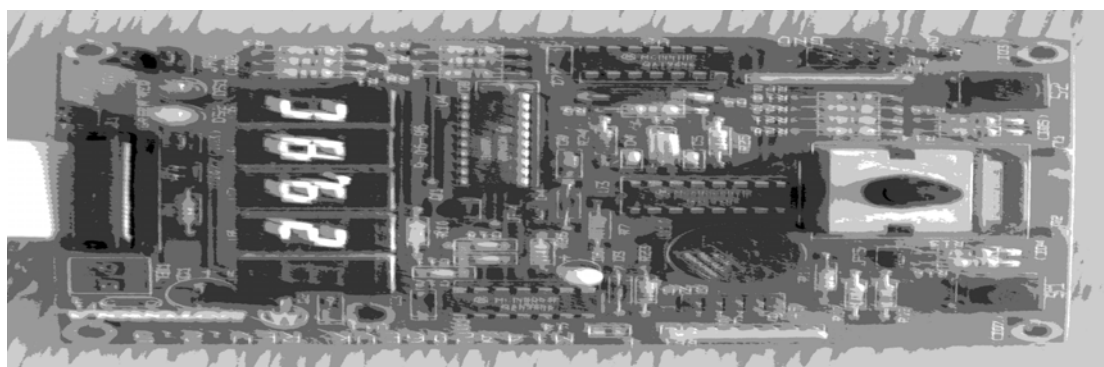


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία



**Ανάπτυξη και προγραμματισμός έξυπνου κόμβου,
λήψης και διαβίβασης δεδομένων σε κτίρια, με χρήση
του πρωτοκόλλου LonWorks**

Χρήστος Λάζος

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Γ. Σταυρακάκης (επιβλέπων)

Επικ. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. Κρήτης Δ. Κολοκοτσά

Καθηγητής Κ. Καλαϊτζάκης

Χανιά, Ιούνιος 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή και σκοπός της εργασίας	4
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στον αυτοματισμό κτιρίων	5
1.1 Έξυπνα κτίρια	5
1.2 Η ανάπτυξη των BEMS	6
1.3 Τα κατακεκομημένα συστήματα δικτύων ελέγχου	8
1.4 Τα κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας	11
1.4.1 EIBUS	11
1.4.2 PROFIBUS (PROcess Field BUS)	13
1.4.3 CANbus (Controller Area Network)	14
1.4.4 LonWorks	16
1.4.5 BACnet (Building Automation and Control net)	18
1.4.6 BitBus	18
1.4.7 Σύγκριση	19
Κεφάλαιο 2: Η τεχνολογία LonWorks	21
2.1 Γενικά	21
2.2 Το δίκτυο LonWorks	22
2.3 Το πρωτόκολλο LonWorks	24
2.4 Τύποι καναλιών	26
2.5 Ο αλγόριθμος πρόσβασης στο μέσο	27
2.6 Διευθυνσιοδότηση	29
2.7 Διανομή μηνυμάτων	30
2.8 Μεταβλητές δικτύου	31
2.9 Περιορισμοί του πρωτοκόλλου LonWorks	33
2.10 Η συσκευή LonWorks	34
Κεφάλαιο 3: Υλοποίηση	37
3.1 Εισαγωγή	37

3.1.1 Το εργαλείο ανάπτυξης LonBuilder	37
3.1.1.1 Το υλικό	37
3.1.1.2 Το λογισμικό	37
3.1.2 Η γλώσσα προγραμματισμού Neuron C	38
3.2 Λειτουργία	38
3.3 Το υλικό	39
3.3.1 Γενικά	39
3.3.2 Ο κόμβος του αισθητήρα θερμοκρασίας	40
3.3.2.1 Η διεπικοινωνία του κόμβου με το δίκτυο	40
3.3.2.2 TP/FT 10F Free Topology Flash Control Module	41
3.3.2.3 Οι I/O συσκευές	43
3.3.2.4 Μετατροπή A/D με σειριακή διεπικοινωνία.....	44
3.3.2.5 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας	45
3.3.3 Ο κόμβος του ελεγκτή	46
3.4 Το λογισμικό	48
3.4.1 Ο κόμβος του αισθητήρα	48
3.4.2 Ο κόμβος του ελεγκτή	49
3.4.2.1 Ο έλεγχος ασαφούς λογικής	50
3.4.2.1.1 Σχεδίαση του ελεγκτή	50
3.4.2.1.2 Εφαρμογή στον κόμβο του ελεγκτή	53
Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	54
4.1 Αποτελέσματα του ελεγκτή ασαφούς λογικής	54
4.2 Σύγκριση κόστους για τον κόμβο του αισθητήρα	56
Κεφάλαιο 5: Μελλοντικές επεκτάσεις	59
Βιβλιογραφία	60

Εισαγωγή και σκοπός της εργασίας

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη και ο προγραμματισμός ενός έξυπνου κόμβου, λήψης και διαβίβασης δεδομένων σε κτίρια, με χρήση του πρωτοκόλλου LonWorks.

Ένας κόμβος, ή αλλιώς μια συσκευή, LonWorks είναι συνήθως είτε κόμβος αισθητήρα είτε κόμβος ελεγκτή είτε κόμβος ενεργοποιητή (ή επενεργητή). Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν ένας κόμβος αισθητήρα και ένας κόμβος ελεγκτή στα πλαίσια ενός δικτύου LonWorks.

Ο χαρακτηρισμός «έξυπνος» υποδηλώνει την ύπαρξη στον κόμβο ενός μικροελεγκτή. Με τον μικροελεγκτή ο κόμβος αποκτά «νοημοσύνη», γιατί η λειτουργία του δεν εξαρτάται πλέον από κάποια κεντρική μονάδα ελέγχου και μπορεί να λειτουργήσει στα πλαίσια ενός κατάλληλου κατανεμημένου δικτύου με ισότιμη (peer-to-peer) αρχιτεκτονική. Στα πλαίσια ενός τέτοιου δικτύου ο έξυπνος κόμβος μπορεί να διαβιβάζει τα δεδομένα του σε όσους κόμβους το απαιτούν και να λαμβάνει δεδομένα από άλλους κόμβους.

Είναι σαφές πως η ύπαρξη ενός τέτοιου κόμβου αποκτά νόημα αν εγκατασταθεί σε ένα δίκτυο επικοινωνίας αποτελούμενο από κόμβους, που χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο.

Υπάρχουν αρκετά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την ανάπτυξη δικτύων αυτοματισμού σε κτίρια και όχι μόνο, τα περισσότερα εκ των οποίων παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε το πρωτόκολλο LonWorks καθώς θεωρείται ως ένα από τα πιο επιτυχημένα, ενώ ταυτόχρονα είχαμε διαθέσιμο το εργαλείο ανάπτυξης LonBuilder, όπως και τον λοιπό εξοπλισμό (Neuron chips, πομποδέκτες), που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός δικτύου βασισμένου στην τεχνολογία LonWorks.

Το δίκτυο που αναπτύχθηκε αποτελεί δομικό συστατικό ενός συστήματος θέρμανσης-κλιματισμού. Εκτελεί τις λειτουργίες του αισθητήρα θερμοκρασίας και του ελέγχου. Ο ελεγκτής που υλοποιήθηκε και ο οποίος αποτελεί το δεύτερο κόμβο του δικτύου χρησιμοποιεί ασαφή λογική. Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι δεν επιδιώχθηκε ο σχεδιασμός ενός ιδανικού ελεγκτή ασαφούς λογικής. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ως προς τον έλεγχο ήταν η καινοτομία της προσθήκης ενός απλού ελεγκτή ασαφούς λογικής σε ένα δίκτυο LonWorks.

1.Εισαγωγή στον αυτοματισμό κτιρίων

Τα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας κτιρίων (Building Energy Management Systems - BEMS) αποτελούν σήμερα ένα καθιερωμένο κομμάτι των σύγχρονων κτηρίων. Η συμβολή των BEMS αυξάνεται συνεχώς, με τη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας των υπολογιστών και των επικοινωνιών. Με τη δύναμη των μικροεπεξεργαστών να διπλασιάζεται κάθε περίπου 18 μήνες οι δυνατότητες των BEMS γίνονται συνεχώς μεγαλύτερες. Αν και τα BEMS προωθήθηκαν από τις εξελίξεις στους μικροεπεξεργαστές, οι τρέχουσες ταχείες πρόοδοι των επικοινωνιών και των δικτύων θα διαμορφώσουν ακόμη περισσότερο την αυξανόμενη χρήση των BEMS.

Η ακριβής φύση των BEMS γίνεται επίσης λιγότερο εύκολο να οριστεί αφού ακόμη και στα «μικρά» συστατικά, όπως οι διακόπτες και οι βαλβίδες θερμαντικών σωμάτων, μπορούν να προσαρμοστούν μικροελεγκτές έτσι ώστε να μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο επικοινωνίας και ελέγχου.

1.1 Έξυπνα κτίρια

Η νοημοσύνη είναι μια λέξη που χρησιμοποιείται συχνά για να υπονοήσει ότι ένας μικροεπεξεργαστής ενσωματώνεται στην ευφυή συσκευή. Εντούτοις, εφαρμόζεται επίσης στα κτίρια, όπου δεν υπάρχει κάποιος απλός ορισμός. Ένας ορισμός είναι ένα κτίριο που παρέχει ένα παραγωγικό και οικονομικά αποδοτικό περιβάλλον μέσω της βελτιστοποίησης τεσσάρων βασικών στοιχείων του: δομή, υπηρεσίες, διαχείριση και τις μεταξύ τους αλληλεξαρτήσεις. Η νοημοσύνη ενός κτιρίου εξαρτάται από την αλληλεπίδραση των ελεγχόμενων από μικροεπεξεργαστές συστημάτων που μπορούν να υπάρξουν σε ένα ευφύες κτίριο, όπως ένα δίκτυο υπολογιστών με τον κεντρικό υπολογιστή του (server), ή το σύστημα ασφάλειας με τον επικεφαλής ηλεκτρονικό υπολογιστή του. Όσο μεγαλύτερη γίνεται αυτή η αλληλεπίδραση, για παράδειγμα η διανομή των συστημάτων διαύλων και των επικοινωνιών, τόσο ευφύτερο γίνεται το κτίριο.

1.2 Η ανάπτυξη των BEMS.

Τα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας κτιρίων έχουν αναπτυχθεί παράλληλα με την επανάσταση της μικροηλεκτρονικής και της επιστήμης υπολογιστών των πρόσφατων ετών. Αυτό συμβαίνει επειδή τα BEMSs είναι στην ουσία συστήματα μικροϋπολογιστών που χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις υπηρεσιών ελέγχου και παρακολούθησης (monitoring) των κτιρίων. Τα BEMS έχουν ωφεληθεί επίσης από τη γνώση και την τεχνολογία στην εφαρμογή του ελέγχου υπολογιστών στην κατασκευή και τη βιομηχανία.

Ο πρώτος πρόγονος των BEMS ήταν το σκληρά-καλωδιωμένο κεντρικό σύστημα. Πρωτοεμφανίστηκε στη δεκαετία του '60 και υιοθετήθηκε στα μεγάλα κτήρια. Το σύστημα ήταν βασικά μια επέκταση των συμβατικών καλωδίων ελέγχου σε μια κεντρική κονσόλα, με πίνακες, φώτα δεικτών και ένα όργανο καταγραφής διαγραμμάτων, που επέτρεπε σε έναν χειριστή στην κονσόλα να παρακολουθεί τις απομακρισμένες εγκαταστάσεις και να βλέπει τις θερμοκρασίες που εμφανίζονταν. Κανένας υπολογιστής ή μικροηλεκτρονική δεν περιλήφθηκε, και στηρίχθηκε στο χειριστή για να αλλάζει τις ρυθμίσεις και τους χρόνους ελέγχου.

Αυτά τα σκληρά-καλωδιωμένα συστήματα βελτιώθηκαν στη συνέχεια με την τηλεφωνική τεχνολογία της εποχής, που επέτρεψε στα μεμονωμένα στοιχεία των εγκαταστάσεων να συνδεθούν, μέσω **πάνελ συλλογής δεδομένων** τοπικών στις εγκαταστάσεις, σε ένα κεντρικό καλώδιο-κορμό που περνά γύρω από το κτήριο και από την κεντρική κονσόλα. Αυτή η πολυπλεξία, ελάττωσε την καλωδίωση με τη χρησιμοποίηση του ίδιου καλωδίου-κορμό για διάφορα πάνελ συλλογής δεδομένων.

Με τις ταχείες προόδους της μικροηλεκτρονικής, και τις εκατοντάδες τρανζίστορ που ενσωματώνονται σε ένα υψηλής κλίμακας ολοκλήρωση (Large Scale Integration - LSI) τσιπ πυριτίου, με επιφάνεια περίπου 5 mm^2 , προέκυψαν τα πρώτα βασισμένα σε υπολογιστή συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου. Αυτά τα πρώτα BEMS ήταν **συγκεντρωτικά συστήματα διαχείρισης της ενέργειας** και εμφανίστηκαν αρχικά στη δεκαετία του '70, αναπτυσσόμενα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο **κεντρικός σταθμός** βασιζόταν σε έναν μινι-υπολογιστή, ο οποίος περιείχε όλη την υπολογιστική ισχύ ή 'νοημοσύνη' στο σύστημα, με τους 'χωρίς-νοημοσύνη' απομακρυσμένους σταθμούς, οι οποίοι ήταν κουτιά για ρελέ και συνδέσεις με αισθητήρες και τους ενεργοποιητές (ή επενεργητές), παρόμοια με τα προηγούμενα πάνελ συλλογής δεδομένων. Ο όρος 'ευφυής' χρησιμοποιείται επειδή ο κεντρικός σταθμός (ο μινι-

υπολογιστής) είχε τη δυνατότητα να υπολογίζει και να λαμβάνει τις αποφάσεις χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που λάμβανε από τους απομακρυσμένους σταθμούς.

Τα συστήματα αυτά ήταν πολύ ακριβά, και έτσι ήταν προσιτά μόνο για τα μεγάλα κτίρια. Αν και αφορούσαν αρχικά τον έλεγχο και την παρακολούθηση των εγκαταστάσεων HVAC και ήταν επομένως συστήματα διαχείρισης της ενέργειας, ήταν επίσης σε θέση να ελέγχουν το φωτισμό, τους ανελκυστήρες και τους συναγερμούς ασφάλειας και πυρκαγιάς. Στην πραγματικότητα, τα συστήματα αυτά θεωρήθηκαν ως συστήματα διαχείρισης κτιρίων για να βοηθήσουν στη διαχείριση των μεγάλων και σύνθετων κτιρίων, χωρίς απαραίτητα να εξοικονομούν ενέργεια. Αυτά τα πρώτα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας κτιρίων εμφανίστηκαν πριν από την ενεργειακή κρίση του 1973/74.

Αν και αυτά τα πρώτα BEMS ήταν σε θέση να παρακολουθούν και να ελέγχουν τα συστήματα πυρκαγιάς και ασφάλειας, σπάνια εφαρμόζονταν για αυτό το σκοπό. Ακόμη και σήμερα υπάρχουν προβλήματα στην ενσωμάτωση συστημάτων όπως τα συστήματα συναγερμών πυρκαγιάς και ασφάλειας σε BEMS, συνήθως λόγω των διαφορετικών προτύπων που χρησιμοποιούνται και των διαφορετικών εμπλεκόμενων κατασκευαστών.

Η γρήγορη ανάπτυξη της LSI και της VLSI (Very Large Scale Integration - πολύ μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωση), περίπου το 1980, οδήγησε σε χιλιάδες συσκευές τοποθετημένες σε ένα τσιπ (στο τσιπ του Pentium υπάρχουν σήμερα εκατομμύρια τρανζίστορ). Ως εκ τούτου οι μικροϋπολογιστές, ή οι προσωπικοί υπολογιστές (PCs), έγιναν πολύ πιο ισχυροί. Και οι απομακρυσμένοι σταθμοί, μικροί μικροϋπολογιστές οι ίδιοι, αφού περιέχουν τσιπ μικροεπεξεργαστή, κέρδισαν αρκετά σε δύναμη επεξεργασίας, αποκτώντας ‘νοημοσύνη’. Αυτό τους επέτρεψε να λειτουργούν από μόνο τους, ή να γίνουν αυτόνομοι απομακρυσμένοι σταθμοί, εξαρτώμενοι από τον κεντρικό σταθμό μόνο για ένα μικρό ποσοστό του χρόνου της λειτουργίας τους. Αυτοί οι απομακρυσμένοι σταθμοί έχουν αρκετά περισσότερες λειτουργίες ελέγχου σε σχέση με τους παλαιότερους, μη ευφυείς σταθμούς, οι οποίοι έτειναν να έχουν περισσότερο ένα ρόλο παρακολούθησης παρά ελέγχου. Πράγματι, κάθε ευφυής απομακρυσμένος σταθμός μπορεί να ελέγξει ένα μικρό κτίριο από μόνος του, και η εγκατάσταση αυτών των ευφύων απομακρυσμένων σταθμών είναι οικονομική για τα μικρού και μεσαίου μεγέθους κτίρια.

Ο κεντρικός σταθμός μπορεί να επικοινωνήσει με πολλούς απομακρυσμένους σταθμούς όταν χρειάζεται, είτε σε ένα τοπικό δίκτυο επικοινωνιών είτε μέσω άλλων δικτύων όπως το Διαδίκτυο.

Δεδομένου ότι οι μικροεπεξεργαστές έχουν γίνει ισχυρότεροι και λιγότερο ακριβοί, οι απομακρυσμένοι σταθμοί γίνονται επίσης πολύ μικρότεροι και φτηνότεροι, έτσι ώστε να μπορούν τώρα να ελέγξουν μεμονωμένα στοιχεία των εγκαταστάσεων. Οι εγκαταστάσεις γίνονται ευφυείς. Οι κατασκευαστές των BEMS παρέχουν αυτούς τους μικρούς απομακρυσμένους σταθμούς στους κατασκευαστές εξοπλισμού, έτσι ώστε οι εγκαταστάσεις τους να μπορούν να ανατεθούν στο εργοστάσιο και να συνδεθούν απλά με το σύστημα επικοινωνιών BEMS όταν αυτό παραδίδεται.

Τα δίκτυα επικοινωνίας και τα συστήματα διαύλων έχουν αναπτυχθεί για να επιτρέψουν στον εξοπλισμό του κτιρίου να επικοινωνήσει, ακόμη και με τους διακόπτες φωτισμού.

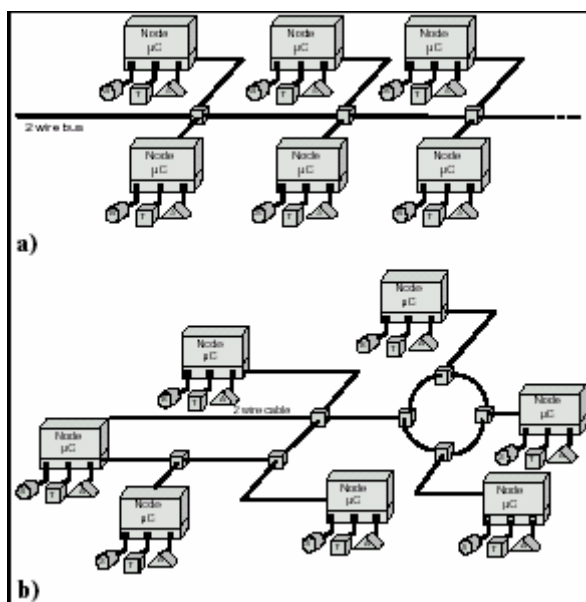
1.3 Τα κατανεμημένα συστήματα δικτύων ελέγχου

Η βιομηχανική πρόοδος στην ανάπτυξη ημιαγωγών και οι αυξανόμενες απαιτήσεις από τον τελικό χρήστη, π.χ. καλύτερη απόδοση ελέγχου, έχει οδηγήσει στα προηγμένα συστήματα ελέγχου, γνωστά ως, **σειριακά συστήματα δικτύων ελέγχου**, σχ. 1.1(a). Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτών των συστημάτων ελέγχου είναι:

- Κατανεμημένη νοημοσύνη, με τη χρήση μικροελεγκτών.
- Δυνατότητα λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο
- Ισότιμη (peer-to-peer) αρχιτεκτονική.
- Η μνήμη και τα προγράμματα λογισμικού παρέχονται σε επίπεδο κόμβων.
- Το λογισμικό εφαρμόζεται σε επίπεδα πρωτοκόλλου (protocol layers).

Οι περιορισμοί των σειριακών συστημάτων δικτύων ελέγχου συναντώνται κυρίως στην επεκτασιμότητα των δικτύων, καθώς υποστηρίζουν μια περιορισμένη ποικιλία τοπολογιών και μέσων μετάδοσης. Αυτοί οι περιορισμοί υπερνικούνται από τη νέα γενεά των **κατανεμημένων συστημάτων δικτύων ελέγχου**, σχ. 1.1(b), που συμπεριλαμβάνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μίξη των μέσων επικοινωνιών (συνεστραμμένο ζεύγος, γραμμές ισχύος, ραδιοσυχνότητες, υπέρυθρες ακτίνες, οπτικές ίνες, ομοαξονικό καλώδιο).
- Μια καλύτερη, ή πληρέστερη, εφαρμογή του προτύπου της OSI, η οποία συμβάλλει στην υψηλότερη αξιοπιστία του (αναπτυσσόμενου) δικτύου.
- Ελεύθερη τοπολογία.
- Φιλικό προς το χρήστη λογισμικό και διαθέσιμα εργαλεία ανάπτυξης.
- Μονάδες διεπικοινωνίας, πύλες, γέφυρες, δρομολογητές και επαναλήπτες.



Σχήμα 1.1 Δομές καλωδίωσης συστημάτων δικτύων ελέγχου

Η κατανομή νοημοσύνης και η παροχή λειτουργιών δικτύων, σημαίνουν αξιοπιστία μέσων και καλύτερη απόδοση των συστημάτων ελέγχου. Κατά συνέπεια, η ενσωματωμένη τεχνολογία αυτοματοποίησης εισήχθη όπου επιδιώχτηκε πολύ, π.χ. αυτοματισμοί κτιρίων. Με τα κατακεκομμένα συστήματα δικτύων ελέγχου έχει γίνει ένα σημαντικό βήμα προς τα ευφυή συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίων, με συνέπεια:

- Χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες
- Βελτίωση του ανθρώπινου περιβάλλοντος, ειδικά του χώρου εργασίας

- Μεγαλύτερη κτιριακή λειτουργικότητα και οικονομία

Παρόμοια με τις εγκαταστάσεις εργοστασίων, ένα δημόσιο κτίριο περιλαμβάνει διάφορους τύπους συστημάτων δικτύων, όπως:

- Συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίου: έλεγχος του εσωτερικού περιβάλλοντος ή ενεργοποίηση των συναγερμών.
- Συστήματα διαχείρισης κτιρίου: έλεγχος, διαχείριση και αποθήκευση των δεδομένων ελέγχου.
- Συστήματα LAN : διαχειριζόμενη ανταλλαγή πληροφοριών μέσα σε μια επιχείρηση.
- Συστήματα επικοινωνιών: παροχή των συνδέσεων για παγκόσμια επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων.

Τα συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίου χρησιμοποιούνται για τις ακόλουθες υπηρεσίες αυτοματισμού και λειτουργίες ελέγχου:

- Θέρμανση, ψύξη, αερισμός, κλιματισμός (HVAC)
- Φωτισμός και φωτισμός έκτακτης ανάγκης
- Διαχείριση ενέργειας
- Ασφάλεια και προστασία
- Μεταφορά (ανελκυστήρες)

Αυτές οι υπηρεσίες αυτοματοποίησης υποστηρίζονται σήμερα από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως: BACNET, ARCNET, BitBus, CAN, EIBUS, LonWorks, PROFIBUS, και πολλά άλλα συστήματα βασισμένα στα πρότυπα επικοινωνίας, RS-232, RS-422, ή RS-485.

1.4 Τα κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας

1.4.1 EIBUS

Η **European Installation Bus (EIB)** Association ιδρύεται το 1990 από 15 εταιρίες, και τώρα είναι μια ένωση σχεδόν 100 εταιριών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που έχουν συνενωθεί για το σκοπό της προώθησης στην αγορά κοινών προτύπων για τις εγκαταστάσεις διαύλων.

Ο στόχος τους για ένα ομοιόμορφο σύστημα διαχείρισης κτηρίων σε όλη την Ευρώπη επιτυγχάνεται :

- Καθορίζοντας τις τεχνικές οδηγίες για τα συστήματα και τα προϊόντα.
- Επινεώνοντας τους ποιοτικούς κανόνες.
- Καθορίζοντας τις διαδικασίες δοκιμής.
- Καθιστώντας την τεχνογνωσία των συστημάτων διαθέσιμη στα μέλη, τα υποκαταστήματα και τους κατόχους άδειας.
- Δεσμεύοντας τα ινστιτούτα δοκιμών να εκτελούν τις ποιοτικές επιθεωρήσεις.
- Χορηγώντας σε τρίτους που περνούν τις δοκιμές τη χρήση του σήματος "EIB".
- Συμμετέχοντας ενεργά στην τυποποίηση.

Χρήση

Η εγκατάσταση διαύλου EIB είναι ιδανική για οποιοδήποτε κτίριο, είτε πρόκειται για ένα συγκρότημα γραφείων, ξενοδοχείο, σχολείο ή αυτόνομο σπίτι. Έχει βρεί εμπορική επιτυχία στην ηπειρωτική Ευρώπη, ιδιαίτερα στη Γερμανία όπου έχει σημειωθεί ένας αριθμός περίπου 10 με 15 χιλιάδες εγκαταστάσεων (2001).

Η γραμμή του διαύλου

Η εγκατάσταση διαύλου EIB είναι ένα συνεστραμμένο ζεύγος που είναι τοποθετημένο παράλληλα στο κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος . Η γραμμή του διαύλου διασυνδέει όλους τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές (ή επενεργητές) μιας εγκατάστασης. Οι αισθητήρες μπορεί να είναι συσκευές εντολής

όπως οι διακόπτες και τα πλήκτρα. Άλλοι τύποι αισθητήρων περιλαμβάνουν τους αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες φωτεινότητας κ.λπ. Οι ενεργοποιητές (ή επενεργητές) είναι δέκτες εντολής όπως πηγές φωτισμού, θέρμανση, άνοιγμα πορτών κ.λπ.

Σε κάθε γραμμή διαύλου μπορούν να λειτουργήσουν μέχρι 64 συσκευές. Μέχρι 12 τέτοιες γραμμές μπορούν να ενωθούν μαζί σε έναν συζευκτήρα γραμμών για να διαμορφώσουν μια περιοχή διαύλου. Μέχρι 15 τέτοιες περιοχές διαύλου μπορούν στη συνέχεια να συνδεθούν με τη βοήθεια ενός συζευκτήρα περιοχής.

Τοπολογία

Η τοπολογία της εγκατάστασης μπορεί να καθορίσει ελεύθερα το δίαυλο EIB. Η καλωδίωση μπορεί να εφαρμοστεί παράλληλα με την παροχή κεντρικών αγωγών σε ένα σχηματισμό γραμμής, αστέρα ή δέντρου.

Μετάδοση

Οι συσκευές στο δίαυλο επικοινωνούν με ρυθμό 9600 bits ανά δευτερόλεπτο. Οι πληροφορίες που μεταδίδονται στο δίαυλο περιγράφονται ως τηλεγραφήματα. Κάθε τηλεγράφημα υποδιαιρείται στους ακόλουθους τομείς:

- Πεδίο ελέγχου
- Πεδίο διεύθυνσης
- Πεδίο δεδομένων
- Πεδίο επαλήθευσης

Τα δεδομένα στα πεδία ελέγχου και επαλήθευσης εξασφαλίζουν την χωρίς λάθη επικοινωνία. Τα δεδομένα στο πεδίο διεύθυνσης διευκρινίζουν σε ποια περιοχή, σε ποια γραμμή διαύλου, και σε ποια συσκευή απευθύνεται το τηλεγράφημα.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί τακτική επικοινωνία στο δίαυλο έχει υιοθετηθεί ένας μηχανισμός διαιτησίας που επιτρέπει σε μια μόνο συσκευή να επικοινωνεί στο δίαυλο σε κάθε χρονική στιγμή.

1.4.2 PROFIBUS (PROcess FieLd BUS)

Το PROFIBUS είναι το κύριο ανοικτό σύστημα fieldbus στην Ευρώπη και απολαμβάνει παγκόσμια αποδοχή. Η εφαρμογή περιλαμβάνει τους τομείς της κατασκευής και αυτοματοποίησης κτιρίων. Το PROFIBUS είναι ένα διεθνές, ανοικτό fieldbus πρότυπο που τυποποιήθηκε στο ευρωπαϊκό EN 50 170 fieldbus πρότυπο. Αυτό παρέχει τη βέλτιστη προστασία των προμηθευτών και χρηστών.

Σήμερα, όλοι οι κύριοι κατασκευαστές της τεχνολογίας αυτοματοποίησης προσφέρουν διεπικοινωνίες PROFIBUS για τις συσκευές τους. Η ποικιλία των προϊόντων περιλαμβάνει περισσότερες από 1.500 διαφορετικές συσκευές και υπηρεσίες, περίπου 400 εκ των οποίων είναι επικυρωμένες συσκευές, εξασφαλίζοντας εύκολη λειτουργία ακόμη και σε δίκτυα πολλαπλών προμηθευτών. Το PROFIBUS έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πάνω από 200.000 πραγματικές εφαρμογές σε όλο τον κόσμο και περισσότερες από 2.000.000 συσκευές έχουν εγκατασταθεί.

Η τεχνολογία PROFIBUS αναπτύσσεται και διαχειρίζεται από την οργάνωση χρηστών PROFIBUS User Organization. Η ιδιότητα μέλους σε αυτήν την οργάνωση προσφέρει αυξημένες πληροφορίες και ανταγωνιστικότητα στην αγορά. Στα μέλη περιλαμβάνονται κατασκευαστές, χρήστες και ερευνητικά ιδρύματα. Οι περιφερειακές ομάδες χρηστών σε 20 σημαντικές βιομηχανικές χώρες προσφέρουν υποστήριξη μητρικής γλώσσας σε όλο τον κόσμο. Όλες οι περιφερειακές ομάδες χρηστών είναι ενωμένες κάτω από την οργάνωση-ομπρέλα PROFIBUS International (PI) που, με περισσότερα από 750 μέλη, είναι η μεγαλύτερη οργάνωση fieldbus στον κόσμο.

Βασικές Ιδιότητες

Το PROFIBUS καθορίζει τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός σειριακού fieldbus που διασυνδέει τις κατανεμημένες ψηφιακές συσκευές από χαμηλό (επίπεδο αισθητήρα / ενεργοποιητή) μέχρι το μεσαίο (επίπεδο κυττάρων) επίπεδο απόδοσης. Το σύστημα περιέχει master και slave συσκευές.

Μια master συσκευή είναι σε θέση να ελέγξει το δίαυλο, π.χ. μπορεί να μεταφέρει μηνύματα χωρίς μακρινό αίτημα όταν έχει δικαίωμα πρόσβασης στο δίαυλο. Οι master συσκευές καλούνται ενεργοί σταθμοί στο πρωτόκολλο PROFIBUS.

Χαρακτηριστικές master συσκευές είναι τα PLC (Programmable Logic Controller), CNC (Compare Numerical Controller) και ελεγκτές κυττάρων.

Οι slave συσκευές είναι απλές απομακρυσμένες συσκευές. Χαρακτηριστικές slave συσκευές είναι οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές (ή επενεργητές) και συσκευές αποστολής σημάτων. Δεν έχουν κανένα δικαίωμα πρόσβασης στους διαύλους, π.χ. μπορούν μόνο να αναγνωρίσουν τα λαμβανόμενα μηνύματα, ή κατά απαίτηση μιας master συσκευής, να μεταδώσουν μηνύματα σε αυτή τη συσκευή. Οι slave συσκευές καλούνται επίσης ως παθητικοί σταθμοί στο πρωτόκολλο PROFIBUS. Οι slave συσκευές χρειάζονται μόνο ένα μικρό μέρος του πρωτοκόλλου και επομένως το πρωτόκολλο είναι ιδιαίτερα απλό να εφαρμοστεί.

Εύκολη Συντήρηση

Λόγω του ότι το PROFIBUS μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το επίπεδο τομέων μέχρι το επίπεδο κυττάρων με ομοιόμορφο πρωτόκολλο και τεχνικές μετάδοσης, το κόστος για την εγκατάσταση, συντήρηση και κατάρτιση ελαχιστοποιούνται.

1.4.3 CANbus (Controller Area Network)

Το πρωτόκολλο CAN αναπτύχθηκε στην Ευρώπη το 1988 από την Intel και τη Bosch. Αρχικά στόχευσε στη χρήση σε αυτοκίνητα αλλά αποδείχτηκε επίσης πολύ καλό για χρήση σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου μηχανών πραγματικού χρόνου. Μέσω της επιτυχούς χρήσης του πρωτοκόλλου CAN στα αυτοκίνητα και σε βιομηχανικές εφαρμογές όπως οι συσκευές ελέγχου, αισθητήρες και ενεργοποιητές (ή επενεργητές), το CAN καθιερώθηκε στις ΗΠΑ και σε άλλα μέρη του κόσμου. Είναι διεθνώς τυποποιημένο κάτω από το πρότυπο ISO 11898.

Μεταξύ των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του είναι:

- Γρήγορη μεταφορά δεδομένων 1 MB/s εάν το μήκος διαύλου είναι λιγότερο από 40 μέτρα.
- Τα μηνύματα έχουν έναν προβλέψιμο μέγιστο χρόνο απόκρισης. Ένα μήνυμα ώθησης χωρίς δεδομένα και με την πιο υψηλή προτεραιότητα μπορεί να έχει έναν μέγιστο χρόνο απόκρισης 54 μs στο δίαυλο εάν χρησιμοποιείται ρυθμός μεταφοράς 1 MB/s.

- Τα μηνύματα μπορεί να σταλούν από σημείο σε σημείο ή να είναι ευρείας ή πολλαπλής διανομής.
- Υποστηρίζονται απομακρυσμένα μηνύματα. Μια Λειτουργική Μονάδα μπορεί πάντα να προετοιμαστεί για να διαβιβάσει αμέσως τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα κατόπιν αιτήσεως από οποιαδήποτε άλλη μονάδα.
- 2032 (Standard CAN) ή 536.870.912 (Extended CAN) διαφορετικά μηνύματα είναι διαθέσιμα, κάθε ένα από τα οποία περιέχει 0 - 8 bytes δεδομένων.
- Ισχυρή ανίχνευση και χειρισμός σφάλματος. Εάν υπάρχει ένα αλλοιωμένο μήνυμα σε 1000 μεταδόσεις η συνολική πιθανότητα σφάλματος στα υπόλοιπα μηνύματα ανέρχεται σε 8.5×10^{-14} .
- Προγραμματίσιμος ρυθμός μεταφοράς.
- Προγραμματίσιμη διαμόρφωση οδηγών εξόδου.
- Χαμηλού κόστους CAN ελεγκτές και μικροτσίπ με ενσωματωμένους CAN ελεγκτές είναι εμπορικά διαθέσιμα από τις εταιρίες Intel, Motorola, Philips, Siemens, NEC και National.

Επισκόπηση

Τα δίκτυα CAN μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ενσωματωμένο σύστημα επικοινωνιών για μικροελεγκτές καθώς επίσης και ως ανοικτό σύστημα επικοινωνιών για ευφυείς συσκευές.

Το σειριακό σύστημα διαύλου CAN, αρχικά αναπτυγμένο για χρήση στα αυτοκίνητα, χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στη βιομηχανία καθώς επίσης και στην αυτοματοποίηση κτιρίων και σε ιατρικούς εξοπλισμούς .

Απόδοση

Τοπολογία: Διαμόρφωση με μόνο μια λογική γραμμή διαύλου.

Μέσο μετάδοσης: Καλυμμένο χάλκινο καλώδιο, καθώς επίσης και οπτικές ίνες.

Μήκος διαύλου: Από 40 μέτρα για 1 Mbps ως 500 μέτρα για 125 Kbps.

Ρυθμός μετάδοσης: Από 10 Kbps έως 1 Mbps.

Ποσότητα δεδομένων: 0 έως 8 bytes ανά μήνυμα.

Αριθμός προσδιοριστικών: μέχρι 2032 .

Μήκος μηνυμάτων: μέχρι 130 bits.

Πλεονεκτήματα

Υψηλή αξιοπιστία, αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης δικτύων και της διαθέσιμης ενέργειας στο δίκτυο.

Μειονεκτήματα

Περιορισμένη αποδοχή εκτός Ευρώπης. Το πρωτόκολλο είναι αρκετά περίπλοκο ως προς την ανάπτυξή του.

1.4.4 LonWorks

Το LonWorks είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε για καταναμημένα δίκτυα ελέγχου όπου διάφορα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο καλώδιο για τη μετάδοση σημάτων. Η τεχνολογία αναπτύσσεται από την εταιρία Echelon Corporation. Η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει πολλές από τις λειτουργίες σε κτίρια και βιομηχανίες. Σε ένα ευφυές σπίτι ο έλεγχος της θέρμανσης, του εξαερισμού, ο έλεγχος πρόσβασης και ο φωτισμός είναι λίγο πολύ αυτοματοποιημένα. Αυτές οι λειτουργίες απαιτούν συνήθως χωριστά καλώδια για την τροφοδοσία και τη σηματοδότηση. Ένα πρόσθετο πρόβλημα είναι τα πολλά διαφορετικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται. Με τη χρησιμοποίηση του LonWorks όλες οι λειτουργίες μπορούν να διαβιβάσουν τα σήματα και να τροφοδοτηθούν από το ίδιο καλώδιο και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί ακόμη και να χρησιμοποιηθεί η υπάρχουσα γραμμή τροφοδοσίας. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του LonWorks είναι ότι διαφορετικά συστήματα μπορούν να επικοινωνήσουν, να ανταλλάξουν πληροφορίες και να αλληλεπιδράσουν με έναν τυποποιημένο τρόπο. Το αποτέλεσμα είναι ένα αποδοτικότερο και πιο εύκολο στη χρήση σύστημα.

Neurons

Το βασικό κομμάτι ενός προϊόντος LonWorks είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα αποκαλούμενο Neuron. Ένα Neuron chip χειρίζεται και το δίκτυο (μετάδοση σημάτων) και την λειτουργία I/O (εισόδου/εξόδου) μέσω ενός λειτουργικού συστήματος. Το μόνο πράγμα που απαιτείται μεταξύ του Neuron chip και του φυσικού δικτύου είναι ένας πομποδέκτης (transceiver). Κάθε μονάδα που περιέχει ένα Neuron chip, ένα πομποδέκτη και μονάδα I/O καλείται κόμβος. Το δίκτυο αποτελείται από κόμβους που επηρεάζουν το περιβάλλον τους. Οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους με πλήθος διαφορετικών μέσων με τη χρήση ενός κοινού πρωτοκόλλου μηνυμάτων (LonTalk).

Επεκτασιμότητα

Στην πράξη δεν υπάρχει κανένα όριο στον αριθμό σημείων ελέγχου (κόμβοι) στο δίκτυο. Πρόσθετες λειτουργίες μπορούν εύκολα να προστεθούν αργότερα χωρίς τροποποιήσεις στο υπάρχον σύστημα.

Η δομή του δικτύου αποθηκεύεται στον κόμβο και στη βάση δεδομένων του συστήματος. Ο επανασχηματισμός δεν απαιτεί οποιαδήποτε αλλαγή στα υπάρχοντα καλώδια ή τα εγκατεστημένα προϊόντα. Όλα μπορούν να γίνουν με ένα PC. Το LonWorks χρησιμοποιεί ένα κοινό εργαλείο πρωτοκόλλου και εγκατάστασης για τις διάφορες εφαρμογές. Αυτό καθιστά εφικτό τον εύκολο συνδυασμό λειτουργιών και διεπικοινωνιών για διαφορετικά υποσυστήματα σε ένα κτίριο.

Αξιόπιστη Λειτουργία

Το LonWorks είναι πλήρως καταναμημένο και δεν χρειάζεται κανένα κεντρικό ελεγκτή. Σε περίπτωση δυσλειτουργίας κάποιων μονάδων το υπόλοιπο σύστημα θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά. Το πρωτόκολλο LonTalk φτιάχτηκε για τη μέγιστη αξιοπιστία σε διάφορες λειτουργίες όπως επιβεβαίωση μηνύματος, ανίχνευση λάθους, επαναμετάδοση, προτεραιότητες, προσδιορισμός αποστολέα κ.λπ.

LonTalk

Η καρδιά της τεχνολογίας LonWorks είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας LonTalk. Αυτό το πρωτόκολλο σχεδιάστηκε ειδικά για δίκτυα συστημάτων ελέγχου και καθορίζει τις ισότιμες (peer-to-peer) επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών. Το πρωτόκολλο είναι βασισμένο σε έναν ενισχυμένο CSMA (Carrier Sense Media Access) αλγόριθμο πρόσβασης στο δίκτυο, ο οποίος προβλέπει ένα σχέδιο αποφυγής σύγκρουσης. Τα αποτελέσματα είναι η συνεπής απόδοση του δικτύου, χωρίς υποβάθμιση λόγω αυξημένης κυκλοφορίας στο δίκτυο. Τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου είναι:

- Εφαρμόζεται στο Neuron chip.
- Ακολουθεί το πρότυπο αναφοράς 7- Layer OSI (Open Systems Interconnection model).
- Είναι βελτιστοποιημένο για τα δίκτυα ελέγχου.
- Υποστηρίζει σύντομα μηνύματα.
- Είναι ανεξάρτητο του μέσου.
- Εξασφαλίζει κόμβους χαμηλότερου κόστους.

- Παρέχει υψηλή αξιοπιστία.

1.4.5 BACnet (Building Automation and Control net)

Το BACnet είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για τον αυτοματισμό κτιρίων και τα δίκτυα ελέγχου ειδικά σχεδιασμένο για τις ανάγκες του αυτοματισμού κτιρίων και τον έλεγχο του εξοπλισμού.

Το BACnet αναπτύχθηκε από μια επιτροπή που διαμορφώθηκε από την Αμερικάνικη Επιτροπή Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE). Ο κύριος στόχος της επιτροπής ήταν να δημιουργήσει ένα πρωτόκολλο που θα επέτρεπε σε κτιριακά συστήματα από διαφορετικούς κατασκευαστές να επικοινωνήσουν και να συνεργαστούν με έναν αρμονικό τρόπο.

Για να επιτύχει τη διαλειτουργικότητα ενός ευρέος φάσματος του εξοπλισμού, η προδιαγραφή BACnet αποτελείται από τρία κύρια μέρη. Το πρώτο μέρος περιγράφει μια μέθοδο απεικόνισης για οποιουδήποτε τύπου εξοπλισμό αυτοματισμού κτιρίου με έναν τυποποιημένο τρόπο. Το δεύτερο μέρος καθορίζει τα μηνύματα που μπορούν να σταλούν μέσω ενός δικτύου υπολογιστών για να επιτηρήσουν και να ελέγξουν τέτοιο εξοπλισμό. Και το τρίτο μέρος καθορίζει ένα σύνολο αποδεκτών LANs που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις επικοινωνίες BACnet.

1.4.6 BitBus

Το BitBus είναι ένα fieldbus που χρησιμοποιείται για να διασυνδέσει αυτόνομες μονάδες ελέγχου, τερματικά κ.λπ. Ταιριάζει ιδιαίτερα στα μεσαίου μεγέθους τηλεγραφήματα ανταλλαγής δεδομένων (10..250 bytes) ακόμη και για μεγάλες αποστάσεις (αρκετά χιλιόμετρα).

Το BitBus είναι βασισμένο σε δύο πρότυπα:

- Το RS485, ως ηλεκτρική προδιαγραφή για την αξιόπιστη επικοινωνία.
- Το SDLC, ως πρωτόκολλο λογισμικού για συμπαγή, σύγχρονη μεταφορά μηνυμάτων.

Υψηλής ταχύτητας δικτυωμένο I/O (δίαυλοι αισθητήρα-ενεργοποιητή) είναι απαραίτητο για λυθεί ένα πρόβλημα με τους συμβατικούς προγραμματίσιμους

ελεγκτές (PLC/SPS). Με τη χρησιμοποίηση πραγματικών γλωσσών προγραμματισμού, είναι πολύ απλούστερο - και πολύ ασφαλέστερο - να απομονώσει κανείς το πρόβλημα και να βάλει τη λύση του εκεί όπου το πρόβλημα είναι, π.χ. να βάλει το ρυθμιστή κοντά στη μονάδα που πρέπει να ελεγχθεί. Το BitBus είναι βελτιστοποιημένο για κατακεντρωμένο έλεγχο και ο πυρήνας mCAT υποστηρίζει αυτήν την ιδέα με την αφιέρωσή του στη διάβαση μηνυμάτων.

Χαρακτηριστικά

- Το BitBus μπορεί να καλύψει μεγάλες περιοχές: 1.2km με ρυθμό μετάδοσης 62.5 kBit/s.
- Το BitBus μπορεί να χρησιμοποιήσει επαναλήπτες για να πολλαπλασιάσει τα μήκη των καλωδίων.
- Το BitBus χρησιμοποιεί το SDLC, ένα πρωτόκολλο βασισμένο στην ανταλλαγή μηνυμάτων με αυτόματη ανίχνευση λάθους. Τυποποιημένοι σειριακοί ελεγκτές, όπως ο 85C30, πραγματοποιούν το χειρισμό του πρωτοκόλλου SDLC στο υλικό ενώ τα βασισμένα σε ανταλλαγή χαρακτήρων πρωτόκολλα (απλή ασύγχρονη μετάδοση) είναι "επισφαλής σε οποιαδήποτε ταχύτητα". Το BitBus χρησιμοποιεί ένα ενιαίο στριμμένο ζευγάρι συν τη γείωση για μέσο μετάδοσης. Το πρότυπο RS485 αναγνωρίζεται ευρέως για την απουσία θορύβου του.
- Το BitBus χρησιμοποιεί κωδικοποίηση NRZI : το ρολόι διαβιβάζεται με τα δεδομένα και μια πολικότητα δεν χρειάζεται να υπακούει στο ζευγάρι καλωδίων του BitBus. Ένας ελαττωματικός σταθμός ή ένας σταθμός χωρίς ενέργεια δεν μπλοκάρει το δίαυλο.

Μειονεκτήματα

Το BitBus δεν εφαρμόζεται καλά ως δίαυλος I/O, π.χ. για να συνδεθούν απλοί αισθητήρες ή βαλβίδες.

1.4.7 Σύγκριση

Οι ακόλουθοι πίνακες παρουσιάζουν τις βασικές ιδιότητες και τις διαφορές μεταξύ των πρωτοκόλλων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ			
Πρωτόκολλο	Οργανισμός Που Αναπτύσσει Την τεχνολογία	Έτος Παρουσίασης	Ακολουθούμενα Πρότυπα
EIBus	European Installation Bus Association	1990	ENV 13154-2 and ANSI/EIA 776
PROFIBUS DP/PA	Siemens/PTO	DP-1994, PA-1995	EN50170
CANBus	Intel and Bosch	1988	ISO11898 ISO11519
LonWorks	Echelon Corp.	1991	ANSI
BACnet	ASHRAE	1995	ANSI/ASHRAE
BitBus	Intel	1984	IEEE1118

Πίνακας 1.1

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ				
Πρωτόκολλο	Τοπολογία Δικτύου	Φυσικό Μέσο	Μέγιστος Αριθμός Συσκευών (Κόμβοι)	Μέγιστη Απόσταση
EIBus	Δίαυλος	Συνεστραμμένο ζεύγος, RF, Γραμμή Ισχύος	256 ανά γραμμή 65,536 συνολικά	700m μεταξύ των συσκευών 350m μεταξύ μιας μονάδας τροφοδοσίας και μιας συσκευής
PROFIBUS DP/PA	Γραμμή, Αστέρας ή Δακτύλιος	Συνεστραμμένο ζεύγος, Οπτική Ίνα	Με επαναλήπτες: 127 Χωρίς Επαναλήπτες: 32	Με Επαναλήπτες: 800m Χωρίς Επαναλήπτες: 200m Για Οπτική Ίνα: 24Km
CANBus	Δίαυλος	Συνεστραμμένο ζεύγος,	40	40m-1Mb/s, 1km-20 kb/s
LonWorks	Δίαυλος, Δακτύλιος, Βρόχος, Αστέρας	Συνεστραμμένο ζεύγος,, Οπτική Ίνα, Γραμμή Ισχύος	32,000/domain	2000m @ 78 kbps
BACnet	Δίκτυο	Συνεστραμμένο ζεύγος,, Οπτική Ίνα, Ομοαξονικό Καλώδιο	2 ⁴⁸	Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες
BitBus	Δίαυλος	Συνεστραμμένο ζεύγος,	Με επαναλήπτες: 250 Χωρίς επαναλήπτες: 32	Με επαναλήπτες: 13.2 Km Χωρίς επαναλήπτες: 1.2 Km

Πίνακας 1.2

2. Η τεχνολογία LonWorks

2.1 Γενικά

Η τεχνολογία Local Operating Network είναι μια καθολική, ανοικτή, τυποποιημένη πλατφόρμα δικτύωσης που δημιουργήθηκε από την εταιρία Echelon Corporation για χρήση σε δίκτυα ελέγχου. Ένα δίκτυο ελέγχου LonWorks είναι οποιαδήποτε ομάδα συσκευών που λειτουργούν μαζί και ελέγχουν αισθητήρες και εργοποιητές (ή επενεργητές), επικοινωνούν με τη χρήση ενός ανοικτού πρωτοκόλλου, διαχειρίζονται τη λειτουργία δικτύων και παρέχουν τοπική και εξ' αποστάσεως πρόσβαση στα δεδομένα του δικτύου. Κατά κάποιο τρόπο, ένα δίκτυο ελέγχου LonWorks μοιάζει με ένα δίκτυο δεδομένων, όπως ένα τοπικό LAN (δίκτυο τοπικής περιοχής). Τα δίκτυα δεδομένων αποτελούνται από υπολογιστές, που συνδέονται σε διάφορα μέσα επικοινωνιών και δρομολογητές, και οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα κοινό πρωτόκολλο. Το λογισμικό διαχείρισης δικτύων επιτρέπει στους διαχειριστές να διαμορφώνουν και να συντηρούν τα δίκτυά τους. Τα δίκτυα ελέγχου περιέχουν παρόμοια κομμάτια βελτιστοποιημένα για το κόστος, την απόδοση, το μέγεθος, και χαρακτηριστικά απόκρισης του ελέγχου. Επιτρέπουν στα δικτυωμένα συστήματα να επεκταθούν σε μια κατηγορία εφαρμογών όπου η τεχνολογία δικτύων δεδομένων δεν μπορεί να φθάσει.

Όπως η βιομηχανία υπολογιστών, έτσι και η βιομηχανία ελέγχου δημιουργούσε, και σε πολλές περιπτώσεις εξακολουθεί να δημιουργεί, συγκεντρωτικές λύσεις ελέγχου βασισμένες στην από σημείο σε σημείο καλωδίωση και τα συστήματα ιεραρχικής λογικής. Αυτό σημαίνει ότι υπήρχε ένας κύριος ελεγκτής, όπως ένας υπολογιστής ή ένας προγραμματίσιμος ελεγκτής, φυσικά συνδεδεμένος με καλώδιο με μεμονωμένα σημεία ελέγχου, ενεργοποιητών και αισθητήρων. Το αποτέλεσμα που προέκυπτε ήταν ένα δίκτυο που λειτουργούσε, αλλά ήταν ακριβό και δύσκολο στη συντήρηση και την επέκταση. Ήταν επίσης πολύ ακριβό στην εγκατάσταση. Πριν από τα δίκτυα ελέγχου LonWorks, τα περισσότερα συστήματα ελέγχου απαιτούσαν χιλιάδες μέτρα ακριβής καλωδίωσης για να συνδέσουν τα συστατικά με έναν προγραμματισμένο κεντρικό ελεγκτή. Η επέκταση απαιτούσε δαπανηρή επανακαλωδίωση και επαναπρογραμματισμό του κεντρικού ελεγκτή. Τα συστήματα ήταν τρωτά στην αποτυχία ή τις βλάβες των κεντρικών ελεγκτών.

Τα δίκτυα LonWorks ελέγχουν βελτιώνουν αυτό το σενάριο. Επιτρέπουν την απλή επέκταση με νέες διαλειτουργικές συσκευές που λειτουργούν μαζί, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή. Οι συσκευές επικοινωνούν τη χρήση ενός ανοικτού πρωτοκόλλου, του πρωτοκόλλου LonTalk. Με την κατανομή της επεξεργασίας σε όλες τις συσκευές ελέγχου, το πρόβλημα της αποτυχίας του κεντρικού σημείου ελέγχου εξαλείφεται. Επιτρέποντας την ελεύθερη ροή πληροφοριών μεταξύ των συσκευών, ο έλεγχος βελτιώνεται και επιτρέπονται νέες εφαρμογές.

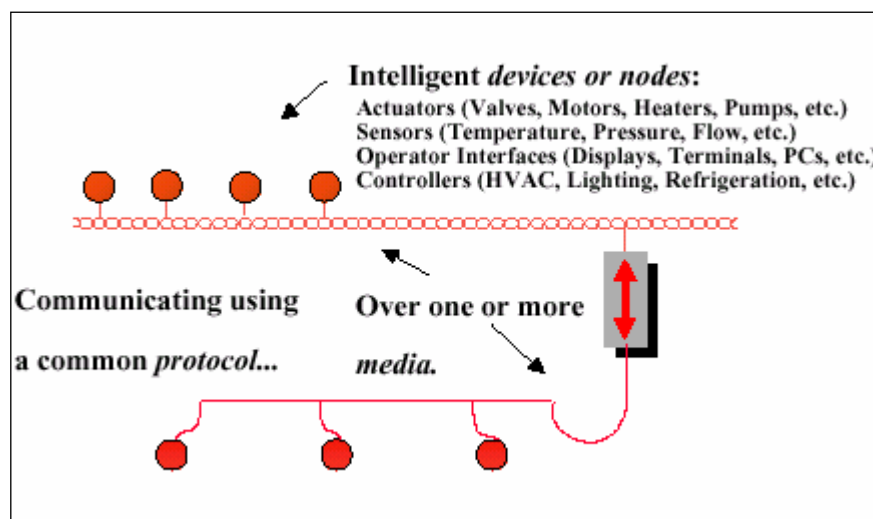
Ένα δικτυωμένο σύστημα ελέγχου είναι σημαντικά ισχυρότερο και πιο ευέλικτο από ένα μη-δικτυωμένο σύστημα ελέγχου. Τα δίκτυα ελέγχου LonWorks κυμαίνονται από μικρά δίκτυα ενσωματωμένα σε μηχανές έως μεγάλα δίκτυα με χιλιάδες κόμβους που ελέγχουν λείζερ τήξης, μηχανές κατασκευής χαρτιού, συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίου. Η τεχνολογία LonWorks παρέχει σήμερα μια λύση σε πολλά προβλήματα, σχεδίασης, εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων ελέγχου: δίκτυα που μπορούν να κυμαίνονται σε μέγεθος από δύο έως 32.000 συσκευές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε, από σουπερμάρκετ μέχρι εγκαταστάσεις πετρελαίου, από αεροσκάφη μέχρι τραίνα, από λείζερ τήξης μέχρι αυτόματους πωλητές, από απλά οικογενειακά σπίτια μέχρι ουρανοξύστες. Σχεδόν σε κάθε βιομηχανία σήμερα, υπάρχει μια τάση απομάκρυνσης από τα ιεραρχικά συστήματα ελέγχου και τα συγκεντρωτικά συστήματα. Η τεχνολογία LonWorks επιτείνει αυτή την τάση με την παροχή διαλειτουργικότητας, αξιόπιστης τεχνολογίας και γρηγορότερης ανάπτυξης.

2.2 Το δίκτυο LonWorks

Ένα δίκτυο LonWorks (σχ. 2.1) αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων, που επικοινωνούν πάνω από έναν αριθμό φυσικών μέσων χρησιμοποιώντας ένα κοινό πρωτόκολλο. Τα κύρια μέρη του δικτύου απεικονίζονται στο σχ. 2.2. Όπως φαίνεται, τα κύρια μέρη ενός δικτύου LonWorks είναι:

- Οι κόμβοι, οι οποίοι είναι ευφυείς συσκευές, και οι οποίοι "μιλάνε" μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας.
- Εξοπλισμός δικτύου (δρομολογητές, Επαναλήπτες, Κάρτες πυλών και ηλεκτρονικών υπολογιστών, modems).
- Μέσα επικοινωνίας (TP, Power lines, IR, RF, FO).
- Λογισμικό επικοινωνίας PC ή μικροεπεξεργαστών.

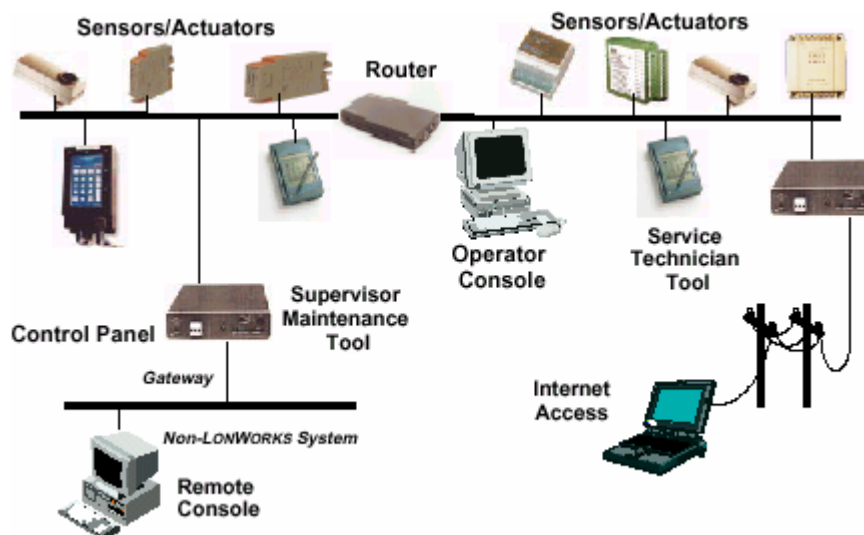
- Λογισμικό διαμόρφωσης, διαχείρισης, επίβλεψης και συντήρησης.



Σχήμα 2.1. Το δίκτυο LonWorks

Οι κόμβοι μπορεί να είναι:

- Αισθητήρες.
- Ενεργοποιητές (ή Επενεργητές).
- Διεπικοινωνίες (οθόνες, τερματικά, PCs, κ.λπ....).
- Ελεγκτές (HVAC, Φωτισμού, συναγερμού, κ.λπ....).



Σχήμα 2.2. Συσκευές ενός δικτύου LonWorks

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του δικτύου LonWorks είναι:

- Είναι ένα καταναμημένο δίκτυο ελέγχου.

- Επιτυγχάνεται ευκολότερη ολοκλήρωση των διαφόρων συσκευών (αισθητήρες, ενεργοποιητές, ελεγκτές, κ.λπ....) από διάφορους κατασκευαστές.
- Εξασφαλίζεται υψηλότερη απόδοση λόγω των ισότιμων (peer-to-peer) επικοινωνιών.
- Μειωμένες δαπάνες εγκατάστασης και επανασχηματισμού λόγω των κατανεμημένων χαρακτηριστικών του.

2.3 Το πρωτόκολλο LonWorks

Το πρωτόκολλο LonWorks, επίσης γνωστό και ως πρωτόκολλο LonTalk και το Πρότυπο Δικτύων Ελέγχου ANSI/EIA 709.1, είναι η καρδιά του συστήματος LonWorks. Το πρωτόκολλο παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών επικοινωνίας που επιτρέπουν στο πρόγραμμα εφαρμογής σε μια συσκευή να στέλνει και να λαμβάνει μηνύματα από άλλες συσκευές πάνω στο δίκτυο χωρίς να πρέπει να είναι γνωστή η τοπολογία του δικτύου ή τα ονόματα, οι διευθύνσεις και λειτουργίες των άλλων συσκευών. Το πρωτόκολλο LonWorks μπορεί προαιρετικά να παρέχει τη δίπλα - δίπλα αναγνώριση των μηνυμάτων, επικύρωση των μηνυμάτων, και παράδοση προτεραιότητας για να παρέχει τους οριακούς χρόνους συναλλαγής .

Η υποστήριξη υπηρεσιών διαχείρισης του δικτύου επιτρέπει στα απομακρυσμένα εργαλεία διαχείρισης δικτύου να αλληλεπιδράσουν με τις συσκευές πάνω στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου του επανασχηματισμού των δικτυακών διευθύνσεων και των παραμέτρων του δικτύου, της φόρτωσης προγραμμάτων εφαρμογής, της υποβολής αναφοράς για προβλήματα του δικτύου, και εντολών έναρξης, τερματισμού και επανεκκίνησης των προγραμμάτων εφαρμογής των συσκευών.

Το πρωτόκολλο LonWorks είναι ένα ισότιμο (peer-to-peer) πρωτόκολλο επικοινωνιών με επίπεδα (layers), βασισμένο στην ανταλλαγή πακέτων. Όπως τα σχετικά πρωτόκολλα Ethernet και Internet, είναι ένα δημοσιευμένο πρότυπο και συμφωνεί με τις αρχιτεκτονικές οδηγίες του προτύπου αναφοράς Διασύνδεση Ανοικτών Συστημάτων (ISO OSI) της Διεθνούς Οργάνωσης Προτύπων (ISO). Το πρωτόκολλο LonWorks, εντούτοις, σχεδιάζεται για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις των συστημάτων ελέγχου, παρά για τα συστήματα επεξεργασίας δεδομένων. Για να εξασφαλιστεί ότι αυτές οι απαιτήσεις καλύπτονται με αξιόπιστα και υψηλό επίπεδο

επικοινωνιών, το πρωτόκολλο LonWorks είναι φτιαγμένο σε επίπεδα όπως συστήνεται από την ISO. Με την προσαρμογή του πρωτοκόλλου για τον έλεγχο σε κάθε ένα από τα επίπεδα του OSI, το πρωτόκολλο LonWorks παρέχει την αξιοπιστία, την απόδοση, και τις επικοινωνίες που απαιτούνται για τις εφαρμογές ελέγχου.

Τα επτά επίπεδα του ISO/OSI προτύπου, μαζί με τις αντίστοιχες υπηρεσίες που παρέχονται από το πρωτόκολλο LonWorks, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται συχνά για να συγκρίνει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τη λειτουργία των πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Δεν είναι μια απαίτηση ότι οποιοδήποτε δεδομένο πρωτόκολλο εφαρμόζει κάθε επίπεδο αυτού του προτύπου ή ακόμα και ότι τα επίπεδα τμηματοποιούνται όπως φαίνεται στο μοντέλο. Ένα πραγματικά πλήρες και πλήρως εξελικτικό πρωτόκολλο - όπως το πρωτόκολλο LonWorks - παρέχει όλες τις υπηρεσίες που περιγράφονται σε αυτό το μοντέλο.

No.	OSI Επίπεδο (Layer)	Σκοπός	Παρεχόμενες Υπηρεσίες
7	Εφαρμογή	Συμβατότητα Εφαρμογών	Standard Objects and Types; Configuration Properties; File Transfer; Network Services.
6	Παρουσίαση	Ερμηνεία Δεδομένων	Network Variables; Application Messages; Foreign Frames
5	Περίοδος	Έλεγχος Πρόσβασης σε Εφαρμογές	Request-Response; Authentication
4	Μεταφορά	End-to-End Αξιοπιστία	End-to-End Acknowledgement; Service Type; Packet sequencing; Duplicate Detection
3	Δίκτυο	Διανομή Μηνυμάτων	Unicast & Multicast Addressing; Packet Routing
2	Διασύνδεση Δεδομένων	Διευθέτηση Πρόσβασης Δεδομένων	Framing; Data Encoding; CRC Error Checking; Media Access; Collision Avoidance & Detection; Priority
1	Φυσικό	Καθορισμός Φυσικού Μέσου	Media-Specific Interfaces and Modulation Schemes (twisted pair, power line. Radio frequency, coaxial cable, infrared, fiber optic)

Πίνακας 2.1 Το Πρότυπο Αναφοράς ISO/OSI

Όλες οι επικοινωνίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα πακέτα που ανταλλάσσονται μεταξύ των συσκευών. Κάθε πακέτο έχει ένα μεταβλητό αριθμό bytes σε μήκος και περιέχει μια συμπαγή απεικόνιση των δεδομένων που απαιτούνται για κάθε ένα από τα 7 επίπεδα. Η συμπαγής απεικόνιση επιτρέπει στα πακέτα LonWorks για να είναι πολύ κοντά, ελαχιστοποιώντας το κόστος εφαρμογής κάθε συσκευής LonWorks.

Κάθε συσκευή σε ένα κανάλι εξετάζει κάθε πακέτο που διαβιβάζεται στο κανάλι για να καθορίσει εάν είναι παραλήπτης. Αν είναι παραλήπτης, επεξεργάζεται το πακέτο για να δει εάν περιέχει τα δεδομένα για το πρόγραμμα εφαρμογής της συσκευής ή εάν είναι ένα πακέτο διαχείρισης του δικτύου. Τα δεδομένα σε ένα πακέτο εφαρμογής παρέχονται στο πρόγραμμα εφαρμογής και, εάν κριθεί απαραίτητο, στέλνεται ένα μήνυμα αναγνώρισης, απάντησης, ή επικύρωσης.

Το πρωτόκολλο LonWorks είναι ανεξάρτητο του μέσου, επιτρέποντας στις συσκευές LonWorks να επικοινωνήσουν σε οποιοδήποτε φυσικό μέσο μεταφορών. Αυτό εξουσιοδοτεί το σχεδιαστή του δικτύου να αξιοποιήσει πλήρως την ποικιλία των διαθέσιμων καναλιών για τα δίκτυα ελέγχου. Το πρωτόκολλο επιτρέπει διάφορες τροποποιήσιμες παραμέτρους διαμόρφωσης για να κάνει τις ανταλλαγές με απόδοση, ασφάλεια, και αξιοπιστία για μια ιδιαίτερη εφαρμογή.

2.4 Τύποι καναλιών

Ένα κανάλι είναι ένα συγκεκριμένο φυσικό μέσο επικοινωνίας (όπως το στριμμένο ζευγάρι ή το ηλεκτροφόρο καλώδιο) στο οποίο συνδέεται μια ομάδα συσκευών LonWorks έχοντας τους κατάλληλους πομποδέκτες για το κανάλι. Κάθε τύπος καναλιού έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από την άποψη του μέγιστου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών, του ρυθμού μετάδοσης, και του φυσικού ορίου απόστασης. Ο πίνακας 2.2 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά διάφορων ευρέως χρησιμοποιημένων τύπων καναλιών.

Τύπος Καναλιού	Μέσο	Ρυθμός Μετάδοσης	Συμβατοί Πομποδέκτες (transceivers)	Μέγιστος Αριθμός Συσκευών	Μέγιστη Απόσταση
TP/FT-10	Twisted pair free or bus topology, opt. link power	78kbps	FTT-10, FTT-1 OA, LPT-10	64-128	500m (free topology) 2200m (bus topology)
TP/XF-1250	Twisted pair, bus topology	1.25Mbps	TPT/XF-1250	64	125m
PL-20	Power line	5.4kbps	PLT-20, PLT-21, PLT-22	Environment dependent	Environment dependent
IP-10	LonWorks over IP	Determined by IP network	Determined by IP network	Determined by IP network	Determined by IP network

Πίνακας 2.2 Τύποι καναλιών LonWorks.

Ιδιαίτερης σπουδαιότητας είναι το κανάλι στριμμένου ζευγαριού ελεύθερης τοπολογίας, TP/FT-10, το οποίο επιτρέπει στις συσκευές για να συνδεθούν με απλά τμήματα καλωδίων στριμμένου ζευγαριού σε οποιαδήποτε διαμόρφωση, χωρίς περιορισμούς στο μήκος των τμημάτων, το χωρισμό συσκευών, τις διακλαδώσεις κ.λπ., παρά μόνο στο μέγιστο μήκος του καλωδίου ανά τμήμα δικτύου.

2.5 Ο αλγόριθμος πρόσβασης στο μέσο

Όλα τα πρωτόκολλα δικτύων χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (media access control - MAC) για να επιτρέψουν στις συσκευές να καθορίσουν πότε μπορούν να στείλουν ένα πακέτο δεδομένων ακίνδυνα. Οι αλγόριθμοι MAC έχουν ως σκοπό είτε να αποτρέπουν είτε να ελαχιστοποιήσουν τις συγκρούσεις. Μια σύγκρουση εμφανίζεται όταν προσπαθούν να στείλουν δεδομένα δύο ή περισσότερες συσκευές ταυτόχρονα. Οι αλγόριθμοι MAC που αποτρέπουν τις συγκρούσεις χρησιμοποιούνται συνήθως στα πολύ μικρά δίκτυα, δεδομένου ότι αυτοί οι αλγόριθμοι δεν λειτουργούν καλά στα μεγαλύτερα δίκτυα. Τα σύγχρονα δίκτυα όπως το Ethernet χρησιμοποιούν τους αλγορίθμους MAC που δεν αποτρέπουν, αλλά αντ'

αυτού ελαχιστοποιούν τις συγκρούσεις. Ο αλγόριθμος MAC Ethernet δεν ταιριάζει καλά στις τοπικές εφαρμογές ελέγχου δεδομένου ότι αποδίδει κακώς σε συνθήκες υπερφόρτωσης δικτύων. Υπάρχοντες αλγόριθμοι MAC όπως ο IEEE 802.2, 802.3, 802.4 και 802.5 δεν καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις του LonWorks για πολλαπλά μέσα επικοινωνίας, συνεχή απόδοση κατά τη διάρκεια βαριών φορτίων, και υποστήριξη για τα μεγάλα δίκτυα.

Το πρωτόκολλο LonWorks χρησιμοποιεί έναν μοναδικό αλγόριθμο ελέγχου πρόσβασης μέσων (MAC), που καλείται προβλεπτικό π-εξακολουθητικό (predictive p-persistent) πρωτόκολλο CSMA και έχει άριστα χαρακτηριστικά απόδοσης ακόμη και κατά τη διάρκεια περιόδων υπερφόρτωσης του δικτύου. Ο αλγόριθμος MAC LonWorks επιτρέπει σε ένα κανάλι να λειτουργεί με πλήρη χωρητικότητα και ένα ελάχιστο αριθμό συγκρούσεων.

Όπως και στο Ethernet, όλες οι συσκευές LonWorks τυχαioποιούν την πρόσβασή τους στο μέσο. Αυτό αποφεύγει την ειδήλλως αναπόφευκτη σύγκρουση που συμβαίνει όταν δύο ή περισσότερες συσκευές περιμένουν να ελευθερωθεί το δίκτυο ώστε να στείλουν ένα πακέτο. Η τυχαioποίηση της καθυστέρησης πρόσβασης μειώνει τις συγκρούσεις. Στο πρωτόκολλο LonWorks, οι συσκευές τυχαioποιούν πάνω από ένα ελάχιστο 16 διαφορετικών επιπέδων καθυστέρησης αποκαλούμενων Beta 2 slots. Κατά συνέπεια η μέση καθυστέρηση σε ένα μη απασχολούμενο δίκτυο είναι οκτώ Beta 2 slots.

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του πρωτοκόλλου LonWorks είναι ότι ο αριθμός των διαθέσιμων Beta 2 slots ρυθμίζεται δυναμικά από κάθε συσκευή, με βάση μια εκτίμηση της αναμενόμενης φόρτωσης του δικτύου που γίνεται σε κάθε συσκευή. Ο αριθμός διαθέσιμων Beta 2 slots ποικίλλει από 16 έως 1008, ανάλογα με αυτήν την εκτίμηση.

Αυτή η μέθοδος εκτίμησης της φόρτωσης και δυναμικής πρόσβασης στο μέσο επιτρέπει στο πρωτόκολλο LonWorks να ελαχιστοποιεί τις καθυστερήσεις πρόσβασης στο μέσων με έναν μικρό αριθμό Beta 2 slots κατά τη διάρκεια των περιόδων ελαφρού φόρτου και να ελαχιστοποιεί τις συγκρούσεις με πολλά Beta 2 slots κατά τη διάρκεια των περιόδων μεγάλου φόρτου.

2.6 Διευθυνσιοδότηση

Ο αλγόριθμος διευθυνσιοδότησης καθορίζει πώς τα πακέτα καθοδηγούνται από μια συσκευή πηγής σε μια ή περισσότερες συσκευές προορισμού. Τα πακέτα μπορούν να απευθυνθούν σε μια μόνο συσκευή, σε οποιαδήποτε ομάδα συσκευών, ή σε όλες τις συσκευές. Για να υποστηρίξει δίκτυα με δύο μέχρι δεκάδες χιλιάδων συσκευές, το πρωτόκολλο LonWorks υποστηρίζει διάφορους τύπους διευθύνσεων, από τις απλές φυσικές διευθύνσεις στις διευθύνσεις που υποδεικνύουν συλλογές πολλών συσκευών. Παρακάτω είναι οι τύποι διευθύνσεων LonWorks:

- *Φυσική διεύθυνση.* Κάθε συσκευή LonWorks περιλαμβάνει ένα μοναδικό προσδιοριστικό 48-bit αποκαλούμενο Neuron ID. Το Neuron ID ορίζεται όταν κατασκευάζεται η συσκευή και δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια ζωής της.
- *Διεύθυνση Συσκευής.* Σε μια συσκευή LonWorks ορίζεται μια διεύθυνση συσκευής όταν εγκαθίσταται σε ένα δίκτυο. Οι διευθύνσεις συσκευών χρησιμοποιούνται αντί των φυσικών διευθύνσεων επειδή υποστηρίζουν την αποδοτικότερη δρομολόγηση των μηνυμάτων, και απλοποιούν την αντικατάσταση των αποτυχημένων συσκευών. Ένα εργαλείο εγκατάστασης δικτύων που διατηρεί μια βάση δεδομένων των διευθύνσεων των συσκευών. Οι διευθύνσεις συσκευών αποτελούνται από τρία συστατικά: ένα ID περιοχής, ένα ID υποδικτύου και ένα ID κόμβου. Το ID περιοχής προσδιορίζει ένα σύνολο συσκευών που μπορούν να επικοινωνήσουν. Οι συσκευές πρέπει να είναι στην ίδια περιοχή για να ανταλλάξουν πακέτα. Μπορούν να υπάρξουν μέχρι 32.385 συσκευές σε μια περιοχή. Το ID υποδικτύου προσδιορίζει ένα σύνολο μέχρι 127 συσκευών που βρίσκονται σε ένα ενιαίο κανάλι, ή ένα σύνολο καναλιών που συνδέονται με επαναλήπτες. Τα ID υποδικτύου χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν την αποδοτική δρομολόγηση των πακέτων στα μεγάλα δίκτυα. Μπορούν να υπάρξουν μέχρι 255 υποδίκτυα σε μια περιοχή. Το ID κόμβου προσδιορίζει μια μεμονωμένη συσκευή μέσα σε ένα υποδίκτυο.
- *Διεύθυνση Ομάδας.* Μια ομάδα είναι μια λογική συλλογή συσκευών μέσα σε μια περιοχή. Αντίθετα με ένα υποδίκτυο, εντούτοις, οι συσκευές συγκεντρώνονται αδιαφορώντας για τη φυσική τους θέση στην περιοχή. Μπορεί να υπάρξει οποιοσδήποτε αριθμός συσκευών σε μια ομάδα όταν χρησιμοποιούνται μηνύματα

χωρίς επιβεβαίωση. Οι ομάδες περιορίζονται στις 64 συσκευές όταν χρησιμοποιούνται μηνύματα με επιβεβαίωση. Οι ομάδες είναι ένας αποδοτικός τρόπος για να βελτιστοποιηθεί το εύρος ζώνης δικτύου για τα πακέτα που απευθύνονται σε πολλαπλές συσκευές. Μπορούν να υπάρξουν μέχρι 256 ομάδες σε μια περιοχή.

- *Broadcast Διεύθυνση*. Μια διεύθυνση Broadcast προσδιορίζει όλες τις συσκευές σε ένα υποδίκτυο, ή όλες οι συσκευές μέσα σε μια περιοχή. Οι διευθύνσεις Broadcast είναι μια αποδοτική μέθοδος επικοινωνίας με πολλές συσκευές και χρησιμοποιείται μερικές φορές αντί των διευθύνσεων ομάδας λόγω του περιορισμένου αριθμού διαθέσιμων διευθύνσεων ομάδας.

Κάθε πακέτο LonWorks που διαβιβάζεται στο δίκτυο περιέχει τη διεύθυνση συσκευής της συσκευής προέλευσης και τη διεύθυνση των συσκευών προορισμού που μπορεί να είναι ή μια φυσική διεύθυνση, ή μια διεύθυνση συσκευής, ή μια διεύθυνση ομάδας ή μια broadcast διεύθυνση.

Οι πολλαπλές περιοχές χρησιμοποιούνται εάν ο αριθμός των συσκευών του δικτύου υπερβαίνει το όριο συσκευών μιας περιοχής ή εάν επιθυμούμε να χωριστούν οι συσκευές που δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Είναι δυνατό για δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα συστήματα LonWorks να συνυπάρξουν στο ίδιο φυσικό κανάλι, εφόσον έχει κάθε σύστημα ένα μοναδικό ID περιοχής. Οι συσκευές σε κάθε σύστημα αποκρίνονται μόνο σε εκείνα τα πακέτα που αντιστοιχούν στο ID της περιοχής τους και αγνοούν τα πακέτα με ID άλλης περιοχής. Οι συσκευές αποκρίνονται επίσης στα πακέτα με τη φυσική διεύθυνσή τους. Όταν ένα φυσικό δίκτυο μοιράζεται, οι γενικοί χρόνοι απόκρισης δικτύων θα επηρεαστούν λόγω του αυξανόμενου αριθμού πακέτων, και απαιτείται συντονισμένος γενικός σχεδιασμός των δικτύων που μοιράζονται το μέσο.

2.7 Διανομή μηνυμάτων

Το πρωτόκολλο LonWorks προσφέρει τρεις βασικούς τύπους υπηρεσιών παράδοσης μηνυμάτων και υποστηρίζει επίσης τα επικυρωμένα μηνύματα. Ένα βελτιστοποιημένο δίκτυο χρησιμοποιεί συχνά όλες αυτές τις υπηρεσίες. Αυτές οι υπηρεσίες επιτρέπουν τις ανταλλαγές με αξιοπιστία, αποδοτικότητα και ασφάλεια, και παρατίθεται παρακάτω:

1. *Μηνύματα Επιβεβαίωσης.* Επιτρέπουν την end-to-end επιβεβαίωση. Όταν χρησιμοποιούνται μηνύματα επιβεβαίωσης, ένα μήνυμα στέλνεται σε μια συσκευή ή σε μια ομάδα μέχρι 64 συσκευών και αναμένονται μεμονωμένες επιβεβαιώσεις από κάθε δέκτη. Όταν δεν παραλαμβάνονται οι επιβεβαιώσεις, ο αποστολέας ξαναδοκιμάζει τη συναλλαγή. Ο αριθμός επαναμεταδόσεων και ο χρόνος αναμονής είναι και τα δύο διαμορφώσιμα.
2. *Επαναλαμβανόμενο Μήνυμα.* Αναγκάζει ένα μήνυμα να σταλεί σε μια συσκευή ή σε μια ομάδα οποιουδήποτε αριθμού συσκευών πολλές φορές. Αυτή η υπηρεσία χρησιμοποιείται αντί του μηνύματος επιβεβαίωσης επειδή δεν υφίσταται την καθυστέρηση της αναμονής για τις επιβεβαιώσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά τις broadcast μεταδόσεις πληροφοριών σε μια μεγάλη ομάδα συσκευών, δεδομένου ότι ένα μήνυμα επιβεβαίωσης θα ανάγκαζε όλες τις λαμβάνουσες συσκευές να προσπαθήσουν να διαβιβάσουν μια απάντηση συγχρόνως.
3. *Μη επιβεβαίωση των μηνυμάτων.* Αναγκάζει κάθε μήνυμα για να σταλεί μια φορά σε μια συσκευή ή σε μια ομάδα οποιουδήποτε αριθμού συσκευών και καμία απάντηση δεν αναμένεται. Αυτή η υπηρεσία διαβίβασης μηνύματος έχει τα χαμηλότερα γενικά έξοδα και είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη υπηρεσία.
4. *Υπηρεσία Επικύρωσης.* Επιτρέπει στο δέκτη ενός μηνύματος να καθορίσει εάν ο αποστολέας εξουσιοδοτείται να στείλει αυτό το μήνυμα. Κατά συνέπεια, η επικύρωση αποτρέπει την αναρμόδια πρόσβαση στις συσκευές και εφαρμόζεται με τη διανομή των κλειδιών 48-bit για τις συσκευές κατά την εγκατάσταση.

2.8 Μεταβλητές Δικτύου

Το πρωτόκολλο LonWorks εφαρμόζει την καινοτόμο έννοια των **μεταβλητών δικτύου**. Οι μεταβλητές δικτύου απλοποιούν πολύ τους στόχους της σχεδίασης προγραμμάτων εφαρμογής LonWorks για διαλειτουργικότητα με τα προϊόντα διαφορετικών κατασκευαστών και προωθεί τη σχεδίαση συστημάτων ελέγχου βασισμένων στην ανταλλαγή πληροφοριών και όχι εντολών. Μια μεταβλητή δικτύου είναι οποιοδήποτε στοιχείο δεδομένων (θερμοκρασία, θέση διακοπών, ή η

κατάσταση ενός ενεργοποιητή) που ένα ιδιαίτερο πρόγραμμα εφαρμογής συσκευής αναμένει να πάρει από άλλες συσκευές στο δίκτυο (μια μεταβλητή δικτύου εισόδου - input network variable) ή αναμένει να κάνει διαθέσιμο σε άλλες συσκευές στο δίκτυο (μια μεταβλητή δικτύου εξόδου - output network variable). Το πρόγραμμα εφαρμογής σε μια συσκευή δεν χρειάζεται να ξέρει τίποτα για την προέλευση των μεταβλητών δικτύου εισόδου ή για τον προορισμό των μεταβλητών δικτύου εξόδου. Όταν το πρόγραμμα εφαρμογής έχει μια αλλαγμένη τιμή για μια μεταβλητή δικτύου εξόδου περνά απλά τη νέα τιμή στο firmware της συσκευής. Μέσω μιας διαδικασίας που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του δικτύου και η οποία αποκαλείται εγκατάσταση σύνδεσης (binding), το firmware της συσκευής διαμορφώνεται για να ξέρει τη λογική διεύθυνση των άλλων συσκευών ή της ομάδας συσκευών στο δίκτυο που αναμένουν εκείνη την μεταβλητή δικτύου, και συγκεντρώνει και στέλνει τα κατάλληλα πακέτα σε αυτές τις συσκευές. Ομοίως, όταν firmware μιας συσκευής λαμβάνει μια ενημερωμένη τιμή για μια μεταβλητή δικτύου εισόδου που απαιτείται από το πρόγραμμα εφαρμογής του, περνά τα δεδομένα στο πρόγραμμα εφαρμογής. Η διαδικασία binding δημιουργεί έτσι τις λογικές συνδέσεις μεταξύ μιας μεταβλητής δικτύου εξόδου σε μια συσκευή και μιας μεταβλητής δικτύου εισόδου σε μια άλλη συσκευή ή μια ομάδα συσκευών. Οι συνδέσεις μπορούν να θεωρηθούν ως «εικονικά καλώδια». Εάν μια συσκευή περιέχει έναν φυσικό διακόπτη, με μια αντίστοιχη μεταβλητή δικτύου εξόδου αποκαλούμενη switch on/off, και μια άλλη συσκευή οδηγεί μια λάμπα με μια αντίστοιχη μεταβλητή δικτύου εισόδου αποκαλούμενη lamp on/off, η δημιουργία μιας σύνδεσης μεταξύ αυτών των δύο μεταβλητών δικτύων έχει την ίδια λειτουργική επίδραση με το να συνδέσουμε διακόπτη και λαμπτήρα με ένα φυσικό καλώδιο. Κάθε μεταβλητή δικτύου έχει έναν τύπο που καθορίζει τις μονάδες, την κλίμακα και τη δομή των δεδομένων που περιλαμβάνονται μέσα στη μεταβλητή δικτύου. Οι μεταβλητές δικτύου που συνδέονται πρέπει να είναι του ίδιου τύπου. Αυτό αποτρέπει τα κοινά λάθη εγκατάστασης, όπως η σύνδεση μιας εξόδου πίεσης με μια είσοδο θερμοκρασίας. Υπάρχουν μεταφραστές τύπων για να μετατρέψουν τις μεταβλητές δικτύου ενός τύπου σε έναν άλλο τύπο. Ένα σύνολο τυποποιημένων μεταβλητών τύπων δικτύου (standard network variable types - SNVTs) έχει καθοριστεί για τους συνήθως χρησιμοποιημένους τύπους. Εναλλακτικά, οι χρήστες μπορούν να καθορίσουν τους δικούς τους τύπους μεταβλητών δικτύου (user-defined network variable types UNVTs).

Οι μεταβλητές δικτύου κάνουν δυνατά τα βασισμένα σε πληροφορίες συστήματα ελέγχου, σε αντίθεση με τα παλιά, βασισμένα σε εντολές, συστήματα ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι σε ένα σύστημα LonWorks, κάθε εφαρμογή συσκευής λαμβάνει τις αποφάσεις ελέγχου της, με βάση τις πληροφορίες που συλλέγει από άλλες συσκευές του συστήματος. Οι μεταβλητές δικτύων διευκολύνουν τους κατασκευαστές να σχεδιάσουν συσκευές που οι ολοκληρωτές συστημάτων μπορούν εύκολα να ενσωματώσουν σε διαλειτουργικά, βασισμένα σε πληροφορίες συστήματα ελέγχου.

2.9 Περιορισμοί του πρωτοκόλλου LonWorks

Κάθε περιοχή σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο LonWorks μπορεί να έχει μέχρι 32.385 συσκευές. Μπορούν να υπάρξουν μέχρι 256 ομάδες σε μια περιοχή και κάθε ομάδα μπορεί να έχει οποιοδήποτε αριθμό συσκευών, εκτός εάν απαιτείται end-to-end επιβεβαίωση οπότε οι ομάδες περιορίζονται σε σύνολα μέχρι 64 συσκευών. Μπορούν να υπάρξουν μέχρι 255 υποδίκτυα σε μια περιοχή και κάθε υποδίκτυο μπορεί να έχει μέχρι 127 συσκευές. Αυτές οι πληροφορίες συνοψίζονται στον πίνακα 2.3.

Συσκευές σε ένα υποδίκτυο	327
Υποδίκτυα σε μια περιοχή	256
Συσκευές σε μια περιοχή	32.385
Περιοχές σε ένα υποδίκτυο	2^{48}
Συσκευές-μέλη σε μια ομάδα: <ul style="list-style-type: none"> Μη επιβεβαίωση μηνυμάτων ή επαναλαμβανόμενα μηνύματα Επιβεβαίωση μηνυμάτων 	Κανένας περιορισμός 63
Ομάδες σε μια περιοχή	256
Κανάλια σε ένα δίκτυο	Κανένας περιορισμός
Μέγεθος σε bytes μιας μεταβλητής δικτύου	31
Bytes σε ένα μήνυμα	228
Bytes σε ένα αρχείο δεδομένων	2^{32}

Πίνακας 2.3 περιορισμοί του πρωτοκόλλου LonWorks

Μέχρι μερικά χρόνια πριν, το πρωτόκολλο LonWorks ήταν διαθέσιμο μόνο ενσωματωμένο στο Neuron Chip. Τώρα που έχει εγκατασταθεί ένας μεγάλος αριθμός συμβατών συσκευών, η Echelon Corporation έχει δημοσιεύσει το πρωτόκολλο LonWorks και το έχει κάνει ανοικτό πρότυπο κάτω από το ANSI/EIA 709.1 Πρότυπο Δικτύων Ελέγχου. Το πρωτόκολλο είναι πλέον ελεύθερα διαθέσιμο στον καθένα.

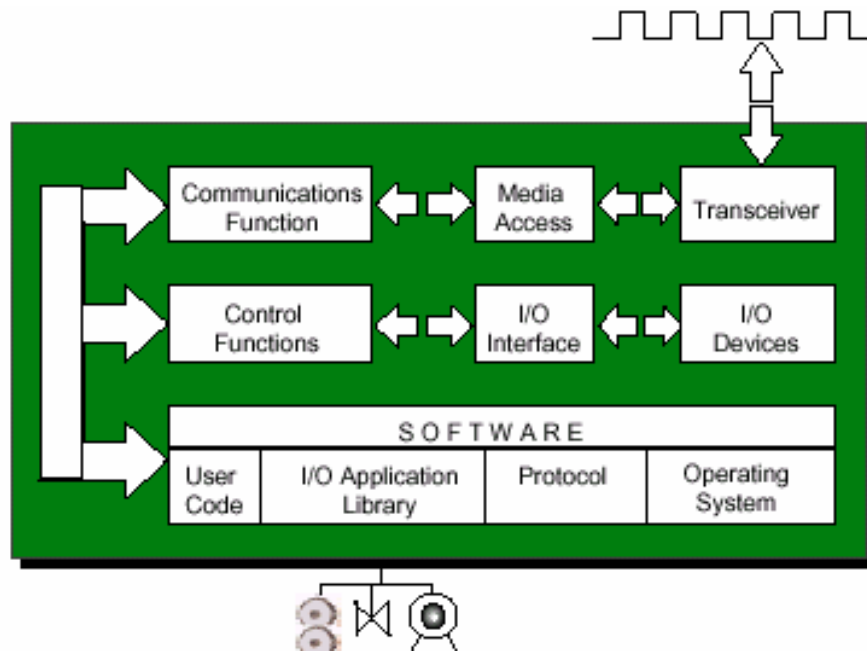
Όμως, ο οικονομικώς πιά αποδοτικός τρόπος για να εφαρμόσει κανείς το πρωτόκολλο επικοινωνιών LonWorks εξακολουθεί να είναι η αγορά ενός Neuron Chip. Το ANSI/EIA πρότυπο, εντούτοις, επιτρέπει στους κατασκευαστές να εφαρμόσουν το πρωτόκολλο στο μικροεπεξεργαστή της επιλογής τους.

2.10 Η συσκευή LonWorks

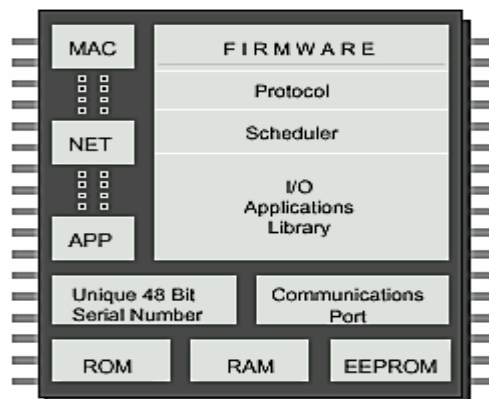
Η συσκευή, ή αλλιώς ο κόμβος, LonWorks είναι είτε ένας αισθητήρας είτε ένας ενεργοποιητής (ή επενεργητής) είτε ένας ελεγκτής. Τα σημαντικότερα συστατικά ενός κόμβου LonWorks απεικονίζονται στο σχήμα 2.3.

Η βάση κάθε συσκευής LonWorks είναι το **Neuron Chip** (σχήμα 2.4) δεδομένου ότι περιέχει όλο το απαραίτητο υλικό και λογισμικό. Το Neuron Chip περιέχει τρεις ίδιες οκτάμπιτες μονάδες κεντρικής επεξεργασίας (CPUs) που αφιερώνονται στις ακόλουθες λειτουργίες:

1. Η CPU-1 πραγματοποιεί τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο, ο οποίος οδηγεί το υλικό του υποσυστήματος επικοινωνίας και εκτελεί τον αλγόριθμο πρόσβασης στο μέσο. Η CPU-1 επικοινωνεί με την CPU-2 χρησιμοποιώντας τους buffers δικτύου που βρίσκονται στην κοινή μνήμη. Η CPU-1 χειρίζεται τα επίπεδα (layers) 3 έως 6.
2. Η CPU -2 είναι η CPU δικτύου, που εφαρμόζει τα επίπεδα 3 μέχρι 6 του πρωτοκόλλου LonTalk. Χειρίζεται την επεξεργασία των μεταβλητών δικτύου, την διευθυνσιοδότηση, την επεξεργασία των συναλλαγών, την επικύρωση και τη διαχείριση του δικτύου.
3. Η CPU -3 είναι η CPU εφαρμογής, που τρέχει τον κώδικα που γράφεται από το χρήστη μαζί με τις υπηρεσίες των λειτουργικών συστημάτων που καλούνται από τον κώδικα εφαρμογής.



Σχήμα 2.3 Η συσκευή LonWorks



Σχήμα 2.4 Το Neuron Chip

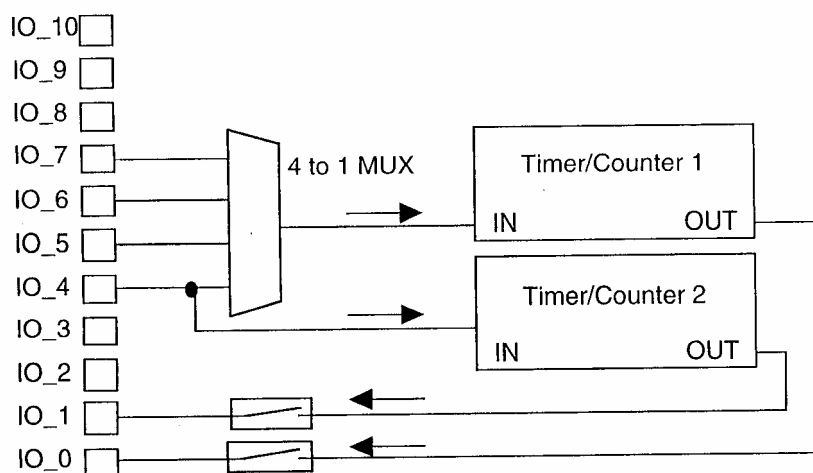
Το λογισμικό που υποστηρίζει το Neuron Chip είναι:

- Το πρωτόκολλο LonTalk
- Το event - οδηγούμενο λειτουργικό σύστημα
- Οι run - time βιβλιοθήκες εφαρμογής
- 34 I/O ελεγκτές.

Το Neuron Chip συνδέεται με το οριζόμενο από την εφαρμογή εξωτερικό υλικό μέσω έντεκα ακροδεκτών που ονομάζονται IO0 έως IO10. Αυτοί οι ακροδέκτες είναι διαμορφώσιμοι για να παρέχουν ευέλικτες λειτουργίες εισόδου, εξόδου με ένα ελάχιστο εξωτερικό κύκλωμα. Οι ακροδέκτες IO4 με IO7 έχουν προγραμματίσιμα

(on-off) pull-ups. Όλοι οι ακροδέκτες έχουν εισόδους στάθμης TTL με υστέρηση. Οι ακροδέκτες IO0 με IO7 έχουν μανταλωτές ανίχνευσης χαμηλού επιπέδου.

Το Neuron Chip έχει δύο δεκαεξάμπτους timer/counters. Η είσοδος στον timer/counter 1 είναι επιλέξιμη μεταξύ των ακροδεκτών IO4 με IO7 μέσω ενός προγραμματίσιμου πολυπλέκτη και η έξοδος του timer/counter 1 μπορεί να συνδεθεί με τον ακροδέκτη IO0 και καλείται πολυπλεγμένος timer/counter. Η είσοδος στον timer/counter 2 μπορεί να συνδεθεί με τον ακροδέκτη IO4 και η έξοδος του με τον IO1 (σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5 Neuron Chip I/O

3. Υλοποίηση

3.1 Εισαγωγή

3.1.1 Το εργαλείο ανάπτυξης LonBuilder

Υπάρχουν δύο διαθέσιμα εργαλεία ανάπτυξης για την τεχνολογία LonWorks. Το LonBuilder Developer's Workbench είναι ένα επιπέδου συστήματος εργαλείο ανάπτυξης, το οποίο παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη δημιουργία εφαρμογών LonWorks πολλών κόμβων. Το NodeBuilder Development Kit είναι ένα εργαλείο ανάπτυξης επιπέδου κόμβου, το οποίο παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για τον προγραμματισμό ανεξάρτητων κόμβων LonWorks, αλλά δεν παρέχει την ολοκλήρωση συστήματος. Το δικό μας σύστημα αναπτύχθηκε με τη χρήση ενός LonBuilder Developer's Workbench.

3.1.1.1 Το υλικό

Το LonBuilder Developer's Workbench αποτελείται από ολοκληρωμένο υλικό και λογισμικό που λειτουργεί σε συνεργασία με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το υλικό του LonBuilder αποτελείται από σταθμούς ανάπτυξης (development stations), επεξεργαστές (processor boards) και την κάρτα PCLTA PC LonTalk Adapter. Σε ένα απλό PC, ο LonBuilder παρέχει το περιβάλλον ανάπτυξης που μπορεί να εγκαταστήσει από ένα ζευγάρι εξομοιωμένων κόμβων, σε ένα σταθμό ανάπτυξης, μέχρι ένα κατανεμημένο σύστημα με 24 εξομοιωμένους κόμβους και 256 απομακρυσμένους κόμβους.

Ο σταθμός ανάπτυξης περιλαμβάνει τροφοδοσία ρεύματος, υποστήριξη για μέχρι έξι processor boards και έναν επεξεργαστή ελέγχου που παρέχει την επικοινωνία με τις processor boards. Παράλληλα ο επεξεργαστής ελέγχου επικοινωνεί με το PC και περιλαμβάνει ένα κόμβο διαχείρισης δικτύου και ένα κόμβο ανάλυσης πρωτοκόλλου.

Οι processor boards στην περίπτωσή μας αφορούν δύο LonBuilder Neuron Emulators

3.1.1.2 Το λογισμικό

Το λογισμικό του LonBuilder παρέχει εργαλεία προγραμματισμού εφαρμογών οικεία σε σχεδιαστές εφαρμογών βασισμένων σε μικροελεγκτές, καθώς επίσης και εργαλεία διαχείρισης δικτύου.

3.1.2 Η γλώσσα προγραμματισμού Neuron C

Η Neuron C είναι μια γλώσσα προγραμματισμού ειδικά φτιαγμένη για τον προγραμματισμό Neuron Chips και η οποία βασίζεται στην ANSI C. Παρέχει τις απαραίτητες επεκτάσεις στην ANSI C ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των εφαρμογών LonWorks. Τέτοιες επεκτάσεις είναι:

- οι μεταβλητές δικτύου (network variables), που απλοποιούν τις ανταλλαγές αρχείων μεταξύ κόμβων
- ένας νέος τύπος εντολής, η εντολή when, η οποία αναφέρεται σε γεγονότα (events), π.χ. when (reset) { io_out(ioLed0, 0); }.
- σαφής έλεγχος των I/O λειτουργιών με την δήλωση I/O αντικειμένων (I/O objects), που αναφέρονται στον καθορισμό της λειτουργίας των ακροδεκτών του Neuron Chip, π.χ. IO_0 output bit ioLED

Τέλος να αναφέρουμε ότι η Neuron C εμπεριέχει ένα προκαθορισμένο σύνολο τύπων μεταβλητών δικτύου (Standard Network Variable Types - SNVTs), που ορίζονται από το πρωτόκολλο LonTalk για τη συμβατότητα μεταξύ μεταβλητών δικτύου διαφορετικών κόμβων

3.2 Λειτουργία

Το δίκτυο που υλοποιήθηκε λειτουργεί σαν πυρήνας ενός συστήματος θέρμανσης. Περιλαμβάνει μια οθόνη που δείχνει την τρέχουσα θερμοκρασία του χώρου στον οποίο βρίσκεται και ένα LED που ανάβει περιοδικά ανά 100 δευτερόλεπτα και παραμένει αναμμένο για χρόνο από 0 έως 100 δευτερόλεπτα. Το ποσοστό του χρόνου για το οποίο ανάβει το LED αντιπροσωπεύει το ποσοστό στο οποίο θα δούλευε μια συσκευή θέρμανσης. Αν για παράδειγμα το LED ανάψει για 0 δευτερόλεπτα, η συσκευή θέρμανσης θα παρέμενε κλειστή ενώ αν ανάψει για 100 δευτερόλεπτα θα δούλευε πλήρως.

3.3 Το Υλικό

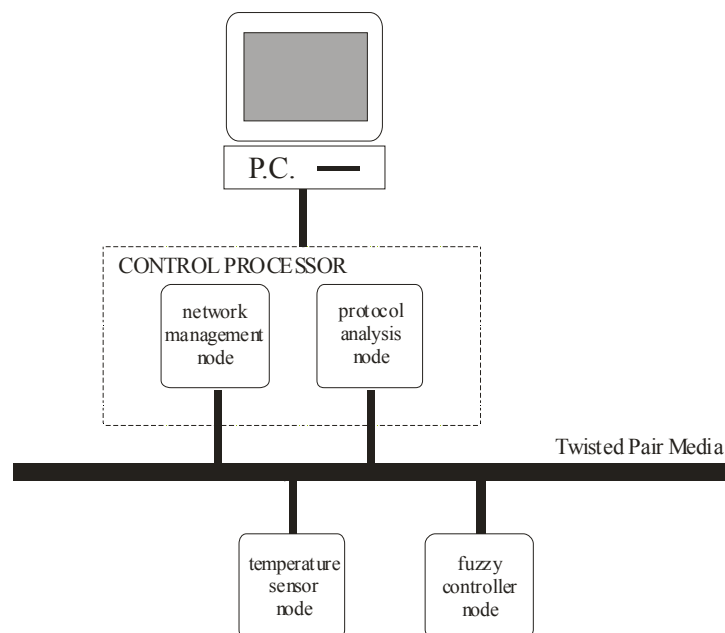
3.3.1 Γενικά

Όπως αναφέρουμε και στην εισαγωγή το σύστημα που υλοποιήθηκε αποτελείται από δύο κόμβους, ένα κόμβο αισθητήρα και ένα κόμβο ελεγκτή με την προσθήκη των δύο κόμβων, κόμβος διαχείρισης δικτύου και κόμβος ανάλυσης πρωτοκόλλου, του LonBuilder Developer's Workbench, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1.

Ο κόμβος του αισθητήρα, περιλαμβάνει τις λειτουργίες της μέτρησης της θερμοκρασίας καθώς και της εμφάνισης της θερμοκρασίας σε βαθμούς Celsius, με ακρίβεια 0.1°C. Για την υλοποίησή του χρησιμοποιήθηκε ένα TP/FT-10F Free Topology Flash Control Module, από την οικογένεια των LonWorks Twisted Pair Control Modules, που χρησιμοποιούνται ευρέως στην υλοποίηση κόμβων με την τεχνολογία LonWorks

Επίσης χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Gizmo 3 Multi-Function I/O Device (Motorola M143206EVK), η οποία μεταξύ άλλων περιλαμβάνει:

- ένα γραμμικό Fahrenheit αισθητήρα θερμοκρασίας
- ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα A/D μετατροπέα, με σύγχρονη σειριακή διεπικοινωνία
- πέντε οθόνες ψηφίων 7-segment LED displays



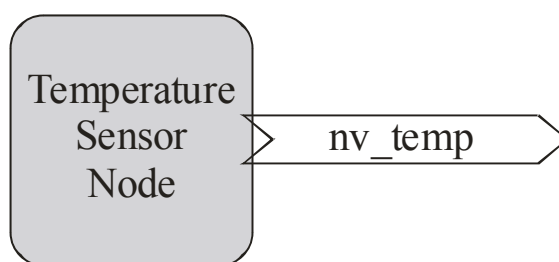
Σχήμα 3.1 Το δίκτυο που υλοποιήθηκε

- ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα οδήγησης των οθονών, με σύγχρονη σειριακή διεπικοινωνία

Τέλος αναπτύχθηκε σε breadboard το κύκλωμα των ~SERVICE led και ~SERVICE button.

Ο κόμβος του ελεγκτή πραγματοποιεί τη λειτουργία του ελέγχου ασαφούς λογικής. Η υλοποίησή του έγινε πάνω σε έναν LonBuilder Neuron Emulator (Model 25000) και όχι σε κάποιο κύκλωμα ειδικά σχεδιασμένο για τις λειτουργίες του κόμβου, αφού οι απαιτήσεις για I/O λειτουργίες μπόρεσαν να περιοριστούν στην ύπαρξη ενός μόνο led, το οποίο και διαθέτει ο Emulator.

3.3.2 Ο κόμβος του αισθητήρα θερμοκρασίας



Σχήμα 3.2 Ο κόμβος του αισθητήρα θερμοκρασίας

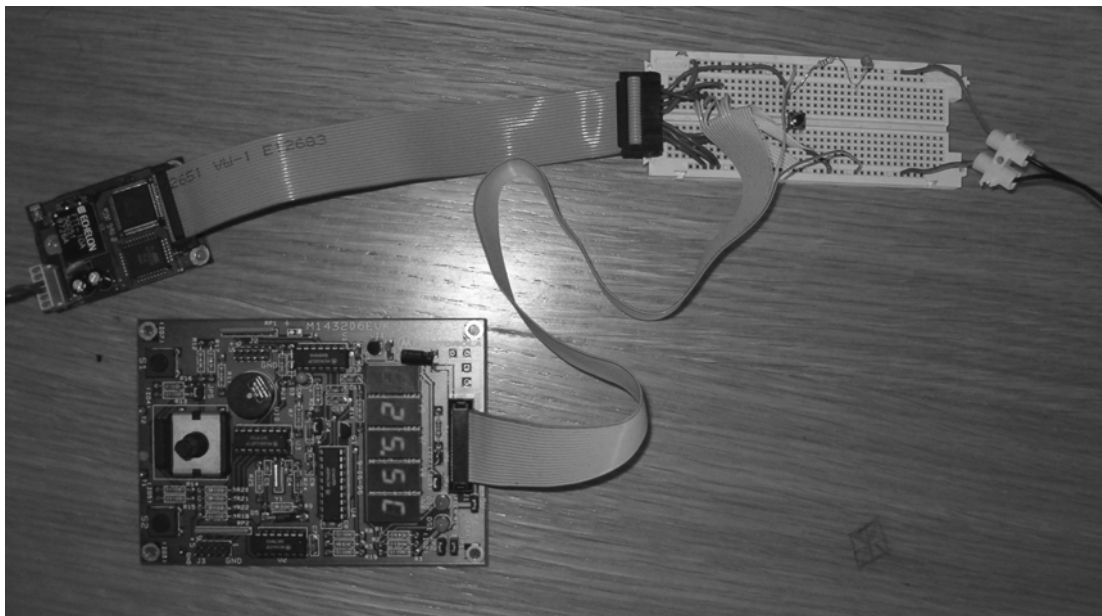
Ο κόμβος του αισθητήρα περιλαμβάνει τον αισθητήρα θερμοκρασίας και την οθόνη στην οποία εμφανίζεται η τρέχουσα θερμοκρασία. Για την υλοποίησή του, από την πλευρά του υλικού, χρησιμοποιήθηκε ένα TP/FT-10F Flash Control Module, που παρέχει τον πυρήνα ενός κόμβου LonWorks, και μια συσκευή Gizmo 3 Multi-Function I/O Device, που παρέχει τις απαραίτητες I/O συσκευές για την εφαρμογή μας.

3.3.2.1 Η διεπικοινωνία του κόμβου με το δίκτυο

Η διεπικοινωνία του κόμβου έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- πρωτόκολλο επικοινωνίας LonWorks
- πομποδέκτης (transceiver) FTT-10A
- ρυθμό μετάδοσης 78kbps
- ελεύθερη τοπολογία

- επικοινωνία πάνω από μέσο συνεστραμμένου ζεύγους

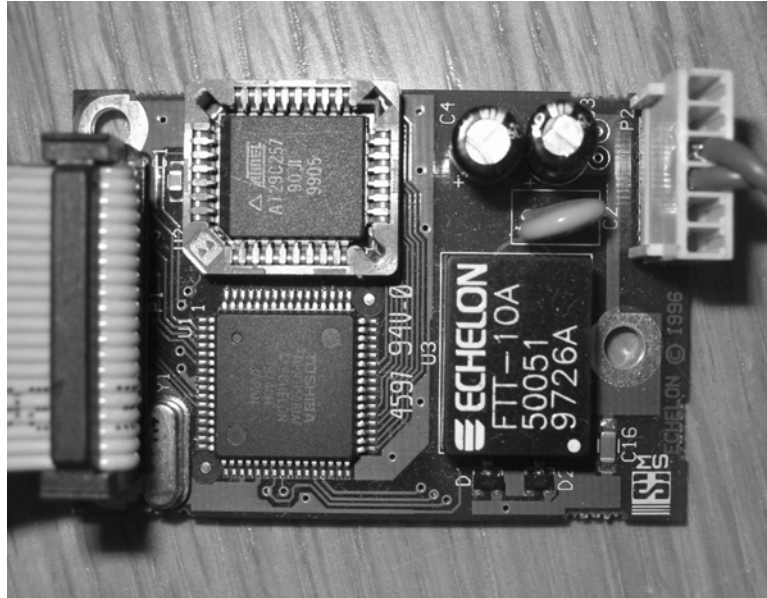


Φωτ. 3.1 Ο κόμβος του αισθητήρα που υλοποιήσαμε

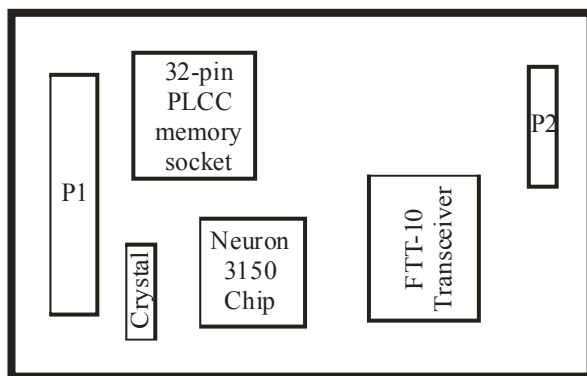
3.3.2.2 TP/FT-10F Free Topology Flash Control Module

Το TP/FT-10F Flash Control Module, σχ. 3.3, όπως και τα υπόλοιπα LonWorks Twisted Pair Control Modules, περιλαμβάνει από την άποψη του υλικού τον πυρήνα ενός κόμβου LonWorks καθώς μπορεί να συνδεθεί μέσω του FTT-10 πομποδέκτη (transceiver) σε ένα υπάρχον δίκτυο LonWorks, με ελεύθερη τοπολογία και ρυθμό μετάδοσης 78kbps. Ταυτόχρονα επιτρέπει την πρόσβαση στους I/O ακροδέκτες του Neuron Chip, για την προσαρμογή συσκευών εισόδου / εξόδου. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει:

- ένα Neuron 3150 Chip
- ένα κρύσταλλο ρολογιού 10 MHz
- έναν πομποδέκτη συνεστραμμένου ζεύγους (twisted pair transceiver FTT-10) 78kbps
- υποστήριξη για εξωτερική flash μνήμη, που όμως δεν χρησιμοποιήθηκε
- άμεση πρόσβαση στους I/O ακροδέκτες του Neuron Chip, όπως και στους ακροδέκτες ~SERVICE και ~RESET



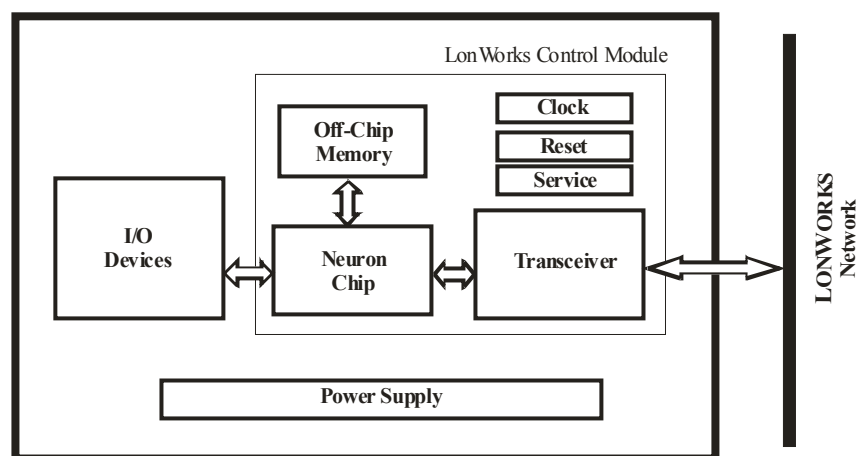
Φωτ. 3.2 Το TP/FT-10F Flash Control Module που χρησιμοποιήθηκε



P1: 18-pin I/O Connector

P2: 6-pin Network Connector

α) Κάτοψη του Module



β) Ένας τυπικός κόμβος LonWorks με τη χρήση Control Module

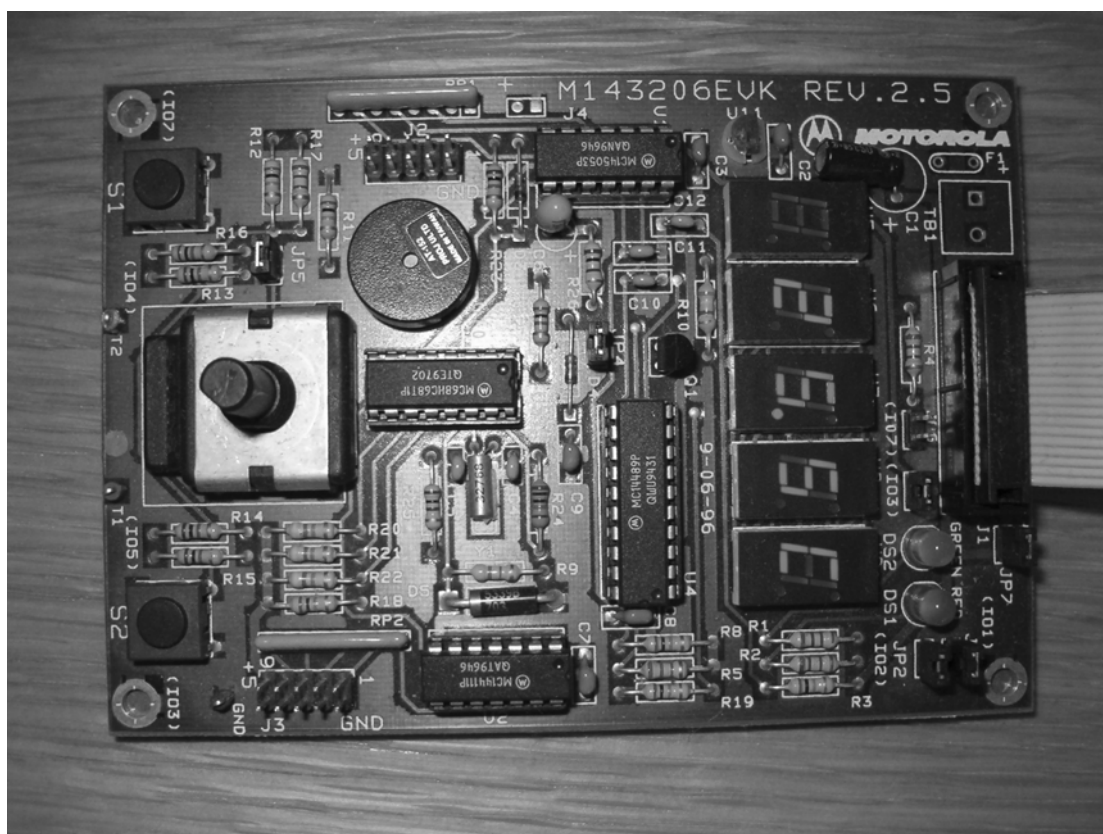
Σχήμα 3.3 TP/FT-10F Flash Control Module

3.3.2.3 Οι I/O συσκευές

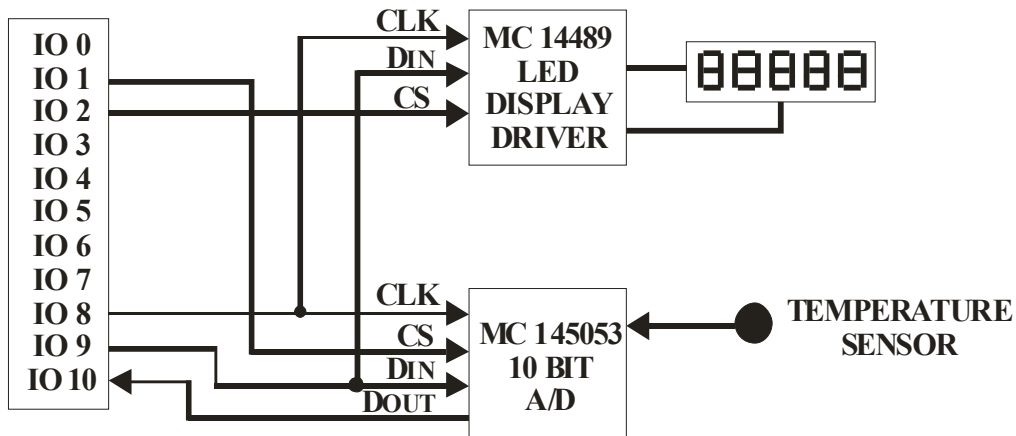
Η συσκευή Gizmo 3 περιλαμβάνει έντεκα I/O συσκευές, συμβατές με το Neuron Chip, και κατάλληλες για χρήση σε πολλές εφαρμογές LonWorks. Οι συσκευές που αφορούν εμάς είναι όπως αναφέραμε ήδη:

- ένας γραμμικός Fahrenheit αισθητήρας θερμοκρασίας
- ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα A/D μετατροπέα, με σύγχρονη σειριακή διεπικοινωνία
- πέντε οθόνες ψηφίων 7-segment LED displays
- ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα οδήγησης των οθονών, με σύγχρονη σειριακή διεπικοινωνία

Επίσης παρέχει ένα συνδετήρα διεπικοινωνίας είκοσι ακροδεκτών, από τους οποίους ένας αντιστοιχεί στην γείωση, ένας στην τροφοδοσία +5V και έντεκα στους I/O ακροδέκτες του Neuron Chip.



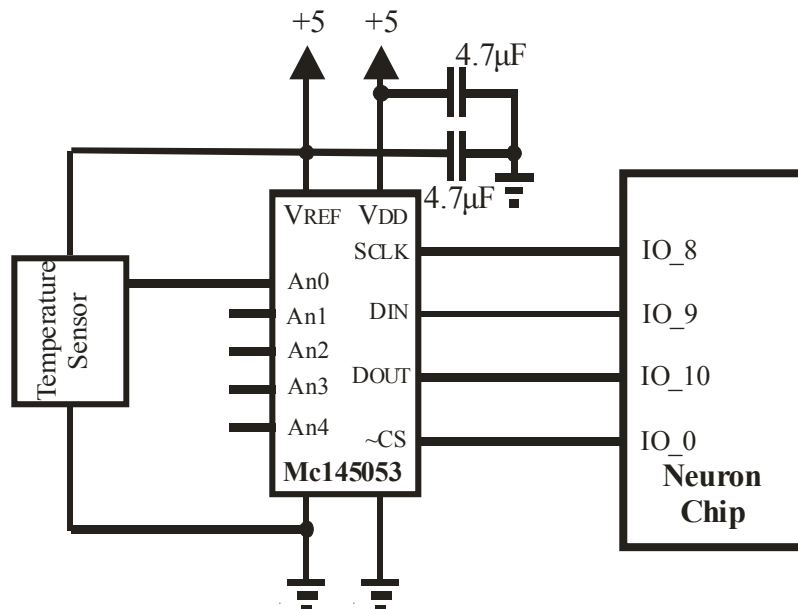
Φωτ. 3.3 Η συσκευή Gizmo 3 Multi-Function I/O που χρησιμοποιήθηκε



Σχήμα 3.4 Σχηματικό διάγραμμα με τις συσκευές I/O, που χρησιμοποιούμε.

3.3.2.4 Μετατροπή A/D με σειριακή διεπικοινωνία

Το σχήμα 3.5 δείχνει τη σύνδεση του Neuron Chip με το τσιπ του μετατροπέα A/D για την πραγματοποίηση αναλογικών μετρήσεων από τον αισθητήρα θερμοκρασίας.



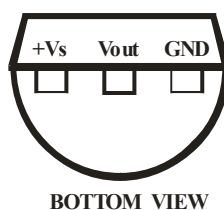
Σχήμα 3.5 Σύνδεση του μετατροπέα A/D MC145053 με τον αισθητήρα θερμοκρασίας και το Neuron Chip

Ο μετατροπέας A/D MC145053 της Motorola είναι ένας 10-bit, πέντε καναλιών, διπλής κατεύθυνσης (full-duplex), σειριακός μετατροπέας. Η διεύθυνση του καναλιού εισάγεται στον μετατροπέα και ταυτόχρονα εξάγεται η παραγόμενη ψηφιακή έξοδος.

Με τη χρήση του αντικειμένου neurowire I/O του Neuron Chip, που παρέχει μια διπλής κατεύθυνσης διεπικοινωνία (full-duplex interface), μπορούμε να εξάγουμε την νέα διεύθυνση και ταυτόχρονα να εισάγουμε τα δεδομένα για την προηγούμενη διεύθυνση. Εμείς δίνουμε κάθε φορά τη διεύθυνση στην οποία βρίσκεται ο αισθητήρας θερμοκρασίας.

Η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του A/D μετατροπέα και του Neuron Chip γίνεται σειριακά με ρυθμό 20kbps.

3.3.2.5 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας



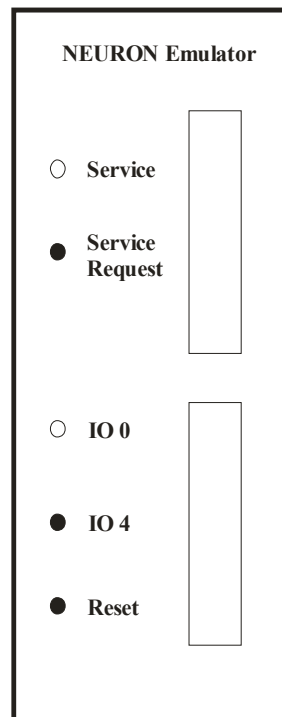
Σχήμα 3.6 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας LM34

Χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας LM34, ο οποίος είναι ένας Fahrenheit αισθητήρας θερμοκρασίας με τάση εξόδου ανάλογη της θερμοκρασίας σε βαθμούς Fahrenheit (10 mV / degree). Λειτουργεί σε ένα εύρος τιμών από -50° έως 300° F με περιθώριο σφάλματος $\pm 0.5^\circ$ F σε θερμοκρασίες δωματίου (αντίστοιχα από -45.56° έως 148.89° C και περιθώριο σφάλματος $\pm 0.28^\circ$ C για θερμοκρασία 20° C).

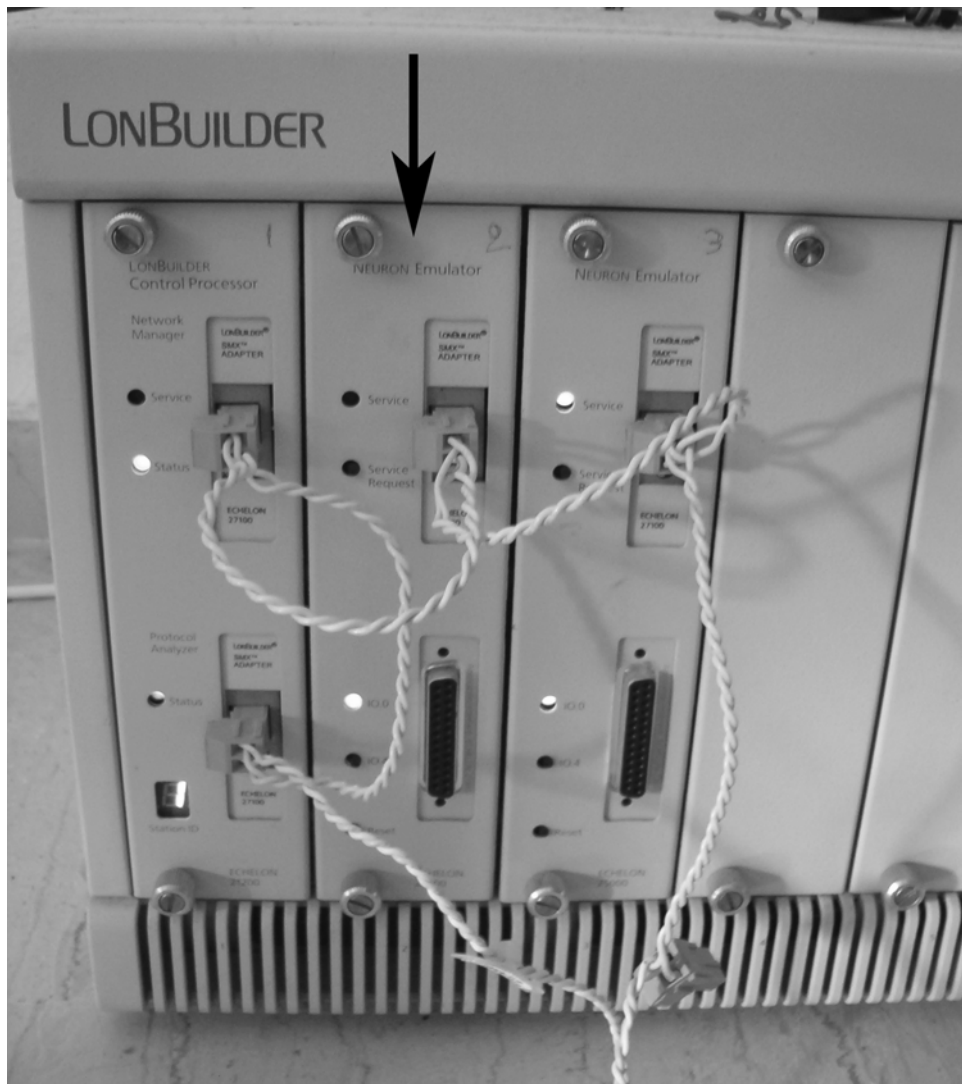
Όσον αφορά την ακρίβεια σε βαθμούς Celsius, για τους 20° C έχουμε ακρίβεια 0.56° C.

3.3.3 Ο κόμβος του ελεγκτή

Όπως ήδη αναφέραμε ο κόμβος του ελεγκτή υλοποιείται σε έναν Neuron Emulator του LonBuilder. Ο πυρήνας του Emulator είναι ένα Neuron 3150 Chip. Πάνω στον Emulator έχουμε προσαρμόσει έναν FTM-10 πομποδέκτη (transceiver) για την επικοινωνία με άλλους κόμβους μέσω στριμμένου ζευγαριού με ελεύθερη τοπολογία. Επίσης ο Emulator παρέχει πρόσβαση σε δύο I/O ακροδέκτες του Neuron Chip, στον IO 0 σαν έξοδο με ένα LED και στον IO 4 σαν είσοδο με ένα πλήκτρο (push button).

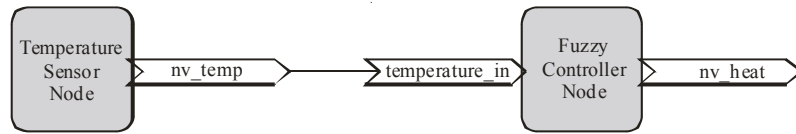


Σχήμα 3.7 Πρόσωση του Emulator



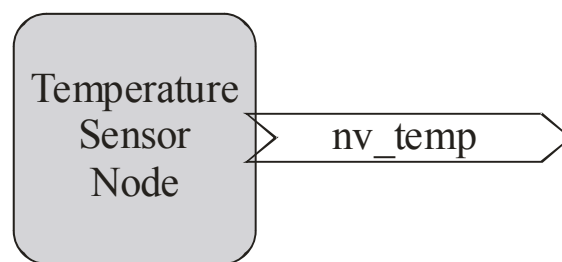
Φωτ. 3.4 LonBuilder – Το βέλος δείχνει τον Emulator που χρησιμοποιήθηκε για τον κόμβο του ελεγκτή

3.4 Το Λογισμικό



Σχήμα 3.8 Οι δύο κόμβοι του δικτύου

3.4.1 Ο κόμβος του αισθητήρα



Σχήμα 3.9 Ο κόμβος του αισθητήρα

Ο προγραμματισμός του κόμβου έγινε στην γλώσσα Neuron C και εκτελεί τις λειτουργίες:

- δειγματοληψία του αισθητήρα θερμοκρασίας
- εμφάνιση της θερμοκρασίας στις οθόνες ψηφίων 7-segment

Ο κώδικας εφαρμογής Neuron C που γράψαμε και φορτώσαμε στον κόμβο έχει, όπως φαίνεται και στο σχ. 3.9, μια μεταβλητή δικτύου, την **nv_temp**, η οποία:

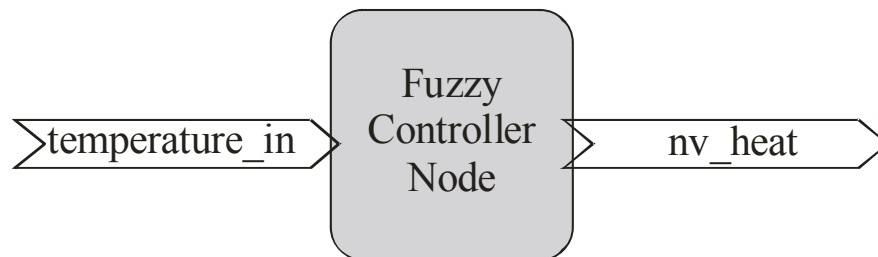
- είναι έξοδος
- είναι τύπου SNVT_temp, δηλαδή αντιπροσωπεύει την θερμοκρασία σε βαθμούς Celsius, με ακρίβεια 0.1 °C
- συνδέεται με τη μεταβλητή δικτύου temperature_in του κόμβου του ελεγκτή

Επιπλέον χρησιμοποιούμε ένα μετρητή (timer/counter) ο οποίος μηδενίζεται κάθε 0.5 sec. Κάθε φορά που ο μετρητής μηδενίζεται γίνονται τα εξής:

- δειγματολειτουργούμε την τιμή του μετατροπέα A/D για το κανάλι στο οποίο έχουμε συνδέσει τον αισθητήρα θερμοκρασίας

- μετατρέπουμε την τιμή της θερμοκρασίας στην κατάλληλη μορφή (SNVT_temp) και την περνάμε στη μεταβλητή δικτύου nv_temp
- εμφανίζουμε την τιμή της θερμοκρασίας στις οθόνες ψηφίων 7-segment, με ακρίβεια 0.1 °C και με τη μορφή xxx.xC

3.4.2 Ο κόμβος του ελεγκτή



Σχήμα 3.10 Ο κόμβος του ελεγκτή

Ο προγραμματισμός του κόμβου του ελεγκτή έγινε σε γλώσσα Neuron C και περιλαμβάνει τις λειτουργίες:

- έλεγχος ασαφούς λογικής
- ένδειξη του αποτελέσματος του ελέγχου στο LED IO 0, όπως θα δούμε στη συνέχεια

Ο κώδικας εφαρμογής Neuron C που γράψαμε και φορτώσαμε στον κόμβο έχει, όπως φαίνεται και στο σχ. 3.10, δύο μεταβλητές δικτύου, τις **temperature_in** και **nv_heat**.

Η μεταβλητή temperature_in:

- είναι είσοδος
- είναι τύπου SNVT_temp, δηλαδή αντιπροσωπεύει την θερμοκρασία σε βαθμούς Celsius, με ακρίβεια 0.1 °C
- συνδέεται με τη μεταβλητή δικτύου nv_temp του κόμβου του αισθητήρα

Η μεταβλητή nv_heat:

- είναι έξοδος
- είναι τύπου unsigned long, δηλαδή πρόκειται για ένα μη προσημασμένο ακέραιο αριθμό

- δεν συνδέεται με κάποια μεταβλητή δικτύου άλλου κόμβου. Αντιπροσωπεύει την τιμή της μεταβλητής εξόδου του ελεγκτή. Θα προρούσε να συνδεθεί με κάποιον κόμβο ενεργοποιητή, αν υπήρχε στο δίκτυο.

Στην ουσία ο κόμβος του ελεγκτή δειγματοληπτεί κάθε 100 sec την τιμή της θερμοκρασίας που διαβάζει ο αισθητήρας και λαμβάνοντας υπ' όψη τις δυο τελευταίες μετρήσεις παράγει μια έξοδο με εύρος τιμών 0-100, που αντιπροσωπεύει το ποσοστό (%) στο οποίο δυνητικά θα δούλευε μια συσκευή θέρμανσης. Παράλληλα το LED του κόμβου ανάβει για τόσα δευτερόλεπτα όσο το παραπάνω ποσοστό. Δηλαδή αν για παράδειγμα η έξοδος του ελεγκτή είναι 40.58 το LED θα ανάψει για 40 δευτερόλεπτα.

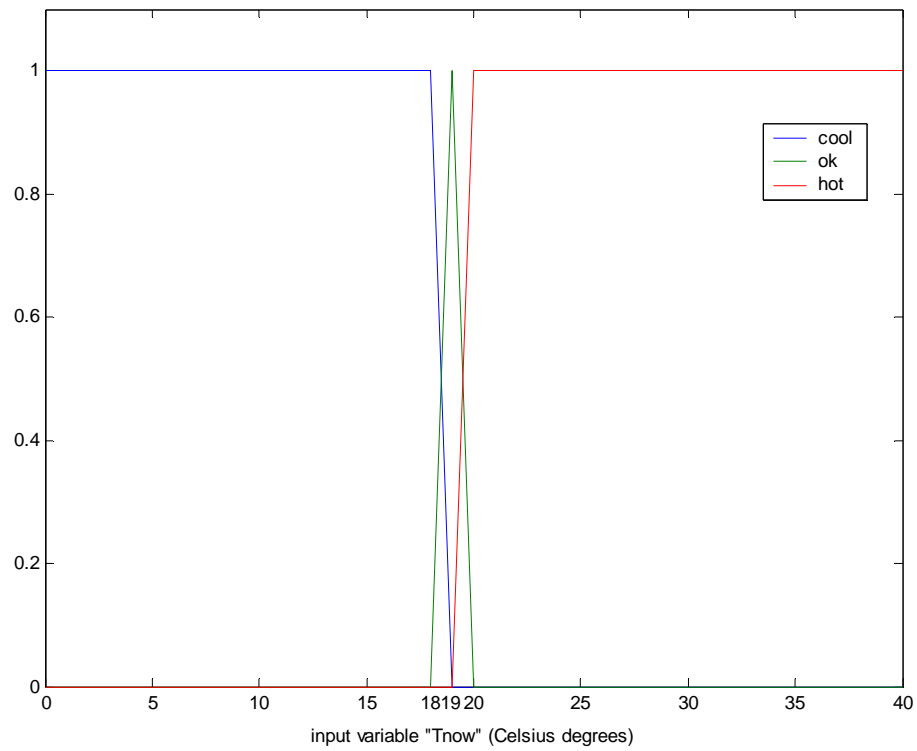
Έτσι λοιπόν, λαμβάνοντας υπ' όψη την τωρινή τιμή της θερμοκρασίας και την τιμή της θερμοκρασίας πριν από 100 δευτερόλεπτα καθορίζουμε σε τι ποσοστό θα δούλευε μια δυνητική συσκευή θέρμανσης

3.5.2.1 Ο έλεγχος ασαφούς λογικής

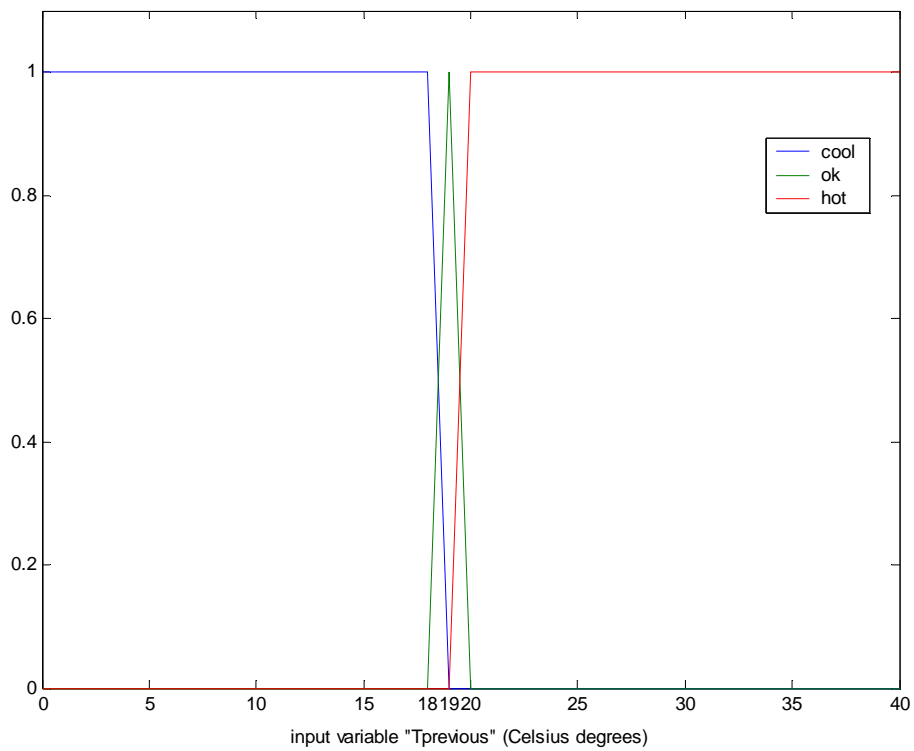
3.5.2.1.1 Σχεδίαση του ελεγκτή

Για την υλοποίηση της λειτουργίας αυτής σχεδιάστηκε ένας ελεγκτής ασαφούς λογικής με δύο μεταβλητές εισόδου, **Tnow** και **Tprevious**, και μια μεταβλητή εξόδου, **heat**. Οι μεταβλητές εισόδου, όπως φαίνεται και στα σχήματα 3.11 και 3.12, έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά:

- εύρος τιμών 0-40 °C
- τρεις συναρτήσεις συμμετοχής, cool, ok, hot, που παίρνουν τις ίδιες τιμές και για τις δυο μεταβλητές



Σχήμα 3.11 Η μεταβλητή εισόδου *Tnow* του Fuzzy ελεγκτή



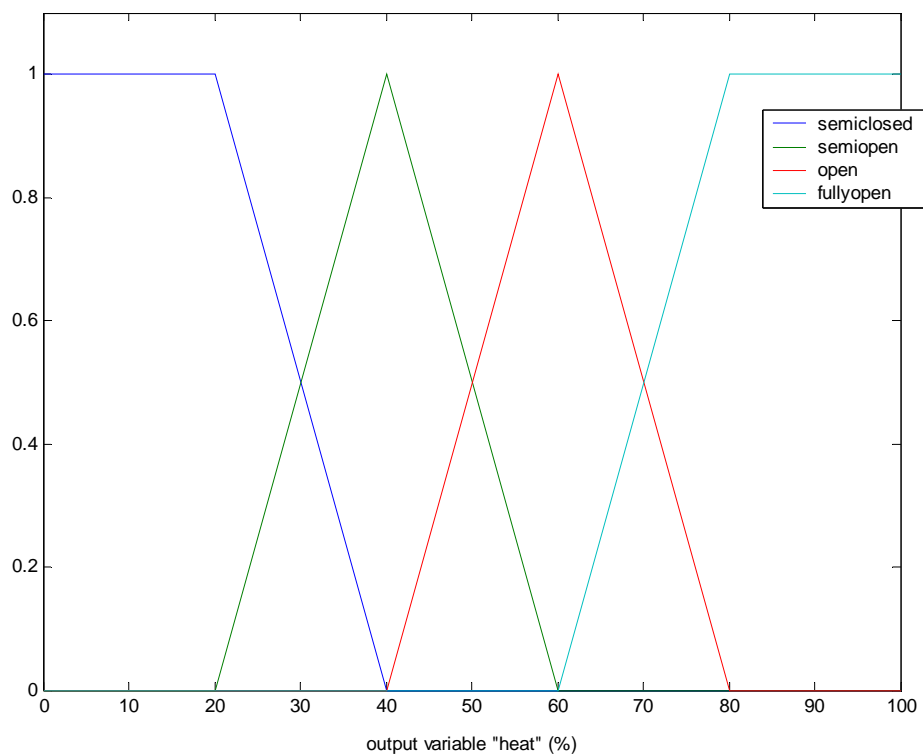
Σχήμα 3.12 Η μεταβλητή εισόδου *Tprevious* του Fuzzy ελεγκτή

Η μεταβλητή εξόδου *heat* έχει:

- εύρος τιμών 0-100
- τέσσερις συναρτήσεις συμμετοχής, *semiclosed*, *semiopen*, *open*, *fullyopen*, οι οποίες παίρνουν τιμές όπως φαίνεται στο σχ. 3.13.

Ο έλεγχος γίνεται με τους εννέα ακόλουθους κανόνες:

1. AN η *Tnow* είναι **cool** KAI η *Tprevious* είναι **cool** TOTE η *heat* είναι **fullyopen**
2. AN η *Tnow* είναι **cool** KAI η *Tprevious* είναι **ok** TOTE η *heat* είναι **fullyopen**
3. AN η *Tnow* είναι **cool** KAI η *Tprevious* είναι **hot** TOTE η *heat* είναι **open**
4. AN η *Tnow* είναι **ok** KAI η *Tprevious* είναι **cool** TOTE η *heat* είναι **semiopen**
5. AN η *Tnow* είναι **ok** KAI η *Tprevious* είναι **ok** TOTE η *heat* είναι **semiclosed**
6. AN η *Tnow* είναι **ok** KAI η *Tprevious* είναι **hot** TOTE η *heat* είναι **semiclosed**
7. AN η *Tnow* είναι **hot** KAI η *Tprevious* είναι **cool** TOTE η *heat* είναι **semiopen**
8. AN η *Tnow* είναι **hot** KAI η *Tprevious* είναι **ok** TOTE η *heat* είναι **semiopen**
9. AN η *Tnow* είναι **hot** KAI η *Tprevious* είναι **hot** TOTE η *heat* είναι **semiclosed**



Σχήμα 3.13 Η μεταβλητή εξόδου *heat* του Fuzzy ελεγκτή

3.5.2.1.2 Εφαρμογή στον κόμβο του ελεγκτή

Αφού σχεδιάσαμε το ελεγκτή ασαφούς λογικής, με τις μεταβλητές και τους κανόνες που είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, προχωρήσαμε στο επόμενο βήμα τον προγραμματισμό του κόμβου.

Ορίσαμε λοιπόν στον κώδικα δύο τοπικές μεταβλητές, `current_temp` και `prev_temp`, οι οποίες παίζουν το ρόλο των μεταβλητών εισόδου `Tnow` και `Tprevious`. Επιπλέον χρησιμοποιήσαμε την μεταβλητή δικτύου `nv_heat` για το ρόλο της μεταβλητής εξόδου `heat`.

Επιπλέον χρησιμοποιούμε δύο μετρητές (timer/counter), `timer1` και `timer2`. Ο `timer1` μηδενίζεται κάθε 100 sec. Κάθε φορά που ο μετρητής μηδενίζεται γίνονται τα εξής:

- Η μεταβλητή `prev_temp` παίρνει την τιμή της μεταβλητής `current_temp`.
- Η μεταβλητή `current_temp` παίρνει την τιμή της μεταβλητής δικτύου `temperature_in`
- Υπολογίζουμε την τιμή της εξόδου `nv_heat`
- Αρχικοποιούμε τον μετρητή `timer2` στο ακέραιο μέρος της τιμής της μεταβλητής δικτύου `nv_heat`

Κάθε φορά που μηδενίζεται ο μετρητής `timer2`:

- Σβήνει το LED IO 0

4.Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

4.1 Αποτελέσματα του ελεγκτή ασαφούς λογικής

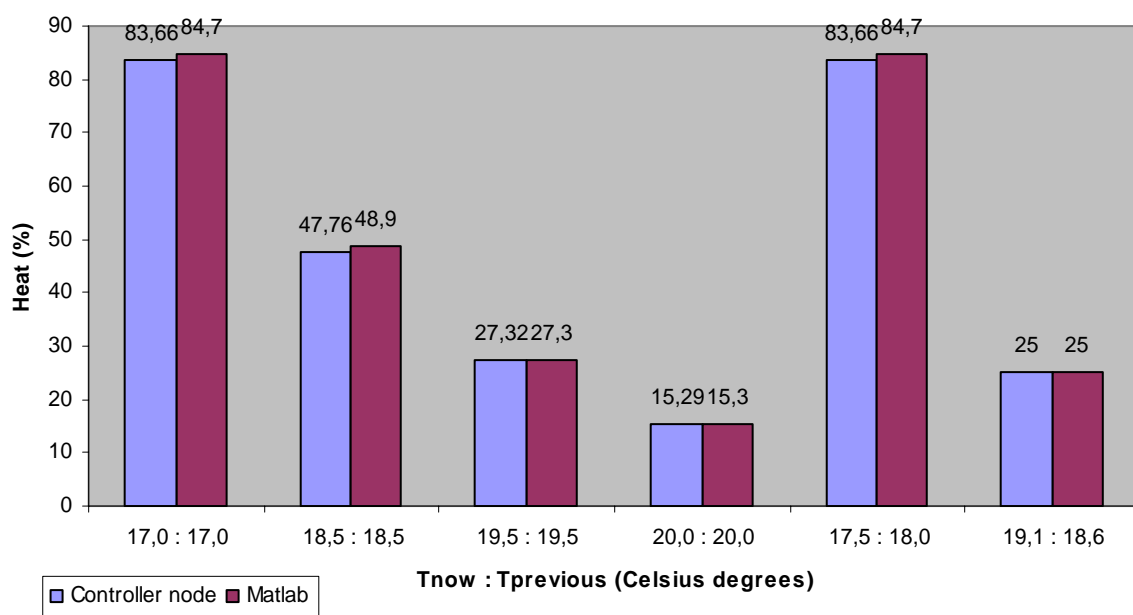
Αφού υλοποιήσαμε το σύστημα κάναμε μια σειρά μετρήσεων για να ελέγξουμε τη σωστή λειτουργία του. Έτσι λοιπόν θερμαίναμε και ψύχαμε τον αισθητήρα θερμοκρασίας σε διαφορες θερμοκρασίες, τις οποίες παρακολουθούσαμε στις οθόνες 7-segment, και καταγραφαμε την αντίδραση του κόμβου του ελεγκτή στον Emulator. Πιο συγκεκριμένα παρακολουθούσαμε τον χρόνο για τον οποίο άναβε το LED IO 0, ενώ για την ακριβή καταγραφή του αποτελέσματος ταυτόχρονα παρακολουθούσαμε στο εργαλείο ανάπτυξης LonBuilder Development Tool την τιμή της μεταβλητής εξόδου δικτύου `nv_heat`, η οποία αντιστοιχεί στην μεταβλητή εξόδου `heat` του fuzzy ελεγκτή, όπως τον παρουσιάζουμε στην προηγούμενη ενότητα. Έτσι προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 4.1 και στα ιστογράμματα 4.1 και 4.2.

Για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήσαμε μια προσομοίωση του ελεγκτή ασαφούς λογικής στο MATLAB και πήραμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 4.1 και στα ιστογράμματα 4.1 και 4.2.

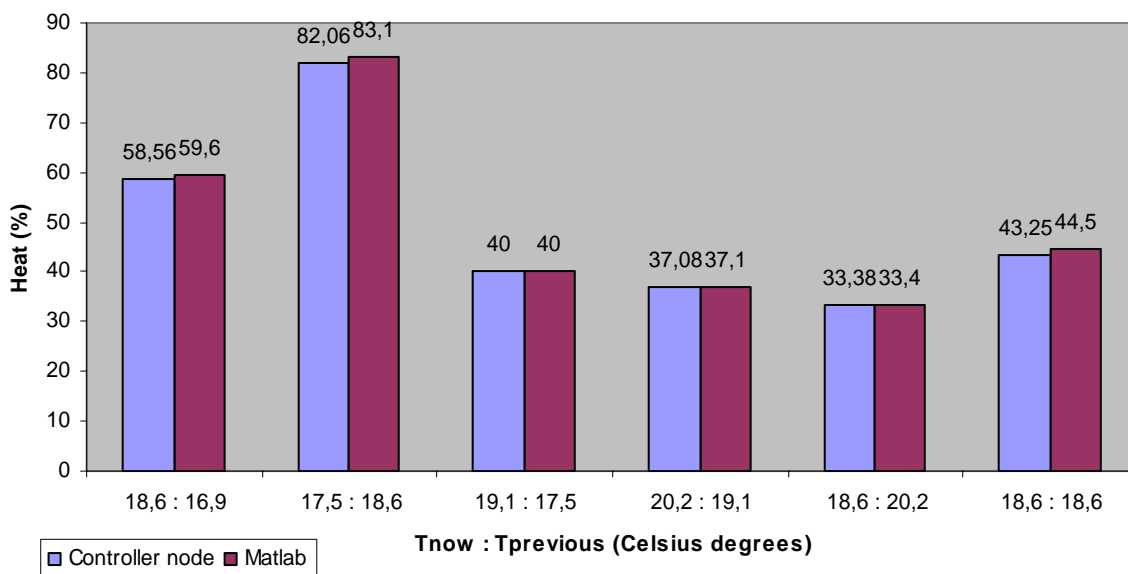
#	Tnow (Celsius degrees)	Tprevious (Celsius degrees)	Heat (%) Controller Node	Heat (%) Matlab
1	17.0	17.0	83.66	84.7
2	18.5	18.5	47.76	48.9
3	19.5	19.5	27.32	27.3
4	20.0	20.0	15.29	15.3
5	17.5	18.0	83.66	84.7
6	19.1	18.6	25.00	25.0
7	16.9	16.9	83.66	84.7
8	18.6	16.9	58.56	59.6
9	17.5	18.6	82.06	83.1
10	19.1	17.5	40.00	40.0

11	20.2	19.1	37.08	37.1
12	18.6	20.2	33.38	33.4
13	18.6	18.6	43.25	44.5
14	19.7	18.6	31.51	31.5

Πίνακας 4.1 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του fuzzy ελέγχου και της προσομοίωσης στο Matlab



Ιστόγραμμα 4.1 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του fuzzy ελέγχου και της προσομοίωσης στο Matlab (Α' μέρος)



Ιστόγραμμα 4.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του fuzzy ελέγχου και της προσομοίωσης στο Matlab (B' μέρος)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του fuzzy ελέγχου και της προσομοίωσης στο Matlab βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα του ελεγκτή που υλοποιήθηκε παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (**0 - 1.2 %**). Θεωρούμε ότι οι αποκλίσεις αυτές είναι ικανοποιητικές και συνεπώς ότι ο ελεγκτής ασαφούς λογικής λειτουργεί επιτυχώς. Το γεγονός της απόκλισης αποδίδεται σε προγραμματιστικούς λόγους καθώς και στο γεγονός ότι ο μικροελεγκτής Neuron Chip δεν υποστηρίζει τόσο μεγάλη ακρίβεια υπολογισμών όσο το Matlab. Το βασικό συμπέρασμα όμως είναι ο επιτυχής προγραμματισμός του Neuron Chip σαν ελεγκτής ασαφούς λογικής.

4.2 Σύγκριση κόστους για τον κόμβο του αισθητήρα

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει αναλυτικά το κόστος του κόμβου του αισθητήρα σε δολάρια Η.Π.Α (U.S. \$).

FTT-10A Transceiver	16.00
Toshiba Neuron 3150 Chip	5.00
Motorola MC145053 A/D converter	5.00
LM34DZ Temperature Sensor	1.00
Άλλα εξαρτήματα (εκτίμηση)	15.00
Σύνολο	42.00

Πίνακας 4.2 Το κόστος του κόμβου του αισθητήρα σε U.S. \$

Στη συνέχεια συγκρίνουμε το παρεπάνω κόστος με την τιμή πώλησης δύο προϊόντων, με παρόμοια χαρακτηριστικά, στο online μαγαζί Engenuity (www.engenuity.com) που ειδικεύεται σε προϊόντα LonWorks.

Πιο συγκεκριμένα οι δύο κόμβοι αισθητήρα που παρουσιάζουμε λειτουργούν με:

- πρωτόκολλο επικοινωνίας LonWorks
- πομποδέκτη (transceiver) FTT-10A
- ρυθμό μετάδοσης 78kbps
- ελεύθερη τοπολογία και μέσο στριμμένου ζευγαριού

Όπως βλέπουμε οι δυο κόμβοι έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τον κόμβο που αναπτύξαμε. Στο πίνακα 4.3 αντιπαραθέτουμε τις τιμές πώλησης των δυο κόμβων και το κόστος του δικού μας κόμβου.

Μοντέλο	Τιμή (U.S. \$)
Capelon LS-T01	85.00
Neurologic Ressearch Corp. 1150 NC0C-01	95.00
Κόμβος του αισθητήρα	42.00

Πίνακας 4.3 Σύγκριση κόστους

Συγκρίνοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε πως το κόστος του κόμβου που αναπτύξαμε κινείται σε λογικά πλαίσια και είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με τις τιμές πώλησης των δύο άλλων κόμβων (λιγότερο από το μισό).

5.Μελλοντικές επεκτάσεις

- Η κλασική δομή ενός ελάχιστου δικτύου LonWorks περιλαμβάνει τρεις κόμβους, ένα κόμβο αισθητήρα, ένα κόμβο ελεγκτή και ένα **κόμβο ενεργοποιητή (ή επενεργητή)**. Το δικό μας δίκτυο που περιλαμβάνει μόνο τους δύο πρώτους θα μπορούσε με την προσθήκη ενός κόμβου ενεργοποιητή (ή επενεργητή) να αποτελέσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα με πρακτική εφαρμογή. Ο κόμβος του ενεργοποιητή (ή επενεργητή) στην περίπτωση μας αφορά μια συσκευή θέρμανσης, η οποία θα λειτουργεί σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελεγκτή.

Επομένως μια πρώτη επέκταση θα μπορούσε να αποτελέσει η προσθήκη ενός τέτοιου κόμβου.

- Ένα σημείο που επιδέχεται πολλές βελτιώσεις στο σύστημά μας είναι ο **σχεδιασμός του ελεγκτή ασαφούς λογικής**, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν στοχεύσαμε στον σχεδιασμό ένα ελεγκτή που θα λειτουργεί βέλτιστα σε πραγματικές συνθήκες.

Ένα σύστημα με αυτές τις δυο προσθήκες θα μπορούσε να εγκατασταθεί σε ένα κλειστό χώρο κτιρίου.

- Επιπλέον το δίκτυο θα μπορούσε να επεκταθεί και με **άλλες συσκευές** που αφορούν άλλες λειτουργίες, όπως ο φωτισμός, ο εξαερισμός, συναγερμός κτλ., ώστε να αποτελέσει ένα ολοκληρωμένο δίκτυο αυτοματισμών σε ένα σπίτι ή ένα κτίριο.
- Ένα άλλο πεδίο για περεταίρω βελτίωση είναι η λειτουργία πάνω σε ένα δίκτυο **Ethernet**.
- Με μια ενδελεχή μελέτη και ανάλυση του δικτύου θα μπορούσαμε να δώσουμε στους κόμβους **προτεραιότητες**, ώστε να αποκτούν πιο εύκολα πρόσβαση στο μέσο οι κόμβοι που εμείς θεωρούμε πιο σημαντικούς.
- Υπάρχουν πολλές ακόμη δυνατότητες βελτίωσης στο πεδίο της διαχείρισης του δικτύου, όπως η **διάγνωση σφαλμάτων**.

Βιβλιογραφία

- [1] G.J. Levermore, “Building energy management systems, applications to low-energy HVAC and natural ventilation control”, E&FN Spon, 2000
- [2] D. Kolokotsa, “Design and implementation of an integrated intelligent indoor environment management system using fuzzy logic, advanced decision support techniques, local operating network capabilities and smart card technology”, Chania, June 2001
- [3] T. Ross, “Fuzzy logic with engineering applications”, McGraw-Hill, New York, 1995
- [4] V. Boed, “Networking and integration of facilities automation systems”, CRC Press, Florida, 2000
- [5] “LonWorks Engineering Bulletins”, Echelon Corporation, January 1995
- [6] “LonWorks Twisted Pair Control Module, User’s Guide”, Version 2, Echelon Corporation, 1996
- [7] “Neuron C Programmer’s Guide”, Revision 4, Echelon Corporation, 1995
- [8] “Neuron C Reference Guide”, Revision 2, Echelon Corporation, 1995
- [9] “LonBuilder Hardware Guide”, Revision 6, Echelon Corporation, 1997
- [10] “LonBuilder User’s Guide”, Revision 3, Echelon Corporation, 1995
- [11] “Neuron Chip Data Book”, Echelon Corporation, February 1995
- [12] “MC145053, 10-Bit A/D Converter with Serial Interface”, Motorola semiconductor technical data, 1998
- [13] “Lm 34 Precision Fahrenheit Temperature Sensors”, National Semiconductor Corporation, November 2000