βασισμένες στη δύναμη, τη πυκνότητα και τη ταχύτητά τους, μπορούν να ολοκληρώσουν στόχους που δεν θα μπορούσαν ποτέ να εκτελεσθούν από την ανθρώπινη εργασία, ανεξάρτητα από το πόση εργασία θα πραγματοποιούνταν ή το πόσο αποτελεσματικά η λειτουργία θα μπορούσε να οργανωθεί και να ρυθμιστεί. Με αυξημένη διαθεσιμότητα και σοφιστική χρήση των πηγών ισχύος και του αυτόματου ελέγχου, το επίπεδο αυτονομίας των μηχανών και των μηχανικών συστημάτων δημιούργησε μια διάκριση μεταξύ της μηχανοποίησης και του αυτοματισμού.

2.1.2.2. Συνοχή Διαδικασίας

Η ιδέα της συνοχής είναι να αυξηθεί η παραγωγικότητα, δηλαδή η χρήσιμη παραγωγή ανά εργατοώρα. Για παράδειγμα, οι ανεμόμυλοι μπορούν να παρέχουν σχετικά συνεχείς κύκλους της άλεσης σιταριού. Στις αρχές του 20ου αιώνα, με την εμφάνιση της μαζικής παραγωγής, η συνοχή της διαδικασίας οργάνωνε καλύτερα τη ροή της δουλειάς. Η οργάνωση της παραγωγικής ροής και των γραμμών συναρμολόγησης και οι αυτόματες ή ημιαυτόματες γραμμές μεταφοράς, αυξήσανε τη παραγωγικότητα πέρα από τη χρήση της μηχανοποίησης. Η αναδυόμενη αυτοκινητική βιομηχανία στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ, στις αρχές της δεκαετίας του 20ου αιώνα, χρησιμοποίησαν την έννοια κινώντας την εργασία συνεχώς, αυτόματα ή ημιαυτόματα, στις εξειδικευμένους μηχανές και τους τερματικούς σταθμούς.

2.1.2.3. Αυτόματος Έλεγχος

Ένας βασικός μηχανισμός του αυτόματου ελέγχου είναι η ανατροφοδότηση, η οποία είναι ο κανονισμός μιας διαδικασίας, έτσι ώστε η παραγωγή να ικανοποιεί τους όρους ενός προκαθορισμένου στόχου. Ένα παράδειγμα είναι ο ανεμόμυλος ο οποίος μπορεί να ρυθμίσει τον προσανατολισμό των λεπίδων του μέσω ανατροφοδότησης, πληροφορώντας τον για τη μεταβαλλόμενη κατεύθυνση του αέρα. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το σύστημα θέρμανσης που μπορεί να σταματήσει και να επανεκκινήσει τη διαδικασία θέρμανσης ή ψύξης ανάλογα με την ανατροφοδότηση από το θερμοστάτη του.

2.1.2.4. Αιτιολόγηση Αυτοματισμού

Η αιτιολόγηση σημαίνει μια λογική και συστηματική ανάλυση, κατανόηση, και αξιολόγηση των στόχων και των περιορισμών της αυτοματοποιημένης λύσης. Ο αυτοματισμός οργανώνεται ορθολογικά με την εξέταση των τεχνολογικών και μηχανικών πτυχών στα πλαίσια των οικονομικών, κοινωνικών και διευθυντικών εκτιμήσεων, που περιλαμβάνουν επίσης: ανθρώπινους παράγοντες, οργανωτικά ζητήματα, περιβαλλοντικούς περιορισμούς και συντήρηση πόρων και ενέργειας.

Θεωρητικά, όλες οι συνεχείς διαδικασίες μπορούν να ελεγχθούν αυτόματα, αλλά πρακτικά μία τέτοια αυτοματοποίηση πρέπει να οργανωθεί ορθολογικά πρώτα. Για παράδειγμα, οι αεριωθούμενες μηχανές μπορούν να προωθηθούν συνεχώς στους μεταφορείς στα κύτταρα συνελεύσεων, αλλά εάν η ζήτηση για αυτές τις μηχανές είναι χαμηλή, δεν υπάρχει καμία αιτιολόγηση για να αυτοματοποιηθεί τη ροή τους. Επιπλέον, όλη η αυτοματοποίηση πρέπει να έχει ως σκοπό να λειτουργήσει μέσα στα ασφαλή όρια, έτσι δεν θέτει τους κινδύνους στους ανθρώπους και στο περιβάλλον.

2.1.3. Χαρακτηριστικά

Ένα σύστημα αυτοματισμού πρέπει να έχει τα εξής δύο χαρακτηριστικά :

1. Να υπάρχουν ορισμένα σημεία ή τμήματα του συστήματος , στα οποία να είναι δυνατή η αλλαγή της κατάστασής τους (δηλ. κάποιας ιδιότητας ή ιδιοτήτων τους) με δράση προερχόμενη έξω από το σύστημα και
2. Να υπάρχουν ορισμένα σημεία ή τμήματα του συστήματος , στα οποία να επέρχεται μια προκαθορισμένη μεταβολή της κατάστασης (δηλ. ιδιότητας ή ιδιοτήτων) σαν συνέπεια των δράσεων στα παραπάνω σημεία του (1) .

Ένα σύστημα αυτοματισμού είναι μία ειδική περίπτωση μηχανής. Μηχανή γενικά είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιούμε για να μεταφέρουμε ή/και να μετατρέψουμε ενέργεια. Χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτοματισμού είναι ότι η ενέργεια γίνεται δεκτή κατά αυστηρά προκαθορισμένο τρόπο και μετατρέπεται ή μεταφέρεται επίσης κατά αυστηρά προκαθορισμένο τρόπο. Η συμπεριφορά τους μπορεί να περιγραφεί με μαθηματικές μεθόδους πολύ ευκολότερα και πολύ πιο λεπτομερειακά από την συμπεριφορά των άλλων συστημάτων. Οι μαθηματικές αυτές μέθοδοι δεν περιορίζονται μόνο σε εξισώσεις και παρόμοιες μαθηματικές εκφράσεις , αλλά και σε χρησιμοποίηση συμβολικών διαγραμμάτων , πινάκων και κωδικοποιήσεων , που περιγράφουν με ακρίβεια όλα τα ουσιώδη μέρη και όλη την λειτουργία ενός αυτοματισμού.

Βέβαια, πρέπει να εξεταστούν ορισμένα όρια και κίνδυνοι αυτοματοποίησης κατά το σχεδιασμό αυτών των συστημάτων. Ο μοντέρνος, ελεγχόμενος από υπολογιστή αυτοματισμός πρέπει να είναι προγραμματισμένος και προσαρμοσμένος σε καθορισμένες διαδικασίες, πρωτόκολλα, ρουτίνες και όρια. Τα όρια ακολουθούν επίσης τα όρια που επιβάλλονται από τις τέσσερις αρχές της αυτοματοποίησης. Μπορεί να μηχανοποιηθεί; Υπάρχει συνοχή στη διαδικασία; Μπορεί ο αυτόματος έλεγχος να σχεδιαστεί για αυτό; Μπορεί να οργανωθεί ορθολογικά;

2.1.4. Πλεονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του αυτοματισμού είναι:

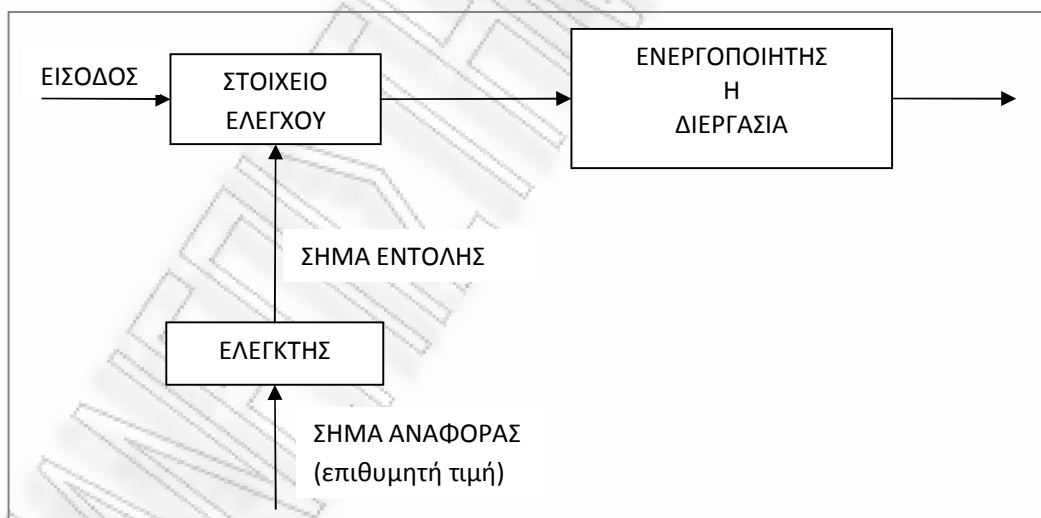
- Η αντικατάσταση του ανθρώπινου παράγοντα σε διαδικασίες που είτε απαιτούν δύσκολες χειρονακτικές ή μονότονες εργασίες, είτε πραγματοποιούνται σε επικίνδυνα περιβάλλοντα, π.χ. σε φωτιά, διάστημα, πυρηνικά εργοστάσια.
- Η πραγματοποίηση εργασιών που ξεπερνούν τις ανθρώπινες ικανότητες όσον αφορά το μέγεθος, το βάρος, τη ταχύτητα και την αντοχή. Μερικά παραδείγματα είναι ο σχεδιασμός και η επιδιόρθωση μικροεπεξεργαστών (μικρό μέγεθος), ο χειρισμός ενός διαστημόπλοιου (γρήγορη διαδικασία), η αναζήτηση σε μία βάση δεδομένων (μεγάλο μέγεθος).
- Η αύξηση της παραγωγικότητας. Οι υπολογιστές και οι αυτόματες μηχανές μπορούν να επεξεργάζονται σε μεγάλες ταχύτητες και με μεγάλη απόδοση. Για το λόγο αυτό, θα ήταν πρακτικά αδύνατον ο συνεχής έλεγχος, οι χημικές διεργασίες στη παραγωγή τροφίμων, η διενέργεια δοκιμών φαρμάκων οι οποίες χειρίζονται άτομα ή μόρια, η βελτιστοποίηση μιας ψηφιακής εικόνας ή η τοποθέτηση εκατομμυρίων χρωματιστών κουκίδων σε μία έγχρωμη τηλεόραση.
- Η οικονομική βελτίωση. Ο αυτοματισμός μπορεί να βελτιώσει την οικονομία επιχειρήσεων αλλά και της κοινωνίας. Όταν μία επιχείρηση επενδύει στον αυτοματισμό, η τεχνολογία ανακτά την επένδυση. Οι διαδικασίες γίνονται γρηγορότερα, με μεγαλύτερη ακρίβεια, ασφάλεια και ποιότητα. Για παράδειγμα, ένα κράτος μπορεί να αυξήσει τα έσοδά του λόγω του αυτοματισμού. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαδικασιών που αποφέρουν έσοδα με τη χρήση του αυτοματισμού είναι η ηλεκτρονική συνταγογράφηση, η αυτόματη έκδοση πιστοποιητικών.
- Η δυνατότητα πρόσβασης. Η αυτοματοποίηση επιτρέπει την καλύτερη δυνατότητα πρόσβασης για όλους τους ανθρώπους, συμπεριλαμβανομένων των ατόμων με προβλήματα και ειδικές ανάγκες. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση ανοίγει νέους τύπους απασχόλησης για τους ανθρώπους

με περιορισμούς, π.χ. με την ολοκλήρωση διεπαφών αναγνώρισης ομιλίας και όρασης.

- Η χρησιμότητα στα άτομα, τους οργανισμούς και τη κοινωνία. Πέρα από τα παραπάνω κίνητρα, ο αυτοματισμός της γνώσης και των υπηρεσιών μειώνει την ανάγκη για μεσάζοντες, μειώνοντας έτσι ή περιορίζοντας το κόστος τους και αφαιρώντας επίπεδα γραφειοκρατίας. Παράδειγμα αποτελούν οι ταξιδιωτικές και οικονομικές υπηρεσίες μέσω διαδικτύου, η απευθείας επικοινωνία μεταξύ των διευθυντών και των χειριστών ή των ρομπότ. Η απομακρυσμένη επίβλεψη και η τηλε-συνεργασία αλλάζει την φύση και την αντίληψη των απαιτήσεων σε δεξιότητες και εκπαίδευση, τις ευθύνες των εργατών και διευθυντών.

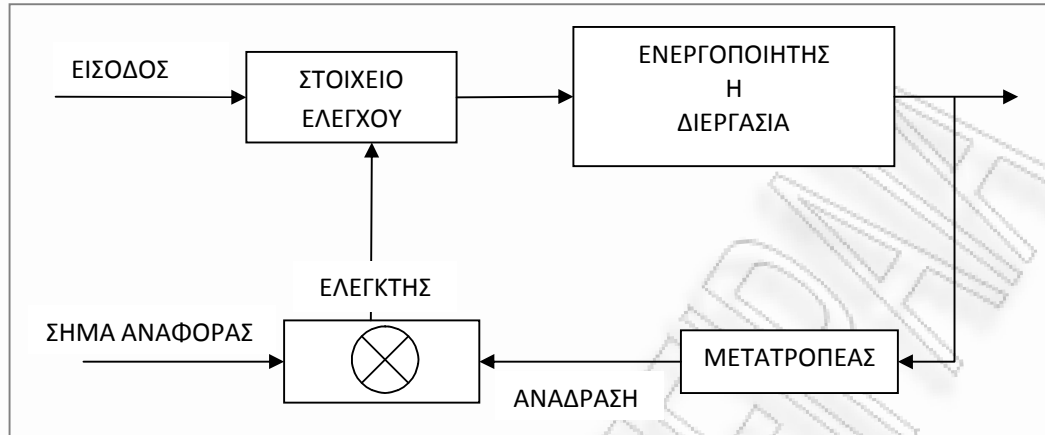
2.2. Αυτόματος Έλεγχος

Ο αυτόματος έλεγχος, και ιδιαίτερα η εφαρμογή της ανατροφοδότησης, έχει θεμελιώσει την ανάπτυξη του αυτοματισμού. Η προέλευσή της βρίσκεται στον έλεγχο επιπέδων, τα ρολόγια νερού και στην υδραυλική του αρχαίου κόσμου. Ο αυτόματος έλεγχος είναι το σύνολο των ενεργειών με τις οποίες ένα ελεγχόμενο μέγεθος διατηρεί μία επιθυμητή τιμή (βέβαια με κάποιο δεδομένο σφάλμα). Ο έλεγχος μπορεί να είναι ανοικτού ή κλειστού κυκλώματος. Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, ο ελεγκτής δίνει μία και μοναδική εντολή και δεν επαληθεύει την τιμή που επιτυγχάνεται στη διεργασία. Η έξοδος ακολουθεί την επιθυμητή τιμή κατά κανόνα, πλην περιπτώσεων δράσης παραγόντων που ονομάζονται διαταραχές οι οποίες παράγουν σφάλματα μερικές φορές σημαντικά. Οι διαταραχές μπορεί να είναι φύσης ηλεκτρικής, μηχανικής, ρευστομηχανικής και γενικά προκαλούνται από μεταβολές πίεσης, θερμοκρασίας, φορτίου και μηχανικών κινήσεων.



Σχήμα 1 - Σύστημα Ανοικτού Κυκλώματος

Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 ο ελεγκτής παρέχει στο στοιχείο ελέγχου μία εντολή που είναι το αποτέλεσμα σύγκρισης μεταξύ του σήματος αναφοράς (επιθυμητής τιμής) και του σήματος ανάδρασης.



Σχήμα 2 – Σύστημα Κλειστού Κυκλώματος

2.2.1. Συστατικά

Στη θεωρία ελέγχου, ο **ελεγκτής (controller)** είναι μία συσκευή που παρακολουθεί και επηρεάζει τις συνθήκες λειτουργίας ενός δοσμένου δυναμικού συστήματος. Οι συνθήκες λειτουργίας αναφέρονται χαρακτηριστικά ως μεταβλητές εξόδου του συστήματος που μπορεί να επηρεαστούν με τη ρύθμιση ορισμένων μεταβλητών εισαγωγής. Για παράδειγμα, το σύστημα θέρμανσης ενός σπιτιού μπορεί να εξοπλιστεί με έναν θερμοστάτη (ελεγκτής) για την μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα (μεταβλητή εξόδου) ο οποίος μπορεί να ανοίξει ή κλείσει μία θερμάστρα όταν η θερμοκρασία γίνει πολύ χαμηλή ή ψηλή αντίστοιχα.

Σε αυτό το παράδειγμα, ο θερμοστάτης είναι ο ελεγκτής και κατευθύνει τις δραστηριότητες της θερμάστρας. Η θερμάστρα είναι ο επεξεργαστής που θερμαίνει τον αέρα μέσα στο σπίτι στην επιθυμητή θερμοκρασία (set point). Η ανάγνωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στο σπίτι είναι η ανατροφοδότηση (feedback). Τέλος, το σπίτι είναι το περιβάλλον στο οποίο το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί.

Κύριο συστατικό των συστημάτων αυτοματισμού αποτελούν οι **αισθητήρες (sensors)**. Ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που μετρά μια φυσική ποσότητα και την μετατρέπει σε ένα σήμα που μπορεί να διαβαστεί από έναν παρατηρητή ή από ένα όργανο. Παραδείγματος χάριν, ένα θερμόμετρο υδράργυρου μετατρέπει τη μετρημένη θερμοκρασία σε επέκταση και συστολή ενός υγρού που μπορεί να

διαβαστεί σε έναν βαθμολογημένο σωλήνα γυαλιού. Για την ακρίβεια, οι περισσότεροι αισθητήρες είναι βαθμολογημένοι βάση γνωστών προτύπων.

Ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που λαμβάνει σήματα και ανταποκρίνεται σε αυτά. Η ευαισθησία ενός αισθητήρα προσδιορίζει πόσο αλλάζει η έξοδος του αισθητήρα όταν αλλάζει η μετρούμενη ποσότητα. Οι αισθητήρες που μετρούν πολύ μικρές αλλαγές πρέπει να έχουν μεγάλη ευαισθησία. Επίσης, οι αισθητήρες ασκούν επίδραση σε αυτό που μετρούν. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να σχεδιαστούν ώστε να έχουν μια ελάχιστη επίδραση σε αυτό που μετρείται. Αυτό πραγματοποιείται με τη κατασκευή ολοένα και μικρότερων αισθητήρων, εισάγοντας άλλα πλεονεκτήματα. Η τεχνολογική πρόοδος επιτρέπει σε όλο και περισσότερους αισθητήρες να κατασκευαστούν σε μια μικροσκοπική κλίμακα, ως *microsensors*, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία MEMS. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένας *microsensor* φθάνει σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες και ευαισθησίες έναντι των μακροσκοπικών προσεγγίσεων.

Υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων, καθένας από τους οποίους χρησιμοποιείται σε διαφορετικά πεδία εφαρμογών. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρουμε μερικούς, καθώς και τα αντίστοιχα πεδία εφαρμογών:

Τύπος Αισθητήρα	Εφαρμογές
Ακουστικοί, ηχητικοί, δόνησης	Μικρόφωνο, Σεισμόμετρο
Αυτοκίνησης, Μεταφοράς	Αισθητήρες παρκαρίσματος, ταχύτητας, εκπομπής αερίων
Θερμικοί, Θερμοκρασίας, Ζέστης	Θερμόμετρο, Ραδιόμετρο Μικροκυμάτων
Εγγύτητας, Παρουσίας	Συναγερμός, αισθητήρας κίνησης, γάντι συνδεδεμένο με καλώδια

Πίνακας 1 - Τύποι Αισθητήρων

Τα ελεγχόμενα μέσω υπολογιστών συστήματα καταγράφουν συνεχώς τις συνθήκες λειτουργίας τους μέσω των αισθητήρων. Πολλές φορές όμως χρειάζονται κάποιες συσκευές, οι οποίες ολοκληρώνουν τη διαδικασία ελέγχου εκτελώντας εντολές του υπολογιστή. Την εκτέλεση αυτών αναλαμβάνουν οι **ενεργοποιητές (actuators)**. Πρόκειται για μηχανικές συσκευές που κινούν ή ελέγχουν ένα μηχανισμό ή ένα σύστημα. Χρησιμοποιούνται από μία πηγή ενέργειας, συχνά με τη μορφή ηλεκτρικού ρεύματος, υδραυλικής ή αεροκίνητης πίεσης, και μετατρέπει αυτή την ενέργεια σε ένα είδος κίνησης.

Ανάμεσα στους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές παρεμβάλλονται οι **αποκριτές (responders)**. Ο αποκριτής, μπορεί να είναι ένα απλό ηλεκτρικό ή μηχανικό σύστημα ή ένας σύνθετος ψηφιακός ελεγκτής ειδικής χρήσης ή ένας υπολογιστής γενικού σκοπού. Ρόλος του αποκριτή είναι να εντοπίζει τη λήψη ενός σήματος από έναν αισθητήρα και να δίνει εντολή για κάποια ενέργεια στον ενεργοποιητή.

2.2.2. Θεωρία Ελέγχου

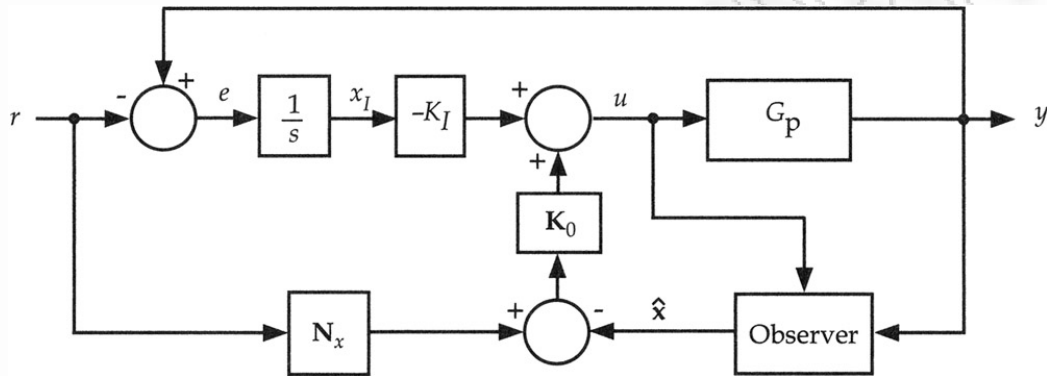
Η θεωρία ελέγχου είναι ένα διεπιστημονικός κλάδος της μηχανικής και των μαθηματικών, ο οποίος ασχολείται με την συμπεριφορά των δυναμικών συστημάτων. Αυτή τη συμπεριφορά τη μετρά και/ή την επηρεάζει. Ο αυτοματισμός στηρίζεται εννοιολογικά στη θεωρία ελέγχου και στους μηχανισμούς ανάδρασης, επομένως αποτέλεσε μία κύρια αφετηρία της κυβερνητικής. Σε αντίθεση με την τελευταία όμως, ο αυτοματισμός έχει έναν αυστηρά εφαρμοσμένο χαρακτήρα και στην πράξη αξιοποιεί ποικιλία εξειδικευμένων προϊόντων ηλεκτρονικής και τεχνολογίας πληροφοριών (π.χ. μικροελεγκτές, συστήματα πραγματικού χρόνου, τεχνολογίες CAx).

Η επιθυμητή έξοδος ενός συστήματος καλείται **αναφορά**. Όταν μία ή περισσότερες μεταβλητές εξόδου ενός συστήματος πρέπει να ακολουθούν μια συγκεκριμένη αναφορά στον χρόνο ή σε διαφορετικές καταστάσεις, ένα ελεγκτής χειρίζεται τις εισόδους σε ένα σύστημα ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό

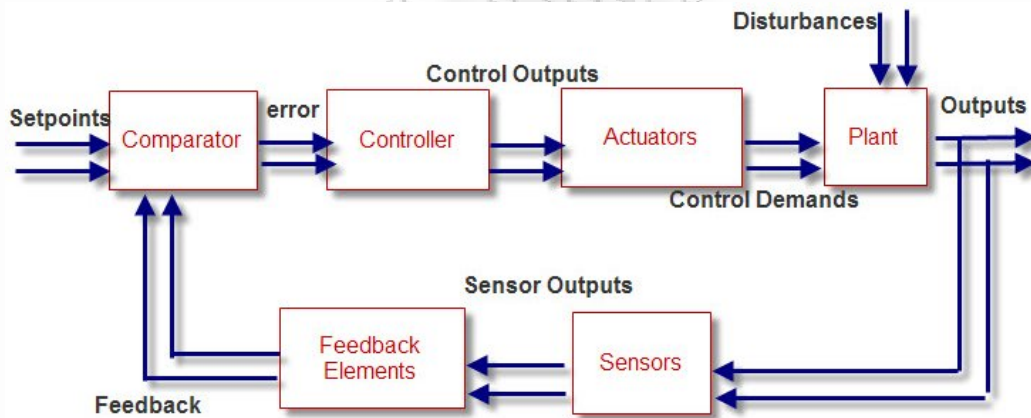
αποτέλεσμα στην έξοδο του συστήματος. Υπάρχουν δύο τύποι ελεγκτών: οι *ελεγκτές ανοιχτού loop* (open-loop controllers) και οι *ελεγκτές κλειστού loop* (closed-loop controllers). Οι πρώτοι δεν μετρούν την έξοδο του συστήματος ώστε να προσαρμόσουν τον έλεγχο. Οι δεύτεροι χρησιμοποιούν την *ανατροφοδότηση* (*feedback*), δηλαδή χρησιμοποιούν αισθητήρες οι οποίοι μετρούν την έξοδο και ανατροφοδοτούν με δεδομένα τον ελεγκτή ώστε αυτός με τη σειρά του να προσαρμόσει το σύστημα και να διατηρήσει την επιθυμητή έξοδο. Για το λόγο αυτό οι ελεγκτές κλειστού loop αναφέρονται και ως *ελεγκτές ανατροφοδότησης* (feedback controllers).

2.2.2.1. Κατηγοριοποίηση Συστημάτων

Τα συστήματα ανάλογα με τον αριθμό εισόδων και εξόδων διακρίνονται στα SISO (Single-Input Single-Output) και MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) συστήματα (βλ. Εικόνα 2, Εικόνα 3). Στα πρώτα οι μεταβλητές αναπαρίστανται από ποσοτικές μεταβλητές, ενώ στα δεύτερα από διανύσματα.



Εικόνα 2 - Single-Input Single-Output System (SISO)



Εικόνα 3 - Multiple-Input Multiple-Output System (MIMO)

Γραμμικά Συστήματα (Linear System Control)

Ένα γραμμικό σύστημα είναι ένα μαθηματικό πρότυπο ενός συστήματος που βασίζεται στη χρήση ενός γραμμικού τελεστή. Τα γραμμικά συστήματα εκθέτουν χαρακτηριστικά γνωρίσματα και ιδιότητες που είναι πολύ απλούστερες από τις γενικές, μη γραμμικές περιπτώσεις. Σαν μαθηματική αφάιρεση ή εξιδανίκευση, τα γραμμικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε σημαντικές εφαρμογές της θεωρίας

του αυτόματου ελέγχου, της επεξεργασίας σήματος και τις τηλεπικοινωνίες. Παραδείγματος χάριν, το μέσο διάδοσης στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών μπορεί συχνά να μοντελοποιηθεί από τα γραμμικά συστήματα.

Στα Multiple-Inputs Multiple-Outputs (MIMO) συστήματα, η τοποθέτηση των πόλων μπορεί να πραγματοποιηθεί με μαθηματικό τρόπο, χρησιμοποιώντας μια αναπαράσταση κατάστασης και χώρου (state space representation) του open-loop συστήματος και υπολογίζοντας μία μήτρα ανατροφοδότησης ορίζοντας τους πόλους στις επιθυμητές θέσεις. Στα περίπλοκα συστήματα αυτό μπορεί να απαιτήσει μεγάλες υπολογιστικές ικανότητες και δεν μπορεί πάντα να εξασφαλίσει ευρωστία. Επιπλέον, όλες οι καταστάσεις των συστημάτων δεν μετριοούνται γενικά και έτσι οι παρατηρητές πρέπει να συμπεριληφθούν και να ενσωματωθούν στο σχέδιο τοποθέτησης των πόλων.

Μη-γραμμικά Συστήματα (Non-Linear System Control)

Στα μαθηματικά, ένα μη γραμμικό σύστημα είναι ένα σύστημα που δεν είναι γραμμικό, δηλαδή ένα σύστημα που δεν ικανοποιεί την αρχή της επαλληλίας ή η έξοδος του οποίου δεν είναι άμεσα ανάλογη προς την είσοδό του. Λιγότερο τεχνικά, ένα μη γραμμικό σύστημα είναι οποιοδήποτε πρόβλημα του οποίου η λύση δεν μπορεί να γραφτεί ως γραμμικός συνδυασμός ανεξάρτητων συστατικών. Ένα ανομοιογενές σύστημα, που είναι γραμμικό εκτός από την παρουσία μιας συνάρτησης των ανεξάρτητων μεταβλητών, είναι μη γραμμικό σύμφωνα με έναν ακριβή ορισμό, αλλά τέτοια συστήματα μελετώνται συνήθως παράλληλα με τα γραμμικά συστήματα, επειδή μπορούν να μετασχηματιστούν σε ένα γραμμικό σύστημα πολλαπλών μεταβλητών.

Οι διαδικασίες σε βιομηχανίες όπως τη ρομποτική και την αεροδιαστημική βιομηχανία έχουν ισχυρή μη γραμμική δυναμική. Η παραμετροποίηση μη γραμμικών συστημάτων δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο. Στη θεωρία ελέγχου είναι μερικές φορές δυνατό να γίνουν γραμμικές τέτοιες κατηγορίες συστημάτων και να εφαρμοστούν γραμμικές τεχνικές. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι απαραίτητο να επινοηθούν από την αρχή θεωρίες που επιτρέπουν τον έλεγχο των μη γραμμικών συστημάτων. Αυτές οι θεωρίες, όπως η

σειριακοποίηση της ανατροφοδότησης, το backstepping, ο sliding mode έλεγχος, η σειριακοποίηση της τροχιάς ελέγχου, εκμεταλλεύονται τα αποτελέσματα που βασίζονται στη θεωρία Lyapunov. Η διαφορική γεωμετρία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως εργαλείο γενίκευσης των γνωστών γραμμικών εννοιών σε μη γραμμικές περιπτώσεις, όπως επίσης και για την παρουσίαση των λεπτομερειών που την κάνουν ένα προκλητικό πρόβλημα.

Αποκεντρωμένα Συστήματα (Decentralized System Control)

Όταν το σύστημα ελέγχεται από τους πολλαπλούς ελεγκτές, το πρόβλημα είναι αυτό του αποκεντρωμένου ελέγχου. Η αποκέντρωση είναι χρήσιμη από πολλές απόψεις, για παράδειγμα, βοηθά τα συστήματα ελέγχου να λειτουργήσουν σε μια μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή. Οι πράκτορες στα αποκεντρωμένα συστήματα ελέγχου μπορούν να αλληλεπιδράσουν χρησιμοποιώντας κανάλια επικοινωνίας και να συντονίσουν τις ενέργειές τους.

2.2.2.2. Τεχνικές ελέγχου

Κάθε σύστημα ελέγχου πρέπει να διασφαλίζει τη σταθερότητα της συμπεριφοράς του κλειστού loop. Στα γραμμικά συστήματα αυτό πραγματοποιείται με την απευθείας τοποθέτηση των πόλων. Τα μη γραμμικά συστήματα χρησιμοποιούν συγκεκριμένες θεωρίες (συνήθως βασισμένες στη θεωρία του Lyapunov) για τη διατήρηση της σταθερότητας χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την εσωτερική δυναμική του συστήματος. Η πιθανότητα να ολοκληρωθούν συγκεκριμένες προδιαγραφές ποικίλλει από το μοντέλο και τη τεχνική ελέγχου που ακολουθείται. Ακολουθεί μία λίστα τεχνικών ελέγχου:

Adaptive control

Στον προσαρμοστικό έλεγχο ο αλγόριθμος τροποποιείται σύμφωνα με τις περιστάσεις. Οι προσαρμοστικοί έλεγχοι εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στην αεροδιαστημική βιομηχανία στη δεκαετία του '50 και έχουν σημειώσει ιδιαίτερη επιτυχία σε αυτόν τον τομέα. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί ο έλεγχος της πτήσης, όπου το ύψος έχει επιπτώσεις στη δυναμική αεροσκαφών και πρέπει επομένως να

ληφθεί υπόψη κατά ρύθμιση της διαδικασίας. Ο ψηφιακός προσαρμοστικός έλεγχος, εντούτοις, προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για τον προσδιορισμό των σχετικών παραμέτρων των συστημάτων, τη λήψη των αποφάσεων για τις απαραίτητες τροποποιήσεις στον αλγόριθμο ελέγχου και τέλος την εφαρμογή των αλλαγών, επιτυγχάνοντας ισχυρές ιδιότητες ευρωστίας.

Hierarchical control

Το ιεραρχικό σύστημα ελέγχου είναι ένας τύπος συστήματος ελέγχου στον οποίο ένα σύνολο συσκευών και λογισμικού τοποθετείται σε ένα ιεραρχικό δέντρο. Όταν οι συνδέσεις στο δέντρο υλοποιούνται από ένα δίκτυο υπολογιστών, τότε εκείνο το ιεραρχικό σύστημα ελέγχου είναι επίσης μια μορφή δικτυοκεντρικού συστήματος ελέγχου.

Intelligent control

Ο ευφυής έλεγχος χρησιμοποιεί διάφορες προσεγγίσεις υπολογισμού τεχνητής νοημοσύνης όπως τα νευρωνικά δίκτυα, τη Bayesian πιθανότητα, τη συγκεχυμένη λογική, τη γνώση μηχανής, τον εξελικτικό υπολογισμό και τους γενετικούς αλγόριθμους για να ελέγχει ένα δυναμικό σύστημα.

Optimal control

Ο βέλτιστος έλεγχος είναι μια ιδιαίτερη τεχνική ελέγχου στην οποία το σήμα ελέγχου βελτιστοποιεί έναν ορισμένο «δείκτη δαπανών»: παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση ενός δορυφόρου, οι ωθήσεις του δορυφόρου έπρεπε να το φέρουν στην επιθυμητή τροχιά ώστε να καταναλώνουν το λιγότερο ποσό καυσίμων. Δύο βέλτιστες μέθοδοι σχεδίασης του ελέγχου έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στις βιομηχανικές εφαρμογές, όπως έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να εγγυηθούν τη σταθερότητα των κλειστών βρόγχων. Αυτοί είναι ο πρότυπος προβλεπόμενος έλεγχος (Model Predictive Control - MPC) και ο γραμμικός-τετραγωνικός-γκαουσιανός έλεγχος (Linear-Quadratic-Gaussian - LQG). Η πρώτη μέθοδος λαμβάνει υπόψη περισσότερο ρητά τους περιορισμούς στα σήματα στο σύστημα, το οποίο είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα σε πολλές βιομηχανικές διαδικασίες. Εντούτοις, η δομή του «βέλτιστου ελέγχου» στον MPC είναι μόνο ένας

τρόπος για να επιτευχθεί ένα τέτοιο αποτέλεσμα, δεδομένου ότι δεν βελτιστοποιεί έναν αληθινό δείκτη απόδοσης του συστήματος ελέγχου κλειστών βρόγχων. Μαζί με τους ελεγκτές PID, τα συστήματα MPC είναι η πιο ευρύτατα χρησιμοποιημένη τεχνική ελέγχου στον έλεγχο διαδικασιών.

Robust control

Ο εύρωστος έλεγχος διαπραγματεύεται ρητά με την αβεβαιότητα στον σχεδιασμό των ελεγκτών. Οι ελεγκτές που σχεδιάστηκαν με τη μέθοδο του εύρωστου ελέγχου τείνουν να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν μικρές διαφορές μεταξύ του αληθινού συστήματος και του ονομαστικού προτύπου που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό. Οι μέθοδοι εύρωστου ελέγχου στοχεύουν στην επιτυχία γερής απόδοσης ή/και τη σταθερότητα, παρουσία μικρών λαθών μοντελοποίησης.

Συμπερασματικά, χωρίς τους ψηφιακούς υπολογιστές όλες αυτές οι τεχνικές, που προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τις απορρίψεις των διαταραχών του συστήματος (σύμφωνα με κάποιο μέτρο συμπεριφοράς) ενώ συγχρόνως είναι ανθεκτικές στα λάθη, θα ήταν απλά μαθηματικά προβλήματα

Stochastic control

Ο στοχαστικός έλεγχος εξετάζει τον σχεδιασμό του ελέγχου, συμπεριλαμβάνοντας την αβεβαιότητα στο πρότυπο. Στα χαρακτηριστικά προβλήματα στοχαστικού ελέγχου, θεωρείται ότι υπάρχουν τυχαίοι θόρυβοι και διαταραχές στο πρότυπο και τον ελεγκτή και ο σχεδιασμός ελέγχου πρέπει να λάβει υπόψη αυτές τις τυχαίες αποκλίσεις.

2.2.3. Πεδία Εφαρμογών

2.2.3.1. Εργοστασιακός Αυτοματισμός

Ο αυτοματισμός είναι ένας τρόπος για τους ανθρώπους να επεκτείνουν την ικανότητα των εργαλείων και των μηχανών τους. Η αυτόματη λειτουργία με εργαλεία και μηχανές απαιτούν τέσσερις λειτουργίες:

1. Ανίχνευση απόδοσης και επιθυμητών αποτελεσμάτων
2. Διόρθωση διαδικασίας
3. Προσαρμογές λόγω των διαταραχών
4. Ενεργοποίηση των προηγούμενων τριών λειτουργιών χωρίς ανθρώπινη επέμβαση.

Η πρώτη λειτουργία επιτεύχθηκε με τους αισθητήρες οι οποίοι μπορούσαν να μετρούν συνεχώς ή περιοδικά σημαντικές μεταβλητές της διαδικασίας. Η δεύτερη λειτουργία έγινε πραγματικότητα έπειτα από την εφεύρεση των ελεγκτών, οι οποίοι μετατρέπουν τη γνώση τέτοιων αλλαγών σε εντολές που αλλάζουν τις λειτουργικές μεταβλητές και με αυτόν τον τρόπο επιστρέφουν στα απαραίτητα αποτελέσματα. Η ανάπτυξη αυτών των λειτουργιών εξελίχθηκε στην ιστορία και ο αυτοματισμός είναι η ικανότητα που προκάλεσε τις μηχανές να πραγματοποιούν μια συγκεκριμένη λειτουργία μετά από εντολή μιας εξωτερικής πηγής.

Η ανάπτυξη της τρίτης λειτουργίας απαιτήσε ένα πρόσθετο επίπεδο νοημοσύνης πέρα από τις λειτουργίες 1 και 2, δηλαδή την ικανότητα σύγκρισης μεταξύ των αποτελεσμάτων και των λειτουργικών συνθηκών που χρησιμοποιήθηκαν για μια σειρά δοκιμών. Οι άνθρωποι μπορούν, φυσικά, να εκτελέσουν εύκολα αυτή την εργασία. Εντούτοις, η ολοκλήρωση αυτού του στόχου με τη χρήση μηχανής απαιτεί υπολογιστική ικανότητα ώστε να συγκριθούν τα διαδοχικά σύνολα στοιχείων, να μαζευτούν και να ερμηνευθούν τα διορθωτικά αποτελέσματα και να είναι σε θέση να εφαρμόσει τα αποτελέσματα αυτά. Για μερικές μεταβλητές έχουν γνωστές μεταβολές, αυτό μπορεί να ενσωματωθεί στον σχεδιασμό του ελεγκτή. Εντούτοις, για έναν μεγάλο αριθμό μεταβλητών ή όταν υπάρχουν άγνωστα εύρη ανταποκρίσεων, ένας υπολογιστής πρέπει να είναι διαθέσιμος.

Στη χημική βιομηχανία και στις βιομηχανίες πετρελαίου πριν από το 1940, η περισσότερη επεξεργασία ήταν σε περιβάλλον δεσμίδων. Όλα τα συστατικά τοποθετούνταν σε έναν βραστήρα και επεξεργάζονταν μέχρι να αντιδράσουν μεταξύ τους ή μέχρι να ολοκληρωθεί μία επιθυμητή ενέργεια. Όμως, η αυξανόμενη ζήτηση για χημικά και πετρέλαιο από το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και έκτοτε, απαίτησε διαφορετική οργάνωση κατασκευής, οδηγώντας σε συνεχή επεξεργασία και με τη βοήθεια του αυτόματου ελέγχου και του αυτοματισμού της διαδικασίας, της ροής και της μεταφοράς επιτεύχθηκαν καλύτερες αποδόσεις.

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου για τις μεγάλες εγκαταστάσεις απαίτησε τις εφαρμογές των υπολογιστών, οι οποίες εισήχθησαν στη χημική βιομηχανία τη δεκαετία του '60. Ο αυτοματισμός πλέον έχει αντικαταστήσει τα περισσότερα, εάν όχι όλα, τα μηχανικά ή αεροκίνητα συστήματα ελέγχου που βασιζόνταν στον άνθρωπο με συστήματα ελέγχου βασισμένα σε υπολογιστή, σε τέτοιο σημείο που τα συστήματα εγκαταστάσεων χημικών και πετρελαίου να είναι τώρα πλήρως αυτοματοποιημένα και μάλιστα σε πολύ υψηλό βαθμό. Επιπλέον, ο αυτοματισμός έχει αντικαταστήσει την ανθρώπινη προσπάθεια, αποβάλλει τα σημαντικά κόστη εργασίας, και αποτρέπει τα ατυχήματα και τους τραυματισμούς που μπορεί να εμφανιστούν.



Εικόνα 4 - Ρομπότ συναρμολόγησης (Assembly Robot)

Χαρακτηριστικές εφαρμογές του αυτοματισμού στο τομέα της βιομηχανίας είναι τα ρομπότ. Ένα βιομηχανικό ρομπότ ορίζεται από το ISO ως ένας αυτόματα ελεγχόμενος, επαναπρογραμματιζόμενος και πολλαπλών χρήσεων χειριστής. Τυπικές εφαρμογές των ρομπότ περιλαμβάνουν τη συγκόλληση, τη ζωγραφική, τη συναρμολόγηση, την επιλογή και τη θέση, τη συσκευασία και μεταφορά στη παλέτα, την επιθεώρηση προϊόντων και τη δοκιμή, που ολοκληρώνονται με υψηλές αντοχές, ταχύτητα και

ακρίβεια.

Πιο συγκεκριμένα, τα ρομπότ συναρμολόγησης (βλ. Εικόνα 4) έχουν επεκτείνει τις ικανότητες παραγωγής στον κόσμο κατασκευής και αύξησαν την παραγωγή και την αποταμίευση. Η διαδικασία συναρμολόγησης είναι γρηγορότερη, αποδοτικότερη και ακριβέστατη όσο ποτέ άλλοτε. Τέλος, τα ρομπότ έχουν απαλλάξει τους εργαζομένους από τις κουραστικές και μονότονες εργασίες των γραμμών συναρμολόγησης.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των ρομπότ συναρμολόγησης είναι:

- **Καμία κούραση:** Ένα ρομπότ συναρμολόγησης μπορεί να λειτουργεί κάθε ημέρα, κάθε ώρα χωρίς καμία διακοπή.
- **Περισσότερη παραγωγή:** Η συνεπής παραγωγή ενός ρομποτικού συστήματος μαζί με την ποιότητα και την επανάληψη είναι εφικτή ακόμη και με τις πιο προκλητικές και πολύπλοκες εφαρμογές.
- **Καλύτερη απόδοση:** Τα αυτοματοποιημένα συστήματα παρέχουν την ακριβή απόδοση συναρμολόγησης. Πολλά από αυτά είναι εξοπλισμένα με την εικονική τεχνολογία για την ενίσχυση της παραγωγής.
- **Αποταμίευση:** Τα ρομποτικά συστήματα συναρμολόγησης αποταμιεύουν με την σημαντική μείωση του χρόνου διακοπής και των εξόδων εργασίας, αυξάνοντας την παραγωγή και την απόδοση. Με την αυτοματοποίηση, η επιστροφή της επένδυσης (ROI) είναι υψηλή. Μία μελέτη σχετικά με σουηδικούς ξύλινα πλαισιωμένους πίνακες, που συναρμολογούνταν μέσω αυτοματοποίησης, δείχνει μια εξοικονόμηση της τάξης του 27% έναντι των παραδοσιακών μεθόδων κατασκευής.

Συνοψίζοντας, με τον εργοστασιακό αυτοματισμό τα εργαλεία - όπως είναι τα ρομπότ- αναλαμβάνουν πλήρως τις εργασίες που εκτελούνταν με ανθρώπινη εργασία. Ένας επόπτης είναι ακόμα απαραίτητος, αν και ο βιομηχανικός μηχανικός και ο προγραμματιστής είναι οι κρίσιμοι συμμετέχοντες.

2.2.3.2. Διαχείριση Ενέργειας

Οι εφαρμογές του αυτοματισμού στον τομέα της ενέργειας παρουσιάζουν σημαντική ανάπτυξη, όχι μόνο στο βιομηχανικό τομέα αλλά και στην καθημερινή μας ζωή. Οι τελικοί χρήστες απαιτούν όλο και περισσότερο προϊόντα που χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια, κάτι που έρχεται σε σύγκρουση με την αυξανόμενη απαίτηση για εκτεταμένη λειτουργικότητα. Σε μερικές περιπτώσεις, οι συσκευές των έξυπνων σπιτιών θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν νέους τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έτσι ώστε να μειώνεται η ανάγκη για την παραδοσιακή ενέργεια. Τα συστήματα π.χ. θα είναι επεκτάσιμα με συσκευές παραγωγής ενέργειας, όπως είναι τα ηλιακά πάρκα, αποτελώντας μέρη του δικτύου [1].

Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας και αυτοματισμού του σπιτιού περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους ελεγκτές για κάθε κομμάτι που διαχειρίζεται και μία ή περισσότερες συσκευές κατανάλωσης ενέργειας σε κάθε ελεγκτή. Κάθε ελεγκτής αντιδρά σε ψηφιακά σήματα που προέρχονται από ένα κέντρο εντολών το οποίο ορίζει ένα πρόγραμμα γεγονότων που επηρεάζουν την λειτουργία κάθε συσκευής. Ο ελεγκτής ρυθμίζει κάθε συσκευή ώστε αυτή να χειρίζεται σύμφωνα με το προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα.

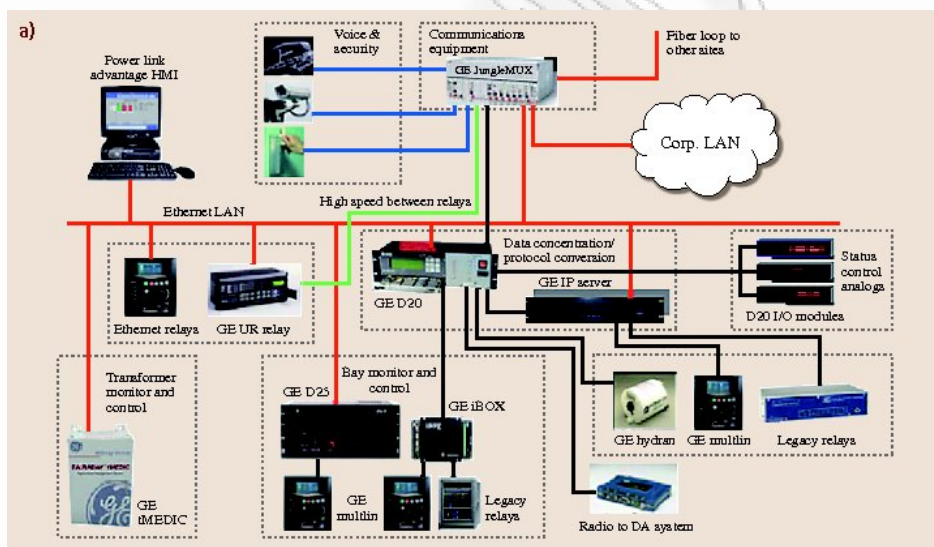
Ο χρήστης από τη μεριά του, με τη κατάλληλη επικοινωνία με το κέντρο εντολών, μπορεί να παρέχει μηνύματα κάθε φορά που αλλάζει το προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα. Το σύστημα θέρμανσης/ψύξης ελέγχεται με ορισμένα σημεία θερμοκρασίας για κάθε διαφορετικό τύπο λειτουργίας, όπου η μεγαλύτερη ενέργεια καταναλώνεται όταν γίνεται μεγάλη χρήση και η μικρότερη όταν η χρήση είναι ανύπαρκτη. Ενδιάμεσα ποσά ενέργειας καταναλώνονται όταν έχουμε περιορισμένη χρήση, για παράδειγμα όταν οι κάτοικοι κοιμούνται ή όταν πραγματοποιείται κάποια συντήρηση.

Πριν από την αλλαγή σε μία κατάσταση που απαιτεί περισσότερη ενέργεια, ο ελεγκτής υπολογίζει τον χρόνο που απαιτείται ώστε να έρθει η λειτουργία στο επιθυμητό σημείο. Έπειτα, χειρίζεται την μονάδα θέρμανσης/ψύξης τόσο χρόνο όσο

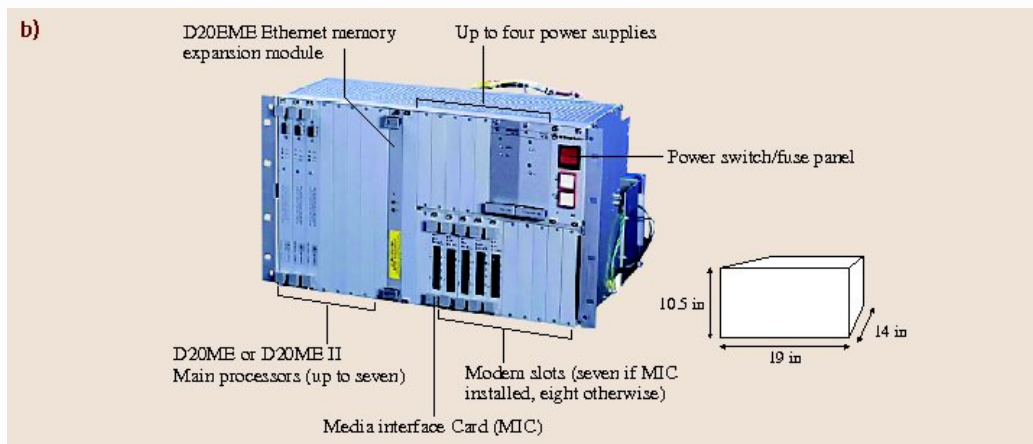
τον υπολόγισε πριν την αλλαγή της κατάστασης. Με την τεχνική αυτή, υπάρχει επιπλέον μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Στο βιομηχανικό τομέα, χαρακτηριστική εφαρμογή του αυτοματισμού είναι ο αυτοματισμός του σταθμού ενέργειας της GE Energy Co. στην Ατλάντα (<http://www.gerpower.com>). Η διαδικασία λειτουργίας έχει ως εξής:

Σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής παραγωγής και διανομής πραγματοποιείται αυτόματος έλεγχος και ενεργοποίηση της εφεδρικής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Κάθε πλατφόρμα αυτοματοποίησης των υποσταθμών έχει την επεξεργαστική ικανότητα να επιτηρήσει και να ελέγξει χιλιάδες σημεία εισόδου-εξόδου και ευφυείς ηλεκτρονικές συσκευές μέσω του δικτύου.



Εικόνα 5 - Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου υποσταθμού ενέργειας: (α) επισκόπηση



Εικόνα 6 - Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου υποσταθμού ενέργειας: (b) Πλαίσια πλατφόρμας αυτοματισμού του υποσταθμού

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελείται από συσκευές που ενσωματώνονται σε ένα δίκτυο συστημάτων - συμπεριλαμβανομένων των πλατφορμών αυτοματοποίησης υποσταθμών - και κάθε μία επικοινωνεί με και ελέγχει χιλιάδες συσκευές δικτύων δύναμης. (βλ. Εικόνα 5, Εικόνα 6)

Η αυτονομία που προσφέρει η συγκεκριμένη εφαρμογή περιλαμβάνει:

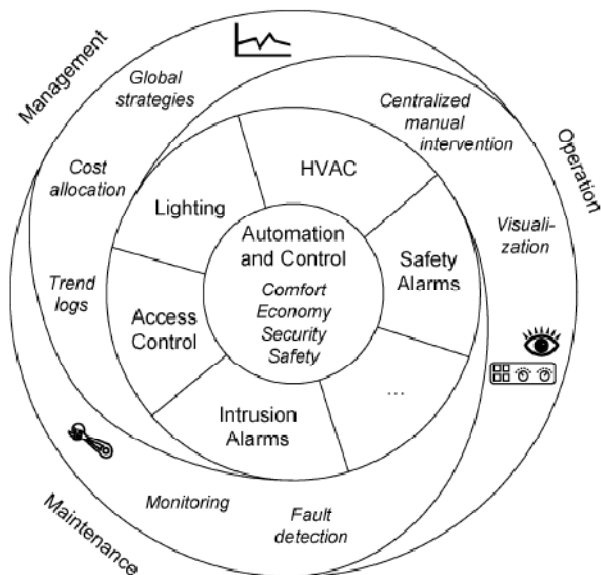
- τον αυτοματισμό της ηλεκτρικής παραγωγής, μετάδοσης και διανομής, συμπεριλαμβανομένου του αυτόματου ελέγχου σταθερής τάσης, βασισμένου στους καθορισμένους από το χρήστη στόχους και ρυθμίσεις.
- τον τοπικό/απομακρυσμένο έλεγχο των κατανεμημένων συσκευών
- τη ρύθμιση των σημείων ελέγχου βασισμένων στα αιτήματα ελέγχου ή τις τιμές εισαγωγής ελέγχου
- την αυτόματη μεταφορά του φορτίου και την αποκατάσταση της ενέργειας στα μη ελαττωματικά τμήματα, αν αυτό είναι δυνατόν
- τον αυτόματο εντοπισμό και απομόνωση των ελαττωμάτων για να μειώσει τους χρόνους διακοπής λειτουργίας των πελατών
- τον έλεγχο ενός δικτύου υποσταθμών και την κίνηση του φορτίου από τους υπερφορτωμένους μετασχηματιστές προς άλλους σταθμούς όπως απαιτείται

2.2.3.3. Αυτοματισμός και Διαχείριση Κτιρίων

Ο αυτοματισμός και η διαχείριση κτιρίων (Building Automation Systems - BAS) μπορεί να θεωρηθεί ως μία ειδική περίπτωση αυτοματισμού διαδικασίας, όπου η διαδικασία είναι το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Η διαδικασία αποτελείται από υπο-διαδικασίες, που είναι διακριτές και συνεχείς, και παρέχουν αυτόματο έλεγχο σε συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο αρχικός στόχος των BAS είναι να πραγματοποιήσουν σημαντική αποταμίευση στην ενέργεια και να μειώσουν το κόστος. Επίσης, έχει επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει πληροφορίες από όλα τα είδη οικοδομικών συστημάτων, λειτουργώντας προς το στόχο των «ευφυών κτηρίων». Δεδομένου ότι αυτά τα συστήματα είναι διαφορετικά από τα παραδοσιακά, τα ζητήματα ολοκλήρωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Σε σύγκριση με τον τομέα του βιομηχανικού αυτοματισμού, ο αυτοματισμός κτιρίων εκθέτει συγκεκριμένα και διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Οι πιο πολύπλοκες διαδικασίες αυτού του πεδίου σχετίζονται με το αντικείμενο του HVAC (Heating, Ventilation, και air-conditioning). Δεδομένου ότι οι διαδικασίες HVAC περιλαμβάνουν μεγάλες (θερμικές) ικανότητες, οι αλλαγές στις παραμέτρους των συστημάτων εμφανίζονται μόνο βαθμιαία. Οι γρήγορες αλλαγές πρέπει να ανιχνευθούν κατά τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Δεδομένου ότι η συμπεριφορά της διαδικασίας είναι αργή, οι απαιτήσεις στους χρόνους απόκρισης ελεγκτών είναι χαλαρές έναντι των βιομηχανικών εφαρμογών ελέγχου. Βέβαια, ο έλεγχος HVAC δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Πρέπει να εξετάσει τις διαταραχές, οι οποίες αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου ως λειτουργία του φορτίου, των καιρικών συνθηκών και της κατοχής του κτιρίου. Αυτές οι επιρροές είναι πιθανολογικής φύσης και επομένως όχι ακριβώς προβλέψιμες, αν και ορισμένες υποθέσεις μπορούν να γίνουν.

Τα σημερινά συστήματα αυτοματοποίησης είναι γενικά γνωστά με το όνομα BAS, παρόλο που οι όροι EMS (Energy Management System), BEMS (Building EMS) και IBMS (Integrated BMS) χρησιμοποιούνται ακόμα, και μερικές φορές σκόπιμα για να αναφερθούν σε συγκεκριμένες λειτουργικές πτυχές. Η Εικόνα 7 επεξηγεί αυτές τις διαφορετικές πτυχές [2].



Εικόνα 7 - Λειτουργικές πτυχές του BAS

Ο βασικός οδηγός της αγοράς του BAS είναι η υπόσχεση της αυξανόμενης άνεσης των χρηστών με μειωμένο κόστος λειτουργίας. Για αυτόν τον λόγο, τα συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίων (BAS) χρησιμοποιούν τα βελτιστοποιημένα σχέδια ελέγχου για τη θέρμανση, τον εξαερισμό, τον κλιματισμό, το φωτισμό και τη σκίαση (HVAC). Οι βελτιώσεις στη ενεργειακή αποδοτικότητα θα συμβάλουν επίσης στην προστασία του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, ο έλεγχος του συστήματος φωτισμού μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Για αυτόν τον λόγο, οι σχετικοί κανονισμοί υποχρεώνουν μερικές φορές τη χρήση BAS.

Μέρος του αυτοματισμού των κτιρίων αποτελούν οι αυτόματες πόρτες. Το άνοιγμα και το κλείσιμό τους ενεργοποιείται με τη βοήθεια αισθητήρων. Ανήκει στη κατηγορία του αυτόματου ελέγχου και αντικαθιστά την ανθρώπινη προσπάθεια χρησιμοποιώντας συμπιεσμένο αέρα ή μία ηλεκτρική μηχανή. Η διαδικασία αυτή βρίσκει εφαρμογή στις πόρτες των λεωφορείων, τρένων και κτιρίων, χωρίς την απαίτηση καμίας ανθρώπινης παρέμβασης.

Ένα ακόμη παράδειγμα αυτής της κατηγορίας αποτελούν ο ανελκυστήρας και ο γερανός. Ανήκουν στη κατηγορία της ανατροφοδότησης (feedback) και λειτουργούν προγραμματισμένα ή με κάποια αλληλεπίδραση. Με τους ανελκυστήρες και τους γερανούς αντικαθίσταται το ανέβασμα και η μεταφορά μέσω της ανθρώπινης προσπάθειας, με υδραυλικές αντλίες και ηλεκτρικές μηχανές.

Όσον αφορά τους ανελκυστήρες, απαιτείται η ελάχιστη προσπάθεια του πατήματος ενός κουμπιού και η ανά τακτά χρονικά διαστήματα συντήρησή του. Στη περίπτωση των γερανών, η ταχύτητα και οι μετακινήσεις απαιτούν την ελάχιστη επίβλεψη.

ΓΑΛΕΡΙΣΤΕΛΗΜΟ ΓΕΡΑΝΑ

2.2.3.4. Έλεγχος Πρόσβασης

Οι ιδιοκτήτες των διάφορων τύπων κυβερνητικών εγκαταστάσεων, επιχειρήσεων και ιδιωτικών ιδιοκτησιών το βρίσκουν απαραίτητο ή επιθυμητό να περιορίσουν την πρόσβαση οχημάτων στα κτήρια ή τις εκτάσεις τους. Για λόγους ασφάλειας αλλά και για άλλους λόγους, μόνο σε εξουσιοδοτημένα οχήματα επιτρέπεται η είσοδος σε συγκεκριμένη πύλη ή σε συγκεκριμένη περιορισμένη περιοχή. Ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου πρόσβασης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για να παρέχει αυτού του είδους την ασφάλεια. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει έναν κωδικοποιημένο αναμεταδότη ενσωματωμένο σε κάθε εξουσιοδοτημένο όχημα, ένα δέκτη δίπλα σε κάθε ελεγχόμενη είσοδο, ένα μικρο-υπολογιστή για το σύστημα ελέγχου και έναν προγραμματιστή μετάδοσης που ασχολείται με την ρύθμιση των μεμονωμένων αναμεταδοτών. Το σύστημα αυτό λειτουργεί με αυτόματο τρόπο, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση και χειρισμό. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα απασχολεί φρουρούς για τη διαβεβαίωση της ακραιότητας και ασφάλειας του συστήματος.

Ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να εξυπηρετήσει ένα σύνολο οχημάτων που ανήκουν σε μία λειτουργία και παράλληλα με την περιορισμένη πρόσβαση, να παρέχουν μία άμεση εγγραφή για συγκεκριμένο όχημα που είναι παρών στην ασφαλισμένη περιοχή. Στις εφαρμογές των κατοικιών, το σύστημα θα μπορούσε να επιτρέπει την άμεση είσοδο στους κατοίκους και να κρατά τους επισκέπτες για εξέταση πριν την είσοδο. Σε ένα νοσοκομείο, ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να αναπτυχθεί ώστε να ειδοποιεί την άφιξη, παρουσία ή αναχώρηση του οχήματος ενός ιατρού και επομένως την παρουσία ή απουσία του ιατρού.

Μία ακόμη εφαρμογή του αυτόματου ελέγχου πρόσβασης είναι ο έλεγχος πρόσβασης με την αναγνώριση προσώπου. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μία βιομετρική συσκευή που αναγνωρίζει ανθρώπινα πρόσωπα, μία βάση δεδομένων που αποθηκεύει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των εξουσιοδοτημένων προσώπων του συστήματος και από έναν υπολογιστή που εκτελεί έναν αλγόριθμο αναγνώρισης προσώπου.

2.2.3.5. Έλεγχος Ασφαλείας

Οι πιο γνωστές εφαρμογές ελέγχου ασφαλείας περιλαμβάνονται στον αυτοματισμό του σπιτιού. Με τον αυτοματισμό του σπιτιού, ο καταναλωτής μπορεί να επιλέξει κάμερες και να παρατηρήσει ζωντανά από μια πηγή Διαδικτύου το σπίτι ή την επιχείρησή του. Οι κάμερες ασφαλείας μπορούν να ελεγχθούν, επιτρέποντας το χρήστη να παρατηρεί τη δραστηριότητα γύρω από ένα σπίτι ή μία επιχείρηση μέσω μιας οθόνης ή ενός πίνακα αφής. Τα αυτόματα συστήματα ασφαλείας περιλαμβάνουν αισθητήρες κινήσεων που ανιχνεύουν οποιοδήποτε είδος αναρμόδιας μετακίνησης και ειδοποιούν το χρήστη μέσω του συστήματος ασφαλείας ή μέσω κινητού τηλεφώνου.

Αυτό το πεδίο εφαρμογών περιλαμβάνει τις διαρροές αερίου και νερού και την ανίχνευση της πυρκαγιάς. Με τη βοήθεια του αυτοματισμού, οι διαρροές αντιμετωπίζονται με το ασφαλές κλείσιμο των παροχών. Από την άλλη, η αυτόματη πυρανίχνευση και τα συστήματα συναγερμών έχουν δύο κύριους σκοπούς, σε περίπτωση πυρκαγιάς:

- να παρέχει μια προειδοποίηση στους κατόχους ενός κτηρίου
- να αρχικοποιήσει το σχέδιο εκτάκτου ανάγκης για τις εγκαταστάσεις που μπορούν να περιλάβουν την εκκένωση.

Όταν αυτά τα συστήματα είναι κατάλληλα εγκατεστημένα και διατηρημένα, μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου για τη ζωή και τον περιορισμό της ζημίας της ιδιοκτησίας σε περίπτωση πυρκαγιάς. Αυτά τα συστήματα μπορούν να μας βοηθήσουν να αποκριθούμε πολύ γρήγορα στις έκτακτες ανάγκες. Δυστυχώς, υπάρχουν περιπτώσεις που μπορούν να παράγουν «ανεπιθύμητα» σήματα συναγερμών πυρκαγιάς, όταν δηλαδή προκαλούνται κατά λάθος τα σήματα και όχι λόγω μιας πυρκαγιάς ή μιας δοκιμής. Η επακόλουθη εκκένωση του κτηρίου σε αυτή τη περίπτωση μπορεί να προκαλέσει την άσκοπη διακοπή της επιχειρησιακής εργασίας.

Τα «ανεπιθύμητα» σήματα συναγερμών πυρκαγιάς είναι ένα διαδεδομένο πρόβλημα και όλες οι υπηρεσίες πυρόσβεσης προσπαθούν να μειώσουν τον αριθμό

ψεύτικων συναγερμών που προκαλούνται από τα αυτόματα συστήματα πυρανίχνευσης.

Αυτές οι πέντε εφαρμογές - μελέτες καλύπτουν ποικίλες περιοχές του αυτοματισμού. Επίσης, καταδεικνύουν το διαφορετικό επίπεδο νοημοσύνης που προγραμματίζεται στην εφαρμογή αυτοματοποίησης, τους διαφορετικούς βαθμούς και διάφορους τύπους ευελιξίας της αυτοματοποίησης.

2.3. Εργαλεία Αυτοματισμού

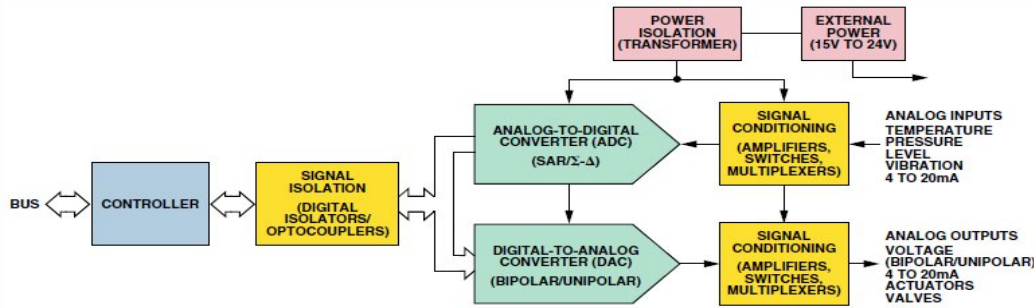
2.3.1. PLC (Programmable Logic Controller)

Ορισμός

Μια ανάπτυξη που συχνά παραμελείται στην ιστορία του αυτόματου ελέγχου είναι ο *προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής* (programmable logic controller - PLC). Οι PLCs αναπτύχθηκαν για να αντικαταστήσουν τα ρελέ που χρησιμοποιούνταν για τη διαδοχική (και συνδυαστική) λογική ελέγχου στους διάφορους βιομηχανικούς τομείς.

Ένας *προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής* είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα που χρησιμοποιεί ψηφιακές ή αναλογικές μονάδες για τον έλεγχο μηχανών, διαδικασιών και άλλων μονάδων ελέγχου. Ένας PLC μπορεί να λάβει (είσοδος) και να μεταδώσει (έξοδος) πολλών τύπων ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά σήματα και να τα χρησιμοποιήσει για τον έλεγχο και την παρακολούθηση οποιουδήποτε μηχανικού ή ηλεκτρικού συστήματος. Τα PLCs κατηγοριοποιούνται από τον αριθμό των λειτουργιών εισόδου/εξόδου που παρέχουν. Για παράδειγμα, ένας nano προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής ενσωματώνει λιγότερες από 32 I/Os, ένας micro PLC έχει μεταξύ 32 και 128 I/Os, ένας small PLC έχει μεταξύ 128 και 256 I/Os, και ούτω καθεξής. Ένα τυπικό σύστημα PLC παρουσιάζεται στην Εικόνα 8 [3].

Ένα σύστημα PLC περιλαμβάνει μονάδες εισόδου, μονάδες εξόδου και μονάδες εισόδου/εξόδου. Επειδή πολλές εισοδοί και έξοδοι περιλαμβάνουν αναλογικές μεταβλητές, ενώ οι ελεγκτές είναι ψηφιακοί, τα σχεδιαστικά θέματα - όσον αφορά το υλικό - στα PLC συστήματα συγκεντρώνονται στις απαιτήσεις των DACs (digital-to-analog) και ADCs (analog-to-digital) μετατροπών, στις απαιτήσεις των σημάτων εισόδου και εξόδου καθώς και στην απομόνωση των ηλεκτρικών καλωδίων εισόδου και εξόδου τόσο από τον ελεγκτή, όσο και μεταξύ τους.



Εικόνα 8 - Αρχιτεκτονική PLC Συστήματος

Ιστορική Αναδρομή

Η λειτουργία των αυτοματισμών ενσύρματης λογικής (Wired Logic) στηρίζεται στη χρήση διακριτών, κυρίως ηλεκτρομηχανικών στοιχείων όπως ρελέ αλλά και αναλογικών ή ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων όπως πύλες AND και OR. Ο κατασκευαστής του συστήματος πραγματοποιεί από πριν τη μελέτη και έπειτα προχωρεί στην κατασκευή του. Οποιαδήποτε αλλαγή στο σχέδιο του αυτοματισμού πρέπει να αντιμετωπισθεί με αλλαγή της συρμάτωσης μεταξύ των στοιχείων (τροποποίηση συνδεσμολογίας). Αυτό ίσως προκαλέσει διάφορα τεχνικά προβλήματα π.χ. χώρου με την χρησιμοποίηση κι άλλων ρελέ ή επαρκείας επαφών.

Με την εμφάνιση των μικροεπεξεργαστών πολλά πράγματα άλλαξαν και σ' αυτόν το τομέα. Οι αυτοματισμοί υλοποιούνται με την χρήση μικροεπεξεργαστών, μνημών ROM - RAM και I/O CHIPS (συστήματα Data Acquisition). Για την οδήγηση όμως των κυκλωμάτων ισχύος, απαιτείται η χρήση ενδιάμεσων στοιχείων προσαρμογής των σημάτων. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται και συστήματα προγραμματιζόμενης λογικής. Το βασικό μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή που απαιτεί εμπειρία καθώς γίνεται σε γλώσσα μηχανής (Assembly) και προϋποθέτει αρκετό χρόνο μελέτης. Επιπλέον οι κάρτες των μικροεπεξεργαστών παρουσιάζουν προβλήματα όταν λειτουργούν σε βιομηχανικό περιβάλλον (υγρασία, σκόνη, υψηλός ηλεκτρικός θόρυβος κλπ.).

Η λύση που ήρθε να γεφυρώσει το χάσμα ανάμεσα στα δύο συστήματα υλοποίησης αυτοματισμών ήταν ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (P.L.C.) ή πιο απλά προγραμματιζόμενος ελεγκτής. Πρόκειται για υπολογιστές που

χρησιμοποιούνται στην αυτοματοποίηση των ηλεκτρομηχανικών διαδικασιών, όπως ο έλεγχος των μηχανημάτων σε ένα εργοστάσιο. Οι πρώτοι πίνακες συνδέσεων εμφανίστηκαν στα μέσα του 1960, αλλά ο πρώτος PLC ήταν πιθανώς το Modicon, που αναπτύχθηκε από τη General Motors για να αντικαταστήσει τους ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους μέσα στην παραγωγή αυτοκίνητων. Οι σύγχρονοι PLCs προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα των επιλογών ελέγχου, συμπεριλαμβανομένων των συμβατικών αλγορίθμων κλειστού Loop όπως είναι οι PID

Πλεονεκτήματα

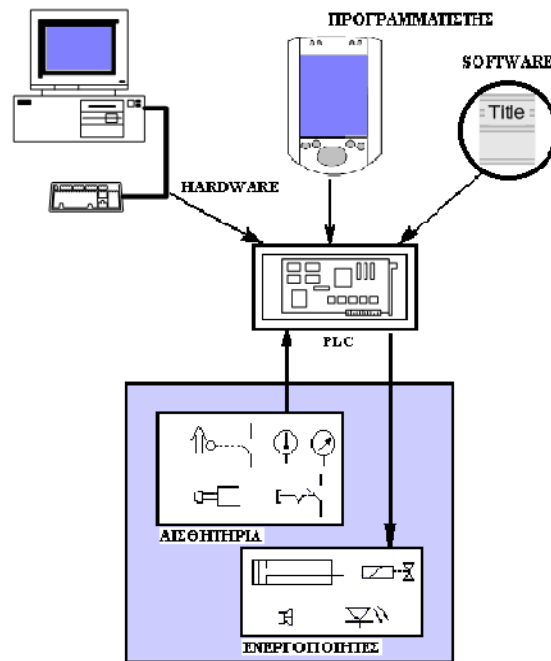
Παρά την άνοδο των ενισχυμένων και εξελιγμένων PCs σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, οι PLCs χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως εξ αιτίας της αξιοπιστίας και της οικειότητάς τους. Πολλά είναι τα πλεονεκτήματα που τα κατατάσσουν τόσο ψηλά στον Αυτόματο έλεγχο. Μερικά από αυτά είναι:

- Η γλώσσα προγραμματισμού των PLCs είναι προσαρμοσμένη στο κλασικό βιομηχανικό αυτοματισμό. Επομένως είναι προσιτή και εύκολα κατανοητή απ' όλους του εγκαταστάτες αυτοματισμών.
- Καταλαμβάνουν μικρό χώρο
- Η συντήρησή τους είναι απλή και εύκολη
- Παρέχουν ευελιξία στις μετατροπές του αρχικού κυκλώματος
- Παρέχουν γρήγορο εντοπισμό βλαβών
- Έχουν επάρκεια επαφών, ρελέ, χρονικών κ.λ.π.
- Άψογη λειτουργία ακόμα και σε δύσκολο βιομηχανικό περιβάλλον
- Συνδέονται με περιφερειακές μονάδες (οθόνη, πληκτρολόγια, modems) για επιτήρηση - έλεγχο - μετάδοση πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις.

Δομή των PLCs

Ο προγραμματισμός και το μέγεθος των PLCs διαφέρει ανάλογα τον κατασκευαστή. Η δομή τους όμως παραμένει η ίδια και φαίνεται στην Εικόνα 9. Ένας PLC έχει τη δυνατότητα εκτεταμένων συνδέσεων εισόδου/εξόδου, οι οποίες είναι κατασκευασμένες εσωτερικά του ελεγκτή ή ο ελεγκτής έχει εξωτερικές I/O

ενότητες με ένα δίκτυο που συνδέεται με αυτόν. Αυτές συνδέονται με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές (βλ. Εικόνα 9) [4].



Εικόνα 9 - Δομή P.L.C.

Ο άνθρωπος αλληλεπιδρά με τα PLCs μέσω λαμπών και κουμπιών. Επίσης, υπάρχουν ενδείξεις κειμένου και γραφικές οθόνες αφής. Σε πολυπλοκότερα συστήματα η αλληλεπίδραση γίνεται μέσω των HMI (βλ. §2.3.4) ή μέσω ειδικού λογισμικού που εγκαθίσταται σε υπολογιστή και επικοινωνεί με τον ελεγκτή με κάποιο γραφικό.

Οι PLCs περιέχουν εσωτερικά κανάλια επικοινωνίας όπως τα RS-232, Ethernet. Τα MODbus, BacNET και IIB είναι μερικά από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν. Οι πιο σύγχρονοι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές μπορούν να επικοινωνούν μέσω δικτύου με άλλα συστήματα, όπως ένα υπολογιστή που τρέχει ένα σύστημα SCADA.

2.3.2. PAC (Programmable Automation Controller)

Ο προγραμματιζόμενος αυτόματος ελεγκτής (PAC – Programmable Automation Controller) είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα που χρησιμοποιείται για αυτοματισμό, έλεγχο διαδικασιών και συλλογή δεδομένων. Ως δημιουργός του όρου PAC αναγνωρίζεται γενικά η συμβουλευτική ομάδα ARC, μια ομάδα αναλυτών που δραστηριοποιείται στη βιομηχανία κατασκευής. Επισοήθηκε το 2001 για να μπορούν οι χρήστες του υλικού ελέγχου να καθορίζουν καλύτερα τις ανάγκες τους αλλά και για να δώσει στους κορυφαίους προμηθευτές υλικού ελέγχου έναν όρο για να επικοινωνήσει με τις ικανότητες των προϊόντων τους.

Χαρακτηριστικά

- **Multi-functionality**

Οι ελεγκτές PAC είναι πολύ-λειτουργικοί καθώς χειρίζονται ομοίως αναλογικούς, ψηφιακούς και σειριακούς τύπους σημάτων σε όλες τις βιομηχανικές εφαρμογές. Από τη εναλλαγή απλών καταστάσεων on/off και την εκτέλεση σύνθετων PID αλγορίθμων για τον έλεγχο θερμοκρασίας μέχρι τη συλλογή δεδομένων από RFID tags, οι PACs χειρίζονται πολλές λειτουργίες αμέσως.

- **Multi-domain**

Οι PACs διασταυρώνουν τους παραδοσιακούς τομείς. Το ίδιο υλικό είναι επάξια χρήσιμο στη συλλογή δεδομένων, την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο διαδικασιών. Το λογισμικό είναι εύκολο στη χρήση και δίνει τη δυνατότητα προσαρμογής των PACs στις απαιτήσεις του χρήστη.

- **Πρότυπα ανοιχτής επικοινωνίας**

Για τη μέγιστη ολοκλήρωση με την επιχείρηση και το χαμηλότερο κόστος υλοποίησης, οι PACs χρησιμοποιούν πρότυπα πρωτόκολλα και IT συστατικά. Το υλικό με δικτύωση Ethernet είναι φτηνό, εύκολα διαθέσιμο και πλήρως κατανοητό. Τα πρότυπα πρωτόκολλα όπως το IP, TCP, UDP, FTP, SMTP και SNMP βρίσκονται ήδη σε χρήση από τους υπολογιστές της επιχείρησης.

- **Multitasking**

Οι PACs χειρίζονται πολλές εργασίες ταυτόχρονα. Επιπλέον του ελέγχου διαδικασιών, οι οποίες ανεξάρτητα διαβάζουν και γράφουν σε μεταβλητές και συσκευές του συστήματος, ο ελεγκτής PAC μπορεί να επικοινωνεί με πολλούς πελάτες χρησιμοποιώντας μία ποικιλία πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

- **Modular αρχιτεκτονική**

Οι πρότυπες μονάδες, από τις οποίες αποτελείται ένας PAC, προσδίδουν μία ευφυΐα όπου χρειάζεται και την κατανέμουν σε όλο το σύστημα. Η κατανεμημένη επεξεργασία σημαίνει ότι η μέτρηση και τα PID loops λειτουργούν ανεξάρτητα σε κάθε κατανεμημένο επεξεργαστή, αφήνοντας τον κεντρικό ελεγκτή ελεύθερο να επιτηρεί το σύστημα.

- **Ανταλλαγή δεδομένων από διαφορετικούς προμηθευτές**

Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει χαμηλότερο κόστος ολοκλήρωσης. Για παράδειγμα, η ανταλλαγή δεδομένων με τη χρήση OLE για τη διαδικασία ελέγχου (OPC) διευκολύνει την εγγραφή και ανάγνωση των σημείων I/O και των μεταβλητών που διαχειρίζεται ο PAC.

- **Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης**

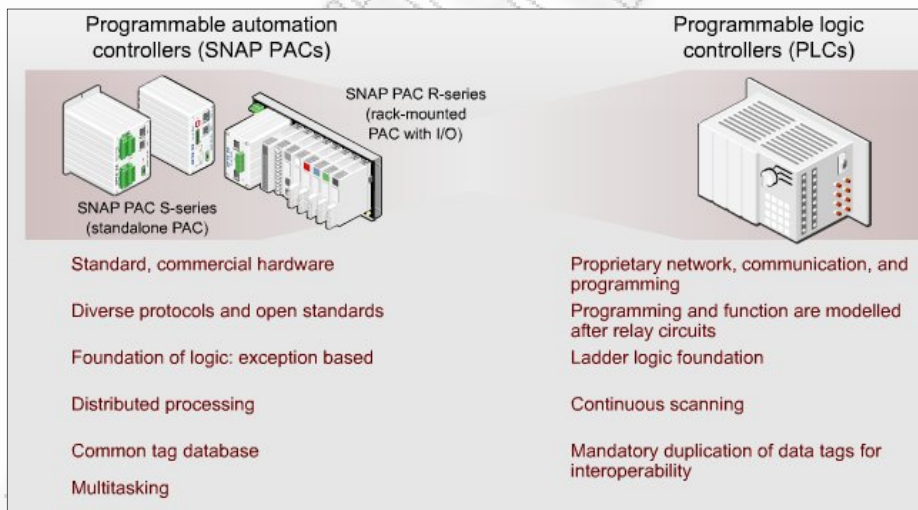
Το πλήρες ολοκληρωμένο λογισμικό που χρησιμοποιείται με τους PACs μειώνει το κόστος ανάπτυξης και συντήρησης. Όταν κατασκευάζεται η προγραμματιστική λογική δημιουργείται αυτόματα και μία βάση δεδομένων. Αυτή η βάση είναι άμεσα διαθέσιμη για την ανάπτυξη διεπαφών χειρισμού και την μεταφορά δεδομένων σε OPC πελάτες και SQL βάσεις δεδομένων. Επίσης, χρησιμοποιούνται διαγράμματα ροής κατά το σχεδιασμό και εντολές με αγγλικό συντακτικό, κάτι που διευκολύνει ακόμα περισσότερο την ανάπτυξη και συντήρηση.

Σύγκριση PAC - PLC

Πρόσφατα, πολλοί προμηθευτές άρχισαν να κατηγοριοποιούν τα καινούρια συστήματά τους ως PACs, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν τον όρο PAC εναλλακτικά του όρου PLC. Παρά αυτή την αντιφατικότητα, οι PACs έχουν ένα συγκεκριμένο σύνολο χαρακτηριστικών και οι ομοιότητές τους με τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές είναι τόσες, όσες είναι οι διαφορές τους.

Γενικά, οι PACs με τους PLCs ικανοποιούν τον ίδιο στόχο. Χρησιμοποιούνται για αυτοματισμό, έλεγχο διαδικασιών και συλλογή δεδομένων όπως ο ψηφιακός ή αναλογικός έλεγχος, PID, έλεγχος κίνησης και οπτικοποίηση μηχανών. Παρόλα αυτά έχουν ένα σύνολο διαφορών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 10.

Οι PACs, σε αντίθεση με τους ελεγκτές PLCs, προσφέρουν ανοικτές modular αρχιτεκτονικές. Αυτό συμβαίνει γιατί οι περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές διαμορφώνονται και το υλικό ελέγχου που χρησιμοποιούν πρέπει να επιτρέπει στους μηχανικούς να επιλέγουν τα άλλα συστατικά της αρχιτεκτονικής χωρίς να προβληματίζονται εάν θα είναι συμβατές με τον ελεγκτή.



Εικόνα 10 - Διαφορές PLC και PAC

Επίσης, ο προγραμματισμός τους είναι διαφορετικός. Οι PLCs προγραμματίζονται συνήθως σε γλώσσα ηλεκτρολογικών γραφικών (ladder logic), που χρησιμοποιεί ηλεκτρομηχανικά σύμβολα και επιτρέπει ουσιαστικά τη μεταφορά του ηλεκτρολογικού σχεδίου στο PLC. Τα προγράμματα ελέγχου PAC

αναπτύσσονται συνήθως με περισσότερο γενικά εργαλεία λογισμικού που επιτρέπουν στο σχεδιασμένο πρόγραμμα να μοιράζεται σε διαφορετικές μηχανές, επεξεργαστές, HMI τερματικά ή άλλα συστατικά της αρχιτεκτονικής.

Τέλος, οι PLCs ανιχνεύουν συνεχώς όλες τις I/O εισόδους στο σύστημα ελέγχου με πολύ γρήγορους ρυθμούς, ενώ οι ελεγκτές PACs χρησιμοποιούν μια ενιαία βάση δεδομένων και ένα λογικό σύστημα διευθύνσεων για να προσδιορίζει και να χαρτογραφεί τα I/O σημεία όπως απαιτούνται.

2.3.3. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

Ο όρος SCADA αναφέρεται στα συστήματα απομακρυσμένου εποπτικού χειρισμού και συλλογής δεδομένων για τη πλήρη αυτοματοποίηση εγκαταστάσεων. Αναφέρεται γενικά στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου ως ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν και παρακολουθούν βιομηχανικές διαδικασίες, ως διαδικασίες συγκροτημάτων και ως διαδικασίες υποδομών:

- Οι βιομηχανικές διαδικασίες περιλαμβάνουν τις διαδικασίες κατασκευής, παραγωγής, ηλεκτρικής παραγωγής, της επεξεργασίας και καθαρισμού, και μπορούν να τρέξουν με συνεχείς, batch, επαναλαμβανόμενους ή διακριτούς τρόπους.
- Οι διαδικασίες δυνατότητας εμφανίζονται στις δημόσιες και τις ιδιωτικές εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων των κτηρίων, των αερολιμένων, των σκαφών και των διαστημικών σταθμών. Επιτηρούν και ελέγχουν την HVAC¹, την πρόσβαση και την κατανάλωση ενέργειας.
- Οι διαδικασίες υποδομής μπορούν να είναι δημόσιες ή ιδιωτικές και περιλαμβάνουν την κατεργασία και διανομή ύδατος, τη συλλογή και την επεξεργασία απόβλητου ύδατος, το πετρέλαιο και τους αγωγούς υγραερίου, τη μετάδοση και τη διανομή ηλεκτρικής δύναμης, τα αιολικά πάρκα, τα συστήματα σειρήνων πολιτικής άμυνας και τα μεγάλα συστήματα επικοινωνιών.

Ένα σύστημα SCADA αποτελείται από τα εξής υπό-συστήματα:

- Μία **HMI** (Human-Machine Interface) διεπαφή η οποία παρουσιάζει τα δεδομένα των διαδικασιών σε έναν ανθρώπινο χειριστή, και μέσω αυτής, μπορεί ο χειριστής να ελέγχει και να εποπτεύει τη διαδικασία.
- Ένα **εποπτικό σύστημα υπολογιστών**, που συγκεντρώνει δεδομένα μιας διαδικασίας (απόκτηση) και στέλνει εντολές στη διαδικασία (έλεγχος).
- **Μονάδες απομακρυσμένων τερματικών** (Remote Terminal Units - RTUs) που συνδέονται με τους αισθητήρες σε μία διαδικασία, μετατρέπουν τα σήματα των

¹ HVAC = Heating, Ventilating, Air Conditioning

αισθητήρων σε ψηφιακά δεδομένα και στέλνουν ψηφιακά δεδομένα στο εποπτικό σύστημα.

- **Προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs)** που χρησιμοποιούνται ως συσκευές τομέων επειδή είναι πιά οικονομικές, ευπροσάρμοστες, εύκαμπτες και διαμορφώσιμες από τα ειδικής χρήσης RTUs.
- **Υποδομή επικοινωνίας** που συνδέει το εποπτικό σύστημα με τις μονάδες απομακρυσμένων τερματικών (RTUs).

Ο όρος SCADA αναφέρεται συνήθως σε κεντρικά συστήματα που παρακολουθούν και ελέγχουν sites ή πολύπλοκα συστήματα που επεκτείνονται σε μεγάλες περιοχές. Οι περισσότερες ενέργειες ελέγχου πραγματοποιούνται από τις μονάδες RTU αλλά και από τους PLCs. Οι host λειτουργίες ελέγχου συνήθως περιορίζονται στην επέμβαση σε εποπτικό επίπεδο. Αυτό σημαίνει ότι ένας PLC μπορεί να ελέγξει τη ροή νερού σε μία βιομηχανία, αλλά το σύστημα SCADA δίνει τη δυνατότητα στους χειριστές να αλλάξει τα σημεία μέτρησης - σύγκρισης της ροής. Ο βρόχος ανατροφοδότησης ελέγχου περνά μέσω του RTU ή του PLC, ενώ το σύστημα SCADA ελέγχει τη γενική απόδοση του βρόχου.

Όσον αφορά τη συγκέντρωση δεδομένων, αυτή γίνεται σε επίπεδο RTU ή PLC και περιλαμβάνει μετρήσεις και αναφορές για τη κατάσταση του εξοπλισμού που είναι συνδεδεμένος στο σύστημα SCADA. Κατόπιν, τα δεδομένα μεταγλωττίζονται και διαμορφώνονται έτσι ώστε ένας χειριστής ελέγχου που χρησιμοποιεί μία HMI διεπαφή να μπορεί να πάρει εποπτικές αποφάσεις οι οποίες προσαρμόζουν ή αλλάζουν τον κανονικό έλεγχο των PLCs και RTUs.

Ένα σημαντικό κομμάτι των περισσότερων συστημάτων SCADA είναι ο χειρισμός του συναγερμού. Το σύστημα παρακολουθεί τότε ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες, για να καθορίσει τη στιγμή που συμβαίνει ένα περιστατικό συναγερμού. Όταν ένα τέτοιο περιστατικό λαμβάνει χώρα, μία ή περισσότερες ενέργειες πραγματοποιούνται, όπως η ενεργοποίηση των συναγερμών και η αποστολή ενημερωτικών μηνυμάτων στους χειριστές. Ένας συναγερμός μπορεί να είναι μία σειρήνα, ένα pop-up μήνυμα στην οθόνη ή μία χρωματισμένη περιοχή στην οθόνη. Σε κάθε περίπτωση, ο ρόλος του συναγερμού

είναι να τραβήξει τη προσοχή του χειριστή στο σημείο που έχει συμβεί κάτι ώστε να λάβει τα κατάλληλα μέτρα.

Τα συστήματα SCADA εξελίχθηκαν μέσω τριών γενιών. Η πρώτη γενιά, η μονολιθική, χρησιμοποιούσε mainframes για τους υπολογισμούς. Αρχικά, δεν υπήρχαν δίκτυα με αποτέλεσμα τα SCADA συστήματα να είναι ανεξάρτητα χωρίς καμία σύνδεση με άλλα. Τα WAN σχεδιάστηκαν αργότερα από τους κατασκευαστές των μονάδων RTUs για να επικοινωνούν με αυτές. Όμως, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούσαν ήταν αποκλειστικά. Στην ουσία, η πρώτη γενιά ήταν περιττή καθώς το εφεδρικό mainframe συνδεόταν σε επίπεδο bus και χρησιμοποιούνταν μόνο όταν ο πρωταρχικός αποτύγχανε.

Στη δεύτερη γενιά, τη κατανεμημένη, η διεργασία κατανεμόταν σε πολλαπλούς σταθμούς μέσω ενός LAN και μοιράζονταν πληροφορία σε πραγματικό χρόνο. Κάθε σταθμός ήταν υπεύθυνος για μία συγκεκριμένη εργασία. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας παρέμεναν αποκλειστικά, οδηγώντας σε σοβαρά προβλήματα ασφάλειας όταν προσέλκυαν τη προσοχή ενός hacker.

Η τρίτη και τρέχουσα γενιά είναι η δικτυοκεντρική. Χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική ανοιχτών συστημάτων και όχι ένα περιβάλλον αποκλειστικά για τους προμηθευτές. Αξιοποιεί ανοιχτά πρότυπα και πρωτόκολλα, κατανέμοντας τη λειτουργικότητα διαμέσου ενός WAN και όχι LAN. Σε αυτή τη γενιά είναι ευκολότερη η σύνδεση περιφερειακών συσκευών, όπως εκτυπωτές, λόγω της ανοιχτής αρχιτεκτονικής. Χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα WAN, όπως το IP, για την επικοινωνία μεταξύ του κεντρικού σταθμού και των εξοπλισμών. Όμως, τα συστήματα αυτά είναι ευπαθή σε απομακρυσμένες επιθέσεις μέσω του διαδικτύου, λόγω των προτυποποιημένων πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούν και της πρόσβασης του μέσω του Διαδικτύου. Από την άλλη, η χρήση αυτών των πρωτοκόλλων και τεχνικών ασφαλείας δίνει τη δυνατότητα βελτιώσεων των SCADA συστημάτων, θεωρώντας ότι λαμβάνουν έγκαιρη συντήρηση και αναβάθμιση.

2.3.4. HMI (Human Machine Interface)

Ο όρος HMI (Human-Machine Interface) αναφέρεται σε μία συσκευή - διεπαφή η οποία συνδέεται τοπικά σε μία μηχανή ή σε κάποιον εξοπλισμό και χρησιμοποιείται για τον χειρισμό και τον έλεγχο της. Η HMI διεπαφή παρουσιάζει τα δεδομένα των διαδικασιών σε έναν ανθρώπινο χειριστή, και μέσω αυτής, μπορεί ο χειριστής να ελέγχει και να εποπτεύει τη διαδικασία.

Ένα HMI σύστημα παρουσιάζει συχνά στους χειριστές την πληροφορία μέσω γραφικών, σαν ένα διάγραμμα απομίμησης της διαδικασίας. Επομένως, το προσωπικό μπορεί να παρακολουθήσει μία σχηματική αναπαράσταση του συστήματος που ελέγχει. Για παράδειγμα, η εικόνα μιας αντλίας που συνδέεται σε ένα σωλήνα μπορεί να δείξει στον χειριστή ότι η αντλία λειτουργεί κανονικά και ποια είναι η ροή σε πραγματικό χρόνο. Αν ο χειριστής κλείσει την αντλία, το HMI λογισμικό θα δείξει τη μείωση της ροής σε πραγματικό χρόνο. Τα διαγράμματα απομίμησης περιέχουν γραμμικά διαγράμματα και σύμβολα που αναπαριστούν τα στοιχεία της διαδικασίας, ή ψηφιακές φωτογραφίες του εξοπλισμού εμπλουτισμένες με σύμβολα animation.

Συνήθως, ένα HMI συνδέεται με τη βάση δεδομένων και τα προγράμματα ενός συστήματος SCADA ώστε να παρέχει διαγνωστικά δεδομένα, λογιστικές πληροφορίες, αναλυτικά σχήματα συγκεκριμένου αισθητήρα ή μηχανής, οδηγούς λύσης προβλημάτων και πληροφορίες διαχείρισης όπως προγραμματισμένες διαδικασίες συντήρησης.

2.4. Αρχιτεκτονικές

2.4.1. Πρωτόκολλα

2.4.1.1. BACnet

Τη δεκαετία του '80 τα συστήματα μικροεπεξεργαστών βασισμένα στον άμεσο ψηφιακό έλεγχο (direct digital control) άρχισαν να κάνουν την εμφάνισή τους στην αγορά. Το βασικό πρόβλημα που υπήρχε ήταν η έλλειψη επικοινωνίας μεταξύ των συστημάτων ελέγχου διαφορετικών κατασκευαστών. Ο πελάτης δεν είχε τη δυνατότητα να επιλέξει το καλύτερο σύστημα ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας, το καλύτερο ψηφιακό ελεγκτή ή το καλύτερο τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συσκευών αυτών των συστημάτων ήταν κρίσιμη για την επιτυχή λειτουργία των κτιριακών συστημάτων. Η λύση σε αυτά τα προβλήματα είναι ένα προτυποποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

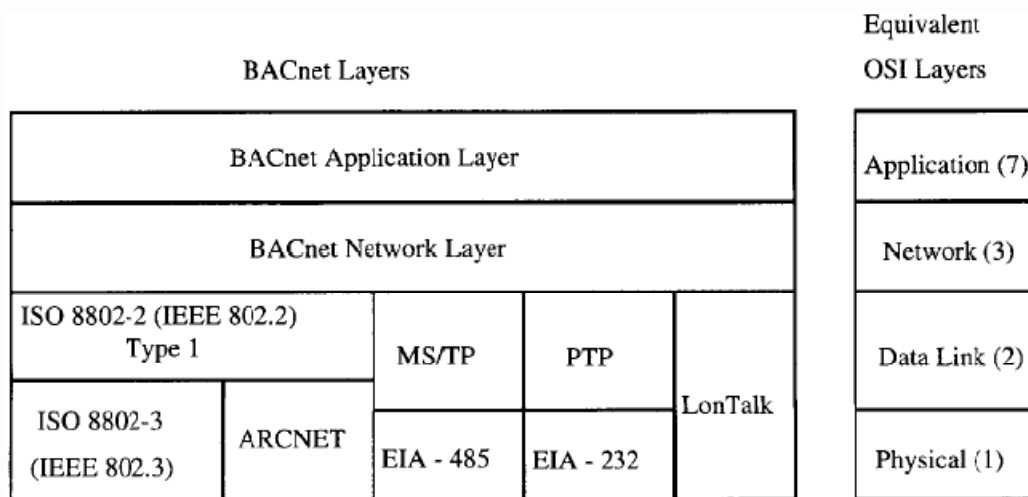
Το BACnet™ (Building Automation & Control Networks) είναι ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας για τον κτιριακό αυτοματισμό και έλεγχο των δικτύων που αναπτύσσονται από την Αμερικανική κοινωνία των μηχανικών θέρμανσης, κατάψυξης και κλιματισμού [5]. Το BACnet παρέχει την επικοινωνιακή υποδομή που χρειάζεται για την ενσωμάτωση των προϊόντων που γίνονται από διαφορετικούς προμηθευτές και για την ενσωμάτωση των κτιριακών υπηρεσιών που είναι τώρα ανεξάρτητες. Το BACnet έγινε Πρότυπο ASHRAE/ANSI 135 το 1995 και ISO 16484-5 το 2003. Η μέθοδος δοκιμής για την προσαρμογή σε BACnet δημοσιεύθηκε το 2003 ως BSR/ASHRAE Standard 135.1. Το BACnet βρίσκεται κάτω από συνεχή συντήρηση από την ASHRAE Standing Standard Project Committee 135.

Το BACnet πρωτόκολλο ορίζει ένα πλούσιο και περιεκτικό σύνολο υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται μεταξύ των κτιριακών συσκευών αλλά οι κλάσεις προσαρμογής είναι ορισμένες έτσι ώστε τα πρότυπα να μπορούν να υλοποιούνται από συσκευές με ένα ευρύ φάσμα ικανοτήτων. Οι υπηρεσίες πρωτοκόλλου περιλαμβάνουν τις υπηρεσίες Who-Is, I-Am, Who-Has, I-Have, που χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη συσκευών και αντικειμένων. Υπηρεσίες όπως η ιδιότητα ανάγνωσης και εγγραφής (Read-Property / Write-Property) χρησιμοποιούνται για τον διαμοιρασμό δεδομένων.

Επίσης, ορίζει ένα σύνολο αντικειμένων που ενεργούν πάνω από τις υπηρεσίες. Τα αντικείμενα αυτά περιλαμβάνουν αναλογική είσοδο-έξοδο για το υλικό, δυαδική είσοδο-έξοδο για το υλικό και τιμές για το λογισμικό, είσοδο-έξοδο πολλαπλών καταστάσεων, ημερολόγιο, πληροφορίες χρονοδιαγραμμάτων, συναγερμών και ειδοποιήσεων, εγγραφή γεγονότων, αρχεία, ομαδοποιήσεις, επαναλήψεις, προγράμματα, εντολές και συσκευές. Επιπλέον, καθορίζει ένα πλήθος στρωμάτων ζεύξης δεδομένων και φυσικών στρωμάτων, συμπεριλαμβανομένου του ARCNET, Ethernet, BACnet/IP, Point-To-Point πάνω από RS -232, Master-Slave/ Token-Passing πάνω από RS -485 και LonTalk.

Τέλος, το BACnet δεν καθορίζει την εσωτερική διαμόρφωση, τις δομές δεδομένων, ή τη λογική ελέγχου των ελεγκτών. Οι πληροφορίες που πρέπει να είναι ορατές στο δίκτυο επικοινωνίας είναι αφηρημένες από τις λεπτομέρειες της υλοποίησης μέσω της χρήσης τυπικών αντικειμένων. Η χαρτογράφηση μεταξύ των πρότυπων αντικειμένων και των υποκείμενων δεδομένων και διαδικασιών αφήνεται στον κατασκευαστή.

Το BACnet έχει μία πολυστρωματική αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου, βασισμένη σε μία συμπιεσμένη έκδοση του OSI [6]. Τα επίπεδα 1, 2, 3 και 7 του μοντέλου OSI χρησιμοποιούνται όπως φαίνεται στην Εικόνα 11 [7]. Κοινά πρωτόκολλα στα επίπεδα εφαρμογής και δικτύου χρησιμοποιούνται με οποιαδήποτε από τις τέσσερις επιλογές για τις τεχνολογίες τοπικής δικτύωσης (LAN) ή ένα (PTP) πρωτόκολλο κατάλληλο για τηλεφωνικές επικοινωνίες. Το επίπεδο δικτύου παρέχει έναν τρόπο διασύνδεσης ανόμοιων LANs για τη διαμόρφωση ενός διαδικτύου.



Εικόνα 11 - BACnet αρχιτεκτονική

Ο Πίνακας 2 συνοψίζει εν συντομία κάθε τεχνολογία [5]. Το κόστος συστημάτων ανά κόμβο αντιπροσωπεύει το κόστος αυτής της τεχνολογίας σε ένα πραγματικό σύστημα συμπεριλαμβανομένων διαφόρων ζητημάτων όπως οι δαπάνες καλωδίωσης, οι δαπάνες εγκαταστάσεων και η ανάγκη για τις συσκευές.

LAN	Κόστος συστήματος/κόμβο	Ταχύτητα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ethernet	υψηλό	10-100Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • Διεθνές πρότυπο • Ήδη στα περισσότερα κτίρια • Ποικιλία μέσων(UTP, coax, fiberoptic) • Πολύ γρήγορο • Εύκολη διεπαφή με PCs • Όχι ειδικά εργαλεία ανάπτυξης 	<ul style="list-style-type: none"> • υψηλό κόστος • περιορισμοί απόστασης • μη-ντετερμινιστικό

ARCNET	μεσαίο	150K- 7.5Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • ANSI πρότυπο • ντετερμινιστική απόκριση • κλιμακωτή ταχύτητα • ποικιλία μέσων (UTP, coax, fiberoptic) • πολύ γρήγορο • Όχι ειδικά εργαλεία ανάπτυξης • Υψηλή απόδοση για μεσαίο κόστος 	<ul style="list-style-type: none"> • chip μιας πηγής • too costly for low-end unitary controllers • περιορισμοί απόστασης
MS/TP	χαμηλό	9.6K- 76Kbps	<ul style="list-style-type: none"> • ANSI πρότυπο • Χαμηλό κόστος • Υλοποιείται σε επεξεργαστή ενός chip • ντετερμινιστική απόκριση 	<ul style="list-style-type: none"> • ένα μέσο (EIA-485) • περιορισμένη ταχύτητα
PTP	χαμηλό	9.6K- 56Kbps	<ul style="list-style-type: none"> • μόνη επιλογή για dial-up • ειδικά σχεδιασμένο για point-to-point εφαρμογές • φιλοξενεί μοντέρνα πρότυπα για modem (V.32bis, V.42) 	<ul style="list-style-type: none"> • μόνο point-to-point • περιορισμένη ταχύτητα
LonTalk	Χαμηλό-μεσαίο	32K- 1.25Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • ποικιλία μέσων (UTP, coax, RF, IR, fiberoptic) • κλιμακωτή ταχύτητα 	<ul style="list-style-type: none"> • μη-ντετερμινιστικό • περιορισμοί απόστασης • chip μιας

	πηγής
	• ειδικά
	εργαλεία
	ανάπτυξης
	• περιορισμένο
	μέγεθος
	εφαρμογής

Πίνακας 2 - Τεχνολογίες Δικτύωσης LAN

Το έτος 2010 χαρακτήρισε τη 15η επέτειο του BACnet ως ένα ANSI πρότυπο. Τα προϊόντα BACnet επεκτείνονται παγκοσμίως σε πολλά είδη εφαρμογών αυτοματοποίησης. Μερικές εκτιμήσεις δείχνουν περισσότερους από 10 εκατομμύρια κόμβους BACnet ενώ αυτός ο αριθμός εμφανίζεται να αυξάνεται σημαντικά κάθε έτος. Επίσης, βασισμένοι στην έκδοση του προσδιορισμού των BACnet προμηθευτών, ο ρυθμός ανάπτυξης των κατασκευαστών που χρησιμοποιούν BACnet αυξάνεται επίσης αισθητά, περνώντας τους 500 προμηθευτές το Φεβρουάριο του 2011.

2.4.1.2. LonWorks

Το LonWorks είναι μία οικογένεια προϊόντων που αναπτύχθηκε αρχικά από την εταιρία Echelon. Στον πυρήνα αυτής της τεχνολογίας είναι ένα ιδιόκτητο πρωτόκολλο επικοινωνιών αποκαλούμενο LonTalk. Ο όρος «ιδιόκτητο» σημαίνει ότι η τεχνολογία ανήκε αρχικά σ' έναν ιδιοκτήτη, την Echelon [5].

Το πρωτόκολλο LonTalk που χρησιμοποιείται στα δίκτυα LonWorks, είναι ένα ισχυρό πρωτόκολλο για την ανταλλαγή πληροφοριών, σχεδιασμένο για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε μια μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών εφαρμογών. Το πρωτόκολλο συμμορφώνεται πλήρως με το μοντέλο OSI για τη διασύνδεση ανοικτών συστημάτων (Open Systems Interconnection) που είναι αναπτυγμένο από

την Οργάνωση Διεθνών Προτύπων (ISO). Το πρωτόκολλο είναι ένα peer-to-peer πρωτόκολλο που επιτρέπει όλες τις συσκευές που συνδέονται με το δίκτυο να επικοινωνούν η μία με την άλλη. Οι κόμβοι προσδιορίζονται από το υποδίκτυό τους και τον αριθμό κόμβου (μέγιστα: 255 υποδίκτυα και 127 κόμβοι / υποδίκτυο). Η ταχύτητα του δικτύου εξαρτάται από χρησιμοποιούμενο μέσο και το σχέδιο πομποδεκτών. Τα μέσα οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται με την προστασία και οι συσκευές ελέγχου επιτρέπουν τη χρήση της μέγιστης ταχύτητας των 1.25 MBIT/s.

Κάθε συσκευή LonWorks αποτελείται από ένα τσιπ νευρώνων (Neuron²), ένα πομποδέκτη, και τα ηλεκτρονικά κυκλώματα της εφαρμογής. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι το πρωτόκολλο επικοινωνίας, το πρωτόκολλο LonTalk, είναι ενσωματωμένο στο τσιπ ως μέρος του firmware. Με τους τυποποιημένους πομποδέκτες, οι συσκευές LonWorks που εκπέμπουν σε διαφορετικές ζώνες συχνότητας μπορούν να συνδεθούν σε ένα κοινό δίκτυο και να μιλήσουν μεταξύ τους. Κάθε Neuron τσιπ δεσμεύει I/O υλικό και επεξεργαστική δύναμη για συγκεκριμένες εργασίες εφαρμογών, το οποίο υλοποιείται με τη χρήση τυποποιημένων διεπαφών αντικειμένου. Το τσιπ ανακτά τα ακατέργαστα δεδομένα από τις συσκευές, εκτελεί διαδοχικά ενέργειες ελέγχου και διατάζει έναν ενεργοποιητή (actuator). Οι μετρημένες τιμές, τα δεδομένα κατάστασης και οι πληροφορίες γεγονότων στέλνονται αυθόρμητα στις συσκευές υψηλότερου επιπέδου. Όποτε απαιτείται, αυτές οι συσκευές υψηλότερου επιπέδου είναι σε θέση να προσπελάσουν και να αποδώσουν αποθηκευμένες τιμές, τιμές ρυθμίσεων ή άλλα στοιχεία παραμέτρων. Επιπλέον, το LON-bus επιτρέπει στις συσκευές εσωτερικών επιπέδων να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και, επομένως, παρέχει ασφαλείς πληροφορίες μεταξύ των εσωτερικών ελεγκτών και εμποδίζει τα σήματα μεταξύ των ρελέ προστασίας. Η έννοια ενός ανοικτού συστήματος διατηρείται πάντα, και έτσι, όλα τα προϊόντα LonWorks είναι διαλειτουργικά ακόμη και από τους διαφορετικούς προμηθευτές.

Το πρωτόκολλο LonTalk υποστηρίζει δύο τύπους αντικειμένων στο επίπεδο εφαρμογής: τις μεταβλητές δικτύων και τα ρητά μηνύματα. Οι μεταβλητές δικτύων χρησιμοποιούνται για να παραδίδουν σύντομα μηνύματα όπως είναι οι μετρημένες

² Chip επικοινωνιών ειδικού τύπου κατασκευασμένο από την Echelon για την υλοποίηση του LonTalk

τιμές, οι πληροφορίες κατάστασης και τα σήματα ενδασφάλισης/παρεμπόδισης, ενώ τα ρητά μηνύματα χρησιμοποιούνται για τα πιο μεγάλα μηνύματα, όπως για παράδειγμα, μηνύματα γεγονότων και ρητά μηνύματα ανάγνωσης και εγγραφής, για την πρόσβαση στα δεδομένα συσκευών.

Στην ουσία το LonTalk είναι σαν ένα πολύ απλό σύστημα ανταλλαγής μηνυμάτων, που αδιαφορεί για το είδος το μηνυμάτων. Για τη χρήση του σε μία εφαρμογή, ο αποστολέας και ο παραλήπτης πρέπει να συμφωνήσουν για το περιεχόμενο των μηνυμάτων. Δεδομένου ότι οι σχεδιαστές του Echelon είχαν μια αρκετά καλή ιδέα για μερικές από τις εφαρμογές για τις οποίες θα χρησιμοποιούνταν το LonTalk και το Neuron, ήταν σε θέση να αναπτύξουν ένα δεύτερο πρωτόκολλο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει το περιεχόμενο των μηνυμάτων εφαρμογής. Αυτό το «*one size fits all*» πρωτόκολλο αντιπροσωπεύει τα επίπεδα συνόδου, παρουσίασης και εφαρμογής LonTalk και αναφέρεται συχνά ως LonWorks.

Οι ελεγκτές που χρησιμοποιούν το LonWorks μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του «Standard Network Variable Types» or SNVTs (προφέρεται «snivets»). Η μέθοδος SNVT είναι μία διαφορετική προσέγγιση στον ορισμό αντικειμένων δεδομένων η οποία απαιτεί μία λεπτομερή γνώση από τη πλευρά του αποστολέα και παραλήπτη σχετικά με τη δομή κάθε SNVT. Οι SNVTs αναγνωρίζονται από έναν κωδικό αριθμό τον οποίο ο λαμβάνων ελεγκτής μπορεί να χρησιμοποιήσει για να καθορίσει πώς να ερμηνεύσει τις πληροφορίες που παρουσιάζονται σε κάθε SNVT.

Η open-ended φύση των SNVTs είναι ισχυρή αλλά και με ευθύνη. Η ευθύνη προέρχεται από το γεγονός ότι αφού το LonWorks δεν καθορίζει τι αντιπροσωπεύει ένας συγκεκριμένος κώδικας SNVT, είναι δυνατό, και δυστυχώς κοινότυπο, για τα συστήματα LonWorks διαφορετικών προμηθευτών να χρησιμοποιούν τον ίδιο κώδικα SNVT για να ορίζουν διαφορετικά πράγματα. Στην καλύτερη περίπτωση, αυτό προκαλεί σύγχυση όταν αυτά τα συστήματα συνδυάζονται και στη χειρότερη προκαλούνται ακατάλληλες ενέργειες που λαμβάνονται εσφαλμένα. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, συγκροτήθηκε μια κοινοπραξία Echelon προμηθευτών για να προσπαθήσει να συμφωνήσει σχετικά με μερικούς κανόνες για το πώς το LonWorks

πρέπει να χρησιμοποιείται και σχετικά με ένα κοινό σύνολο κωδικών SNVT και των σχετικών τους εννοιών. Αυτή η ομάδα καλείται LonMark Consortium, και τα έγγραφα που έχουν παράγει επίσης αναφέρονται ως LonMark.

2.4.1.3. EIB/KNX

Το European Installation Bus (EIB) είναι ένα fieldbus σχεδιασμένο με σκοπό να ενισχύσει τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στα σπίτια και τα κτήρια όλων των μεγεθών με το διαχωρισμό της μετάδοσης πληροφοριών ελέγχου από την παραδοσιακή καλωδίωση κεντρικών αγωγών. Το EIB είναι βασισμένο σε μια ανοικτή προδιαγραφή που διατηρείται μέχρι σήμερα από την ένωση EIB (EIB Association). Το 2002, το EIB συγχωνεύθηκε με Batibus και το EHS (European Home System). Ο στόχος αυτής της συγχώνευσης ήταν να δημιουργηθούν ενιαία ευρωπαϊκά πρότυπα ηλεκτρονικών συστημάτων σπιτιών και οικοδόμησης. Τα νέα KNX πρότυπα επιδιώκουν να συνδυάσουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, η EIBA ένωσε τις δυνάμεις με τη Batibus και το EHS για να διαμορφώσει την ένωση Konnex. Ακόμα, η τεχνολογία συστημάτων EIB συνεχίζει να υπάρχει αμετάβλητη ως σύνολο profiles μέσα στο KNX, συχνά καλούμενο EIB/KNX [8].

Όσον αφορά τα φυσικά μέσα, το EIB παρείχε ήδη την επιλογή μετάδοσης μέσω συνεστραμμένων ζευγών καλωδίων και ηλεκτρικών γραμμών και καθώς και ένα απλής μορφής IP tunneling. Η επικοινωνία RF και το προηγμένο IP tunnelling προστέθηκαν κάτω από την ομπρέλα του KNX. Η προδιαγραφή KNX περιλαμβάνει επίσης πρόσθετες παραλλαγές TP και PL που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τις μελλοντικές συσκευές. Το κύριο μέσο EIB/KNX είναι η παραλλαγή του συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίων γνωστό ως KNX TP1.

Οι net/IP διευθύνσεις του EIB περνούν μέσω IP δικτύων. Η βασική του πλατφόρμα υποστηρίζει την ανακάλυψη υποστηρίξεων και την αυτο-περιγραφή των EIB net/IP συσκευών. Προσαρμόζει τα εξειδικευμένα «πρωτόκολλα υπηρεσιών» για Tunneling και Routing. Στη πραγματικότητα, και τα δύο ακολουθούν τη αρχή του tunneling αλλά διαφέρουν στην αρχική εστίαση εφαρμογής τους. Το EIB net/IP Tunneling παρέχει απομακρυσμένη πρόσβαση συντήρησης στις EIB/KNX

εγκαταστάσεις με εύχρηστο τρόπο και επομένως περιορισμένος στην point-to-point επικοινωνία. Το EIB net/IP Routing επιτρέπει στη χρήση ενός IP backbone για να συνδέσει τις πολλαπλές υπο-εγκαταστάσεις του EIB/KNX. Οι δρομολογητές που χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν “out-of-the-box” όσο το δυνατόν περισσότερο. Επικοινωνούν με τη χρήση UDP (User Datagram Protocol) multicast. Η διαχείριση της ομάδας στηρίζεται στο IGMP (Internet Group Management Protocol) και κανένας κεντρικός υπολογιστής διαμόρφωσης δεν είναι απαραίτητος.

Το βασικό μπλοκ ενός EIB δικτύου είναι μία γραμμή που υποστηρίζει μέχρι 254 συσκευές σε ελεύθερη τοπολογία. Ακολουθώντας μία δεντρική δομή τριών επιπέδων, οι υπο-γραμμές συνδέονται με τις κεντρικές γραμμές μέσω δρομολογητών για να σχηματίσουν μία ζώνη. Σε κάθε κόμβο ενός EIB/KNX δικτύου ανατίθεται μία μοναδική διεύθυνση που αντιπροσωπεύει τη θέση του μέσα στην τοπολογική δομή του δικτύου. Αυτή η διεύθυνση χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την unicast επικοινωνία, ενώ τη διευθυνσιοδότηση για Multicast υλοποιείται σε επίπεδο ζεύξης.

2.4.1.4. MODBUS

Το Modbus είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που εκδόθηκε το 1979 από τη Modicon για να χρησιμοποιηθεί με τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές της. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο μηνυμάτων του έβδομου επιπέδου του OSI (επίπεδο εφαρμογής) που παρέχει επικοινωνία client/server μεταξύ συσκευών που συνδέονται σε διαφορετικού τύπου διαύλους ή δίκτυα. Είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο, που σημαίνει ότι οι προδιαγραφές του είναι δωρεάν διαθέσιμες για μεταφόρτωση και δεν υπάρχει αμοιβή για τη χρήση του Modbus.

Είναι απλό, εύρωστο και πλέον μεταξύ των συνηθέστερα διαθέσιμων μέσων σύνδεσης των βιομηχανικών ηλεκτρονικών συσκευών. Οι κυριότεροι λόγοι της εκτεταμένης χρήσης του Modbus στο βιομηχανικό περιβάλλον είναι:

- Αναπτύχθηκε με την ιδέα των βιομηχανικών εφαρμογών.

- Είναι δωρεάν δημοσιευμένο και απαλλαγμένο από δικαιώματα.
- Είναι εύκολο να επεκταθεί και να διατηρηθεί
- Μεταφέρει σκέτα bits ή λέξεις χωρίς να επιβαρύνει με περιορισμούς τους προμηθευτές.

Το Modbus επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πολλών (περίπου 240) συσκευών που συνδέονται με το ίδιο δίκτυο, παραδείγματος χάριν ένα σύστημα που μετρά τη θερμοκρασία και την υγρασία και διαβιβάζει τα αποτελέσματα σε έναν υπολογιστή. Το Modbus χρησιμοποιείται συχνά για να συνδέσει έναν εποπτικό υπολογιστή με μια μονάδα απομακρυσμένων τερματικών (RTU) στα εποπτικά συστήματα ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA). Πολλοί από τους τύπους δεδομένων ονομάζονται από τη χρήση του στην οδήγηση των ηλεκτρονόμων (relays): μια φυσική έξοδος ενός Bit καλείται coil, και μια φυσική είσοδος ενός Bit καλείται διακριτή εισαγωγή (discrete input) ή επαφή.

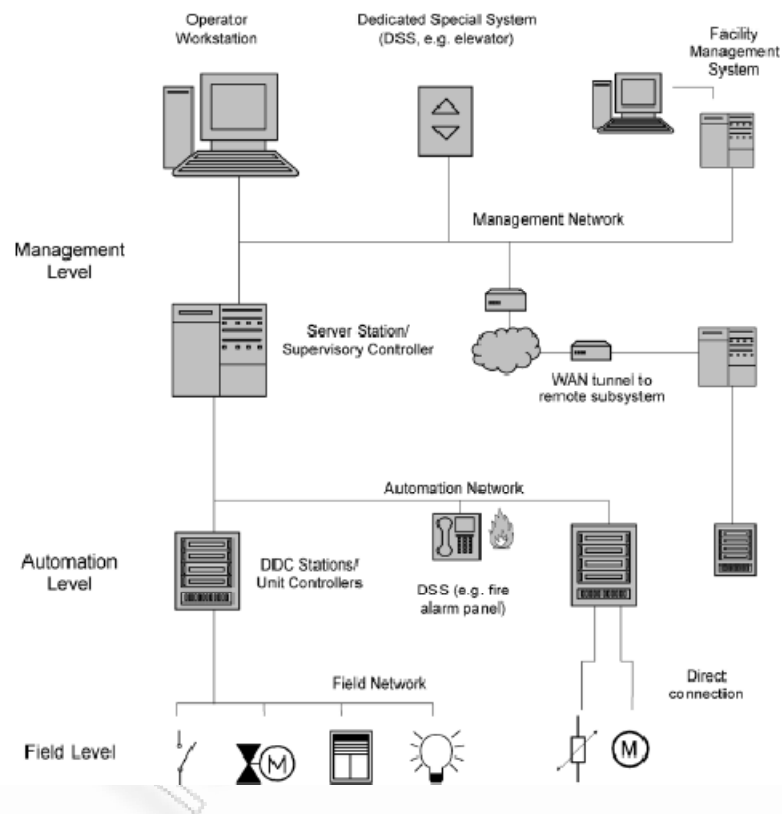
Οι εκδόσεις του πρωτοκόλλου Modbus υπάρχουν για σειριακές θύρες και για Ethernet και άλλα δίκτυα που υποστηρίζουν τη σουίτα του Internet Protocol. Οι περισσότερες συσκευές Modbus επικοινωνούν μέσω ενός σειριακού EIA-485 φυσικού επιπέδου. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές των πρωτοκόλλων Modbus όπως:

1. *Modbus RTU*
2. *Modbus ASCII*
3. *Modbus TCP/IP or Modbus TCP*
4. *Modbus over TCP/IP or Modbus over TCP or Modbus RTU/IP*
5. *Modbus over UDP*
6. *Modbus Plus (Modbus+, MB+ or MBP)*
7. *Modbus PEMEX*

Τα μοντέλα δεδομένων και οι κλήσεις συναρτήσεων είναι ίδιες για τις πρώτες 4 παραλλαγές των πρωτοκόλλων και μόνο η ενθυλάκωση είναι διαφορετική. Εντούτοις οι παραλλαγές δεν είναι διαλειτουργικές δεδομένου ότι τα σχήματα πλαισίων είναι διαφορετικά.

2.2.4. Παρουσίαση αρχιτεκτονικών

Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος ελέγχου μπορεί να σχεδιαστεί κάθετα, με το διαχωρισμό σε λειτουργικά επίπεδα [9]. Μία τέτοια αρχιτεκτονική εφαρμοσμένη σε συστήματα αυτοματισμού κτηρίων παρουσιάζεται στην Εικόνα 12. Στο μοντέλο αυτό, οι απόψεις της λειτουργικότητας του συστήματος έχει σπάσει σε τρία επίπεδα, παρουσιάζοντας την ενσάρκωση της πυραμίδας του αυτοματισμού για τα συστήματα BAS [2]. Στο επίπεδο συσκευών λαμβάνει χώρα η αλληλεπίδραση με τον πραγματικό κόσμο. Συγκεντρώνονται δεδομένα από το περιβάλλον (measurement, counting, metering) και μετατρέπονται σε μία αναπαράσταση κατάλληλη για μετάδοση και επεξεργασία. Επιπλέον, οι παράμετροι του περιβάλλοντος ελέγχονται φυσικά (switching, setting, positioning) σε απάντηση των εντολών που λαμβάνονται από το σύστημα [10].



Εικόνα 12 - Λειτουργική ιεραρχία τριών επιπέδων

Στο επίπεδο του αυτοματισμού, συμπεριλαμβάνεται ο αυτόματος έλεγχος, συμπεριλαμβανομένων όλων των ειδών των αυτόματων εκτελέσιμων ακολουθιών.

Λειτουργεί πάνω στα δεδομένα που προετοιμάζονται από το επίπεδο συσκευών, καθιερώνοντας τις λογικές συνδέσεις και τους βρόχους ελέγχου. Οι οντότητες επεξεργασίας μπορούν επίσης να διαβιβάσουν τιμές περισσότερου σφαιρικού ενδιαφέροντος ή μια στην άλλη, παραδείγματος χάριν την εξωτερική θερμοκρασία. Αυτού του είδους η διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων αναφέρεται ως οριζόντια επικοινωνία. Επιπλέον, το επίπεδο αυτοματισμού προετοιμάζει (τις ενδεχομένως συνολικές) τιμές για κάθετη πρόσβαση από το επίπεδο διαχείρισης.

Στο επίπεδο διαχείρισης, οι πληροφορίες από όλο το σύστημα είναι προσβάσιμες. Μία ενοποιημένη διεπαφή παρουσιάζεται στο χειριστή για την χειρωνακτική επέμβαση στο σύστημα. Παρέχεται η κάθετη πρόσβαση στις τιμές του επιπέδου αυτοματισμού, συμπεριλαμβανομένης της τροποποίησης των παραμέτρων όπως τα χρονοδιαγράμματα. Οι συναγερμοί παράγονται για εξαιρετικές καταστάσεις όπως τεχνικά λάθη ή κρίσιμες συνθήκες. Η μακροπρόθεσμη αποθήκευση ιστορικών δεδομένων με τη δυνατότητα να παραχθούν εκθέσεις και στατιστικά θεωρείται επίσης μέρος αυτού του επιπέδου.

Είναι εμφανές ότι το ποσό των δεδομένων (τρεχόντων και ιστορικών) που είναι διαθέσιμα για την πρόσβαση μέσα σε μια δεδομένη συσκευή αυξάνεται κατά την άνοδο μέσω των επιπέδων. Η εργασία του επιπέδου συσκευών είναι κατανεμημένη από τη φύση της. Ο αυτοματισμός αντιμετωπίζεται και αυτός με κατανεμημένο τρόπο, με πολλαπλές μονάδες επεξεργασίας που είναι υπεύθυνες για τις τοπικές (ή λειτουργικά χωριστές) υπό-διεργασίες. Τα πλεονεκτήματα της κατανομής είναι πολλά, όπως η μείωση των καθυστερήσεων στους βρόχους ελέγχου, η αποφυγή αποτυχιών σε ένα σημείο, η μείωση του κινδύνου του κυκλοφοριακού απόδοσης και η άδεια τα υπό-συστήματα να βρίσκονται εκτός υπηρεσίας λόγω αποτυχίας ή προγραμματισμένης συντήρησης χωρίς να επηρεάζουν τα υπόλοιπα μέρη. Βέβαια, τα κατανεμημένα συστήματα είναι δυσκολότερα στη σχεδίαση και το χειρισμό από ότι τα κεντρικά. Ακόμα, η αύξηση της πολυπλοκότητας των γενικών συστημάτων μειώνεται όταν η τεχνική του «διαίρει και βασίλευε» εφαρμόζεται κατάλληλα και τα υπό-συστήματα γίνονται πιο διαφανή.

Η σχεδίαση ενός συστήματος θα μπορούσε να καταλείψει τις λειτουργίες του σε ξεχωριστές συσκευές. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 12, οι αισθητήρες και οι

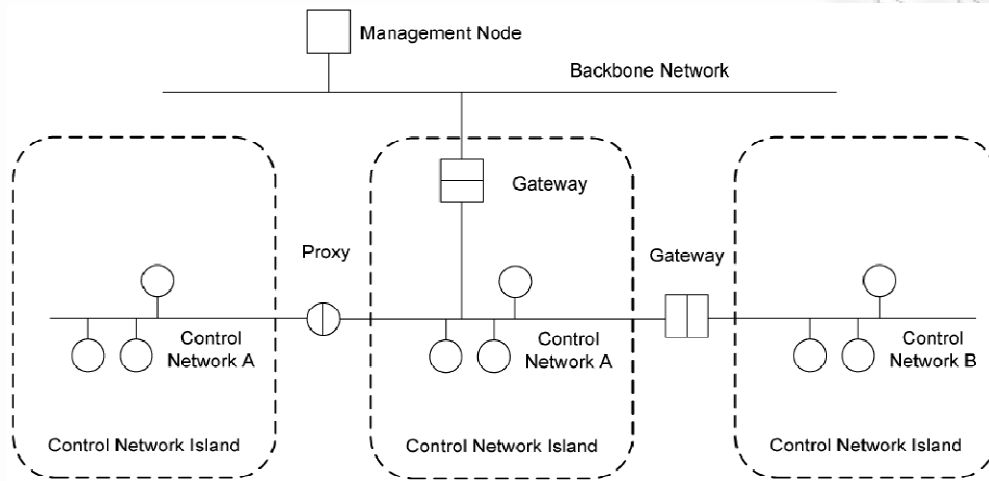
ενεργοποιητές συνδέονται είτε άμεσα με τους ελεγκτές είτε μέσω ενός δικτύου συσκευών. Ο έλεγχος της διαδικασίας εκτελείται μέσω σταθμών DDC (μονάδες ελεγκτών). Ο σταθμός του εξυπηρετητή πραγματοποιεί τον εποπτικό έλεγχο, το logging και το trending για ένα σύνολο μονάδων ελεγκτών. Οι εποπτικοί ελεγκτές και οι μονάδες ελεγκτών συνδέονται μέσω του δικού τους δικτύου αυτοματισμού. Επίσης, DSS μπορούν να συνδεθούν σε αυτό το επίπεδο. Ένας σταθμός διαχείρισης χρησιμοποιεί τα δεδομένα που προετοιμάζονται από τον server για να παρουσιάσει στη διεπαφή του χρήστη. Στο επίπεδο διαχείρισης ολοκληρώνονται οι απομακρυσμένοι σταθμοί μέσω dial-up συνδέσεων (ή κάποιο WAN tunnel) όποτε απαιτείται η ανταλλαγή δεδομένων.

Αν και το μοντέλο των τριών επιπέδων (Εικόνα 12) προτείνει μία αντίστοιχη ιεραρχική δικτυακή αρχιτεκτονική, η αυστηρή υλοποίηση αυτής της έννοιας δεν είναι κατάλληλη σε πολλές περιπτώσεις. Οι συσκευές υλοποιούν μία μίξη κατάλληλων λειτουργιών και από τα τρία επίπεδα. Οι δικτυακές αρχιτεκτονικές πρέπει να εξυπηρετήσουν αυτή τη μίξη των υπηρεσιών και των κατάλληλων απαιτήσεων. Συγκεκριμένα, οι ευφυείς συσκευές τομέων που ενσωματώνουν τη λειτουργικότητα των ελεγκτών καθιστά την έννοια ενός ξεχωριστού δικτύου αυτοματισμού παράλογη. Ένα αυστηρό δίκτυο τριών επιπέδων θα μπορούσε επίσης - όχι απαραίτητα - να περιπλέξει τη διανομή των συσκευών (όπως τους αισθητήρες) μεταξύ των λειτουργικών περιοχών.

Ακόμα, οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες δικτύωσης συσκευών δε μπορούν να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις ρυθμοαπόδοσης (*throughput*) που δημιουργούνται με τις μεταφορές log αρχείων ή τον κεντρικό έλεγχο σε πραγματικό χρόνο των πολυάριθμων γεγονότων. Επομένως, η αρχιτεκτονική δύο επιπέδων έχει γίνει γνωστή όπου τα τοπικά δίκτυα ελέγχου διασυνδέονται με μία υψηλής απόδοσης ραχοκοκαλιά δικτύου (*backbone*) (βλ. Εικόνα 13). Μία τυπική υποδομή αυτοματισμού αποτελείται από ανεξάρτητα δίκτυα ελέγχου που συνδέουν αισθητήρες και ενεργοποιητές. Οι τεχνολογίες των δικτύων ελέγχου συνδέονται με την οικονομικά αποδοτική υλοποίηση των επιπέδων συσκευών και αυτοματισμού όπου το *throughput* δεν είναι τόσο θέμα όσο είναι το *timeliness*.

Τα δίκτυα αυτά συνδέονται μέσω ενός καναλιού για κεντρικό έλεγχο και παρακολούθηση, απομακρυσμένη συντήρηση και διαγνωστικά, το οποίο κανάλι

μπορεί να επεκταθεί σε συγκροτήματα κτιρίων. Τα δίκτυα εγκαταστάσεων ίσως χρησιμοποιήσουν ένα ξεχωριστό δίκτυο ελεγκτών, αν και οι DDC σταθμοί συχνά συνδέονται άμεσα με τη ραχοκοκαλιά.



Εικόνα 13 - Αρχιτεκτονική 2 επιπέδων

Δεδομένου ότι οι υπηρεσίες των επιπέδων διαχείρισης δεν επιβάλλουν κάποιους περιορισμούς για timeliness που αξίζει να αναφερθούν, τα δίκτυα θα είναι πάντα σε θέση να αναλάβουν λειτουργίες αυτού του επιπέδου. Επίσης, δεδομένου ότι οι εφαρμογές αυτοματισμού κτηρίων δεν είναι υπερβολικά απαιτητικές από την άποψη του timeliness και της αξιοπιστίας, η IT τεχνολογία είναι επίσης σε θέση να χειριστεί τις υπηρεσίες επιπέδων αυτοματισμού. Η επέκταση της διαδικασίας ενοποίησης στο επίπεδο συσκευών είναι ακόμα μια θεωρητική δυνατότητα, δεδομένου ότι το κόστος αποδοτικότητας, η ευρωστία και η ευκολία της εγκατάστασης δεν μπορούν ακόμα να ταιριάξουν με συγκεκριμένες λύσεις.

Επομένως, η τάση προς μια πιο επίπεδη ιεραρχία έχει αρχίσει να παρατηρείται. Οι λειτουργίες του επιπέδου αυτοματοποίησης αναλαμβάνονται από τις συσκευές που συνδέονται χαρακτηριστικά με τα διπλανά επίπεδα: ο εποπτικός έλεγχος και η συγκέντρωση δεδομένων είναι ενσωματωμένη στις λειτουργίες του επιπέδου διαχείρισης, ενώ ο συνεχής έλεγχος ενσωματώνεται στον τομέα των συσκευών. Επίσης, οι αφιερωμένοι ελεγκτές θα βοηθήσουν στην καταγραφή της πολυπλοκότητας που είναι έμφυτη στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις ή όπου υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις απόδοσης. Ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις και τη δομή ενός έργου, είναι βιώσιμες πολλαπλές προσεγγίσεις για τη κατανομή της απαραίτητης λειτουργίας.

Η υιοθέτηση των IT δικτύων για λόγους ελέγχου είναι στην πραγματικότητα μία απόφαση τριών διαστάσεων. Πρώτον, η τεχνολογία IT μπορεί να εφαρμοστεί σε φυσικό επίπεδο και επίπεδο ζεύξης μόνο, με την εκτέλεση προσαρμοσμένων πρωτοκόλλων στα πάνω επίπεδα. Σε αυτή τη περίπτωση, θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη κυρίως ζητήματα απόδοσης της σχεδίασης. Δεύτερον, μπορεί κάποιος να επιλέξει τυποποιημένα πρωτόκολλα δικτύωσης. Αυτό, ενώ διευκολύνει την ενοποίηση, έχει ήδη επιπτώσεις ασφαλείας δεδομένου ότι τα τυποποιημένα πρωτόκολλα και ειδικά οι ανεπίσημες υλοποιήσεις τους παρέχουν μία ευρύτερη περιοχή επιθέσεων η ικανότητα της χρήσης εγκεκριμένων και δοκιμασμένων μέτρων ασφαλείας αντισταθμίζει αυτό το μειονέκτημα. Τρίτον, ο έλεγχος και η ΤΠ³ επικοινωνία μπορούν να οργανωθούν στο ίδιο δίκτυο. Αυτό καθιστά απαραίτητη μια ενοποιημένη αξιολόγηση της ποιότητας των υπηρεσιών των δικτύων. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιήσουν ή όχι τα ίδια πρωτόκολλα ανώτερου στρώματος, αν και υιοθετώντας την τυποποιημένη ΤΠ πρακτική θα καταστήσουν τη διοίκηση ευκολότερη.

Σήμερα, τα "IT δίκτυα" έχουν αποτελεσματικά γίνει συνώνυμα των "IP δικτύων". Η χρήση των πρότυπων πρωτοκόλλων σχετικών με τις εφαρμογές διατηρεί την δυνατότητα κατασκευής ενοποιημένων συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της διευκόλυνσης των μακρινών συνδέσεων μέσω του Διαδικτύου. Αν και τα δίκτυα IP δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις σε QoS των πιο απαιτητικών εφαρμογών ελέγχου ακόμα, δεδομένου ότι η καθυστέρηση δεν μπορεί να ελεγχθεί πλήρως, είναι σίγουρα κατάλληλα (και ισχύουν επίσης στην πράξη) για τη χρήση ως δίκτυο ραχοκοκαλιάς στα BAS. Ακόμα, τα μεμονωμένα δίκτυα ελέγχου πρέπει να εξαρτώνται από το δίκτυο ραχοκοκαλιάς όπως οι ελεγκτές μονάδων πρέπει να εξαρτώνται από τον κεντρικό σταθμό. Για να παρέχουν πρόσθετη αξιοπιστία (παραδείγματος χάριν, ασφαλείς λειτουργίες), μια πρόσθετη ραχοκοκαλιά ελέγχου (που ενδεχομένως χρησιμοποιεί ένα δίκτυο οπτικών ινών) μπορεί να εγκατασταθεί παράλληλα στην κοινή ραχοκοκαλιά.

Τέλος, όσον αφορά τη δικτυακή διασύνδεση, οι *πύλες (gateways)* κρίνονται απαραίτητες. Τα συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού μπορούν να εκταθούν σε ποικίλα διαφορετικά δίκτυα, τα οποία μπορούν ή όχι να μοιραστούν μια κοινή

³ Τεχνολογία της Πληροφορίας (IT – Information Technology)

έννοια της κατανεμημένης εφαρμογής τους (όπως πρότυπα πόρων, υπηρεσίες και namespaces). Οι ασυνέχειες εμφανίζονται ειδικά κατά την ολοκλήρωση συστημάτων ειδικής χρήσης, είτε αυτά είναι κεντρικά είτε κατανεμημένα. Στη γενική περίπτωση, απαιτούνται πύλες για το χειρισμό της διασύνδεσης. Οι πύλες πρέπει να διατηρούν αποτελεσματικά μια βάση δεδομένων της χαρτογράφησης μεταξύ των οντοτήτων των δικτύων κάθε πλευράς. Αυτή η μετάφραση όχι μόνο εισάγει μία ιδιαίτερη προσπάθεια εφαρμοσμένης μηχανικής, αλλά πρέπει και να παρέχει ένα πλήθος παραμέτρων σχετικών με την εφαρμογή ώστε να καλύψει τα κενά που θα εμφανιστούν κατά τη χαρτογράφηση πρωτοκόλλων μεταξύ των δύο πλευρών. Επίσης, χρησιμοποιεί ιδιαίτερη επεξεργαστική δύναμη. Επομένως, η λειτουργία των πυλών είναι συνήθως ενσωματωμένη σε κόμβους που σχεδιάζονται για να εκτελέσουν μία προσαρμοσμένη επεξεργασία. Παραδοσιακά, αυτό ισχύει και για τους ελεγκτές και τους σταθμούς κεντρικών υπολογιστών (που χειρίζονται επίσης τις μεταβάσεις δικτύων στο κλασικό πρότυπο των τριών επιπέδων).

2.2.5. Συμπεράσματα Πρωτοκόλλων - Αρχιτεκτονικών

Χωρίς καμία αμφισβήτηση, τα συστήματα επικοινωνίας που βασίζονται σε ανοιχτά πρότυπα κερδίζουν το ενδιαφέρον. Για το λόγο αυτό παρουσιάστηκαν τα πρωτόκολλα BACnet, LonWorks, EIB/KNX και MODBUS. Τα LonWorks και EIB/KNX είναι κεντρικές λύσεις επιπέδου συσκευών, ενώ η στραμμένη στον ελεγκτή προσέγγιση του BACnet το καθιστά να κλίνει περισσότερο στη λειτουργικότητα του ανώτερου επιπέδου. Ειδικά στην Ευρώπη, το BACnet σπάνια αναπτύσσεται σε συνδυασμό με άλλα δίκτυα ελέγχου που καλύπτουν το επίπεδο συσκευών. Προσπελαύνονται μέσω μίας πύλης, η οποία παρέχει την οντοκεντρική τους αναπαράσταση στο σύστημα BACnet.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική, παρουσιάστηκε ένα λειτουργικό μοντέλο τριών επιπέδων και περιγράφηκε η λειτουργία του κάθε επιπέδου. Ενώ το μοντέλο αυτό μειώνει την πολυπλοκότητα του κάθε επιπέδου ξεχωριστά και τα διατηρεί απλά και διαφανή, τα σημερινά δίκτυα ελέγχου είναι έτοιμα να επεκταθούν σε κάθε επίπεδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ισοπέδωση της ιεραρχίας. Η αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων χαρτογραφείται σε μία two-tier τοπολογία δικτύου, με τις λειτουργίες του πρώην επιπέδου αυτοματισμού να επανεκχωρούνται σε άλλα επίπεδα. Συγκρίνοντάς τες, μπορούμε να πούμε ότι η αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων συνίσταται για εφαρμογές που τα χρονοδιαγράμματα και η άμεση λήψη πραγματικών δεδομένων είναι σημαντικά, ενώ η δεύτερη προσέγγιση των δύο επιπέδων συνίσταται όταν μας ενδιαφέρει το throughput, λόγω της ύπαρξης του backbone δικτύου που προσφέρει μεγάλες ταχύτητες.

3. Μελέτη & Προδιαγραφές Εφαρμογών Ελέγχου και Αυτοματισμού

Οι εφαρμογές ελέγχου και αυτοματισμού αναπτύσσουν λύσεις για να μειώσουν σημαντικά τις παραλλαγές πολλών διαδικασιών με συνέπεια τη βελτιωμένη ποιότητα των προϊόντων ή των παρεχόμενων υπηρεσιών, την αυξανόμενη παραγωγή προϊόντων, τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και τελικά, το μειωμένο κόστος των αγαθών και υπηρεσιών που πωλούνται. Στόχος τους είναι η παροχή βασικών υπηρεσιών ελέγχου και αυτοματισμού καθώς και άλλων ευκολιών στις επιχειρηματικές μονάδες. Στο παρών κεφάλαιο θα μελετήσουμε αναλυτικά τις προδιαγραφές και λειτουργίες των εφαρμογών ελέγχου και αυτοματισμού, καθώς και τις γενικές αρχιτεκτονικές τους.

3.1. Προδιαγραφές

3.1.1. Δικτύωση

Η συνεχής αυξανόμενη ανάγκη για δικτύωση συσκευών και προϊόντων είναι χωρίς αμφισβήτηση μία από τις σημαντικότερες προδιαγραφές που θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη. Οι τελικοί χρήστες υποθέτουν ότι τα συστήματά τους λειτουργούν πλήρως σε οποιοδήποτε περιβάλλον αλλά η δυσλειτουργία των συστημάτων στα διασυνδεδεμένα προϊόντα ίσως να πρέπει να ρυθμιστεί νόμιμα. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι δυσλειτουργίες συστημάτων, θα απαιτηθούν όλο και περισσότερα προληπτικά μέτρα, που μπορούν να προβλέψουν και να αποτρέψουν τις δυσλειτουργίες. Η πρόληψη των δυσλειτουργιών μπορεί επίσης να απαιτήσει ότι οι συσκευές μπορούν να αναβαθμιστούν αυτόματα.

Επίσης, η επικοινωνία μέσω TCP/IP και Ethernet είναι πολύ σημαντική. Η αναγνώριση του Ethernet TCP/IP, στους οργανισμούς και στο διαδίκτυο, το έχει καθιερώσει ως το σημαντικότερο πρότυπο επικοινωνίας σήμερα. Η ευρεία χρήση του οδηγεί σε μείωση στις δαπάνες σύνδεσης, σε αυξανόμενη απόδοση και σε προσθήκη νέων λειτουργιών. Επιπλέον, ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις συνδεσιμότητας όλων των εφαρμογών από συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων και οπτικές ίνες μέχρι απομακρυσμένες point-to-point συνδέσεις και δορυφόρους. Λόγω της ευρείας χρήσης του, η υλοποίηση επικοινωνιακού δικτύου σε πραγματικό

χρόνο βασισμένο στο TCP/IP και το Ethernet είναι μία από τις σημαντικότερες προδιαγραφές των συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμού.

Βέβαια, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός fieldbus που θα μεσολαβεί ανάμεσα στο TCP/IP και τις συσκευές αυτοματισμού. Το MODBUS είναι το βασικό πρότυπο για τα σειριακά πρωτόκολλα συνδέσεων που χρησιμοποιείται ευρέως για την επικοινωνία των συσκευών αυτοματισμού. Για το λόγο αυτό η κοινότητα του Διαδικτύου έχει αναθέσει την 502 TCP πόρτα για το Modbus. Επομένως, τα μηνύματα Modbus μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανταλλαγή δεδομένων αυτοματοποίησης και στο Ethernet TCP/IP αλλά και το Διαδίκτυο, καθώς επίσης και για όλες τις άλλες εφαρμογές (ανταλλαγή αρχείων, ιστοσελίδας, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, κ.λπ.).

3.1.2. Απομακρυσμένη διαχείριση λογισμικού

Η παροχή της δυνατότητας για απομακρυσμένη διαχείριση τόσο του λογισμικού όσο και των συσκευών είναι από τις βασικές προδιαγραφές των εφαρμογών ελέγχου και αυτοματισμού. Για το λόγο αυτό υλοποιείται ένα δικτυοκεντρικό πακέτο λογισμικού για τις HMI διεπαφές αλλά και τις SCADA συσκευές. Ο απομακρυσμένος έλεγχος και η διαχείριση επιτρέπουν στους χρήστες να βλέπουν, να ελέγχουν και να διαμορφώνουν τον αυτόματο εξοπλισμό στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τις εγκαταστάσεις βιομηχανικής διαδικασίας, τους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας και τα συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίων. Ιδιαίτερη εφαρμογή της απομακρυσμένης διαχείρισης αποτελούν οι λύσεις για Home Automation. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν εύκολα να κατασκευάσουν και να αναπτύξουν συστήματα επειδή όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που βρίσκονται στα πακέτα συμβατικού λογισμικού HMI και SCADA είναι διαθέσιμα μέσω μία ιστοσελίδας.

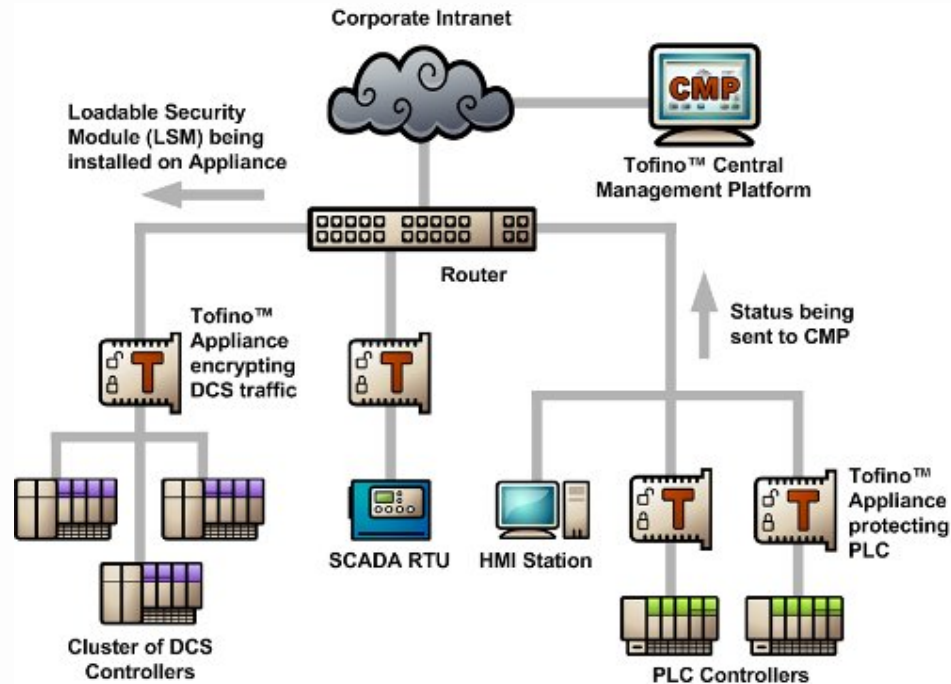
3.1.3. Ασφάλεια πρόσβασης

Οι κατασκευές συστημάτων αυτοματισμού πρέπει να έχουν εγκατεστημένα συστατικά ασφάλειας, ώστε να εμποδίζουν την προμελετημένη ή την τυχαία κακή χρήση τους. Επίσης, το καθορισμένο μοντέλο ασφάλειας του συστήματος θα πρέπει να αποτελεί μέρος της διαδικασίας ανάπτυξής του. Εντούτοις, η ευθύνη για την ασφάλεια των συστημάτων δεν είναι πάντα σαφώς καθορισμένη ή ορισμένη στους συγκεκριμένους χρήστες και το πρότυπο ασφάλειας μπορεί είτε να συγκεντρωθεί

(centralized) είτε να διανεμηθεί μέσω του δικτύου. Εντούτοις, οι κανόνες πρόσβασης θα γίνουν κατανοητοί και αποδεκτοί μεταξύ των τελικών χρηστών. Οι κατασκευαστές θα επιθυμήσουν να έχουν την ανοικτή εξ' αποστάσεως πρόσβαση στα συστήματά τους για τις ανάγκες των τελικών χρηστών για τη συντήρηση, τη βελτίωση και τη παροχή υπηρεσιών στις εγκαταστάσεις τους. Ως εκ τούτου, οι κατασκευές (συνεπεία του εμπορικού σήματός τους) θα είναι σε θέση να επιβάλουν μερικά πρότυπα ελέγχου προσπέλασης και σχήματα επικύρωσης στους τελικούς χρήστες. Οι εγκρίσεις πιθανώς θα χειρίζονται από έμπιστους τρίτους οργανισμούς, ωστόσο και άλλες εμπιστευμένες μέθοδοι έγκρισης μπορούν να προκύψουν.

Πιο ειδικά, κατεβαίνοντας σε επίπεδο αρχιτεκτονικής, οι ηλεκτρικές, περιβαλλοντικές και λειτουργικές απαιτήσεις των SCADA και των συστημάτων ελέγχου διαδικασιών καθιστούν τις παραδοσιακές λύσεις ασφάλειας ακατάλληλες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, πολλά κρίσιμα συστήματα να λειτουργούν χωρίς την προστασία από τυχαία γεγονότα, όπως είναι μία μολυσμένη USB συσκευή ή μία κακοδιαμορφωμένη συσκευή δικτύου και πολύ λιγότερο από μία διαδικτυακή επίθεση. Μία πολύ καλή λύση είναι η χρήση εξοπλισμού Plug-in που εγκαθίσταται σε ένα δίκτυο χωρίς επιπλέον διαμόρφωση και αλλαγές στο δίκτυο. Ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να δημιουργεί ζώνες ασφαλείας για ομάδες όπως PLCs, DCS, RTUs, IEDs και HMIs – όπως προτείνεται από τα ANSI/ISA99, NERC CIP και IEC Standards. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκει το προϊόν της *Tofino*, το *Tofino Security Appliance*⁴, που προστατεύει καλύτερα και είναι πιο εύκολο στην εγκατάσταση από ένα τείχος προστασίας ή κάποιο άλλο προϊόν ασφάλειας. Τέλος, μία τέτοια λύση είναι αποτελεσματικότερη στην εξασφάλιση των βιομηχανικών πρωτοκόλλων όπως το TCP Modbus και το OPC.

⁴ <http://www.tofinosecurity.com/products/tofino-security-appliance>



Εικόνα 14 - Αρχιτεκτονική του Tofino Security Appliance4

Όσον αφορά την πρόσβαση στο σύστημα σε επίπεδο ελεγκτή, αυτή μπορεί να ελεγχθεί και να εξουσιοδοτηθεί σε επίπεδο σήματος. Κάθε σήμα μπορεί να προσπελαστεί από έναν χρήστη μέσω ενός πρωτοκόλλου. Πριν επιτραπεί σε κάθε χρήστη να προσπελάσει ένα σήμα, πρέπει να δηλώσει την κατάσταση εξουσιοδότησής του, παρουσιάζοντας στον ελεγκτή μία ομάδα κλειδιών η οποία ορίζει ποια σήματα μπορεί ο πελάτης να προσπελάσει και τι είδους πρόσβαση έχει για το καθένα (read, write, re-configuration).

Με τον τρόπο αυτό, η εφαρμογή μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικούς τομείς εξουσιοδότησης. Οι οντότητες που θα έχουν πρόσβαση σε ξεχωριστούς τομείς θα μπορούν προσπελαύνουν αντικείμενα μόνο αυτού του τομέα, χωρίς αν μπορεί να παρεμβαίνει σε άλλες λειτουργικές περιοχές του συστήματος.

3.2.Εξοπλισμός – Συνολική Αρχιτεκτονική

Ο εξοπλισμός των συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμού περιλαμβάνει ως επί το πλείστον, αισθητήρες και άλλα στοιχεία μέτρησης, που εξαρτώνται από το πεδίο εφαρμογής, για τη μέτρηση των δεδομένων, μετατροπείς των δεδομένων από αναλογικά σε ψηφιακά και εργαλεία διαμόρφωσης. Επίσης, εγκαθίστανται προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές, οι οποίοι συνδέονται σε κάποιο δίκτυο. Ο κάθε ελεγκτής αναλαμβάνει την απαραίτητη διεπαφή για επικοινωνία και την λειτουργικότητα της αποθήκευσης για κάθε εγκατάσταση ξεχωριστά.

Την κεντρική διαχείριση όλων των εγκαταστάσεων του συστήματος αναλαμβάνει ένα κέντρο ελέγχου. Βασικό στοιχείο του κέντρου είναι το κομμάτι του Service back-end, το οποίο αναλαμβάνει να συλλέξει, αποθηκεύσει και διαχειριστεί τα δεδομένα από όλες τις απομακρυσμένες εγκαταστάσεις με ένα κεντρικό τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, οι ευθύνες περιλαμβάνουν:

- Τη συλλογή, αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων από ένα σύνολο απομακρυσμένων εγκαταστάσεων
- Την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων ανάλογα με τους χρήστες που χρησιμοποιούν την υπηρεσία
- Τη δημιουργία και αποστολή ειδοποιήσεων στους χρήστες
- Την άδεια στους χρήστες να διαμορφώσουν μόνοι τους ελεγκτές ή το κομμάτι του Service back-end
- Την άδεια στους χρήστες να διεξάγουν συναρτήσεις ελέγχου στην εγκατάσταση

Το κομμάτι του Service back-end είναι επεκτάσιμο καθώς μπορούν να προστεθούν νέοι servers και αποθηκευτικά υποσυστήματα. Επίσης, παρέχει εξωτερικές διεπαφές σε άλλα λογισμικά, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Επιπλέον ενότητες που μπορεί να περιλαμβάνονται στην αρχιτεκτονική των συστημάτων είναι οι:

Ενότητα Προσαρμογής της Επικοινωνίας (Communication Adapter Module)

Αναλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από την απομακρυσμένη εγκατάσταση και την τροφοδότησή τους στο Service back-end, όπως επίσης, τη μεταφορά δεδομένων από το Service back-end στην εγκατάσταση. Οι προσαρμογείς επικοινωνίας (CAM) εξαλείφουν την δυσκολία που σχετίζεται με τη σύνδεση connectors στα κανάλια επικοινωνίας ενός PLC. Παρέχουν γρήγορη και εύκολη σύνδεση μέσω βιδών και επίσης επιτρέπουν στο χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε RS-232, RS-422 ή άλλες εισόδους/εξόδους. Τέλος, παρέχουν φωτεινές ενδείξεις για γρήγορη και απλή διάγνωση προβλημάτων.

Ενότητα της Λογικής της Εφαρμογής (Application Logic Module)

Αναλαμβάνει τον υπολογισμό των παραγόμενων παραμέτρων και μπορεί να επεκταθεί με τον εμπλουτισμό νέων συναρτήσεων υπολογισμού.

Ενότητα των Ειδοποιήσεων (Notification Module)

Αναλαμβάνει την ειδοποίηση των χρηστών μέσω SMS (sms gateway) ή email (Internet gateway). Οι ειδοποιήσεις αφορούν συναγερμούς που προκύπτουν είτε από τιμές σημάτων που ξεπερνούν ή βρίσκονται κάτω από δηλωμένα όρια τιμών, είτε από βλάβες στην εγκατάσταση, είτε από παραβιάσεις του συστήματος.

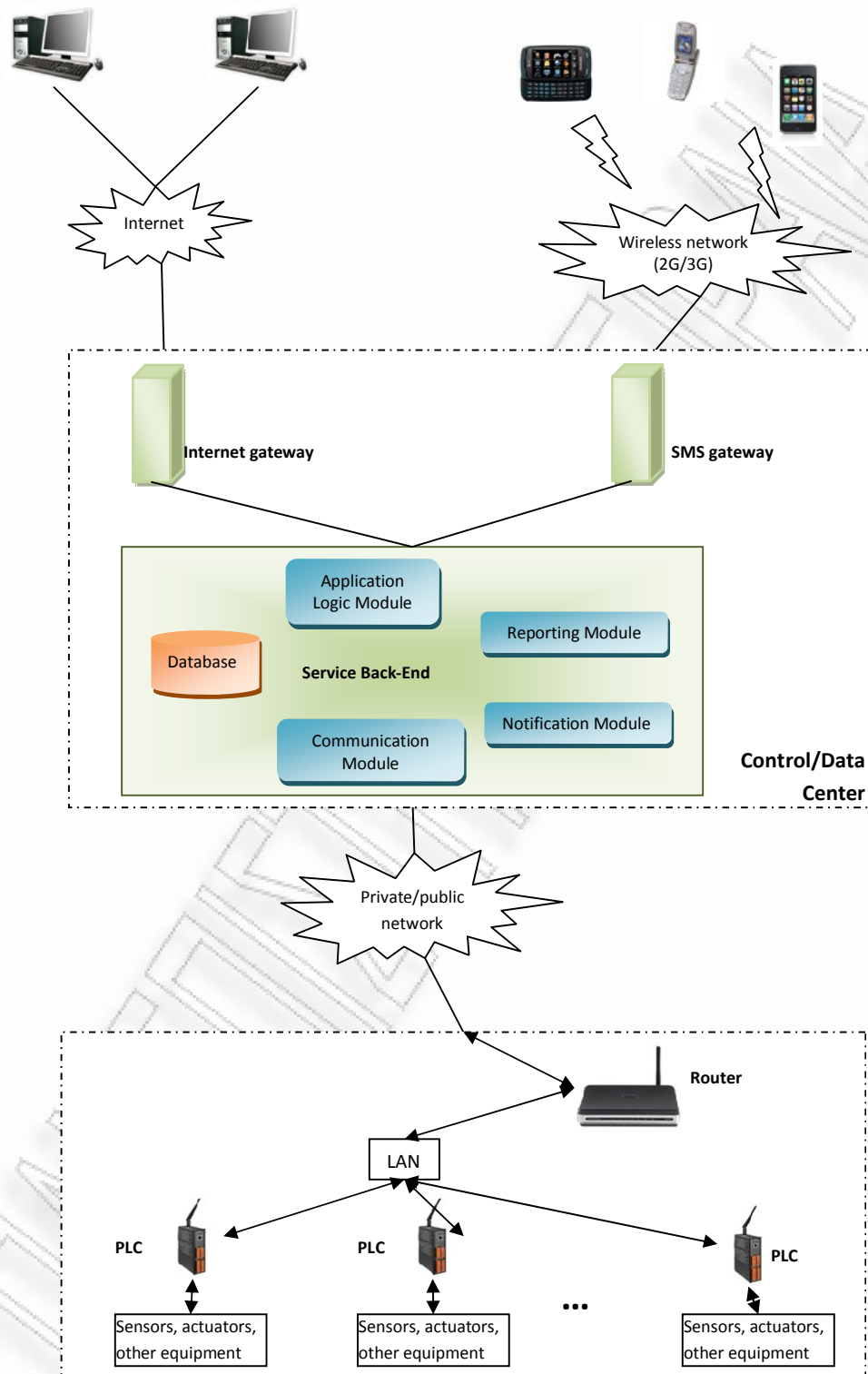
Πέρα από τις ειδοποιήσεις που υπάρχουν στο κομμάτι του Data Center, ειδοποιήσεις υποστηρίζονται και μέσα στις εγκαταστάσεις με την βοήθεια φωτεινών ενδείξεων πάνω σε συγκεκριμένες μηχανές ή εξαρτήματα.

Ενότητα των Αναφορών (Report Module)

Αναλαμβάνει τη δημιουργία και παράδοση των αναφορών. Η ενότητα αυτή προγραμματίζεται από τον διαχειριστή του συστήματος. Αυτός μπορεί να καθορίσει το είδος των αναφορών, την περιοδικότητά τους, τα δεδομένα που αυτές θα περιέχουν, τους χρήστες στους οποίους θα αποστέλλονται και το μέσο με το οποίο θα λαμβάνονται. Σκοπός των αναφορών είναι ο έλεγχος του συστήματος που έχει αυτοματοποιηθεί, ξεχωριστά για κάθε διαδικασία, ώστε να αξιολογείται η λειτουργία και η απόδοσή του.

Τέλος, η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει και ένα κομμάτι front-end, το οποίο χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των χρηστών μέσω ενός Φυλλομετρητή Ιστού. Με το κομμάτι του front-end μπορούν όλοι οι χρήστες του συστήματος ανάλογα με τους ρόλους τους να εκτελέσουν οποιαδήποτε λειτουργία θέλουν (βλ. 3.3. Ειδικές Λειτουργίες, 3.4 Γενικές Λειτουργίες).

Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται μία γενικευμένη αρχιτεκτονική των υπό μελέτη συστημάτων.



Εικόνα 15 - Γενική Αρχιτεκτονική Εφαρμογής Ελέγχου & Αυτοματισμού

3.3. Γενικές Λειτουργίες

Οι πιο γενικές λειτουργίες που περιλαμβάνονται στις εφαρμογές ελέγχου και αυτοματισμού είναι:

- Λειτουργία Παρακολούθησης
- Λειτουργία Ελέγχου
- Λειτουργία Ειδοποιήσεων
- Λειτουργία Αναφορών
- Λειτουργία Εξαγωγής Δεδομένων

3.3.1. Λειτουργία Παρακολούθησης (Monitoring Service)

Κύρια λειτουργία των εφαρμογών ελέγχου και αυτοματισμού είναι η παροχή πληροφοριών στο χρήστη σχετικά με τις λειτουργίες των προς έλεγχο εγκαταστάσεων, με συνεπή και έγκαιρο τρόπο. Η μεθοδολογία συλλογής δεδομένων αυτών των συστημάτων έχει ως εξής:

A. Μέσω των αισθητήρων και του υπόλοιπου εξοπλισμού συλλέγονται τα δεδομένα πραγματικού χρόνου (real-time data)

B. Με τη βοήθεια υπολογισμών παράγονται οι πρωταρχικές παράμετροι (primary parameters). Οι πρωταρχικές παράμετροι δεν είναι τίποτα άλλο παρά οι μέσοι όροι των δεδομένων πραγματικού χρόνου για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Οι χρονικές στιγμές είναι πάντα υποπολλαπλάσια ή πολλαπλάσια της ώρας. Με τη σειρά τους παράγονται και οι ημερήσιοι, μηνιαίοι και ετήσιοι μέσοι όροι, μέγιστες και ελάχιστες τιμές των πρωταρχικών παραμέτρων. Αυτές οι διαδικασίες εκτελούνται από ελεγκτές σε επίπεδο υλικού ώστε να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων που περνά στο κομμάτι του service back-end και να μειωθούν οι απαιτήσεις σε bandwidth.

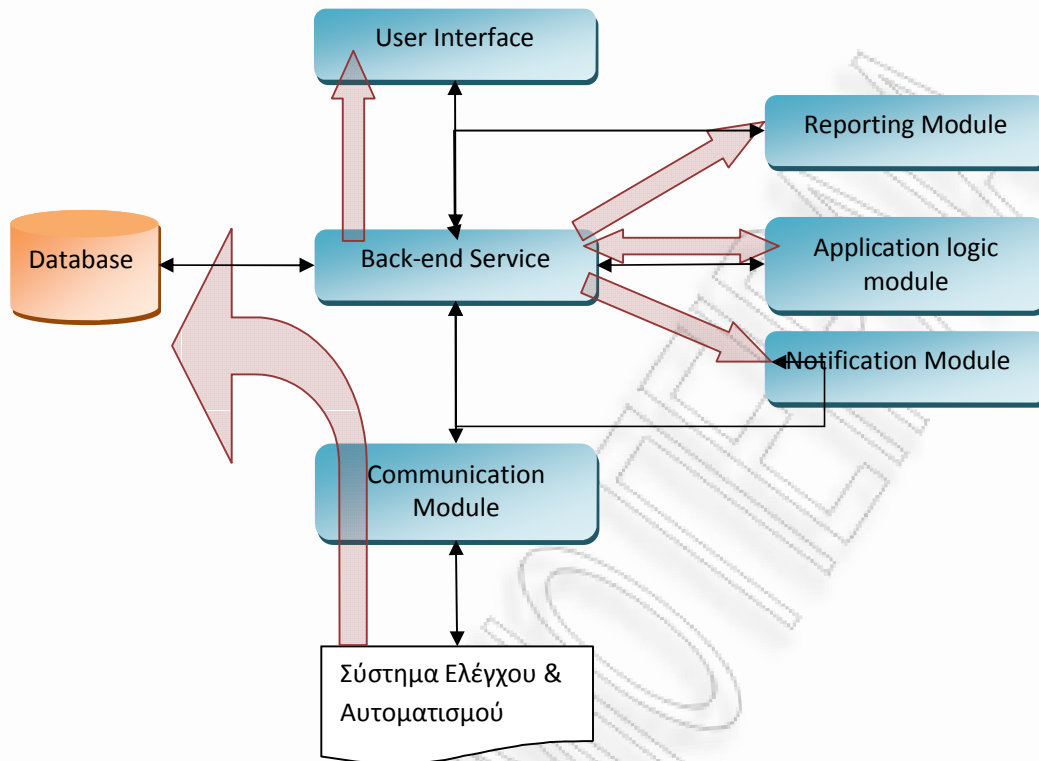
C. Με μαθηματικές φόρμουλες παράγονται οι παραγόμενες παράμετροι (derived parameter) από τιμές ή σύνολο τιμών πρωταρχικών ή / και παραγόμενων παραμέτρων. Η παραγωγή τους γίνεται σε επίπεδο service back-end ώστε να μειωθεί το bandwidth και οι αποθηκευτικές απαιτήσεις στο remote site.

D. Τέλος, αποθηκεύονται ανεπεξέργαστα δεδομένα και δεδομένα πραγματικού χρόνου όπως αυτά καταγράφονται από του ελεγκτές συσκευών και άλλων εξοπλισμών στις ελεγχόμενες εγκαταστάσεις.

Στα πλαίσια της παρακολούθησης εντάσσεται και ο πολύ σημαντικός όρος των καταστάσεων (state status). Η κατάσταση μιας οντότητας του συστήματος αναπαριστά την δριμύτητα μιας συνθήκης και είναι ένας αριθμός μεταξύ του μηδενός (όλα φυσιολογικά) και του εκατό (καταστροφική κατάσταση). Οι καταστάσεις ομαδοποιούνται σε σύνολα και μία οντότητα μπορεί να βρεθεί σε μία μόνο κατάσταση από το συγκεκριμένο σύνολο. Κάθε φορά που πραγματοποιείται ένα γεγονός αλλαγής κατάστασης, το σύστημα το αποθηκεύει και παρουσιάζει στο χρήστη με τα ακόλουθα δεδομένα:

- Την οντότητα που παράγει το γεγονός
- Τη κατάσταση στην οποία οδήγησε το γεγονός, με μια περιγραφική μορφή
- Την ημερομηνία/ώρα του γεγονότος, στην ζώνη ώρας της εγκατάστασης
- Την ημερομηνία/ώρα της λήψης του γεγονότος, , στην ζώνη ώρας της εγκατάστασης
- Τη κατάσταση αναγνώρισης του γεγονότος και το κείμενο αναγνώρισης

Στη παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε τη ροή των δεδομένων της υπηρεσίας παρακολούθησης στην αρχιτεκτονική ενός συστήματος.



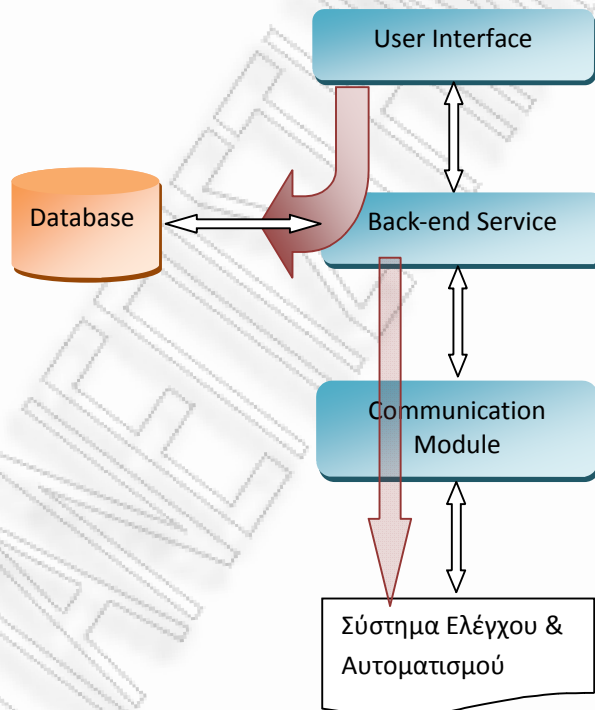
Εικόνα 16 - Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας Παρακολούθησης

Η ενότητα επικοινωνίας (Communication Module) ανακτά τις απαραίτητες πληροφορίες για την εξέταση των δεδομένων στο site-level του συστήματος έλεγχου/παρακολούθησης από το service back-end. Συνδέεται έπειτα με τον εξοπλισμό των συσκευών βασιζόμενο σε ένα πρόγραμμα, συλλέγει τα απαραίτητα δεδομένα και τα υποβάλλει στο service back-end, το οποίο τα αποθηκεύει προσωρινά στη cache σε περίπτωση που κάποια άλλη ενότητα τα ζητήσει και τα γράφει στη βάση δεδομένων. Η ενότητα λογικής εφαρμογής (Application Logic Module) ανακτά τα απαραίτητα πρωταρχικά δεδομένα για να υπολογίσει τις παραγόμενες τιμές, που υπολογίζονται επίσης βασιζόμενες σ' ένα πρόγραμμα και υποβάλλει τα αποτελέσματα στο service back-end, το οποίο πάλι τα αποθηκεύει προσωρινά στη cache και τη βάση δεδομένων. Οι υπόλοιπες ενότητες λογισμικού (το User Interface, το Reporting Module και το Notification Module) συνδέονται με το service back-end, είτε με έναν προγραμματισμένο τρόπο είτε κατόπιν του αιτήματος χρηστών και συλλέγουν τα δεδομένα προκειμένου να απεικονιστούν ή να χρησιμοποιηθούν στις αναφορές ή τις ειδοποιήσεις.

3.3.2. Λειτουργία Ελέγχου (Control Service)

Βασική λειτουργία των προς μελέτη συστημάτων είναι αυτή του ελέγχου. Ο χρήστης μπορεί να διαχειρίζεται τον εξοπλισμό του και τις διαδικασίες του συστήματος είτε μέσω εντολών σε αυτό είτε με την αλλαγή ρυθμίσεων. Οι τιμές των ρυθμίσεων είναι σταθερές, έως ότου επαναπροσδιοριστούν κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της εφαρμογής ή μέσω του συστήματος. Μετά από μία τέτοια αλλαγή ο χρήστης ενημερώνεται αν έχει πραγματοποιηθεί η αλλαγή και αν βρίσκεται ήδη σε εφαρμογή. Η υπηρεσία του ελέγχου για εφαρμογές διαχείρισης απομακρυσμένων εγκαταστάσεων παρέχεται μέσω του δημόσιου Διαδικτύου (Web).

Η Εικόνα 17 απεικονίζει τη ροή των δεδομένων της υπηρεσίας ελέγχου στην αρχιτεκτονική ενός συστήματος.



Εικόνα 17 - Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας Ελέγχου

3.3.3. Λειτουργία Ειδοποιήσεων (Notification Service)

Η υπηρεσία της ειδοποίησης ενημερώνει το χρήστη για σημαντικά γεγονότα. Η ειδοποίηση πραγματοποιείται μέσω e-mail ή SMS. Η δημιουργία τέτοιων γεγονότων εξαρτάται από την αλλαγή κατάστασης των κόμβων του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, αν η κρισιμότητα μιας τέτοια αλλαγής ξεπεράσει ή πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο που είναι ορισμένο από το χρήστη και παραμένει για κάποιο χρόνο εκεί, τότε δημιουργείται ένας συναγερμός για το χρήστη.

Ο χρήστης μπορεί να δηλώσει τις αλλαγές καταστάσεις που τον ενδιαφέρουν καθώς και τα όρια κρισιμότητας για αυτές, για κάθε ελεγχόμενο κόμβο ξεχωριστά. Επομένως, μπορεί να λαμβάνει πολλαπλές ειδοποιήσεις στην εμφάνιση ενός γεγονότος. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να δηλώσει το θετικό όριο (κατάσταση που υπερβαίνει το όριο) ή το αρνητικό όριο (κατάσταση που πέφτει από το όριο) για κάθε κόμβο ξεχωριστά.

3.3.4. Λειτουργία Αναφορών (Reporting Service)

Μία πολύ σημαντική λειτουργία είναι αυτή της αυτόματης παραγωγής αναφορών. Η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιεί το Web και παραδίδει αναφορές στα e-mails ή κινητά τηλέφωνα των χρηστών που έχουν εγγραφεί στην υπηρεσία. Οι αναφορές αυτές περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία, συντήρηση και οικονομική κατάσταση όλου του συστήματος ή συγκεκριμένων εγκαταστάσεων. Η περιοδικότητα και το περιεχόμενό τους καθορίζεται από το διαχειριστή και τις επιλογές του εκάστοτε χρήστη.

3.3.5. Λειτουργία Εξαγωγής Δεδομένων (Export Data Service)

Με την υπηρεσία της εξαγωγής δεδομένων δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αποθηκεύει τοπικά δεδομένα που διατηρούνται στην εφαρμογή. Η πηγή των δεδομένων είναι πρωταρχικές ή παραγόμενες παράμετροι που προέρχονται από οποιαδήποτε οντότητα που παρακολουθείται. Τα εξαγόμενα δεδομένα είναι σε μορφή .xml αρχείων ή σε μορφή γραφικών αναπαραστάσεων. Όσον αφορά την περιοδικότητα εξαγωγής των δεδομένων και τη χρονική διάρκεια της εξαγωγής, αυτή καθορίζεται από το χρήστη.

3.4. Ειδικές Λειτουργίες

3.4.1. Εντοπισμός συναγερμών και αποτυχιών λειτουργιών

Ο ελεγκτής έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει αποτυχημένες λειτουργίες καθώς και συναγερμούς που προέρχονται είτε άμεσα από σήματα I/O είτε από πολύπλοκες αλγεβρικές, σειριακές ή συνδυαστικές συναρτήσεις και διεργασίες. Στη συνέχεια, τα κατηγοριοποιεί και θέτει προτεραιότητες, τα αποθηκεύει, δημιουργεί ειδοποιήσεις και αναφορές και τα προωθεί στα κέντρα διαχείρισης.

3.4.2. Συλλογή, καταγραφή, αποθήκευση δεδομένων

Η συλλογή, καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων πραγματοποιείται από το κομμάτι του service back-end, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η κατάσταση του συστήματος, τα δεδομένα που περιέχουν τις παραμέτρους διαμόρφωσης, οι τιμές των σημάτων, οι αποθηκευμένοι συναγερμοί και άλλα δεδομένα αποθηκεύονται περιοδικά στη μνήμη RAM του ελεγκτή, είτε αυτόματα από το λειτουργικό είτε μετά από αίτηση του κέντρου ελέγχου. Αυτό διασφαλίζει ότι τα δεδομένα του ελεγκτή θα διατηρηθούν μετά από προγραμματισμένες ή τυχαίες επανεκκινήσεις και απενεργοποιήσεις.

4. Ανάπτυξη Δικτυοκεντρικής Πλατφόρμας Ελέγχου & Διαχείρισης Ενέργειας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκε μία δικτυοκεντρική πλατφόρμα ελέγχου και διαχείρισης φωτοβολταϊκών πάρκων. Μέσω αυτής παρέχονται κάποιες βασικές λειτουργίες ελέγχου, όπως και η διαχείριση

4.1. Τεχνολογίες

Η βάση δεδομένων του service-back end υλοποιήθηκε σε Microsoft SQL Server 2008. Το κομμάτι της διεπαφής και του προγραμματισμού υλοποιήθηκε στην αντικειμενοστραφή γλώσσα C# 4.0 και σε περιβάλλον Visual Studio 2010. Το Framework που χρησιμοποιήθηκε είναι το .NET 4.0. Πιο αναλυτικά για το κάθε κομμάτι, ακολουθούν τα παρακάτω κεφάλαια:

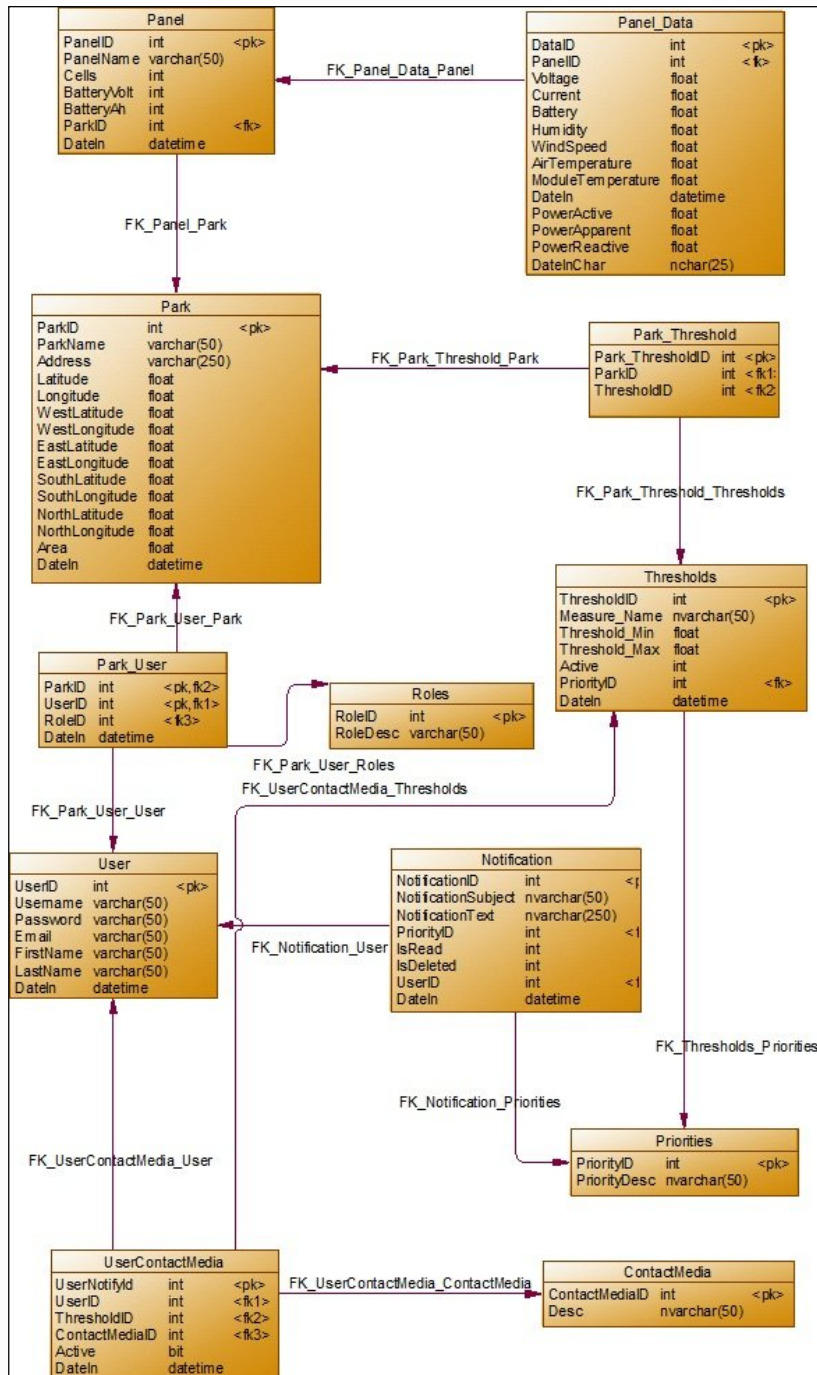
4.2. Σχεδιασμός Βάσης Δεδομένων

Το διάγραμμα οντοτήτων – σχέσεων δημιουργήθηκε με PowerDesigner (βλ. Εικόνα 18). Η βάση δεδομένων της εφαρμογής αποτελείται από 12 πίνακες:

- *Park*: ο πίνακας περιέχει τις εγγραφές για όλα τα πάρκα μαζί με τα απαραίτητα στοιχεία τους όπως είναι το όνομα, η διεύθυνση, η περιοχή και οι συντεταγμένες του για τις εγκατεστημένες κάμερες.
- *Panel*: περιέχει όλα τα καταγεγραμμένα πάνελ καθένα από τα οποία συνδέεται σε ένα πάρκο.
- *User*: περιέχει όλους τους χρήστες που έχουν πρόσβαση στο φωτοβολταϊκό πάρκο. Τα στοιχεία που αποθηκεύονται είναι το όνομα χρήστη και ο κωδικός τους, το ονοματεπώνυμό τους και το email επικοινωνίας.
- *PanelData*: στον πίνακα αυτό καταγράφονται οι τιμές των μετρίσιμων σημάτων του κάθε πάρκου. Αυτές οι τιμές προέρχονται από το κομμάτι Communication Adapter Module (CAM), το οποίο συλλέγει δεδομένα από την απομακρυσμένη εγκατάσταση και υπολογίζει τους μέσους όρους σε χρονικό διάστημα 15 λεπτών. Οι τιμές που αποθηκεύονται είναι: μπαταρία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, εξωτερική θερμοκρασία, θερμοκρασία

εγκατάστασης, και οι ενέργειες του εναλλασσόμενου ρεύματος (Active Power, Reactive Power, Apparent Power).

- *ContactMedia*: περιέχει όλα τα μέσα επικοινωνίας που υποστηρίζει η εφαρμογή (email-sms-inbox).
- *UserContactMedia*: καταγράφει για κάθε χρήστη με ποιο μέσο ειδοποιείται για κάθε συναγερμό ξεχωριστά. Ο χρήστης μπορεί να ειδοποιείται με ένα ή περισσότερα μέσα δηλώνει για κάθε ειδοποίηση.
- *Notification*: αποθηκεύει τις ειδοποιήσεις του χρήστη που δημιουργούνται αυτόματα από το σύστημα.
- *Priorities*: περιέχει όλες τις προτεραιότητες των συναγερμών που υποστηρίζει το σύστημα (low-medium-high).
- *ParkUser*: συνδέει τους χρήστες με τα πάρκα ορίζοντας και τον αντίστοιχο ρόλο που έχουν γι' αυτά.
- *Roles*: περιέχει τους ρόλους που υποστηρίζονται από το σύστημα.
- *Thresholds*: παρέχει την ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για κάθε μετρίσιμο σήμα της εφαρμογής. Βάση αυτών των ορίων δημιουργούνται και οι συναγεροί- ειδοποιήσεις των χρηστών.
- *ParkThreshold*: συσχετίζει κάθε πάρκο με τα ενεργά επιτρεπτά όρια.



Εικόνα 18 - ER Διάγραμμα

4.3.Ανάπτυξη Εφαρμογής

Όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 4.1, η εφαρμογή υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Visual Studio 2010 με Framework .NET 4. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι η C#. Η εφαρμογή αποτελείται από τρία projects:

SolarPark

Στο SolarPark project έχουν υλοποιηθεί όλες οι .aspx σελίδες, οι οποίες αποτελούν το interface των χρηστών της εφαρμογής.

DBTier

Το DBTier project αποτελεί το DAL (Database Access Layer) που παρέχει τη σύνδεση με τη βάση μας και περιέχει αρχεία για κάθε πίνακα της βάσης.

SolarParkWcfServiceLibrary

SolarParkWcfServiceLibrary είναι το project που υλοποιεί τα web services της εφαρμογής μας.

Τα γραφήματα της εφαρμογής υλοποιήθηκαν με τα Charting Controls που υπάρχουν ενσωματωμένα πλέον στο framework 4.0. Με τα συγκεκριμένα εργαλεία ορίζεται ο τύπος του γραφήματος, η μορφή του, η πηγή των δεδομένων του καθώς και το φιλτράρισμά τους.

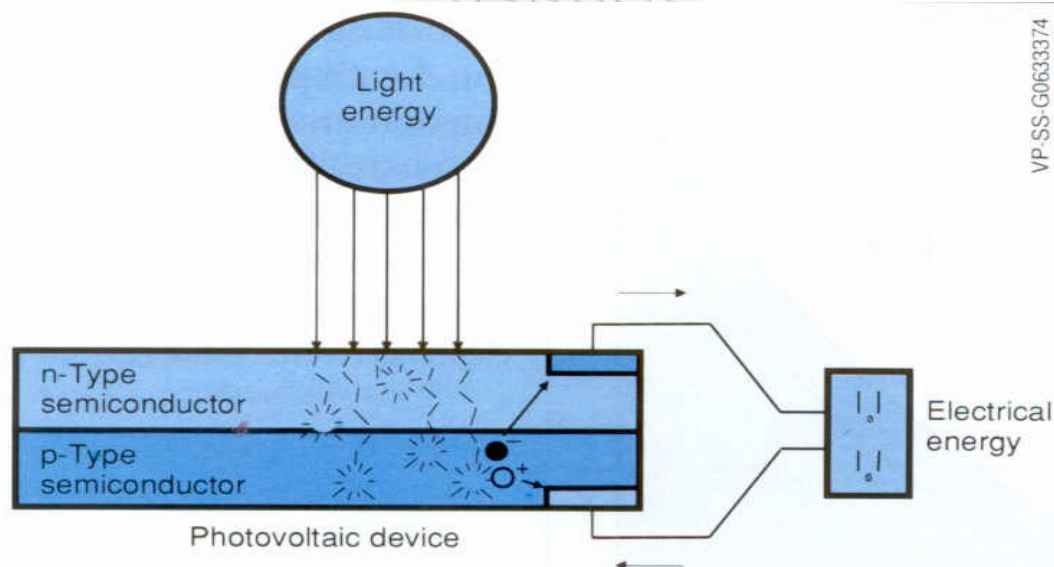
Όσον αφορά τα web services, το VS2010 περιλαμβάνει τη δημιουργία project τύπου WCF Service Library. Η WCF Service Library είναι ένα μεταγλωττισμένο συστατικό που μπορεί να επεκταθεί ως web service ή windows service ή ακόμα και ως μέρος μιας προσαρμοσμένης hosting εφαρμογής. Πατώντας το F5 για να ξεκινήσει ο debugger, ο WCF Service Host (WcfSvcHost.exe) υλοποιεί το hosting των web services του project. Έπειτα, ανοίγει ο WCF Test Client (WcfTestClient.exe) και εμφανίζει μία λίστα των services endpoints που έχουν οριστεί στο configuration αρχείο. Επομένως, με το *WcfTestClient* εργαλείο δοκιμάζουμε την υλοποίηση των web services χωρίς να χρειάζεται να εκτελέσουμε την Web εφαρμογή μας, ενώ με το *WcfSvcHost* υλοποιούμε το hosting χωρίς να είναι απαραίτητο το στήσιμο των υπηρεσιών Ιστού με τη βοήθεια του IIS.

4.4.Αναλυτική Περιγραφή Εφαρμογής Ελέγχου

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα περιγράψουμε αρχικά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, στο οποίο στηρίζεται ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τις μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα πάρκο.

4.4.1. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο (Photovoltaic Effect)

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η βασική φυσική διαδικασία κατά την οποία ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο μετατρέπει το φως του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φως του Ήλιου αποτελείται από φωτόνια, πακέτα ηλιακής ενέργειας. Αυτά τα πρωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας που αντιστοιχούν σε διαφορετικά μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος. Όταν τα φωτόνια πέσουν πάνω σε ένα φωτοβολταϊκό κελί, μπορεί είτε να ανακλαστούν, είτε να απορροφηθούν ή απλά να το διαπεράσουν. Αυτά που απορροφούνται δημιουργούν ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 19 - Απεικόνιση Φωτοβολταϊκού Φαινομένου

Η ενέργεια ενός φωτονίου μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου της συσκευής ημιαγωγών. Με την νέα ενέργειά του, το ηλεκτρόνιο είναι σε θέση να δραπετεύσει από την κανονική του θέση, που συνδέεται με ένα άτομο στον ημιαγωγό, και να γίνει μέρος του ρεύματος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι ειδικές ηλεκτρικές ιδιότητες του φωτοβολταϊκού κυττάρου και συγκεκριμένα ένα

ενσωματωμένο ηλεκτρικό πεδίο παρέχει την τάση που απαιτείται για να οδηγήσει το ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού φορτίου.

4.4.2. Μονάδες Εγκατάστασης Ελέγχου και Παρακολούθησης

Ένα φωτοβολταϊκό πάρκο αποτελείται από τις παρακάτω μονάδες:

4.2.1.1. Πάνελ

Ένα ηλιακό πάνελ (solar panel, photovoltaic module) είναι ένα σύνολο από ηλιακές κυψέλες και πλήθος άλλων προστατευτικών και λειτουργικών επιστρώσεων εγκατεστημένα επάνω σε πλαίσιο αλουμινίου ως μέσο στήριξης. Τα ηλιακά πάνελ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονάδες που τελικά θα συγκροτήσουν ένα μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό σύστημα ώστε να παράγουν και να προμηθεύουν ηλεκτρική ενέργεια για οικιακές ή εμπορικές εφαρμογές.

Τα ηλιακά πάνελ χρησιμοποιούν φωτόνια από τον ήλιο για να παράγουν ηλεκτρισμό μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Στην πλειοψηφία των πάνελ χρησιμοποιείται κρυσταλλικό πυρίτιο το οποίο μπορεί να βρεθεί σε αφθονία στην Γη και μάλιστα επιφανειακά χωρίς εξόρυξη. Αυτό που ανεβάζει το κόστος των πάνελ τόσο πολύ είναι ότι πρέπει να υποστεί πολύ μεγάλη επεξεργασία και χημικές προσμίξεις έτσι ώστε να αποκτήσει εκμεταλλεύσιμα αποτελέσματα.

Συνδέονται σε σειρά μέχρι να αποκτήσουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα σε έξοδο ρεύματος και παράλληλα μέχρι να αποκτήσουμε την επιθυμητή ένταση. Συνεπώς η συνδεσμολογία τους είναι ένα πολύ βασικό κομμάτι.

Ξεχωριστές δίοδοι μπορεί να απαιτηθούν ώστε να αποφύγουμε αντιστροφές ρεύματος σε περίπτωση μερικής ή ολικής σκίασης κάποιων πάνελ. Σε περίπτωση που κάτι τέτοιο συμβεί η εγκατάσταση μας όχι μόνο λειτουργεί μη αποδοτικά αλλά παρουσιάζει και απώλεια ισχύος.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας η απόδοση των πάνελ μειώνεται ενώ με την μείωση συμβαίνει το ανάποδο φυσικά μέσα σε λογικά πλαίσια. Κάθε πάνελ έχει δικά του χαρακτηριστικά στα οποία φαίνεται η επίδραση αυτή. Ένας καλός εγκαταστάτης πρέπει να γνωρίζει αυτές τις λεπτομέρειες και να έχει προνοήσει για τον σωστό αερισμό τους.

4.2.1.2. Μπαταρία

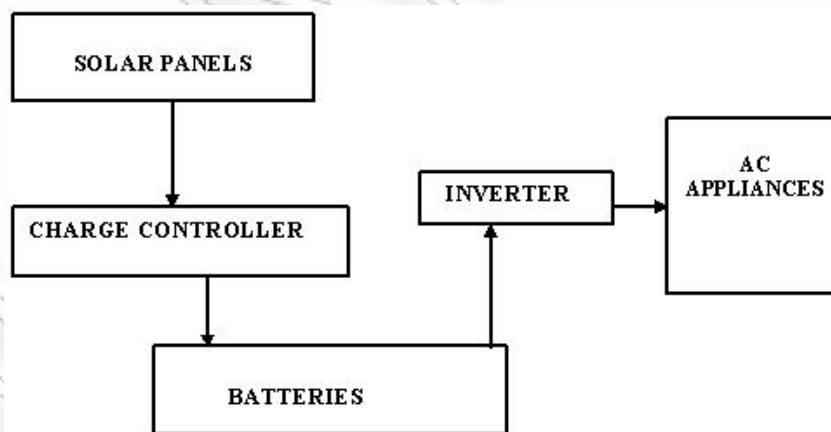
Η μπαταρία αποθηκεύει την ηλιακή ενέργεια ώστε να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε περιόδους απουσίας ήλιου, όπως οι νύχτες και οι νεφελώδεις ημέρες. Πρέπει να είναι σε θέση να αποφορτιστεί και να επαναφορτιστεί. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες είναι λίγο ακριβότερες από τις αποθεματικές μπαταρίες. Χωρίς μπαταρίες ένα σύστημα PVC μπορεί να παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν έχει ήλιο.

4.2.1.3. Ελεγκτής φόρτισης (Charge Controller)

Ρόλος του είναι να παρέχει στις μπαταρίες ηλεκτρική ενέργεια από το ηλιακό πλαίσιο, με έναν τρόπο που αποτρέπει το ηλιακό πάνελ από την υπερφόρτωση των μπαταριών.

4.2.1.4. Μετατροπέας Ενέργειας (Power Inverter)

Τα ηλιακά πάνελ παράγουν ρεύμα σε DC. Κάποιες συσκευές τροφοδοτούνται απ' ευθείας από το πάνελ. Ωστόσο, οι περισσότερες συσκευές χρησιμοποιούν AC ενέργεια υψηλής τάσης. Ο μετατροπέας ενέργειας εκτελεί αυτή τη διαδικασία. Μετατρέπει τα χαμηλής τάσης άμεσα ρεύματα (DC) από την μπαταρία στο υψηλής τάσεως εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που απαιτείται από τις περισσότερες οικιακές συσκευές.



Εικόνα 20 - Δομή Ηλιακού Πάνελ

4.4.3. Σήματα

Σε κάθε εφαρμογή ελέγχου, ελέγχεται ένας αριθμός σημάτων με τη χρήση κατάλληλων αισθητήριων στοιχείων, ανάλογα με τα παρατηρήσιμα φυσικά μεγέθη. Το αισθητήριο δίνει κάποιου τύπου ψηφιακό (δυναμικό ή διακριτό) ή αναλογικό

(συνεχές) σήμα, ή πιο πολύπλοκα σήματα με τη μορφή κάποιου πρωτοκόλλου, πχ σειριακό. Ο τύπος του σήματος εξαρτάται από το παρατηρούμενο φυσικό μέγεθος και το αισθητήριο που χρησιμοποιείται [11].

Οι ελεγκτές ενός συστήματος ελέγχου και αυτοματισμού μπορούν να ελέγχουν και να παρακολουθούν ταυτόχρονα ψηφιακά, αναλογικά και σειριακά δεδομένα από αισθητήρες, ενεργοποιητές και συσκευές.

Στην εφαρμογή ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας που υλοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκαν τα εξής σήματα:

4.4.3.1. Σήμα ενέργειας

Το σήμα της ενέργειας είναι αναλογικό και παράγεται από το γινόμενο του ηλεκτρικού δυναμικού με την ένταση κάθε δεδομένη χρονική στιγμή.

$$\text{Power (Watt)} = \text{Voltage (Volt)} \times \text{Current (Ampere)}$$

Ένα κελί μπορεί να παράγει περίπου 0,5V τάση ανεξαρτήτως μεγέθους. Τα περισσότερα solar panels αποτελούνται από 24 cells που παράγουν 12V τάση. Το ρεύμα που παράγει ένα τέτοιο πάνελ είναι συνήθως 4 Amperes. Τα πάνελ όταν συνδέονται μεταξύ τους σειριακά, αυξάνεται η τελική παραγόμενη τάση και ισοδυναμεί με το άθροισμά τους. Ενώ όταν συνδέονται παράλληλα, η τάση μένει η ίδια και αυξάνεται το ρεύμα το οποίο προκύπτει από το άθροισμά τους.

4.4.3.2. Σήμα θερμοκρασίας

Ένας αισθητήρας μετρά την θερμοκρασία της εγκατάστασης. Το σήμα είναι αναλογικό και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας του συστήματος σε ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος. Η ιδανική θερμοκρασία για τα φωτοβολταϊκά πάρκα είναι οι 25 °C (77 °F). Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται το ρεύμα (current) αυξάνεται ελάχιστα, ενώ η τάση (voltage) μειώνεται πολύ γρήγορα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια γενικά χαμηλότερη απόδοση ενέργειας. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η απόδοση ενός κελιού πέφτει κατά 0.5% για κάθε 1 °C πάνω από τους 25 °C. Επιπλέον, ένας αισθητήρας μετρά τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

4.4.3.3. Σήμα υγρασίας

Ένας αισθητήρας μετρά την υγρασία του περιβάλλοντος. Πρόκειται για αναλογικό σήμα και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας του συστήματος σε ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος.

4.4.3.4. Σήμα ανέμου

Ένας αισθητήρας μετρά τον άνεμο του περιβάλλοντος. Πρόκειται για αναλογικό σήμα και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας του συστήματος σε ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος.

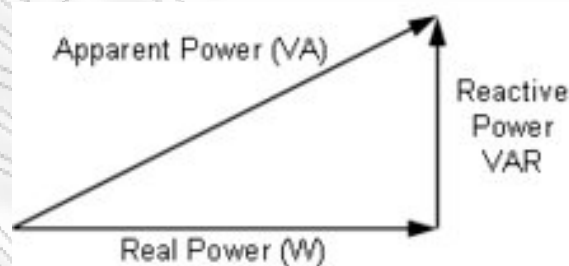
4.4.3.5. Σήματα εναλλασσόμενου ρεύματος

Το εναλλασσόμενο ρεύμα αποτελείται από τρία συστατικά:

- Real/Active Power: Η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται. Μετριέται σε Watts.
- Apparent Power: Η ποσότητα ενέργειας που παραδίδεται από μία πηγή σε ένα φορτιστή. Πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτή που χρειάζεται μία συσκευή για να δουλέψει.

Μετριέται σε Volt-Amperes (va).

- Reactive Power: Η ποσότητα ενέργειας που επιστρέφει στη πηγή σε κάθε κύκλο, λόγω της αποθηκευμένης ενέργειας. Μετριέται σε reactive Volt-Amperes (var).

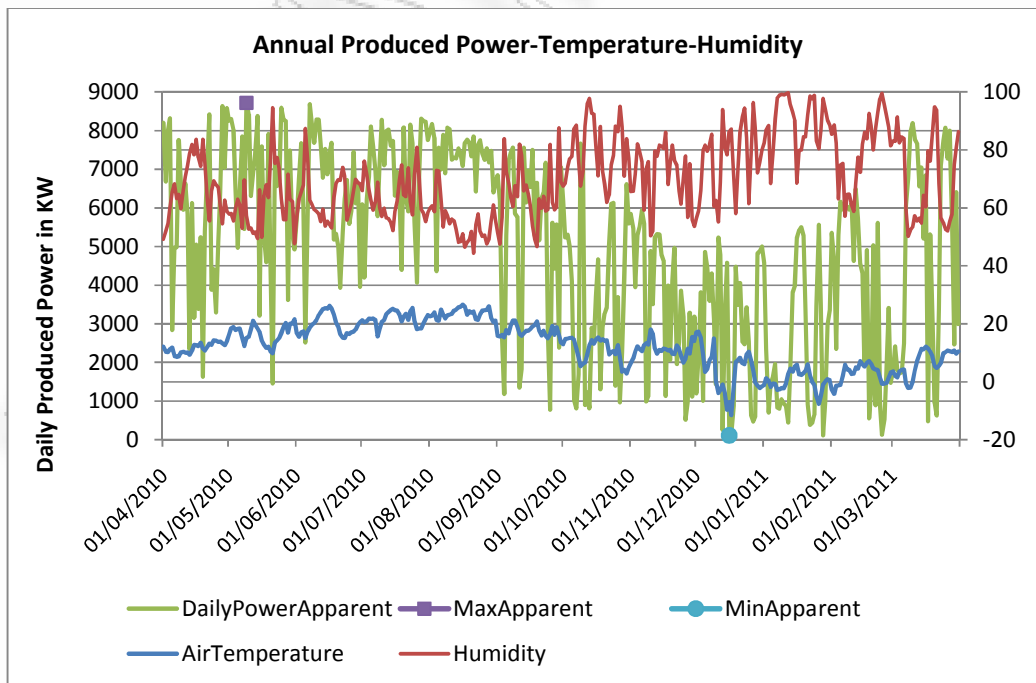


Εικόνα 21 - Εναλλασσόμενο Ρεύμα

Η αναλογία της ενέργειας που καταναλώνεται προς την ενέργεια που παράγεται από μία πηγή ονομάζεται συντελεστής δύναμης (power factor - PF). Ο

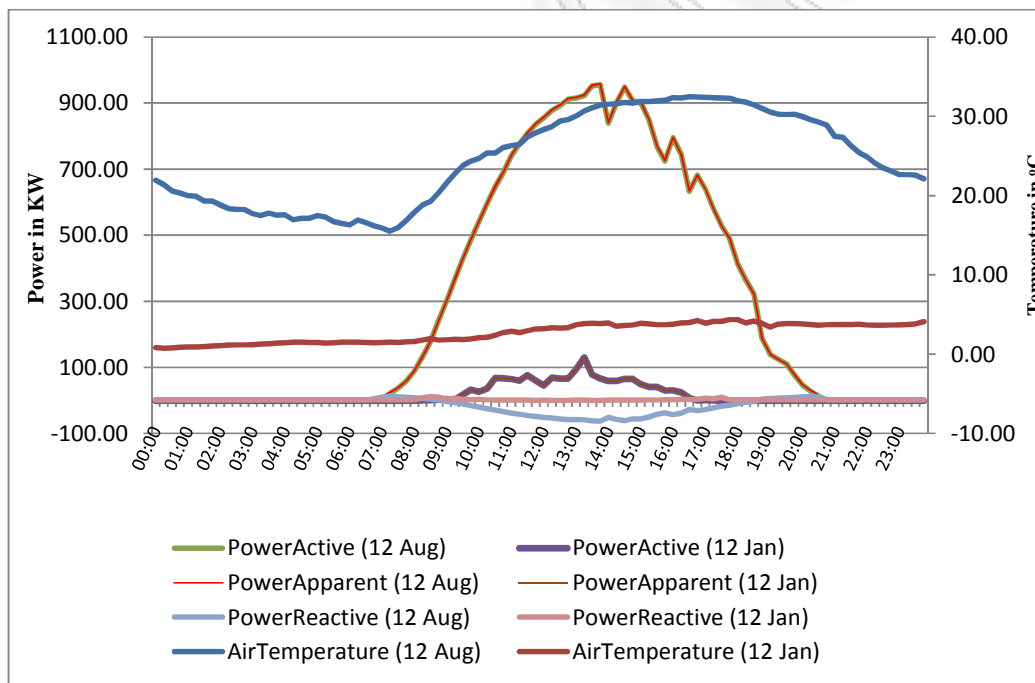
συντελεστής μπορεί να έχει και αρνητική τιμή στη περίπτωση που παράγεται ενέργεια η οποία τροφοδοτεί το δίκτυο.

Το σύστημα που έχει υλοποιηθεί έχει δοκιμαστεί με πραγματικά δεδομένα. Αυτά έχουν συλλεχθεί κατά τη διάρκεια περιόδου ενός έτους από μια πραγματική εγκατάσταση φωτοβολταϊκών που συνέλλεγε και παρακολουθούσε τα παραπάνω σήματα. Η Εικόνα 22 απεικονίζει την ετήσια ενέργεια που παράγεται στο πάρκο σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία και την υγρασία στο χώρο του πάρκου. Ο μέγιστη απόδοση παρουσιάζεται το μήνα Μάιο, ενώ η ελάχιστη εμφανίζεται στα μέσα Δεκεμβρίου. Η απόδοση του πάρκου αυξάνεται κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινούς μήνες λόγω του ευνοϊκού κλίματος. Προφανώς, η αλλαγή της απόδοση είναι ανάλογη με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Ο ελάχιστη απόδοση έχει καταγραφεί κατά τη διάρκεια της ημέρας του χρόνου με την ελάχιστη θερμοκρασία. Βέβαια, δε συμβαίνει το ίδιο με την μέγιστη απόδοση. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση ενός ηλιακού πάρκου. Τέλος, παρατηρείται ότι η συνολική ετήσια ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό πάρκο έφθασε 1,82 MW.



Εικόνα 22 – Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια - Θερμοκρασία – Υγρασία

Η Εικόνα 23 απεικονίζει την εξωτερική θερμοκρασία και τις τιμές του εναλλασσόμενου ρεύματος για μία χειμερινή και μία καλοκαιρινή ημέρα. Οι τιμές στις 12 Αυγούστου του 2010 - μια καυτή καλοκαιρινή ημέρα με εξωτερική θερμοκρασία κατά μέσο όρο 30°C – παρουσιάζουν μία κορυφή στα 900KWatts. Οι τιμές στις 12 Δεκεμβρίου του 2010 - μια κρύα ημέρα του χειμώνα με εξωτερική θερμοκρασία μόλις 5°C - δείχνουν ότι είναι εύκολα και μόνιμα δυνατόν να επιτευχθεί ο στόχος των 70° C και η θερμική ενέργεια των αποθηκευτικών μονάδων περίπου στις 1,5 MWh: ένα πολύ καλό αποτέλεσμα για σχεδόν τη μικρότερη και πιο κρύα ημέρα του έτους. Και στις δύο περιπτώσεις, παρατηρείται ότι η ενέργεια που παράγεται (apparent power) από το πάρκο καταναλώνεται σχεδόν όλη (active power).



Εικόνα 23 - AC Ρεύμα vs Θερμοκρασία (12 Αυγούστου / 12 Δεκεμβρίου)

4.4.4. Συναγερμοί

Οι συναγερμοί είναι δυαδικά σήματα τα οποία εξαρτώνται από ένα ή περισσότερα σήματα και ενεργοποιείται (τιμή = 1) από τις τιμές του και τις αλλαγές κατάστασής τους. Στην περίπτωση των δυαδικών ψηφιακών σημάτων ο συναγερμός ενεργοποιείται από την αλλαγή κατάστασης του σήματος. Στη περίπτωση των

διακριτών ψηφιακών ή αναλογικών, η ενεργοποίηση του συναγερμού γίνεται με την υπέρβαση κάποιου ανώτατου ή / και κατώτατου ορίου.

4.4.4.1. Συναγερμός Απώλειας Ισχύος (power loss alarm)

Ενεργοποιείται σε περίπτωση μεγάλης σκίασης .

4.4.4.2. Συναγερμός Υγρασίας (mold alert)

Χρησιμοποιείται το σήμα της υγρασίας

4.4.4.3. Συναγερμός Μπαταρίας (battery alert)

Ενεργοποιείται βάση των ελάχιστων και κατώτατων ορίων του σήματος της θερμοκρασίας που θέτει ο κατασκευαστής ή ο χρήστης. Οι κWώρες που μπορεί να παράγει ένα ηλιακό πάνελ με αυτονομία μπαταρίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κάτω από ένα όριο η μπαταρία μειώνει την απόδοσή της και πάνω από ένα όριο θερμοκρασίας η μπαταρία σταματά την επαναφόρτιση.

4.4.4.4. Συναγερμός Ασφάλειας (security alert)

Μέσω οπτικών ινών που εφαρμόζονται στα φωτοβολταϊκά πάνελ ή χρησιμοποιούνται για τη περίφραξη της εγκατάστασης, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ελέγχει την εγκατάστασή του από τυχόν καταστροφές.

4.4.5. Λειτουργίες Πλατφόρμας

Οι λειτουργίες που υποστηρίζει η παρούσα πλατφόρμα ελέγχου και παρακολούθησης είναι οι εξής:

2.2.5.1. Surveillance

Με τη χρήση του Google Maps εμφανίζονται οι περιοχές των εγκαταστάσεων μας. Ο χρήστης μπορεί να δίνει συγκεκριμένες συντεταγμένες ή να επιλέγει από τις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις.

2.2.5.2. Performance

Με τη βοήθεια γραφικής αναπαράστασης παρουσιάζεται η απόδοση του πάρκου ως συνάρτηση του χρόνου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη μορφή του γραφήματος, την ημέρα που θέλει, όπως επίσης και συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα για έλεγχο της απόδοσης.

2.2.5.3. Alarm

Ο χρήστης του πάρκου μπορεί να ελέγξει τα όρια των σημάτων της εφαρμογής καθώς και τις προτεραιότητές τους. Σε περίπτωση που είναι και ο administrator του πάρκου μπορεί και να τα τροποποιήσει. Επίσης, με τη βοήθεια γραφικής αναπαράστασης μπορεί να ελέγξει τις τιμές των σημάτων που επιθυμεί για μία συγκεκριμένη ημέρα και πως σχετίζονται αυτές με τα δεδομένα όρια.

2.2.5.4. Notification

Με τη συγκεκριμένη λειτουργία ο χρήστης έχει το προσωπικό του Inbox, παρεχόμενο από την εφαρμογή. Ο χρήστης ειδοποιείται για όλους τους συναγερμούς μέσω Inbox, σε συνδυασμό με τις επιπλέον ρυθμίσεις - μέσα ειδοποίησης που έχει επιλέξει.

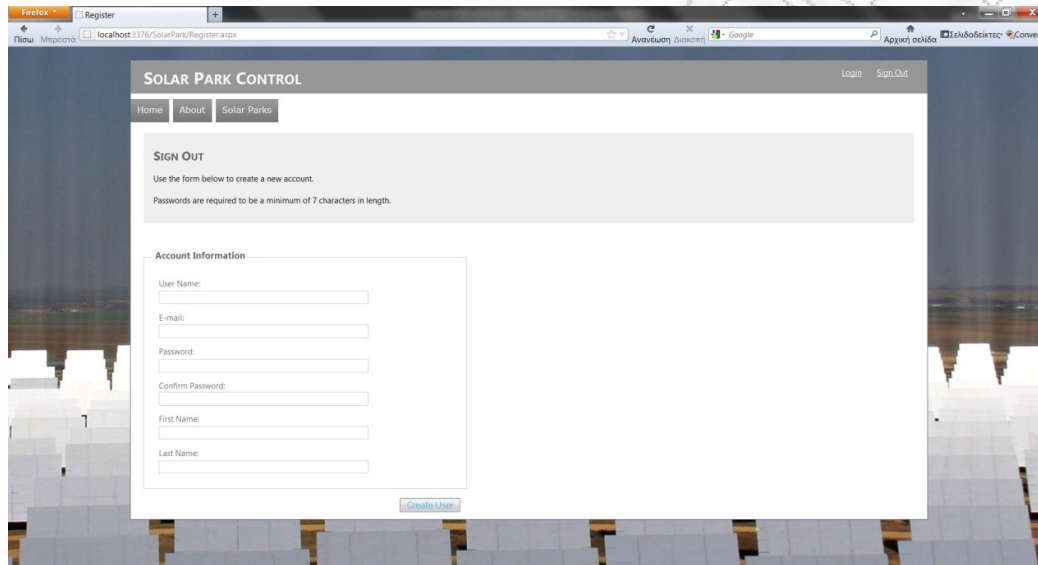
2.2.5.5. Data Export

Ο χρήστης επιλέγει τα μέτρα που τον ενδιαφέρουν από μία λίστα μέτρων, καθώς επίσης και το χρονικό διάστημα που τον ενδιαφέρει. Τα δεδομένα του εμφανίζονται συγκεντρωτικά σε μία γραφική αναπαράσταση. Οι τιμές των δεδομένων μπορούν να εξαχθούν υπό τη μορφή αρχείου xml, το οποίο αποθηκεύεται στο φάκελο MyDocuments/SolarPark/Export Files.

4.5. Εγχειρίδιο Χρήσης

Εγγραφή

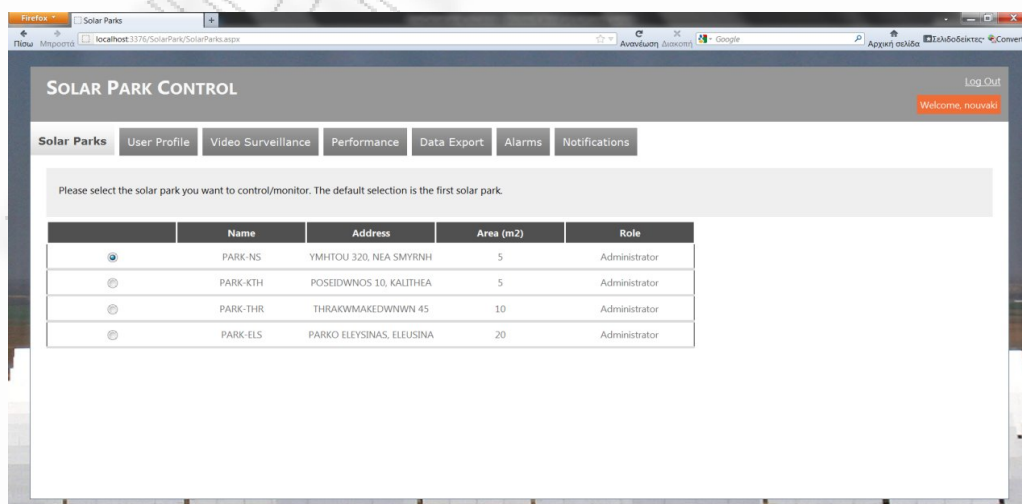
Η διαδικασία της εγγραφής του χρήστη είναι πολύ απλή. Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ένα όνομα χρήστη και να συμπληρώσει τα στοιχεία του (ονοματεπώνυμο και ηλεκτρονική διεύθυνση). Στη συνέχεια επικοινωνεί με το διαχειριστή του συστήματος, ώστε να συνδέσει το χρήστη με τα πάρκα που θα διαχειρίζεται.



Εικόνα 24 - Εγγραφή Χρήστη

Επιλογή Πάρκου

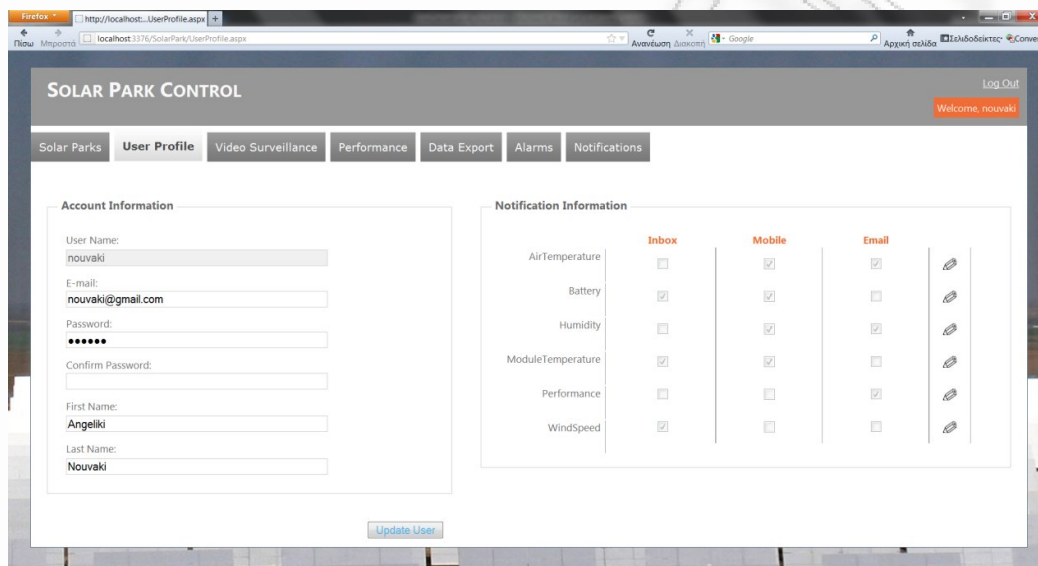
Στη σελίδα "Solar Parks" ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το πάρκο το οποίο επιθυμεί να ελέγξει. Όλες οι υπόλοιπες σελίδες αναφέρονται στο επιλεγμένο πάρκο.



Εικόνα 25 - Επιλογή Πάρκου Διαχείρισης

Προφίλ Χρήστη

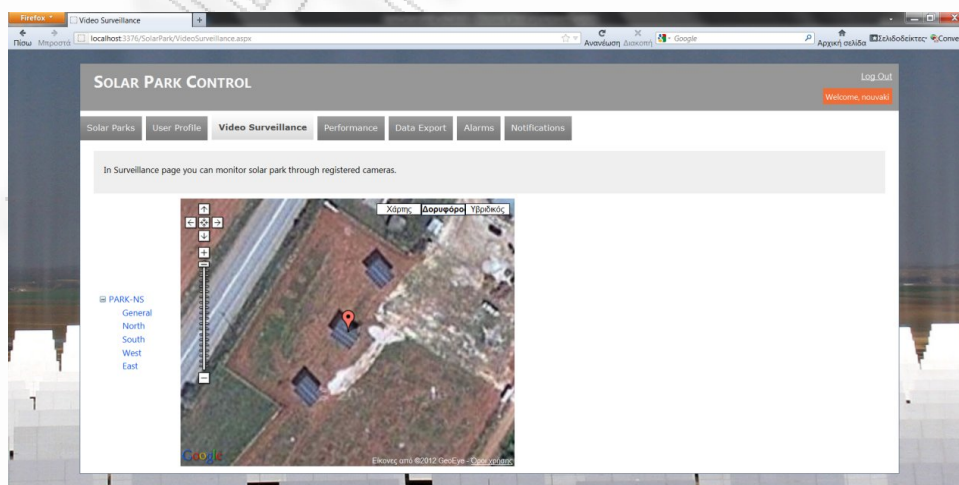
Στη σελίδα του προφίλ ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τα στοιχεία του λογαριασμού του, εκτός του ονόματος χρήστη που έχει επιλέξει. Επίσης, καθορίζει τον τρόπο ειδοποίησης για κάθε συναγερμό. Οι συναγερμοί που υποστηρίζονται από το σύστημα είναι η θερμοκρασία αέρα, η απόδοση της μπαταρίας, η υγρασία, η θερμοκρασία της εγκατάστασης, η απόδοση του πάρκου και η ταχύτητα του ανέμου. Για κάθε συναγερμό υπάρχουν τρεις επιλογές: τα μηνύματα μέσω της εφαρμογής (Inbox), το κινητό και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Οι ειδοποιήσεις στις δύο τελευταίες επιλογές αποστέλλονται στα αντίστοιχα στοιχεία που έχει δηλώσει.



Εικόνα 26 - Προφίλ Χρήστη

Παρακολούθηση Πάρκου Μέσω Κάμερας

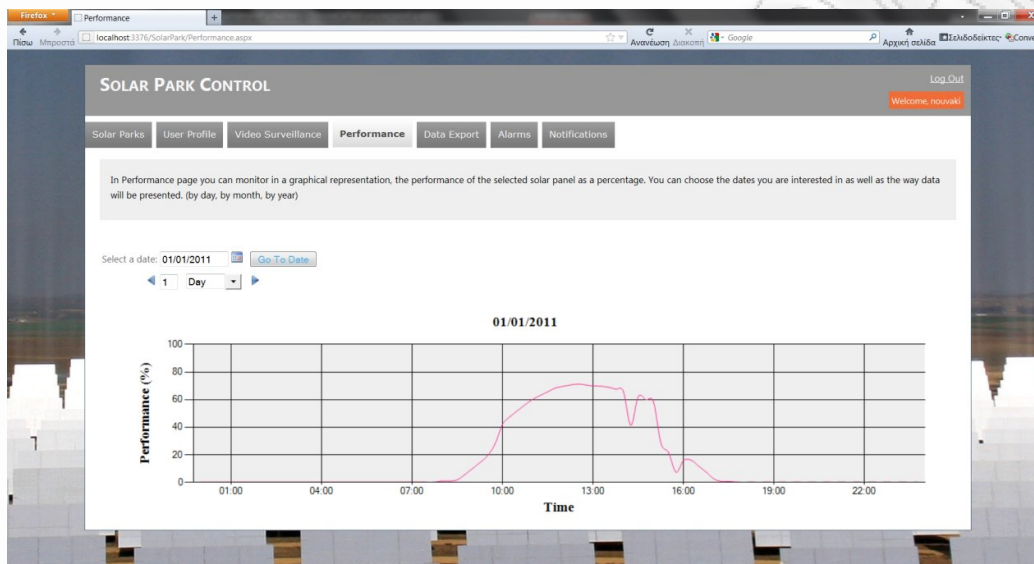
Μέσω της σελίδας της παρακολούθησης ο χρήστης μπορεί να ελέγχει την εγκατάσταση για τυχόν παραβιάσεις ή καταστροφές. Για κάθε πάρκο παρέχονται πέντε προσανατολισμοί (North, South, West, East, General).



Εικόνα 27 - Παρακολούθηση Πάρκων

Έλεγχος Απόδοσης Πάρκου

Στη σελίδα της Απόδοσης ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την συνολική απόδοση του πάρκου η οποία εκφράζεται ως ποσοστό. Μπορεί να επιλέξει την ημερομηνία που τον ενδιαφέρει και το εύρος των αποτελεσμάτων. Επίσης επιλέγει την εμφάνιση των αποτελεσμάτων ανά ημέρα, μήνα ή έτος. Στην Εικόνα 28 απεικονίζεται η απόδοση την 1^η Ιανουαρίου του 2011 με εύρος μίας ημέρας.

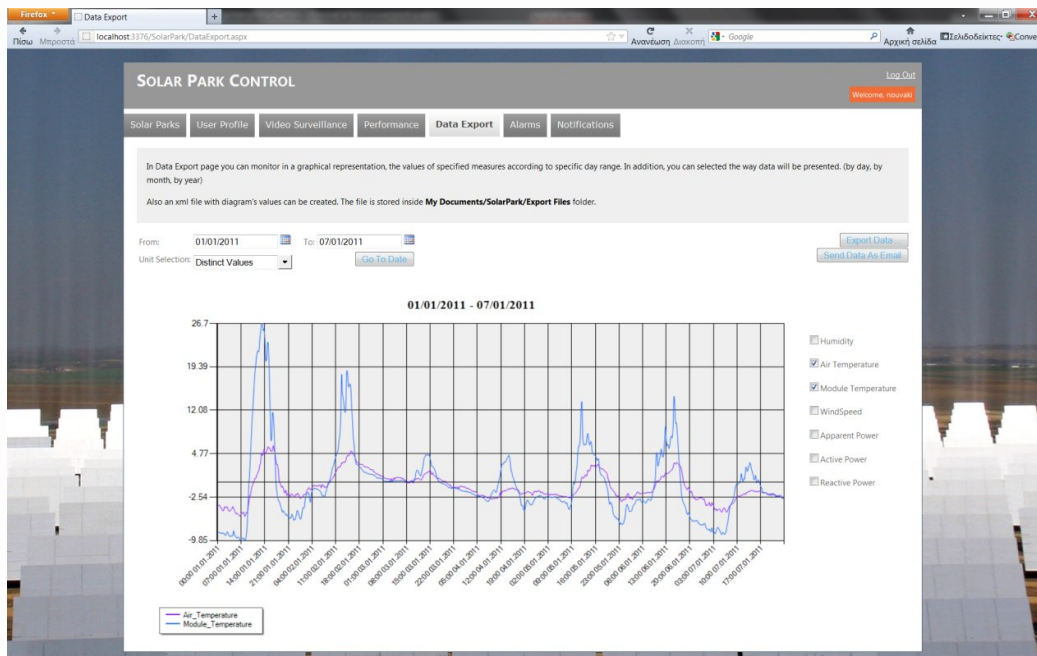


Εικόνα 28 - Απόδοση Πάρκου

Έλεγχος Σημάτων - Εξαγωγή Δεδομένων

Μέσω της εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να ελέγξει όλα τα υποστηριζόμενα σήματα, μεμονωμένα ή συνδυαστικά. Απλά επιλέγει ποια δεδομένα θέλει να εμφανιστούν στη γραφική αναπαράσταση. Ο χρήστης επιλέγει το εύρος τη αναζήτησης, δίνοντας την αρχική και τελική ημερομηνία που τον ενδιαφέρουν, καθώς και το βήμα της αναζήτησης (distinct values, days, months, years). Στην Εικόνα 29 εμφανίζεται η γραφική αναπαράσταση των σημάτων των θερμοκρασιών (εξωτερική και εγκατάστασης) για τη πρώτη εβδομάδα του Ιανουαρίου 2011.

Τα δεδομένα που προκύπτουν με βάση αυτή την αναζήτηση, μπορούν να αποθηκευτούν τοπικά από το χρήστη με μορφή xml αρχείου. Επίσης, μπορεί να αποστείλει το αρχείο αυτό ως email στην ηλεκτρονική διεύθυνση που έχει δηλώσει.



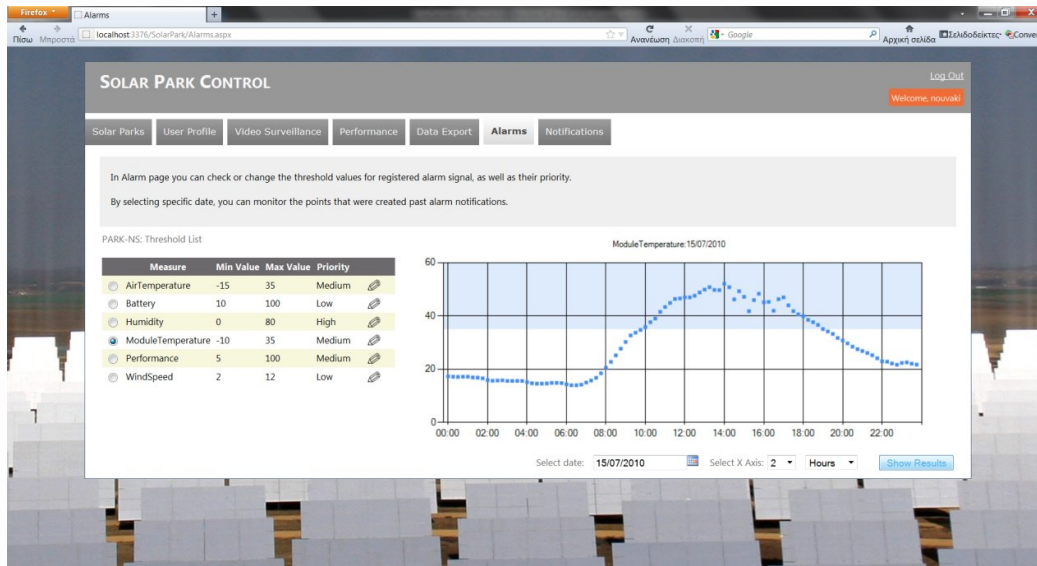
Εικόνα 29 - Εξαγωγή Δεδομένων

Έλεγχος/Διαχείριση Συναγερμών

Στην σελίδα των συναγερμών ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από τα διαθέσιμα σήματα και να κάνει τις εξής λειτουργίες:

1. Να θέσει την κατώτατη και ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή. Κάθε τιμή εκτός του ορισμένου ορίου δημιουργεί σήμα συναγερμού, το οποίο με τη σειρά του δημιουργεί την αντίστοιχη ειδοποίηση στο χρήστη.
2. Να θέσει την προτεραιότητα του κάθε συναγερμού.
3. Να ελέγξει τις τιμές του επιλεγμένου σήματος για μία συγκεκριμένη ημέρα, ορίζοντας το βήμα του άξονα X (2/3/4/6/12 ώρες). Στο διάγραμμα απεικονίζεται με γαλάζιο φόντο το εύρος που ξεπερνά την ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή που έχει οριστεί.

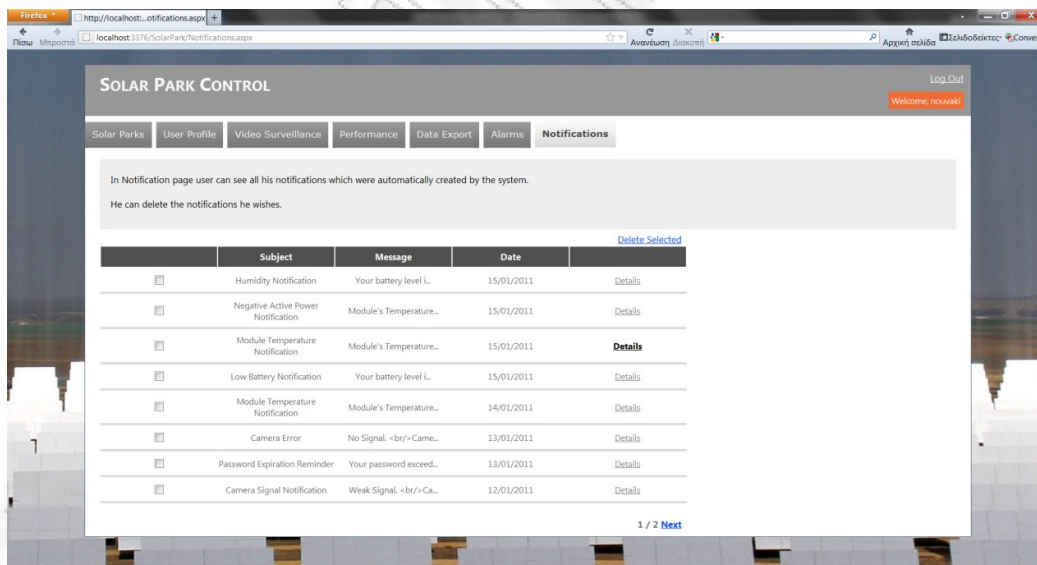
Στην Εικόνα 30 το επιλεγμένο σήμα είναι η θερμοκρασία της εγκατάστασης. Το επιτρεπόμενο όριο τιμών είναι $[-10^{\circ}\text{C} , 35^{\circ}\text{C}]$ ενώ η προτεραιότητα του συναγερμού είναι ορισμένη στο Medium. Στη γραφική αναπαράσταση εμφανίζεται η τιμή του συγκεκριμένου σήματος της 17^η του Ιούλη 2010, με βήμα τις 2 ώρες στον άξονα X.



Εικόνα 30 - Διαχείριση/Έλεγχος Συναγερμών

Ειδοποιήσεις Συναγερμών

Από τη σελίδα των ειδοποιήσεων ο χρήστης μπορεί να διαβάσει τα μηνύματα ειδοποίησης που αποστέλλονται αυτόματα από τη δημιουργία των συναγερμών. Ο χρήστης βλέπει μόνο εκείνα τα μηνύματα για τα οποία έχει ορίσει ως κανάλι επικοινωνίας το Inbox (βλ Προφίλ Χρήστη) Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα διαγραφής των μηνυμάτων που επιθυμεί.



Εικόνα 31 - Ειδοποιήσεις Συναγερμών

5. Συμπεράσματα

5.1.Αξιολόγηση Εφαρμογής - Συμπεράσματα

Σε μία προσπάθεια αξιολόγησης της εφαρμογής που υλοποιήθηκε, μπορούμε να πούμε ότι επιτεύχθηκαν οι αντικειμενικοί στόχοι στις παρούσες εργασίες. Η αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου έχει σχεδιαστεί κάθετα με τη λειτουργική διάκριση μεταξύ των επιπέδων. Αυτή η πολυεπίπεδη προσέγγιση έχει υιοθετηθεί για το σχεδιασμό και την υλοποίηση της δικτυοκεντρικής εφαρμογής.

Έχουμε αναπτύξει μία ευέλικτη δικτυοκεντρική εφαρμογή που υποστηρίζει όλες τις βασικές υπηρεσίες για τον απομακρυσμένο αυτόματο έλεγχο και διαχείριση των φωτοβολταϊκών πάρκων. Το σύστημα υποστηρίζει όλες τις κύριες υπηρεσίες αυτόματου ελέγχου και διαχείρισης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Οι κύριες υπηρεσίες που παρέχονται στον χρήστη περιλαμβάνουν τον έλεγχο, την παρακολούθηση, την κοινοποίηση, την υποβολή εκθέσεων και την εξαγωγή δεδομένων. Επίσης σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν οι ενότητες του front-end για την αυτοματοποίηση του συστήματος παροχής υπηρεσιών και του back end συστήματος, που αναλαμβάνει την υποχρέωση να συλλέγει, να αποθηκεύει και να διαχειρίζεται τα δεδομένα από όλες τις απομακρυσμένες εγκαταστάσεις.

Αυτό το ολοκληρωμένο σύστημα επιτρέπει την εύκολη και βολική παρακολούθηση πραγματικών λειτουργιών και βοηθά τα στελέχη της, διαχειριστές και απλούς χρήστες, να διαχειρίζονται τα ηλιακά πάρκα. Ωστόσο, μπορεί εύκολα να μεταφερθεί σε άλλες απομακρυσμένες εφαρμογές αυτοματισμού και εγκαταστάσεις άλλων τύπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το σύστημα που παρουσιάστηκε αποτελεί ένα παράδειγμα της επιτυχούς εφαρμογής της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας και της ενσωμάτωσης των δύο πρώτων επιπέδων της αρχιτεκτονικής (front & back end part).

5.2.Μελλοντικές Βελτιώσεις

Η υλοποίηση και λειτουργία του συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης ήταν επιτυχής. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κάποια θέματα τα οποία αξίζει να σημειωθούν και σχετίζονται τόσο με την βελτίωση όσο και με την εισαγωγή νέων υπηρεσιών. Παρακάτω αναφέρονται οι βελτιώσεις της εφαρμογής:

Σύνδεση με πραγματικό ελεγκτή

Τα δεδομένα της παρούσας εφαρμογής που σχετίζονται με τη παραγωγή σημάτων όπως είναι η ενέργεια και η θερμοκρασία, είναι στατικά και αποθηκευμένα σε μία βάση δεδομένων. Σε μία μελλοντική έκδοση, η εφαρμογή θα συνδέεται με έναν ελεγκτή ο οποίος θα εισάγει δυναμικά τα δεδομένα στη βάση.

Παραγωγή σημάτων συναγερμού συνδυαστικά

Τα σήματα συναγερμού που παράγονται από τη βάση δεδομένων σχετίζονται μόνο από συγκεκριμένα όρια τιμών (*thresholds*). Η ενσωμάτωση της εφαρμογής σε πραγματικό περιβάλλον απαιτεί συνδυαστικούς αλγόριθμους οι οποίοι θα παράγουν τα αντίστοιχα σήματα λαμβάνοντας υπ' όψη πολλές παραμέτρους.

Επιλογή Zoom In /Out στα γραφήματα

Για τον ευκολότερο έλεγχο των γραφημάτων, θα ήταν χρήσιμη η λειτουργία του Zoom πάνω στις γραφικές αναπαραστάσεις. Ο χρήστης θα μπορεί να ελέγχει αναλυτικότερα συγκεκριμένα σημεία χωρίς να χρειάζεται και να πραγματοποιεί νέα αναζήτηση αλλάζοντας το εύρος των ημερομηνιών και τον τύπο της ομαδοποίησης.

Βιβλιογραφία

- [1] N. (. Shimon Y., Springer Handbook of Automation, 2009.
- [2] Kastner W, Neugschwandtner G, Soucek S., and H. M. Newman, «Communication systems for building automation and control,» σε *Proceedings of the IEEE*, 2005.
- [3] A. O'Grady, «Precision Signal-Processing and Data-Conversion ICs for PLCs Now Have More Performance at Less Power, Size, and Cost,» *Analog Dialogue*, 2006.
- [4] A. T. ΡΟΥΤΟΥΛΑΣ, *ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ*, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ.
- [5] D. Fisher, «BACnet™ and LonWorks: A White Paper,» PolarSoft Inc, 1996.
- [6] «ISO 7498, Information Processing Systems-Open SystemsInterconnection-Basic Reference Model, International Organization for Standardization,» 1984.
- [7] S. Bushby, «BACnet™: a standard communication infrastructure for intelligent buildings,» *Automation in Construction*, τόμ. 6, pp. 529-540, 1997.
- [8] «<http://www.knx.org/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [9] P. M. Kevin, «Biomimicry for optimization, control, and automation,» 2005, pp. 7-55.
- [10] B. R. Dorf R.C., *Modern Control Systems*, 10 ed., 2004.
- [11] J. e. a. Brown, “Energy Management And Home Automation System”. United States Patent 5544036, 1996.
- [12] B. O. V. Ness, “Automatic Access Control System for Vehicles”. United States Patent 4665395, 1987.
- [13] J. M. D. S. C.E. Rohrs, *Linear Control Systems*, New York: McGraw-Hill, 1993.
- [14] S. A. W. I. DiStefano J.J., *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου*, Τζιόλα.
- [15] W. K. S.-K. E. Kopecz J., «ZN-Face: A system for access control using automated face recognition,» Γερμανία, 2008.
- [16] H. Newman, «BACnet - The New Standard Protocol,» *Electrical Contracto*, 1997.
- [17] Β. Πετρίδη, *Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου*, τόμ. Α', Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2001.

[18] Π. Μαλατέστα, Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Εκδόσεις Τζιόλα.

[19] "<http://www.lammertbies.nl/comm/info/modbus.html>," [Online].

[20] F. M., «Ethernet TCP/IP in Automation: A short Introduction to real-time Requirements,» σε *Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Antibes Juan-Les-Pins, 2001.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑΣ