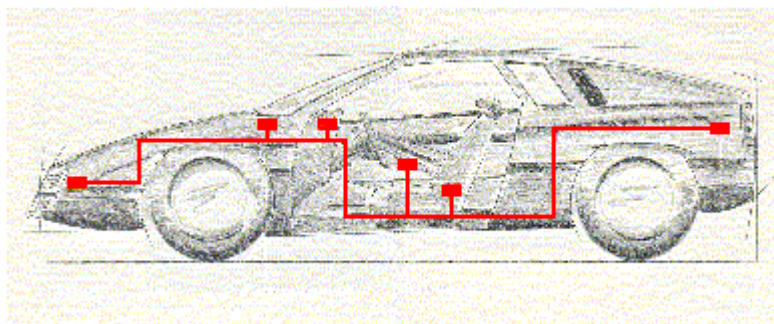


2.6 Δίκτυο CAN (Controller Area Network)

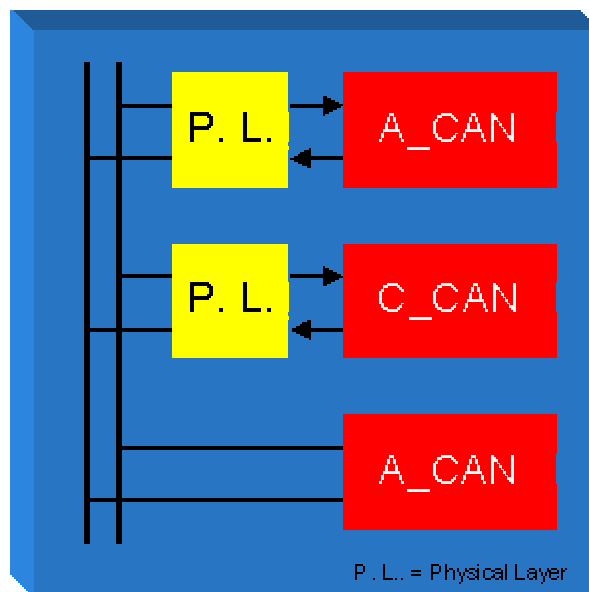
Άλλο ένα βιομηχανικό δίκτυο κατάλληλο για το επίπεδο μηχανής είναι το CAN. Αρχικά σχεδιάστηκε για αυτοκίνητα ως ένα απλό δίκτυο μεταφοράς δεδομένων από τους αισθητήρες, έχοντας δανειστεί μερικά από τα χαρακτηριστικά του δικτύου Ethernet. Όπως το Ethernet έτσι και το CAN υποστηρίζει την τεχνολογία πολλαπλής προσπέλασης με ανίχνευση διαύλου (CSMA). Οι σταθμοί του δικτύου ακούνε τη γραμμή και όσο είναι κατειλημμένη περιμένουν να ελευθερωθεί για να αρχίσουν τη μετάδοση. Αν παρουσιαστεί σύγκρουση το CAN προσπαθεί να λύσει την περίπτωση με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε ένα μήνυμα να μην χάνεται ακόμη και σε περίπτωση σύγκρουσης. Δεν έχει το μηχανισμό της εκθετικής δυαδικής υποχώρησης για υπολογισμό του χρόνου επαναμετάδοσης μετά από σύγκρουση όπως συμβαίνει στο Ethernet. Μετά από μία αποτυχημένη μετάδοση, οι μεταδότες δοκιμάζουν ξανά την επόμενη φορά που τους δίνεται η ευκαιρία.



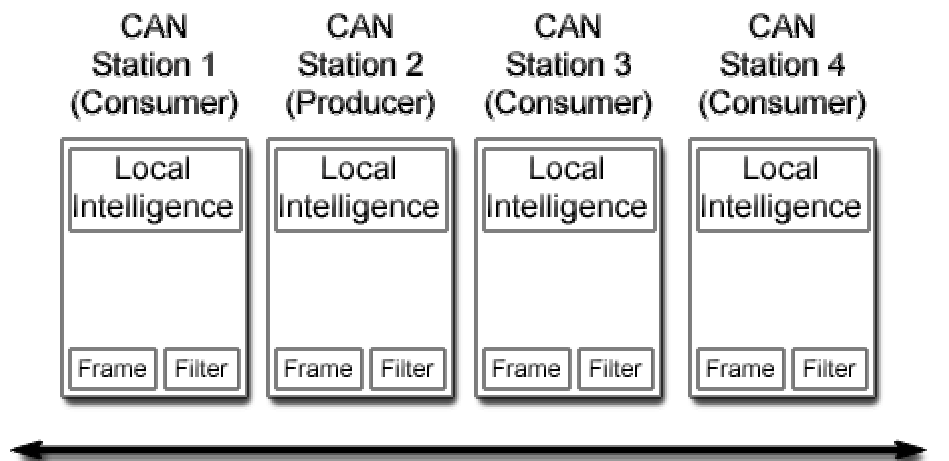
Το δίκτυο CAN σχεδιάστηκε από την Bosch και περιγράφεται από το πρότυπο ISO 11898. Σύμφωνα με το μοντέλο OSI το CAN καθορίζει υπηρεσίες για το 1^ο και 2^ο επίπεδο, φυσικό και σύνδεσης δεδομένων αντίστοιχα. Άλλα πρότυπα όπως το DeviceNet, Smart Distributed System, CAL, CAN Kingdom και CANopen (γενικώς γνωστά ως πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου) βασίζονται πάνω σε θεμελιώδη χαρακτηριστικά του δικτύου CAN και καθορίζουν επιπλέον υπηρεσίες στα υπόλοιπα επίπεδα του μοντέλου OSI. Επειδή όλα αυτά τα πρωτόκολλα

χρησιμοποιούν ολοκληρωμένα κυκλώματα CAN, είναι σύμφωνα με το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων που καθορίζει το CAN.

Εφ' όσον το δίκτυο CAN καλύπτει το 1^ο και 2^ο επίπεδο του μοντέλου OSI, υποστηρίζει το πρωτόκολλο προσπέλασης μέσου (Medium Access Control, MAC) και τη σηματοδότηση φυσικού επιπέδου (Physical Layer Signaling, PLS). Το πρωτόκολλο προσπέλασης μέσου πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μία τεχνική σοφής διαιτησίας (Non Destructive Bit-wise Arbitration). Όταν ένας σταθμός έχει άδεια μετάδοσης, παρακολουθεί αν η μετάδοση των δεδομένων γίνεται αξιόπιστα. Αν δεν συμβαίνει αυτό τότε ο σταθμός υποθέτει ότι έχει σταλεί συγχρόνως μήνυμα υψηλότερης προτεραιότητας και γι' αυτό διακόπτει την μετάδοση και επιστρέφει στην αρχική κατάσταση. Το μήνυμα μεγαλύτερης προτεραιότητας φτάνει στον προορισμό του ενώ το άλλο μήνυμα στέλνεται σε επόμενη χρονική στιγμή. Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου μετάδοσης είναι ότι δεν καταστρέφονται δεδομένα από συγκρούσεις στο δίκτυο ενώ παράλληλα όλοι οι σταθμοί πετυχαίνουν πρόσβαση σε αυτό. Πρόβλημα αυτής της διαδικασίας είναι το γεγονός ότι η διαιτησία γίνεται σε κάθε bit, κάτι που απαιτεί όλοι οι σταθμοί να «ακούν» ο ένας τον άλλον σε χρόνο ενός



bit. Για ταχύτητα 500 Kbps ο χρόνος μετάδοσης (bit-time) είναι 2000 ns και δεν επαρκεί για καθυστερήσεις στους πομποδέκτες και τα καλώδια. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι τα δίκτυα CAN είναι συνήθως αρκετά μικρά και συχνά με μήκος μικρότερο από 100m σε μεγάλες ταχύτητες. Η απόσταση αυτή αυξάνεται είτε μειώνοντας την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων είτε με επιπρόσθετο εξοπλισμό.



© 2002, CAN in Automation - TS

Σχ.2.37.

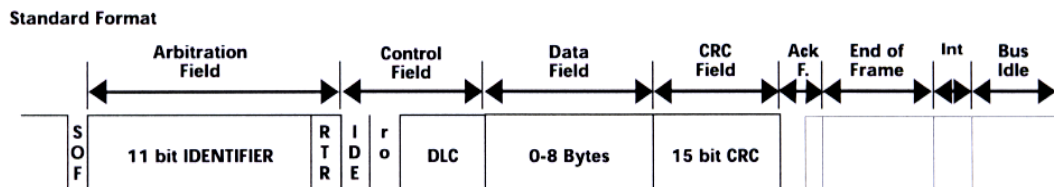
2.6.1 Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων του δικτύου CAN

Οι μεταδόσεις του δικτύου CAN γίνονται με βάση το μοντέλο παραγωγού/καταναλωτή (producer/consumer) (βλ. Σχ.2.37). Όταν μία συσκευή μεταδίδει τα δεδομένα της, οι υπόλοιπες συσκευές δεν είναι διευθυνσιοδοτημένες. Το μήνυμα περιέχει ένα πεδίο εξακρίβωσης ταυτότητας. Αυτό το πεδίο που είναι μοναδικό εντός του δικτύου όχι μόνο προσδιορίζει το περιεχόμενο, αλλά και την προτεραιότητα του μηνύματος. Όλες οι άλλες συσκευές "ακούνε" τον αποστολέα και δέχονται μόνο τα μηνύματα που τις αφορούν. Το φιλτράρισμα αυτό των δεδομένων πραγματοποιείται από ένα φίλτρο αποδοχής, που είναι αναπόσπαστο συστατικό του ολοκληρωμένου κυκλώματος ελέγχου του CAN. Δεδομένα που δεν ικανοποιούν τα κριτήρια καταλληλότητας απορρίπτονται. Επομένως, οι συσκευές (καταναλωτές) δέχονται από τον αποστολέα (παραγωγό) μόνο τα δεδομένα που τους ενδιαφέρουν.

Κάθε πλαίσιο του δικτύου CAN αποτελείται κυρίως από το πεδίο εξακρίβωσης ταυτότητας, το πεδίο ελέγχου και το πεδίο δεδομένων όπως φαίνεται και στο Σχ. 2.38. Το πεδίο ελέγχου έχει μήκος 6 bit, το πεδίο δεδομένων από 0 έως 8 bytes και το πεδίο εξακρίβωσης ταυτότητας 11 bits για τα συνηθισμένα πακέτα (CAN 2.0A) ή 29 bits για μεγαλύτερα πακέτα (CAN 2.0B). Διευθύνσεις των κόμβων πηγής και προορισμού δεν χρησιμοποιούνται από το δίκτυο CAN, όπως αντίθετα γίνεται στα δίκτυα για παράδειγμα ARCNET και Ethernet.

Σε αντίθεση με άλλα δίκτυα στο CAN χρησιμοποιείται η τεχνική κωδικοποίησης NRZ (non-return to zero). Αν κάποια στιγμή σταλεί μία σειρά από πέντε ίδια σύμβολα, ο μεταδότης αυτόματα προσθέτει ένα αντίστροφο σύμβολο για να εξασφαλίσει τον συγχρονισμό από τον δέκτη. Το πρόσθετο σύμβολο απορρίπτεται αυτόματα από τον δέκτη. Στη μέθοδο αυτή τα δεδομένα

μεταφέρονται σειριακά. Σύμφωνα με αυτήν, το επίπεδο δυναμικού που αναπαριστά ένα δυαδικό ψηφίο αλλάζει μόνο όταν αλλάζει και η τιμή του ψηφίου. Δεν μεταβάλλεται δηλαδή όταν μεταδίδονται δύο ή περισσότερα συνεχόμενα δυαδικά ψηφία τα οποία έχουν την ίδια τιμή.



Σχ.2.38. Ένα στάνταρ πλαίσιο του δικτύου CAN.

Όπως φαίνεται και στο Σχ. 2.38, το πακέτο CAN ξεκινά με ένα σύμβολο SOF (Start Of Frame) ακολουθεί το πεδίο εξακρίβωσης ταυτότητας και μετά 1bit αίτησης μετάδοσης RTR (Remote Transmission Request). Το RTR bit χρησιμοποιείται για την διάκριση της μεταφοράς δεδομένων από κάποια αίτηση. Το πεδίο ελέγχου περιέχει ένα bit για αναγνώριση μεγάλων πακέτων και 4 bit που υποδεικνύουν πόσα bytes δεδομένα περιέχει το συγκεκριμένο πλαίσιο. Εύρος 15 bit έχει το πεδίο του κυκλικού κώδικα ελέγχου CRC. Μοναδικό στο πακέτο του δικτύου CAN είναι τα δύο bit του πεδίου επιβεβαίωσης (ACK). Όλοι οι παραλήπτες χρειάζεται να επιβεβαιώνουν μια σωστή παραλαβή ενός πακέτου. Αυτό γίνεται εντός της μετάδοσης του μηνύματος και ο εκπομπός σημειώνει την λήψη της επιβεβαίωσης.

Η διαχείριση του δικτύου επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό σοφής διαιτησίας (NDBWA) που αναφέραμε πιο πάνω. Με τον μηχανισμό αυτό σε περίπτωση σύγκρουσης πακέτων, το πακέτο με την κυρίαρχη κατάσταση (λογικό "0") αλλάζει την υπολειπόμενη κατάσταση (λογικό "1"). Έτσι, καθώς οι διάφοροι μεταδότες διοχετεύουν τα δεδομένα τους στο διάλο, ταυτόχρονα παρακολουθούν κάθε bit των δεδομένων τους για την σωστή διεξαγωγή της μετάδοσης έως ότου διαπιστώσουν ότι κάποιο κυρίαρχο bit άλλου πακέτου άλλαξε το δικό τους υπολειπόμενο bit. Αυτό υποδεικνύει ότι μια συσκευή με μήνυμα μεγαλύτερης προτεραιότητας, δηλαδή με ταυτότητα μικρότερης δυαδικής τιμής, είναι παρούσα οπότε ο ηττημένος της αναμέτρησης επιστρέφει αμέσως στην αρχική κατάσταση. Με αυτήν την προσέγγιση δεν καταστρέφονται δεδομένα και επομένως η απόδοση αυξάνεται. Ο σταθμός που αναγκάζεται να υποχωρήσει απλά δοκιμάζει εκ νέου την επόμενη φορά που θα του δοθεί η ευκαιρία μετάδοσης. Το πρόβλημα αυτού του συστήματος είναι ότι όλες οι συσκευές πρέπει να διεκδικήσουν τα δεδομένα τους εντός του ίδιου χρονικού

διαστήματος του ενός bit και πριν γίνει η δειγματοληψία αλλιώς τα δεδομένα μπορεί να ληφθούν εσφαλμένα ή ακόμα και να καταστραφούν. Για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί ένας χρονικός περιορισμός μέσω του οποίου αντιμετωπίζονται εν μέρει οι μεγάλοι μήκους καλωδιώσεις.

2.6.2 Επέκταση δικτύου CAN

Τα δίκτυα CAN δεν επεκτείνονται εύκολα και αυτό οφείλεται στη μέθοδο της διαχείρισης, η οποία απαιτεί αποφάσεις που να παίρνονται εντός χρονικού διαστήματος ενός bit. Οι επαναλήπτες είναι χρήσιμοι μόνο για μικρές ταχύτητες, όπου οι αποστάσεις περιορίζονται λόγω της εξασθένησης στα καλώδια. Προσθέτοντας επαναλήπτες εισάγονται επιπλέον ηλεκτρονικά στοιχεία στο δίκτυο, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες καθυστερήσεις και περιορισμό του μήκους δικτύου CAN. Ο μόνος τρόπος επέκτασης του δικτύου είναι η χρήση τεχνικών γεφύρωσης ή δρομολόγησης που διαχωρίζουν τις περιοχές σύγκρουσης σε επιμέρους υποδίκτυα. Στον Πιν. 2.23 φαίνονται κάποιες ταχύτητες μετάδοσης ανάλογα με το μέγιστο μήκος τμήματος ενός δικτύου CAN.

Ταχύτητα μετάδοσης σε kbps	Μέγιστος αριθμός κόμβων ανά τμήμα	Μέγιστο μήκος τμήματος σε m
500	64	100
250	64	250
125	64	500

Πιν.2.5. Ταχύτητες μετάδοσης του δικτύου CAN.

Το δίκτυο CAN αποδείχτηκε με το χαμηλό κόστος του, ως εύκολη εναλλακτική λύση για πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Μία ομάδα χρηστών και κατασκευαστών από την Γερμανία, ήταν αυτοί που προώθησαν το δίκτυο αυτό στη βιομηχανία. Είναι γνωστό ως CAN στον αυτοματισμό (CAN in Automation, CiA) και έχει καθιερωθεί και σε πολλούς άλλους τομείς πέρα από την αυτοκινητοβιομηχανία, όπως στον έλεγχο ρομπότ σε ιατρικά συστήματα και σε άλλα κατασκευαστικά συστήματα που ελέγχονται από υπολογιστή. Παρακάτω φαίνονται συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ευρωπαϊκού δικτύου CAN που είναι γνωστό ως CANopen:

Τα χαρακτηριστικά του δικτύου CAN φαίνονται συγκεντρωτικά παρακάτω:

- Εισήχθη:** το 1993 από την Bosh.
- Πρότυπο:** ISO 11898
- Τοπολογία:** γραμμή πολλαπλών συνδέσεων.
- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου (προαιρετικά σήμα και ενέργεια).
- Μέγιστο μήκος:** 100m μέχρι 500m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 125, 250, 500 και 1000 Kbits/s.
- Αριθμός χρηστών:** 64.
- Μέθοδος προσπέλασης:** κύριος /εξαρτημένος σταθμός, πολλαπλοί κύριοι και άλλες.
- Έλεγχος λαθών:** με τον κυκλικό κώδικα CRC.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 8 bytes.

2.7 Δίκτυο ARCnet

Το δίκτυο ARCNET εισήχθη από την εταιρία Datapoint το 1970 ως ένα τοπικό δίκτυο επικοινωνίας (LAN) για αυτοματισμό γραφείου. Η Datapoint οραματιζόταν ένα δίκτυο με ισχυρή κατανεμημένη λειτουργικότητα όπως τα μεγάλα υπολογιστικά συστήματα. Η χρήση του ARCNET ως δικτύου αυτοματισμού σε επίπεδο γραφείου έχει περιορισθεί σημαντικά. Αντίθετα, χρησιμοποιείται στο βιομηχανικό κόσμο επειδή τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του είναι κατάλληλα για εφαρμογές ελέγχου. Αποδείχτηκε αξιόπιστο, γρήγορο ενώ έχει ντετερμινιστική συμπεριφορά και καλύπτει μεγάλες αποστάσεις, χαρακτηριστικά που το κάνουν ένα από τα πλέον κατάλληλα βιομηχανικά δίκτυα. Το δίκτυο ARCNET προσδιορίζεται από το πρότυπο ANSI/ATA 878,1.

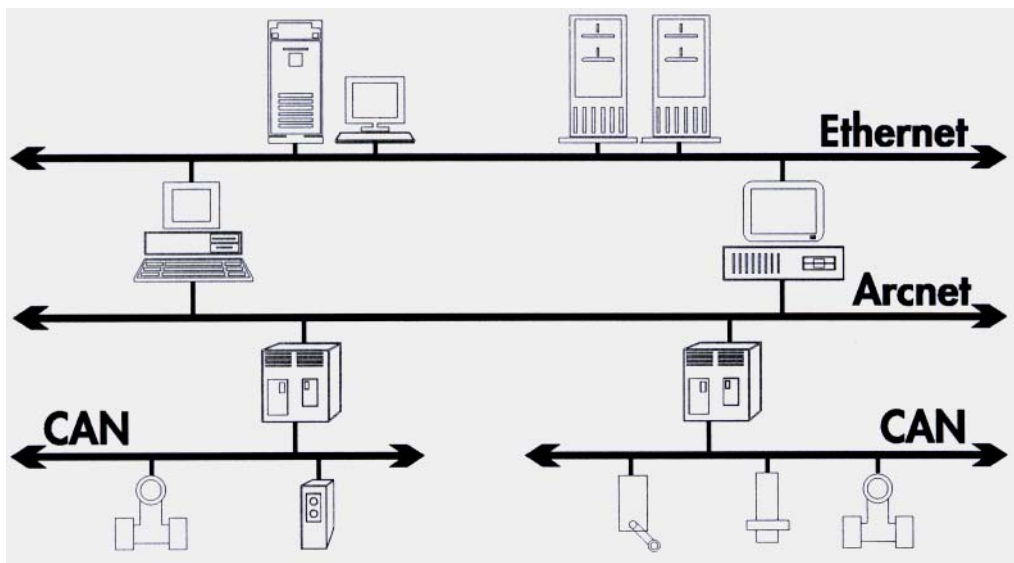
Ως βιομηχανικό δίκτυο θα πρέπει να μεταδίδει μηνύματα σε προβλέψιμο χρόνο, πράγμα που εξασφαλίζεται με το πρωτόκολλο “πέραςμα κουπονιού” (token-passing) που διαθέτει. Τα μηνύματα στα βιομηχανικά δίκτυα ελέγχου είναι ως επί το πλείστον μικρά. Το μήκος ενός πακέτου ARCNET μεταβάλλεται από 0 έως 507 bytes με μικρή επιβάρυνση (overhead) και σε συνδυασμό με το υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων του, που είναι τυπικά 2,5 Mbps, αποδίδει άμεση ανταπόκριση σε μικρά μηνύματα. Το συγκεκριμένο δίκτυο έχει κατασκευαστεί με βάση τον κυκλικό κώδικα ανίχνευσης λαθών CRC-16 (cyclic redundancy check) και υποστηρίζει διάφορα μέσα μετάδοσης συμπεριλαμβάνοντας και τις οπτικές ίνες.

Έχει απλό λογισμικό και το πρωτόκολλο διασύνδεσης δεδομένων περιλαμβάνεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα ελέγχου του δικτύου. Λειτουργίες του δικτύου όπως ανίχνευση λαθών, έλεγχος ροής δεδομένων και διαμόρφωση δικτύου γίνονται αυτόματα χωρίς παρέμβαση του λογισμικού. Το ARCNET καλύπτει το 1^ο και 2^ο επίπεδο, φυσικό και σύνδεσης δεδομένων αντίστοιχα, του μοντέλου OSI. Κάθε κόμβος του δικτύου ARCNET περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ελέγχου και ένα μεταδότη συνδεδεμένο στο δίκτυο. Οι κόμβοι του δικτύου είναι προσδιορισμένες διευθύνσεις που καλούνται MAC (medium access control) IDs και ένα δίκτυο ARCNET μπορεί να έχει μέχρι 255 διαφορετικούς κόμβους.

2.7.1 Ιεραρχία δικτύων (Network Hierarchy)

Επειδή οι απαιτήσεις που έχουμε από ένα δίκτυο μεταβάλλονται ανάλογα με την πολυπλοκότητα του ελέγχου μιας βιομηχανικής διαδικασίας, καθορίζονται διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου για τα διάφορα επίπεδα της ιεραρχίας ελέγχου. Συνήθως, για να εξοπλισθεί επικοινωνιακά ένα σύστημα ελέγχου, προσδιορίζονται τρία διαφορετικά δίκτυα. Το χαμηλότερο είναι το “επίπεδο μηχανής” το οποίο χρησιμοποιείται για σύνδεση αισθητήρων, κινητήρων και ενεργοποιητών με τους ελεγκτές. Πάνω από αυτό είναι το “επίπεδο ελέγχου” στο οποίο ενώνονται οι διάφοροι ελεγκτές. Το τρίτο επίπεδο είναι αυτό της “πληροφορίας” που χρησιμοποιείται για διασύνδεση του συστήματος ελέγχου με το ευρύ σύστημα πληροφοριών. Κατά μήκος ενός ανοικτού συστήματος ελέγχου είναι λογικό να απαιτούνται τρία πρότυπα δικτύου για την συμπλήρωση της ιεραρχίας σε ολοκληρωμένα συστήματα ελέγχου.

Στο Σχ. 2.39 προτείνεται το Ethernet ως δίκτυο πληροφόρησης, το ARCNET ως δίκτυο ελέγχου και το CAN ως δίκτυο επιπέδου μηχανής. Το δίκτυο CAN περιγράφεκε στο Κεφάλαιο 2.6.



Σχ.2.39. Δικτυακά επίπεδα σε σύστημα ελέγχου

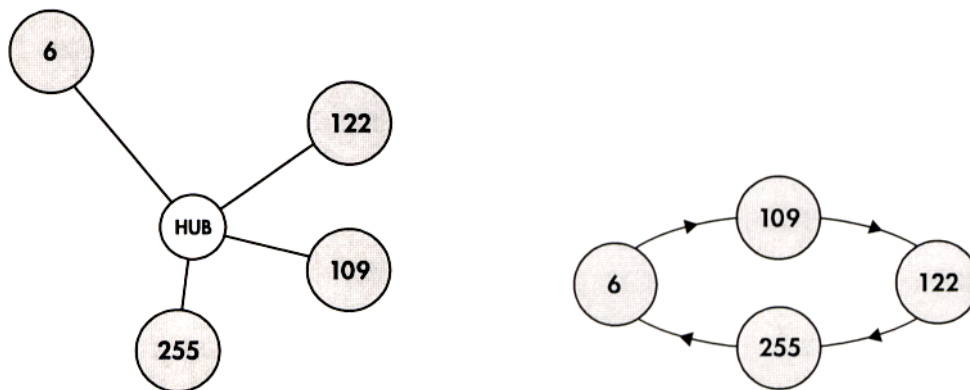
2.7.2 Ντετερμινιστική συμπεριφορά

Βασικός παράγοντας της απόδοσης του ARCNET και του ενδιαφέροντος που προκαλεί ως ένα δίκτυο ελέγχου είναι το πρωτόκολλο πέρασμα κουπονιού. Όπως γνωρίζουμε, σε ένα δίκτυο με πέρασμα κουπονιού ένας κόμβος μπορεί να στείλει

ένα μήνυμα μόνο αν πάρει το κουπόνι. Όσο χρόνο ο κόμβος έχει το κουπόνι γίνεται ο “κύριος” του δικτύου. Χρησιμοποιώντας αυτό το πρωτόκολλο σαν μηχανισμό πρόσβασης στο δίκτυο από οποιοδήποτε κόμβο η συμπεριφορά του δικτύου, όσον αφορά χρονικές παραμέτρους, μπορεί να είναι προβλέψιμη ή ντετερμινιστική. Έτσι, ο χρόνος για την μεταβίβαση ενός μηνύματος από έναν κόμβο σε έναν άλλο είναι συγκεκριμένος και υπολογίσιμος.

2.7.3 Λογικός δακτύλιος

Οι κόμβοι που παίρνουν το κουπόνι βρίσκουν αυτόματα τον γείτονά τους και σχηματίζουν όλοι μαζί έναν λογικό δακτύλιο. Όταν ένας συγκεκριμένος κόμβος παίρνει το κουπόνι έχει την αποκλειστικότητα να ξεκινήσει μια ακολουθία μετάδοσης ή διαφορετικά θα πρέπει να δώσει το κουπόνι στον λογικό γείτονά του. Αυτός ο γείτονας, του οποίου η φυσική τοποθεσία μπορεί να είναι οπουδήποτε στο δίκτυο, έχει την αμέσως επόμενη μεγαλύτερη διεύθυνση μετά τον κόμβο με το κουπόνι. Όταν το κουπόνι παραδοθεί, ο παραλήπτης έχει το δικαίωμα να πραγματοποιήσει μια παρόμοια μετάδοση. Αυτή η ακολουθία μετάδοσης κουπονιού συνεχίζεται με μια λογική δακτυλίου εξυπηρετώντας εξίσου όλους τους κόμβους. Οι διευθύνσεις των κόμβων πρέπει να είναι μοναδικές και μπορούν να κυμαίνονται από 0 έως 255, με την προεπιλογή 0 για μηνύματα ευρείας εκπομπής. Για παράδειγμα, υποθέτουμε ένα δίκτυο αποτελούμενο από τέσσερις κόμβους με διευθύνσεις 6, 109, 122 και 255 όπως φαίνεται στο Σχ.2.40. Η κατανομή των κόμβων είναι ανεξάρτητη από την φυσική τοποθεσία τους στο δίκτυο. Όταν το δίκτυο σχηματιστεί, το κουπόνι περνάει από έναν κόμβο στον κόμβο με την αμέσως επόμενη μεγαλύτερη διεύθυνση ακόμα και όταν αυτός είναι σε πιο κοντινή θέση. Όλοι οι κόμβοι έχουν έναν λογικό γείτονα στον οποίο δίνεται το κουπόνι σχηματοποιώντας έτσι ένα λογικό δακτύλιο.



Σχ.2.40. Κόμβοι δικτύου ARCNET σε λογικό δακτύλιο.

2.7.4 Κατευθυνόμενα μηνύματα

Σε μια διαδικασία μεταφοράς δεδομένων ο κόμβος με το κουπόνι είναι ο “κόμβος πηγή” και οποιοσδήποτε άλλος κόμβος, επιλεγμένος από τον “κόμβο πηγή”, είναι ο κόμβος προορισμού. Πρώτα ο “κόμβος πηγή” ερευνά αν ο κόμβος προορισμού είναι σε θέση να δεχτεί μια μεταβίβαση δεδομένων στέλνοντας ένα μήνυμα FBE (Free Buffer Enquiry). Ο κόμβος προορισμού ανταποκρίνεται επιστρέφοντας μια επιβεβαίωση ACK (Acknowledgement), που σημαίνει ότι ο buffer είναι διαθέσιμος, ή μια άρνηση NAK (Negative Acknowledgment) που σημαίνει ότι δεν υπάρχει διαθέσιμο buffer.

Στην περίπτωση επιβεβαίωσης ACK, ο “κόμβος πηγή” στέλνει δεδομένα (PAC) το καθένα από 0 έως 507 bytes. Αν τα δεδομένα φτάσουν κατάλληλα στον κόμβο προορισμού σύμφωνα με τις ενδείξεις ενός CRC ελέγχου, τότε ο κόμβος προορισμού στέλνει άλλο ένα μήνυμα ACK. Αν πάλι η μετάδοση δεν είχε επιτυχία ο κόμβος προορισμού δεν κάνει τίποτα, προκαλώντας τον “κόμβο πηγή” να διακόψει τη μετάδοση. Ο “κόμβος πηγή” θα συμπεράνει ότι η μετάδοση απέτυχε και θα ξαναδοκιμάσει όταν θα πάρει το κουπόνι στον επόμενο κύκλο. Η διαδικασία μετάδοσης τερματίζεται και το κουπόνι δίνεται στον επόμενο κόμβο. Αν το μήνυμα υπερβαίνει τα 507 bytes, τότε θα σταλεί ως μια σειρά πακέτων - ένα πακέτο σε κάθε λήψη του κουπονιού. Τα πακέτα επανασυνδέονται στον κόμβο προορισμού για να αποτελέσουν το ενιαίο μήνυμα.

2.7.5 Μηνύματα ευρείας εκπομπής

Το δίκτυο ARCNET παρέχει τη δυνατότητα σε κάθε κόμβο να στείλει ένα μήνυμα ευρείας εκπομπής, το οποίο είναι ένα γενικό μήνυμα προς όλους τους υπόλοιπους κόμβους χωρίς επιβεβαίωση. Το μήνυμα αυτό στέλνεται σε όλους τους κόμβους με μία εκπομπή αντί να στέλνεται το ίδιο μήνυμα ξεχωριστά κάθε φορά στους διάφορους κόμβους. Κόμβοι που είναι ικανοί να λαμβάνουν μηνύματα ευρείας εκπομπής θα λαμβάνουν και ένα μήνυμα το οποίο θα καθορίζει το κόμβο “0” ως τη διεύθυνση προορισμού. Ο κόμβος “0” δεν υπάρχει μέσα στο δίκτυο αλλά αφιερώνεται για τη λειτουργία αυτή της ευρείας εκπομπής. Κατά την αποστολή ενός μηνύματος ευρείας εκπομπής δεν στέλνονται ACKs ή NAKs από τους άλλους κόμβους για λόγους ταχύτητας επικοινωνίας.

2.7.6 Αυτόματη επαναδιαμόρφωση

Άλλο ένα πλεονέκτημα του δικτύου ARCNET είναι η ικανότητα να επανακαθορίζει αυτόματα το δίκτυο όταν ένας κόμβος προστίθεται ή αφαιρείται

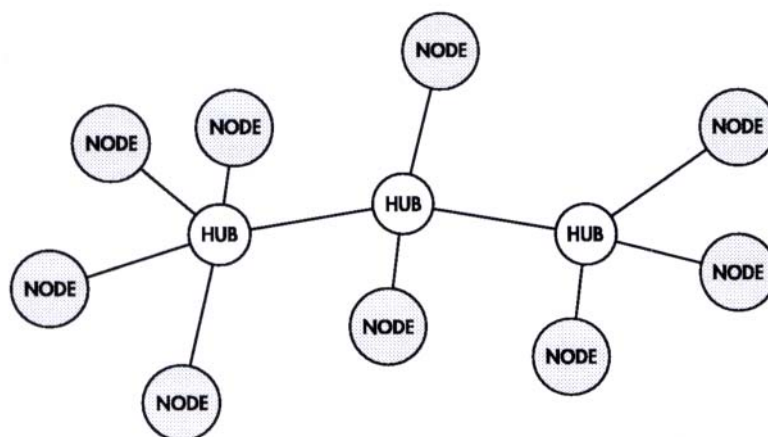
από αυτό. Όταν ένας νέος κόμβος προστίθεται στο δίκτυο, δεν συμμετέχει αυτόματα στην διαδικασία λήψης του κουπονιού. Στην περίπτωση που ένας κόμβος διαπιστώνει ότι δεν έχει δεχτεί ποτέ το κουπόνι, τότε παρακάμπτει το δίκτυο, με μία “δράση επαναδιευθέτησης”, η οποία καταστρέφει την διαδικασία περάσματος κουπονιού. Όταν διαπιστώνεται ότι το κουπόνι έχει χαθεί, όλοι οι κόμβοι διακόπτουν τη μετάδοση και αρχίζουν μία διαδικασία διακοπών που βασίζεται στις διευθύνσεις τους. Ο κόμβος με τη μεγαλύτερη διεύθυνση θα διακόψει πρώτος και θα περάσει το κουπόνι στον κόμβο με την αμέσως επόμενη μικρότερη διεύθυνση. Αν ο κόμβος αυτός δεν ανταποκριθεί υποτίθεται ότι δεν υπάρχει. Η διεύθυνση προορισμού του κόμβου μειώνεται και το κουπόνι ξαναστέλνεται. Αυτό επαναλαμβάνεται ώσπου να ανταποκριθεί ένας κόμβος. Από τη στιγμή που το κουπόνι μεταβιβάζεται στον κόμβο που ανταποκρίθηκε, η διεύθυνσή του σημειώνεται ως λογικός γείτονας του αρχικού κόμβου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε όλους τους κόμβους ώσπου κάθε κόμβος να μάθει τον λογικό γείτονά του. Έτσι, το κουπόνι περνάει από γείτονα σε γείτονα χωρίς να χάνεται χρόνος σε ανύπαρκτες διευθύνσεις.

Όταν ένας κόμβος εγκαταλείπει το δίκτυο η διαδικασία επαναδιαμόρφωσης είναι λίγο διαφορετική. Όσο ένα κουπόνι μεταβιβάζεται από έναν κόμβο στο λογικό του γείτονα, εκείνος εξακολουθεί να παρακολουθεί τις δραστηριότητες του δικτύου για να εξασφαλίσει αν ο λογικός γείτονας ανταποκρίνεται επιστρέφοντας ένα κουπόνι ή αν ξεκινάει μια διαδικασία μεταβίβασης. Αν δεν γίνει αντιληπτή κάποια δραστηριότητα ο κόμβος που έστειλε το κουπόνι συμπεραίνει ότι ο λογικός του γείτονας έχει εγκαταλείψει το δίκτυο και αμέσως ξεκινά έρευνα για έναν καινούριο λογικό γείτονα προσθέτοντας την καινούρια διεύθυνση. Αφού βρεθεί λογικός γείτονας το δίκτυο επιστρέφει στην κανονική λογική διαδικασία δακτυλίου.

2.7.7 Τοπολογία ARCNET

Το ARCNET είναι ένα από τα πιο ευέλικτα, από πλευράς τοπολογίας, δίκτυα. Υποστηρίζει τοπολογία διαύλου, αστέρα και υβριδική. Σε τοπολογία διαύλου όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο καλώδιο. Η τοπολογία αστέρα απαιτεί την παρεμβολή μίας συσκευής συγκέντρωσης των συνδέσεων των σταθμών εργασίας που λέγεται συγκεντρωτής (hub). Στο Σχ. 2.41 φαίνεται ένα παράδειγμα σύνδεσης σταθμών εργασίας μέσω συγκεντρωτών.

Η υβριδική τοπολογία προσφέρει καλύτερη προσαρμοστικότητα και επιτρέπει στο δίκτυο να επεκτείνεται μέχρι τα 6.7 Km χωρίς εκτεταμένες χρονικές καθυστερήσεις. Προτεινόμενα καλώδια είναι το ομοαξονικό RG-62/u το συνεστραμμένο ζεύγος και οι οπτικές ίνες (βλ. Πίν.2.6).



Σχ.2.41. Συνδέσεις σταθμών εργασίας δικτύου ARCNET

Κάθε κόμβος του δικτύου απαιτεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με τον ελεγκτή ARCNET και ένα καλώδιο μετάδοσης, το οποίο συνήθως βρίσκεται σε μια μονάδα διασύνδεσης του δικτύου NIM (Network Interface Module). Τα NIMs περιέχουν λογική διασύνδεση διαύλου συμβατή με τη δομή διαύλου που υποστηρίζουν. Το ολοκληρωμένο που χρησιμοποιούν αποτελεί την βάση του ARCNET κόμβου. Σήμερα, η SMSC (Standard Microsystems Corporation) και η θυγατρική εταιρία TMC (Toyo Microsystems Corporation) έχουν την ηγεσία στη διαμόρφωση των νέων ARCNET κυκλωμάτων. Για διασύνδεση πολλαπλών NIMs χρησιμοποιούνται τα hubs (ενεργά ή παθητικά) τα οποία έχουν σκοπό την περαιτέρω επέκταση του δικτύου.

Μέσο Μετάδοσης	Μέγιστος αριθμός MAU ανά τμήμα δικτύου	Μέγιστο μήκος τμήματος δικτύου (m)
Ομοαξονικό σε αστέρα	2	610
Ομοαξονικό σε δίαυλο	8	305
Συνεστραμμένο ζεύγος σε αστέρα	2	100
Συνεστραμμένο ζεύγος σε δίαυλο	8	122
Οπτική ίνα	2	2000
DC EIA-485	17	274
AC EIA-485	13	213

* MAU = Medium Attachment Unit (πομποδέκτης)

Πιν.2.6. Μέγιστο μήκος τμήματος δικτύου ταχύτητας 2.5 Mbps

2.7.8 Επέκταση δικτύου ARCNET

Το ARCNET δεν είναι δίκτυο ανταγωνιστικών κόμβων που να υποστηρίζει ανίχνευση και αναγνώριση συγκρούσεων. Εντούτοις έχει μία μέγιστη απόσταση δικτύου που δεν πρέπει να παραβιάζεται. Με ομοαξονικά καλώδια και δέκα εν σειρά συζευγμένους συγκεντρωτές (hubs) η απόσταση που καλύπτει το δίκτυο είναι 6700 μέτρα με ταχύτητα 2,5 Mbps. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρόνος που απαιτείται να ταξιδέψει ένα μήνυμα προς τη μια κατεύθυνση ανάμεσα σε δύο κόμβους που βρίσκονται στη μέγιστη δυνατή απόσταση δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 31 μs. Η πιο πάνω μέγιστη απόσταση του δικτύου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά υιοθετώντας μεγαλύτερες διακοπές (timeouts) για τους κόμβους. Το γεγονός αυτό κάνει το ARCNET να έχει την ευκολότερη τεχνολογία διαμόρφωσης και επέκτασης.

2.7.9 Επιλογή της ταχύτητας μετάδοσης (Data Rate Selection)

Τα συμβατικά NIMs του δικτύου ARCNET επικοινωνούν μόνο σε ρυθμό των 2,5 Mbps. Νεότερες υλοποιήσεις των ελεγκτών του δικτύου αυτού όπως COM20019, COM20020, COM20022 και COM20051 έχουν δυνατότητα ρύθμισης που επιτρέπει την επικοινωνία και σε άλλες ταχύτητες. Παρόλο που οι χαμηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης επιτρέπουν την υλοποίηση διαύλων με μεγαλύτερο μήκος, χρειάζονται hubs μεταβλητής ταχύτητας προκειμένου το δίκτυο να λειτουργεί στις διάφορες ταχύτητες. Σε ταχύτητα 2,5 Mbps ο μέσος όρος μετάδοσης ενός σήματος επιτυγχάνεται εντός 400ns. Για λογικό "1" το σύμβολο είναι παλμός. Για λογικό "0" έχουμε απουσία παλμού. Τοποθετώντας σύμβολα μαζί, δημιουργούνται βασικά συγκροτήματα τα οποία αποτελούν στοιχεία που συνθέτουν βασικά πλαίσια.

Σχήμα πλαισίου (Frame Format)

Το ARCNET χρησιμοποιεί δύο σχήματα πλαισίου. Το βασικό σχήμα πλαισίου προσφέρει έλεγχο και πληροφορία ανάμεσα στους κόμβους κατά τη διάρκεια της επαναδιευθέτησης. Τα πλαίσια σχηματίζονται ενώνοντας μονάδες βασικών συμβόλων. Το πρωτόκολλο σύνδεσης δεδομένων του δικτύου ARCNET έχει πέντε βασικά πλαίσια, τα PAC (Packet), ITT (Invitation to Transmit Token), FBE (Free Buffer Enquiry), ACK (Acknowledgment), NAK (Negative Acknowledgment). Στον Πιν.2.7 φαίνεται το πλαίσιο του πακέτου δεδομένων (PAC) του ARCNET.

ARCNET ANSI/ATA 878.1						
6 bits	11 bits	11 bits	22 bits	8 or 16 bits	11 to 5588 bits (1 to 508 octets)	16 bits
Preamble	SOH	Source Address	Destination Address	Length	SC/Data	Frame Check Sequence

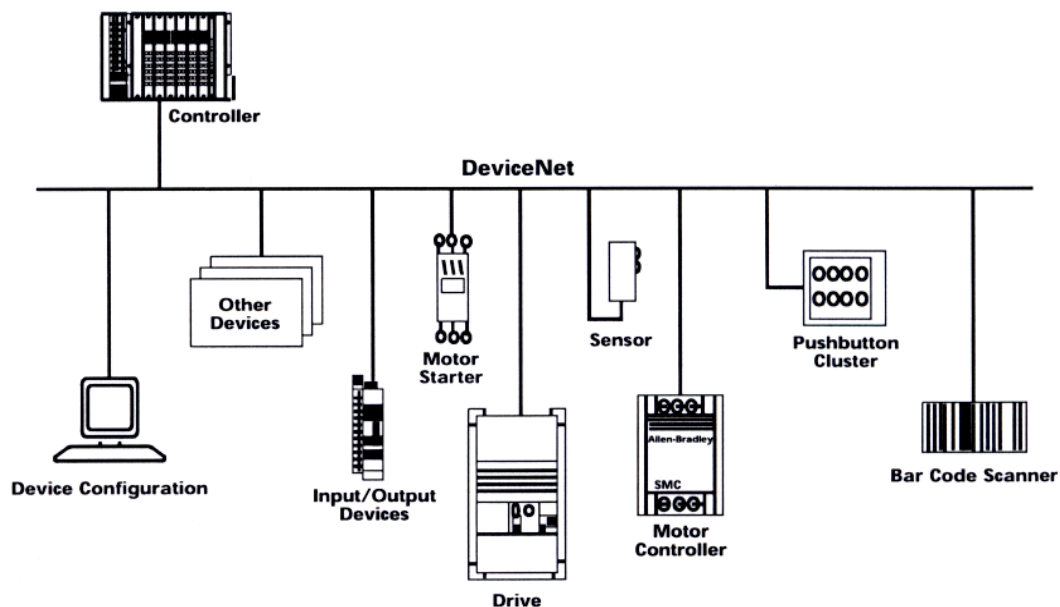
Πιν.2.7. Πλαίσιο του πακέτου δεδομένων του ARCNET.

Συνοπτικά χαρακτηριστικά του δικτύου ARCNET:

- Προέλευση:** από την εταιρία Datapoint/SMG.
- Πρότυπο:** σύμφωνα με το πρότυπο ANSI/ATA 878.1.
- Τοπολογία:** διαύλου, αστέρα και υβριδική.
- Μέσο μετάδοσης:** ομοαξονικό καλώδιο RG-62/u, συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου και οπτικές ίνες.
- Μέγιστο μήκος:** ομοαξονικό 610 m, συνεστραμμένο ζεύγος 122 m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 2.5 Mbps.
- Αριθμός χρηστών:** 255 κόμβοι.
- Μέθοδος προσπέλασης:** πέρασμα κουπονιού σημείο προς σημείο (peer to peer) και διαδικασία κύριου-εξαρτημένου σταθμού (master/slave).
- Έλεγχος λαθών:** 16-bit κυκλικός κώδικας CRC.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 0 – 505 bytes.

2.8 Δίκτυο DeviceNet

Το DeviceNet αναδείχθηκε ως ένα δίκτυο κατάλληλο για βιομηχανικό έλεγχο στο επίπεδο μηχανής. Χρησιμοποιεί σαν βάση την ήδη γνωστή τεχνολογία CAN. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων συσκευών του DeviceNet, η προηγμένη διάγνωση λαθών και προστασία από κατάρρευση καθώς και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης είναι τα βασικά πλεονεκτήματα του δικτύου. Στο δίκτυο DeviceNet η διαλειτουργικότητα είναι αυτή που επιφέρει τη συμβατότητα και προσαρμοστικότητα μεταξύ συσκευών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές και οι οποίες συνδέονται σε αυτό. Όπως δείχνει και το Σχ. 2.42, ελεγκτές, αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλες συσκευές, που μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικούς κατασκευαστές, συνυπάρχουν στην κοινή γραμμή του DeviceNet.



Σχ.2.42. Παράδειγμα δικτύου DeviceNet.

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει βιομηχανικό δίκτυο που να ικανοποιεί τις ανάγκες όλων των κατασκευαστών του κόσμου. Αυτό που γίνεται είναι ότι διάφορα πρότυπα δίκτυα δουλεύουν από κοινού προκειμένου να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα στον αυτόματο έλεγχο μιας διεργασίας. Το DeviceNet είναι ένα από τα πολλά, χαμηλού επιπέδου, δίκτυα που είναι κατάλληλο για βιομηχανικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Επειδή βασίζεται στην τεχνολογία CAN, που είναι σύμφωνη με το πρότυπο ISO 11898, είναι κατάλληλο για λειτουργία σε περιβάλλον βαριάς βιομηχανίας με θόρυβο. Η χρήση του δικτύου DeviceNet σε περιβάλλον εργοστασίου είναι ασφαλής λόγω της καλής ανίχνευσης λαθών και της ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης που διαθέτει το CAN. Επιτρέπει επίσης το προσαρμοστικά του δικτύου να είναι χαμηλού κόστους ακόμη και για απλές συσκευές όπως είναι οι διακόπτες προσέγγισης.

Το DeviceNet ουσιαστικά καθορίζει το επίπεδο εφαρμογής του μοντέλου OSI καθώς και το φυσικό επίπεδο ενημέρωσης (επίπεδο 0). Το επίπεδο εφαρμογής του μοντέλου DeviceNet τυποποιεί το μηχανισμό μετάδοσης μηνυμάτων έτσι ώστε η πληροφορία να ανταλλάσσεται σε όλο το φάσμα των DeviceNet συσκευών. Τα ειδικά καλώδια και οι συνδετήρες του δικτύου προσφέρουν συμβατότητα "σύνδεσης και λειτουργίας" (plug-and-play) μεταξύ των συσκευών

Το δίκτυο DeviceNet υποστηρίζει την σύνδεση 64 κόμβων σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης 125, 250 και 500 Kbps. Είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να χρησιμοποιεί τοπολογία διαύλου ενώ ως μέθοδο προσπέλασης στο δίκτυο χρησιμοποιεί αυτή του δικτύου CAN, δηλαδή την CSMA/CD+NBA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection with Non-Destructive Bitwise Arbitration) για εγγυημένη μετάδοση μηνυμάτων. Επίσης, κάνει χρήση της τεχνικής αποκωδικοποίησης NRZ (Non-Return-to-Zero) την οποία συναντήσαμε και στο δίκτυο CAN (Κεφ. 2.6), για μετάδοση βασικής ζώνης μέσω προστατευμένου συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίου. Όπως και με κάθε σειριακή μετάδοση, καλύπτει αποστάσεις ανάλογα με τον περιορισμό της ταχύτητας. Σε ταχύτητες 125 Kbps το δίκτυο μπορεί να καλύψει απόσταση 500 m χωρίς την χρήση επαναλήπτη. Αν όμως επιλεγεί ταχύτητα μετάδοσης 500 Kbps η απόσταση αυτή είναι μόνο 100 m. Ο καθένας από τους 64 σταθμούς του δικτύου DeviceNet, αναγνωρίζεται από μία μοναδική διεύθυνση MAC (Media Access Control), δηλαδή από MAC ID0 έως MAC ID 63. Για να μην έχουν δύο κόμβοι την ίδια MAC διεύθυνση, κάθε συσκευή του δικτύου πρέπει να εκτελεί κατά την έναρξη λειτουργίας ένα τεστ το οποίο ανιχνεύει την ύπαρξη διπλής ταυτότητας.

2.8.1 Αντικειμενοστρεφής προσέγγιση του DeviceNet

Το δίκτυο DeviceNet είναι σχεδιασμένο ως μία συλλογή από αντικείμενα. Συνοπτικά, κάθε συσκευή του δικτύου έχει ένα αντικείμενο επικοινωνίας και ένα

αντικείμενο εφαρμογής. Το αντικείμενο επικοινωνίας είναι υπεύθυνο για την πραγματοποίηση του πρωτοκόλλου μετάδοσης μηνυμάτων. Αντίθετα, το αντικείμενο εφαρμογής ασχολείται με την υλοποίηση των ειδικών χαρακτηριστικών του προϊόντος, όπως π.χ. η ON/OFF κατάσταση ενός διακόπτη προσέγγισης. Το αντικείμενο επικοινωνίας μπορεί να διαβαθμιστεί περαιτέρω σε τέσσερα μικρότερης τάξης αντικείμενα που είναι:

1. Αντικείμενο σύνδεσης
2. Αντικείμενο DeviceNet
3. Αντικείμενο ταυτότητας
4. Αντικείμενο δρομολόγησης μηνύματος

2.8.2 Μεταγωγή μηνύματος

Το DeviceNet είναι δίκτυο πεδίου γενικού σκοπού που έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει το 80% των πλέον κοινών αναγκών για καλωδίωση σε επίπεδο μηχανής και νησίδων αυτοματισμού. Οι συσκευές μπορούν να τροφοδοτούνται με ισχύ από το δίκτυο γεγονός που ελαχιστοποιεί τις απαιτούμενες καλωδιώσεις. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του δικτύου αυτού είναι οι πολλαπλοί τρόποι μεταγωγής μηνυμάτων, οι οποίοι επιτρέπουν στον χρήστη να λειτουργεί το δίκτυο σε κατάσταση "έξυπνης λειτουργίας" και όχι σε μια σταθερή κατάσταση "εξαντλητικής λειτουργίας". Η εταιρία Synergetic υποστηρίζει τις μορφές μεταγωγής μηνυμάτων που περιγράφονται παρακάτω, οι οποίες μπορούν να αναμιχθούν και να συνδυαστούν εντός του ίδιου δικτύου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πιο "πλούσια", πιο αποτελεσματική και πιο σύντομη στο χρόνο πληροφόρηση σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Τρόποι Ανταλλαγής Μηνυμάτων:

- **Σάρωση (Polling):** Ο Σαρωτής ρωτάει ξεχωριστά κάθε συσκευή για να στείλει ή να παραλάβει μία ενημέρωση της κατάστασης τους. Αυτό απαιτεί ένα εξερχόμενο και ένα εισερχόμενο μήνυμα για κάθε σταθμό στο δίκτυο. Η σάρωση είναι ο πιο ακριβής, αλλά όχι τόσο αποτελεσματικός από πλευράς χρόνου, τρόπος για άντληση πληροφορίας από τις συσκευές.
- **Στροβοσκοπική (Strobing):** Ο κύριος κόμβος εκπέμπει μία αίτηση προς όλες τις συσκευές για ενημέρωση κατάστασης. Οι συσκευές αποκρίνονται διαδοχικά, με τον κόμβο 1 να απαντάει πρώτος μετά οι κόμβοι 2,3,4 κ.λ.π. Η αρίθμηση των κόμβων μπορεί να έχει γίνει έτσι ώστε να έχει προτεραιότητα ο κόμβος που θα στέλνει το περισσότερο σημαντικό

μήνυμα. Οι μέθοδοι polling και strobing είναι οι πιο συνηθισμένες για μετάδοση μηνυμάτων.

- **Κυκλική (Cyclic):** Οι συσκευές έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε αυτόματα να στέλνουν μηνύματα σε προγραμματισμένα διαστήματα. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μερικές φορές και "ζωτικός παλμός", χρησιμοποιείται δε συχνά σε συνδυασμό με την επόμενη μέθοδο αλλαγής κατάστασης (Change of state) για να υποδείξει ότι η συσκευή είναι ακόμη σε λειτουργία.
- **Αλλαγή κατάστασης (Change of State):** Οι συσκευές στέλνουν μήνυμα στον κύριο κόμβο μόνο όταν αλλάξει η κατάστασή τους. Αυτή η διαδικασία καταλαμβάνει πολύ λίγο χρόνο στον δίαυλο και ένα μεγάλο δίκτυο που τη χρησιμοποιεί μπορεί να υπερτερεί ενός αντίστοιχου με διαδικασία σάρωσης. Είναι η πιο αποδοτική από άποψη χρόνου μέθοδος, αλλά μερικές φορές αποδεικνύεται ανακριβής στην απόκτηση πληροφοριών από τις συσκευές, διότι απόδοση και χρόνος απόκρισης αποδείχθηκαν στατιστικά αντίθετα στον ντετερμινισμό.

Αξιοσημείωτη στο δίκτυο DeviceNet είναι και η χρήση του πρωτοκόλλου "σαφούς" μετάδοσης δεδομένων (Explicit messaging), που υποδεικνύει πως μία συσκευή θα πρέπει να ερμηνεύει ένα μήνυμα. Συνήθως, χρησιμοποιείται σε σύνθετες συσκευές, όπως οδηγοί ή ελεγκτές, οι παράμετροι των οποίων αλλάζουν περιοδικά, όχι όμως τόσο συχνά όσο τα δεδομένα της διεργασίας. Ένα "σαφές" μήνυμα παρέχει μία γενερική, πολλαπλών σκοπών διαδρομή επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο συσκευές και προσφέρει λειτουργίες αίτησης/απάντησης, όπως για παράδειγμα διαμόρφωση συσκευής.

Σε περίπτωση μηνυμάτων που τα δεδομένα τους είναι περισσότερα από 8 bytes, ο οποίος είναι ο μέγιστος αριθμός για το δίκτυο DeviceNet ανά κόμβο και ανά μετάδοση, τότε αυτά μπορούν να σταλούν σε περισσότερα τμήματα των 8 bytes και να επανενωθούν στο άλλο άκρο της μετάδοσης. Αυτό απαιτεί πολλαπλές αποστολές για ένα ενιαίο μήνυμα.

2.8.3 Διαχειριστής μηνύματος χωρίς σύνδεση (Unconnected Message Manager)

Τα προσαρμοστικά UCMM του δικτύου DeviceNet είναι ικανά για απευθείας επικοινωνία. Αντίθετα με το σχηματισμό κύριου/εξαρτημένου σταθμού, κάθε συσκευή που υποστηρίζεται από διαχειριστή UCMM μπορεί να επικοινωνεί απευθείας με κάποια άλλη χωρίς να χρειάζεται να πάρει προηγουμένως έγκριση

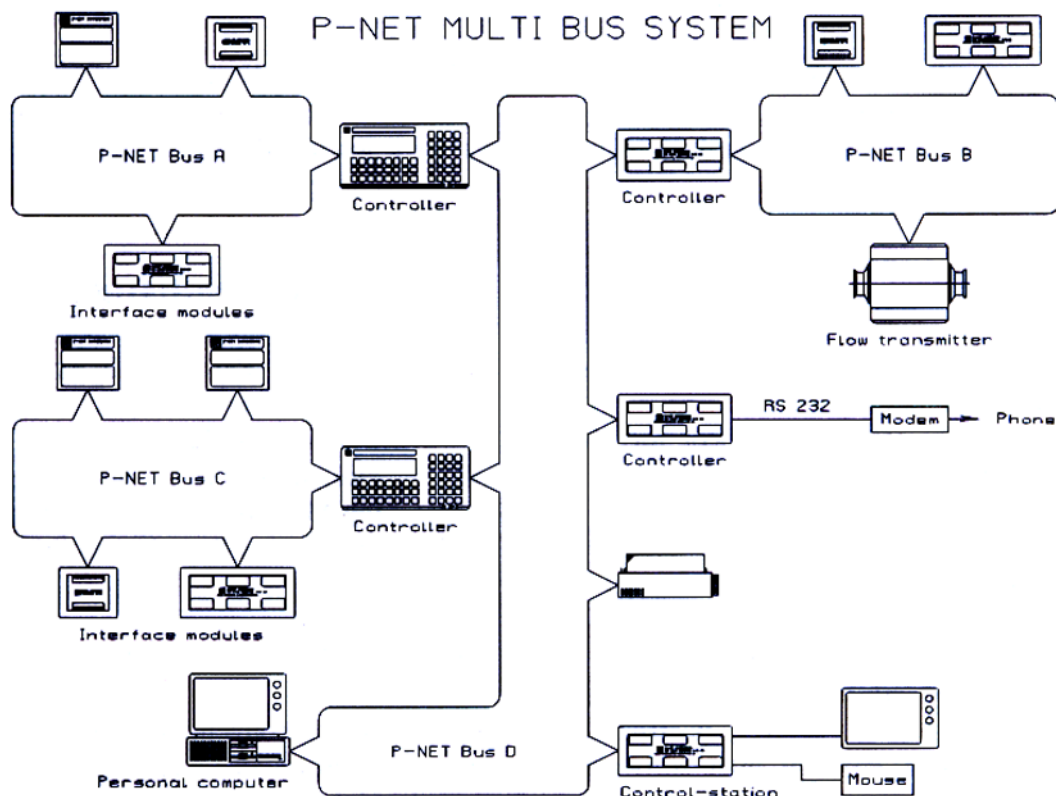
από τον κύριο σταθμό στον οποίο κατατάσσεται. Συσκευές που έχουν διαχειριστή μηνυμάτων (UCMM) πρέπει να δέχονται όλα τα μηνύματα και έπειτα να εκτελούν φιλτράρισμα, το οποίο πραγματοποιείται σε υψηλότερο επίπεδο, για την απόρριψη άσχετων ή ανεπιθύμητων μηνυμάτων. Αυτή η μέθοδος απαιτεί περισσότερη μνήμη RAM και ROM από ό,τι η συνήθης μέθοδος του κυρίου/εξαρτημένου σταθμού για την μετάδοση δεδομένων.

Συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου DeviceNet:

- Προέλευση:** από την εταιρία Allen-Bradley, 1994.
- Πρότυπο:** σύμφωνο με ISO 11898 και ISO 11519, βασισμένο σε τεχνολογία CAN.
- Τοπολογία:** γραμμή ή δακτύλιος με διακλαδώσεις.
- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου για σήμα και τροφοδοσία.
- Μέγιστο μήκος:** 100 m έως 500 m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 125, 250 και 500 Kbps.
- Αριθμός χρηστών:** 64.
- Μέθοδος προσπέλασης:** CSMA/CD + NBA όπως και στο δίκτυο CAN.
- Έλεγχος λαθών:** με κυκλικό κώδικα CRC.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 8 bytes.

2.9 Δίκτυο P-NET Fieldbus

Το λειτουργικό δίκτυο P-Net, που πρωτοεμφανίστηκε το 1983, σχεδιάστηκε για να εξυπηρετεί την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών στο επίπεδο μηχανής. Μέσω του διπλού καλωδίου που χρησιμοποιεί ενώνονται απομακρυσμένες συσκευές όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, ελεγκτές, PLCs κ.λ.π.. Οι διαστάσεις του δικτύου κυμαίνονται από απλά συστήματα με μόνο δύο ή τρία τμήματα, οπότε έχουμε ένα απλό δίκτυο, μέχρι μερικές εκατοντάδες τμήματα να σχηματίζουν ένα πολύ-δίκτυο (multi-net). Στο Σχ.2.43 βλέπουμε πολλά επιμέρους δίκτυα να συνδέονται σε ένα κύριο διάυλο.



Σχ.2.43. Ένα σύστημα πολύ-δικτύου P-NET.

Το δίκτυο P-Net αποτελεί μέρος του ευρωπαϊκού προτύπου EN 50170, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται και τα υπάρχοντα πρότυπα δικτύων το Profibus και το WorldFIP. Η επικοινωνία στο δίκτυο αυτό γίνεται μέσα από ένα δισύρματο κανάλι που αντικαθιστά την παραδοσιακή καλωδίωση των πολλών καλωδίων. Τα δεδομένα της διεργασίας (π.χ. μετρήσεις, σήματα βαλβίδων) μεταδίδονται ψηφιακά. Το P-Net χρησιμοποιείται επίσης και για συλλογή δεδομένων, διαμόρφωση κόμβων όπως και για κατέβασμα προγραμμάτων. Πέρα από την κανονική μετάδοση των μετρήσεων και των πληροφοριών κατάστασης, το δίκτυο επιτρέπει την αμφίδρομη ανταλλαγή επιπρόσθετης πληροφορίας, όπως οριακές τιμές λειτουργίας, σήματα που καθορίζουν την θέση των ενεργοποιητών, σήματα ανάδρασης, σήματα σφαλμάτων κ.λ.π..

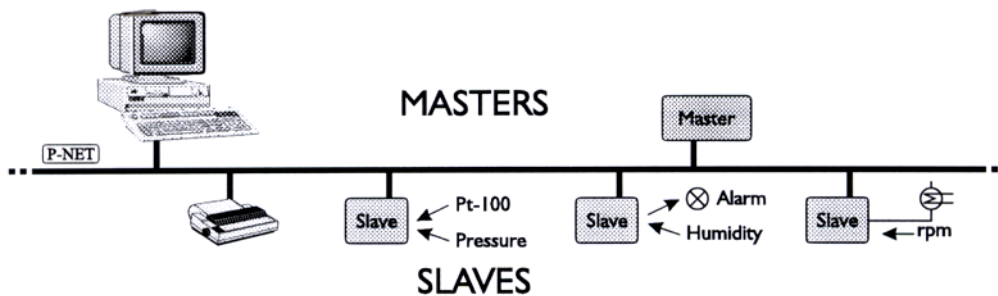
Η χρήση του δικτύου P-Net προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην αυτοματοποίηση μιας βιομηχανικής διεργασίας, όπως την απλοποίηση του σχεδιασμού και της εγκατάστασης, τη μείωση της ποσότητας και του κόστους της καλωδίωσης, τη μείωση του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης, καθώς επίσης ελάττωση των λειτουργικών λαθών εγκατάστασης. Πληροφορίες για λάθη σε συσκευές ή σε καλωδιώσεις μπορούν να ανιχνευθούν αυτόματα από το πρωτόκολλο του δικτύου. Οι εφαρμογές του δικτύου χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος για μικρά συστήματα ενώ όσο το σύστημα μεγαλώνει το κόστος αυξάνεται γραμμικά. Το P-Net είναι κατάλληλο τόσο για μικρά όσο και για μεγάλα εργοστασιακά συγκροτήματα, ενώ σε κάθε τέτοιο σύστημα μπορούν να γίνουν περαιτέρω επεκτάσεις.

2.9.1 Αρχές λειτουργίας του P-Net

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δικτύου P-Net βασίζονται στο πρότυπο RS-485 ενώ χρησιμοποιεί προστατευμένο συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων. Αυτό επιτρέπει μήκος καλωδίου έως 1200 m χωρίς επαναλήπτες. Τα δεδομένα μεταδίδονται ασύγχρονα με κωδικοποίηση NRZ. Τα σημεία διασύνδεσης είναι γαλβανικά μονωμένα και μπορούν να συνδεθούν έως 125 συσκευές ανά τμήμα δικτύου χωρίς τη χρήση επαναλήπτη. Μπορούν να πραγματοποιηθούν έως 300 διεκπεραιώσεις δεδομένων ανά δευτερόλεπτο, από 300 ανεξάρτητες διευθύνσεις. Τα δεδομένα μεταφέρονται είτε με τη μορφή τιμών κινητής υποδιαστολής για μεγέθη της διαδικασίας όπως θερμοκρασία, πίεση, ρεύμα, τάση κλπ., είτε με τη μορφή μπλοκ των 32 ανεξάρτητων δυαδικών σημάτων για την κατάσταση βαλβίδων, διακοπών κλπ. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να μεταδίδονται έως 9600 δυαδικά σήματα ανά δευτερόλεπτο που έχουν σταλθεί από οπουδήποτε εντός του δικτύου. Αυτό το υψηλό ποσοστό επιβεβαιωμένων μεταδόσεων επιτυγχάνεται επειδή οι εξαρτημένοι σταθμοί χειρίζονται παράλληλα την επεξεργασία των δεδομένων και τη μετάδοση των πακέτων. Ο εξαρτημένος σταθμός επεξεργάζεται

μία αίτηση αμέσως μόλις φτάσει το πρώτο byte δεδομένων. Έτσι επιτυγχάνεται ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων 76800 bit/s.

Το P-Net είναι ένα δίκτυο με πολλαπλούς κύριους σταθμούς (multi-master), οι οποίοι μπορούν να ανέρχονται μέχρι τους 32 ανά τμήμα δικτύου. Όλη η επικοινωνία βασίζεται στην αρχή ότι ο κύριος σταθμός στέλνει μία αίτηση και ο διευθυνσιοδοτημένος σταθμός (εξαρτημένος) επιστρέφει αμέσως μία απάντηση. Οι αιτήσεις μπορούν να αφορούν είτε ανάγνωση είτε γραφή δεδομένων. Διάφοροι κύριοι και εξαρτημένοι σταθμοί φαίνονται στο τμήμα δικτύου P-Net του Σχ. 2.44.



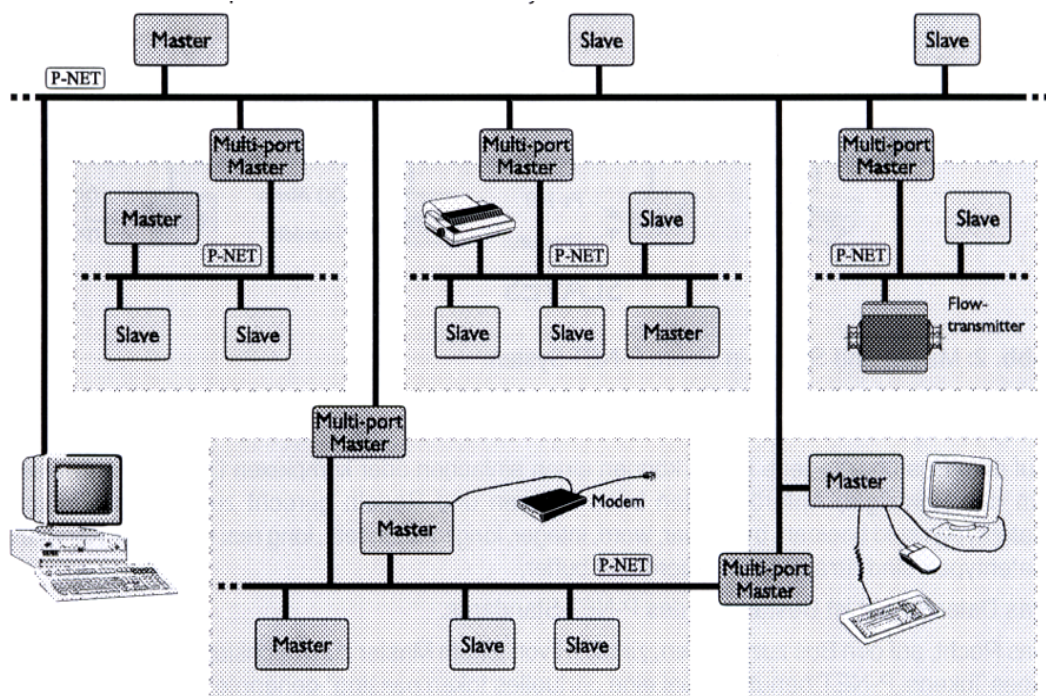
Σχ.2.44. Κύριοι και εξαρτημένοι σταθμοί σε ένα διάυλο πεδίου P-Net.

Το δικαίωμα προσπέλασης στο δίκτυο, μεταδίδεται από έναν κύριο σταθμό στον επόμενο με την χρήση ενός εικονικού κουπονιού που δεν απαιτεί τη μετάδοση μηνύματος μέσω του διαύλου, όπως γίνεται σε άλλα δίκτυα τύπου πολλαπλών κύριων σταθμών, για παράδειγμα στο Profibus. Το κουπόνι μεταφέρεται αυτόματα από σταθμό σε σταθμό με έναν κυκλικό μηχανισμό που βασίζεται στο χρόνο, χωρίς να χάνεται χρόνος σε αποστολή μηνύματος. Σε περίπτωση που κάποιος κύριος σταθμός δεν είναι διαθέσιμος, οι υπόλοιποι συνεχίζουν τον τρόπο αυτόν της προσπέλασης κανονικά.

2.9.2 Μορφή του πολύ-δικτύου P-Net

Στο παρελθόν, η φιλοσοφία σχεδιασμού μιας δικτυακής αρχιτεκτονικής για ένα εργοστάσιο, προέβλεπε την απευθείας σύνδεση των αισθητήρων και ενεργοποιητών στο διάυλο. Στη συνέχεια, το δίκτυο πεδίου συνδεόταν με έναν ελεγκτή νησίδας, και ένας αριθμός ελεγκτών νησίδας αποτελούσαν ένα δίκτυο νησίδας. Με τον τρόπο αυτό μετά από διάφορα επίπεδα της ιεραρχίας η δικτυακή δομή κατέληγε σε ένα κορμό δικτύου υψηλής ταχύτητας. Η ταχύτητα δικτύου αυξάνεται ανάλογα με το ιεραρχικό επίπεδο, δηλαδή αυξάνεται όσο περισσότερο ανεβαίνουμε στην ιεραρχία.

Η σημερινή φιλοσοφία προσανατολίζεται στην κατανομή της "ευφυΐας" ανάμεσα στους ελεγκτές νησίδας, στους διασυνδεδεμένους και στους αισθητήρες. Το αποτέλεσμα είναι τα δεδομένα να συγκεντρώνονται σε κάθε επίπεδο, και οι βρόχοι ελέγχου να κλείνουν μέσα στο ίδιο δίκτυο. Επειδή με την τεχνική αυτή περισσότερη "ευφυΐα" είναι κατανομημένη, η ανάγκη για μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων στα υψηλότερα επίπεδα μειώνεται. Αυτός είναι ο λόγος που το δίκτυο P-Net μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα επίπεδα ενός πλήρους εργοστασιακού συστήματος αυτοματοποίησης.

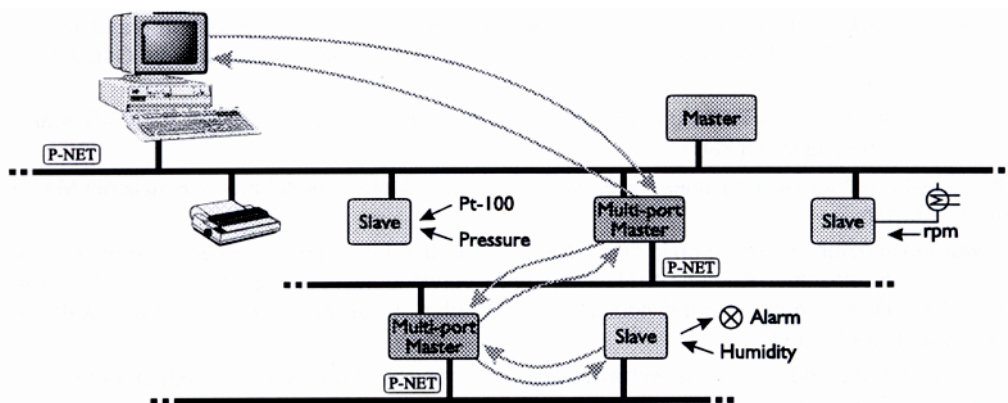


Σχ.2.45. Μία δομή του πολύ-δικτύου P-Net.

Ο διαχωρισμός ενός συστήματος σε διάφορες νησίδες όπου η κάθε μία αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της διεργασίας, κάνει δυνατή την απενεργοποίηση κάποιας νησίδας χωρίς αυτό να επηρεάζει τη λειτουργία των άλλων. Η εκτέλεση του προγράμματος μπορεί να κατανέμεται σε έναν ή περισσότερους ανεξάρτητους επεξεργαστές ανά νησίδα. Έτσι, ένα λάθος στο λογισμικό ή το υλικό μιας νησίδας δεν επηρεάζει τις υπόλοιπες. Σε δικτυακά συστήματα όπου η "ευφυΐα" είναι σωστά κατανομημένη, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ισχύς επεξεργασίας με τη μορφή πρόσθετων κύριων ελεγκτών. Ένα σύστημα με τέτοια δομή είναι δυνατόν να επεκταθεί οποιαδήποτε στιγμή.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του δικτύου P-Net είναι η άμεση διευθυνσιοδότηση μεταξύ των διαφόρων τμημάτων διαύλου του δικτύου, γι' αυτό γίνεται και χρήση του όρου "πολύ-δικτυακή" δομή. Λίγα δίκτυα υποστηρίζουν άμεση διευθυνσιοδότηση στο επίπεδο μηχανής. Μία τέτοια δομή φαίνεται στο Σχ. 2.45.

Η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του δικτύου γίνεται μέσω κόμβων που διαθέτουν δύο ή περισσότερους P-Net διασυνδετές. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κύριος σταθμός ενός τμήματος δικτύου μπορεί να προσπελάσει "διαφανώς" οποιοδήποτε κόμβο σε κάποιο άλλο τμήμα δικτύου, χωρίς να απαιτείται ειδικό πρόγραμμα στους κύριους σταθμούς πολλαπλών θυρών (multi-port master). Αυτό σημαίνει ότι δίκτυα που δεν έχουν την πολύ-δικτυακή αυτή ικανότητα απαιτούν ένα ειδικό πρόγραμμα για να ενώσουν δύο τμήματα δικτύου μέσα από έναν κόμβο. Ένα τέτοιο πρόγραμμα πρέπει να συγκεντρώνει όλα τα δεδομένα από όλες τις συσκευές ενός τμήματος για να τα διαθέσει στο άλλο τμήμα. Το Σχ. 2.46 δείχνει την "διαφανή" προσπέλαση των κύριων κόμβων σε άλλα τμήματα του δικτύου.

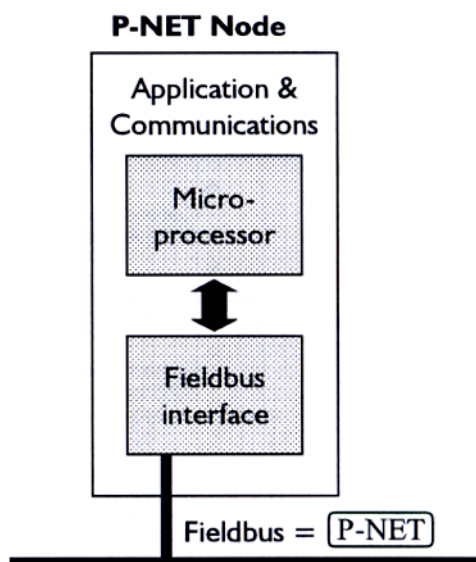


Σχ.2.46. "Διαφανή" προσπέλαση των κύριων κόμβων πάνω σε άλλα τμήματα του δικτύου.

Η τμηματοποίηση του συστήματος επιτρέπει την ανεξάρτητη τοπική ανταλλαγή δεδομένων σε κάθε τμήμα δικτύου, γεγονός που αυξάνει την ταχύτητα ενημέρωσης και το ποσοστό δεδομένων που μεταδίδονται σε όλο το σύστημα. Επίσης, το γεγονός ότι ένα λάθος περιορίζεται σε ένα τμήμα του δικτύου έχει ως επακόλουθο το σύστημα να είναι περισσότερο ασφαλές. Άλλο πλεονέκτημα της πολύ-δικτυακής τοπολογίας του P-Net είναι ότι δεν χρειάζεται απαραίτητα η ιεραρχική δόμηση των τμημάτων του δικτύου. Αυτό βοηθάει στο να επεκτείνεται εύκολα το δίκτυο.

2.9.3 Εγκατάσταση ενός δικτύου P-Net

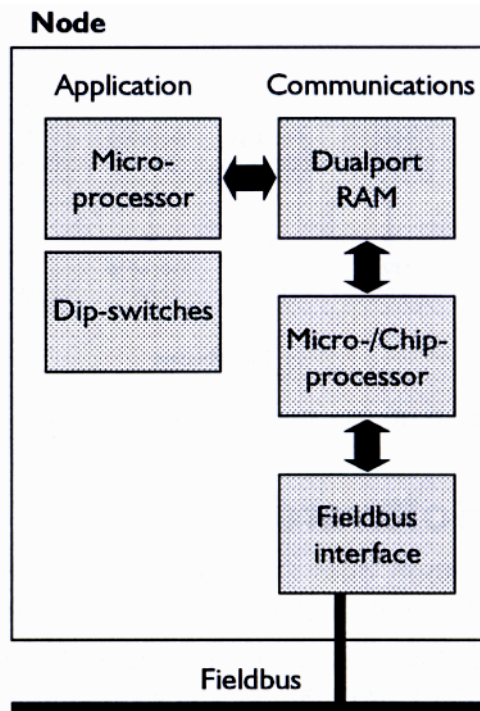
Ένας λόγος που προτιμάται το δίκτυο P-Net είναι το χαμηλό κόστος εγκατάστασης ενός κόμβου. Ο βασικός κανόνας του P-Net είναι η χρήση του ίδιου μικροεπεξεργαστή τόσο για έλεγχο της κύριας εργασίας του κόμβου (εφαρμογή) όσο και για την επικοινωνιακή εργασία. Τα δεδομένα αποθηκεύονται πάντα μόνο σε ένα σημείο. Καθώς το δίκτυο είναι ένα ολοκληρωμένο τμήμα της συσκευής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη διαμόρφωση και ανάγνωση της κατάστασης της συσκευής. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτούνται μικροδιακόπτες για την επιλογή ταχύτητας και τον καθορισμό της διεύθυνσης του κόμβου. Στο Σχ. 2.47 βλέπουμε έναν κόμβο του δικτύου.



Σχ.2.47. Ένας κόμβος του δικτύου P-NET.

Άλλοι τύποι δικτύων χρησιμοποιούν επιπλέον κυκλώματα (μικροεπεξεργαστές) σε κάθε κόμβο. Τα δεδομένα ανταλλάσσονται μέσω μνήμης RAM διπλής θύρας (dual port-RAM). Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος για το τελικό προϊόν (βλ. Σχ. 2.48).

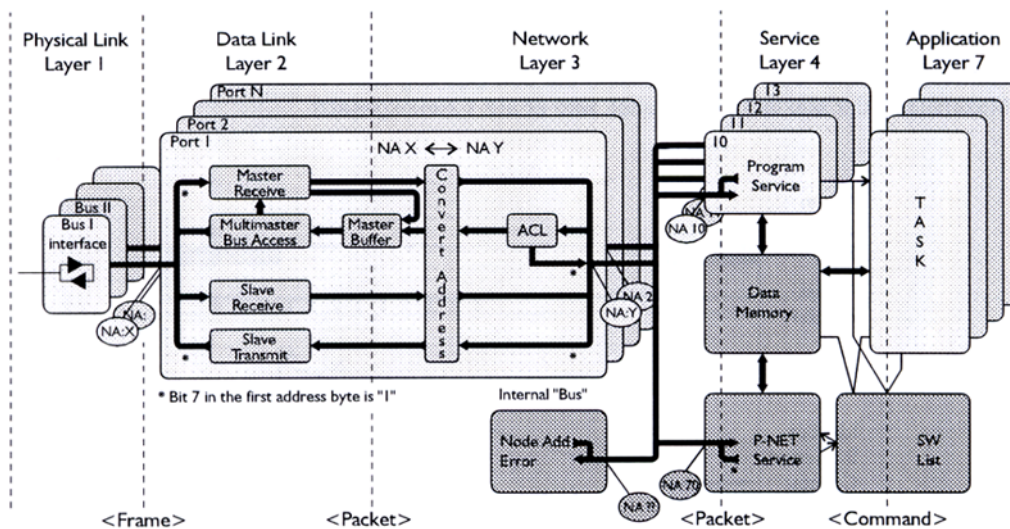
Για την εγκατάσταση του πρωτοκόλλου του P-Net δεν χρειάζεται ειδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC), αφού το πρωτόκολλο επικοινωνίας για έναν εξαρτημένο σταθμό απαιτεί μόνο μερικά Kbytes κώδικα. Αυτό επιτρέπει τη χρήση γνωστών και σχετικά απλών μικροεπεξεργαστών.



Σχ.2.48. Κόμβος άλλων δικτύων που περιέχει επιπλέον κυκλώματα.

2.9.4 Αρχιτεκτονική του δικτύου P-Net και η δομή του καναλιού

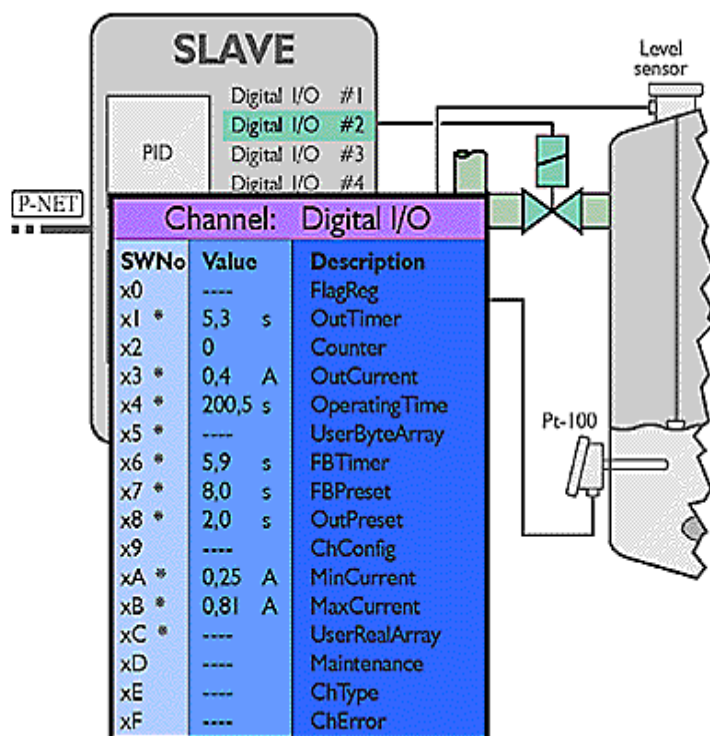
Το δίκτυο P-Net προσδιορίζεται και υλοποιείται σύμφωνα με το μοντέλο OSI για τα επίπεδα 1,2,3,4 και 7 όπως φαίνεται στο Σχ. 2.49. Συνήθως, ένα δίκτυο του επιπέδου μηχανής υλοποιεί τα επίπεδα 1,2 και 7, αλλά εφόσον το δίκτυο P-Net υποστηρίζει μία πολύ-δικτυακή δομή υλοποιεί επιπλέον τα επίπεδα 3 και 4.



Σχ.2.49. Η αρχιτεκτονική του P-NET βασισμένη στο μοντέλο OSI.

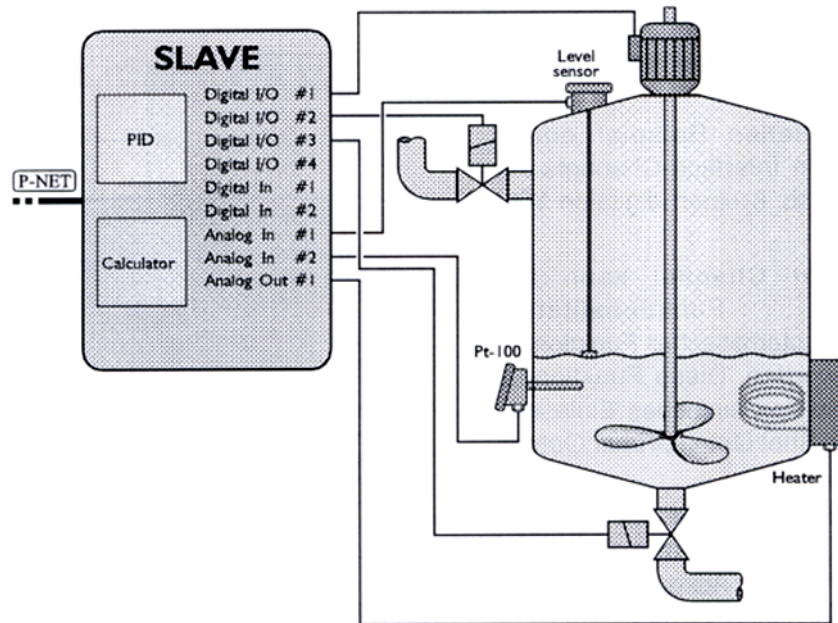
Κλασικές συσκευές του δικτύου είναι οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές και οι διασυνδεδετές. Μπορούν να διαθέτουν ένα ή περισσότερα σήματα, όπως ψηφιακές εξόδους ή αναλογικές εισόδους. Με κάθε τιμή ενός σήματος της διεργασίας, εκτός της τρέχουσας κατάστασης, συνδυάζεται και επιπρόσθετη πληροφορία, που έχει σχέση με συγκεκριμένες συναρτήσεις όπως διαμόρφωσης, μετατροπής, κλιμάκωσης, φιλτραρίσματος, ενημέρωσης λαθών κ.λ.π. Στο δίκτυο P-Net, το σύνολο των μεταβλητών και των συναρτήσεων για ένα σήμα διεργασίας αναφέρεται ως αντικείμενο διεργασίας (Process Object) και καλείται “κανάλι” (Channel). Ένα “κανάλι” περιέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την υποστήριξη των απαιτούμενων συναρτήσεων ελέγχου. Επιπλέον, περιέχει δεδομένα που υποστηρίζουν την συντήρηση και την τεχνική διαχείριση του εξοπλισμού της εγκατάστασης.

Ένα “κανάλι” περιέχει 16 καταχωρητές, κάθε ένας εκ των οποίων έχει τις δικές του λογικές διευθύνσεις που καλούνται SOFTWARE αριθμοί (SWNo). Αυτές οι 16 μεταβλητές ή σταθερές του “καναλιού” μπορούν να είναι οποιουδήποτε τύπου και να τοποθετούνται σε διαφορετικής τεχνολογίας μνήμες. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα ενός πρότυπου “καναλιού” (ένα ψηφιακό κανάλι I/O) φαίνεται στο Σχ. 2.50. Ένα τέτοιο “κανάλι” μπορεί να διαμορφωθεί για διάφορες συναρτήσεις λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων και αυτών του αυτοματισμού.



Σχ.2.50. Παράδειγμα “καναλιού” ψηφιακών I/O.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του δικτύου P-Net είναι η διαχείριση των λαθών. Κάθε “κανάλι” διαθέτει έναν καταχωρητή κώδικα λάθους (ChError). Αυτός ο καταχωρητής περιέχει πληροφορίες σχετικές με τα ενδεχόμενα λάθη που μπορεί να υπάρχουν στο “κανάλι”, όπως υπερφόρτωση, αποσυνδεδεμένο σήμα, κ.λ.π. .



Σχ.2.51. Ένα έξυπνο τμήμα του δικτύου P-NET σε μία χημική εγκατάσταση.

Ένα σημαντικό πρότυπο “καναλιού” είναι το “κανάλι” υπηρεσίας (Service), που πρέπει να συμπεριλαμβάνεται σε όλους τους κόμβους, ανεξάρτητα αν είναι κόμβος σύνθετης συλλογής πολλών “καναλιών” ή ένας απλός αισθητήρας. Αυτό το “κανάλι” περιέχει πληροφορίες όπως διεύθυνση, σειριακός αριθμός, ταυτότητα του κατασκευαστή και άλλα δεδομένα σχετικά με τον κόμβο. Η προσπέλαση στο “κανάλι” αυτό είναι η ίδια για όλους τους κόμβους. Επιπλέον χρησιμοποιείται και για αναγνώριση άγνωστου κόμβου.

Συμπερασματικά, το πλεονέκτημα αυτής της προτυποποίησης “καναλιού” είναι ότι από την πλευρά του ο κύριος κόμβος P-Net μπορεί να χειρίζεται κάθε “κανάλι” με τον ίδιο τρόπο, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή της συσκευής ή τον κόμβο με τον οποίο αυτή είναι συνδεδεμένη.

Συνοπτικά χαρακτηριστικά του δικτύου P-Net:

- Προέλευση:** από το Process-Data Silkeborg (ApS), Δανία 1983
- Πρότυπο:** σύμφωνο με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50170
- Τοπολογία:** διαύλου
- Μέσο μετάδοσης:** προστατευμένο συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων
- Μέγιστο μήκος:** max 1200 m
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 76800 bit/s
- Αριθμός χρηστών:** max 125
- Μέθοδος προσπέλασης:** με μεταβίβαση εικονικού κουπονιού