



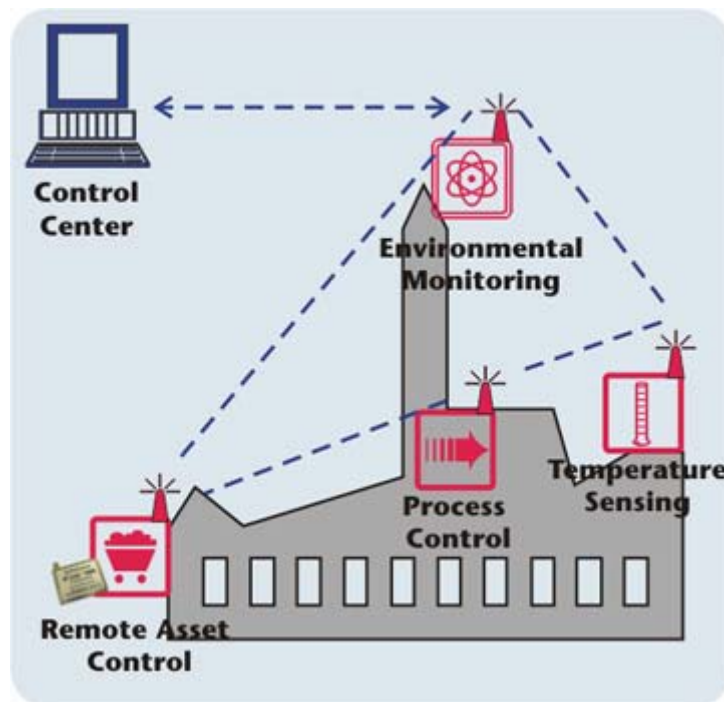
Πανεπιστήμιο Μακεδονίας  
ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα  
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων  
Καθηγητές: Α.Α. Οικονομίδης &  
Α. Πομπόρτσης

University of Macedonia  
Master Information Systems  
Networking Technologies  
Professors: A.A.  
Economides &  
A. Pomportsis

## Εργασία / Project

### « Πρωτόκολλα βιομηχανικών δικτύων / δικτύων αυτοματισμού»

### « Industrial (Automation) Network protocols»



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: Κουμπλής Μάριος  
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 25/08/2006

STUDENT'S NAME: Mario Coumplis  
DATE: 25/08/2006

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Σύντομη περιγραφή εργασίας.....	3-4
2.	Εισαγωγή / Ιστορική αναδρομή.....	4
3.	Σχεδίαση δικτύων αυτοματισμού.....	5
3.1	Ιεραρχικά επίπεδα βιομηχανικών συστημάτων αυτοματισμού.....	5
3.2	Ανάλυση προτύπων επικοινωνίας RS232C, RS422, RS485 & IEEE488.....	6
3.2.1	Το πρότυπο RS232C.....	6
3.2.2	Το πρότυπο RS422.....	7
3.2.3	Το πρότυπο RS485.....	7
3.2.4	Το πρότυπο IEEE488.....	8
3.3	Οι συνδέσεις Fieldbus.....	8
3.3.1	Τι είναι το Fieldbus.....	8
3.3.2	Πλεονεκτήματα του Fieldbus.....	9
3.3.3	Τα πρότυπα του Fieldbus.....	10
3.3.3.1	AS-Interface.....	10
3.3.3.2	CAN.....	11
3.3.3.3	DeviceNet.....	12
3.3.3.4	EtherCAT.....	13
3.3.3.5	FOUNDATION Fieldbus.....	13
3.3.3.6	HART Protocol.....	14
3.3.3.7	Interbus.....	16
3.3.3.8	LonWorks.....	18
3.3.3.9	Modbus.....	19
3.3.3.10	Profibus.....	20
3.3.3.11	Bitbus.....	21
3.3.3.12	Industrial Ethernet.....	22
4.	Συγκεκριμένη περίπτωση υλοποίησης λύσεων στη βιομηχανία (case study).....	24
5.	Συμπεράσματα.....	25
6.	Βιβλιογραφία.....	26

## 1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε με την δικτύωση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Ακριβώς όπως οι υπολογιστές, έτσι και τα διάφορα στοιχεία που ελέγχουν τη γραμμή παραγωγής μίας βιομηχανίας θα πρέπει να επικοινωνούν, τόσο μεταξύ τους, όσο και με ένα κεντρικό υπολογιστή, προκειμένου να είναι ευκολότερη η επίβλεψή τους και βέβαια, αποτελεσματικότερη η λειτουργία τους. Θα δούμε πολλά διαφορετικά δίκτυα και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στον βιομηχανικό χώρο, τι μέσα μετάδοσης χρησιμοποιούν καθώς και κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που τα συνοδεύουν. Στο τέλος, αναφέρουμε και μία μεμονωμένη υλοποίηση (ένα μικρό case study) των όσων θα δούμε παρακάτω σε μία πραγματική βιομηχανία.

## **CONTENTS**

1.	Brief description of this project.....	3-4
2.	Introduction / Flashback.....	4
3.	Industrial Networks Design.....	5
3.1	Hierarchy levels of industrial automation systems.....	5
3.2	Examining the communication protocols RS232C, RS422, RS485 και IEEE488.....	6
3.2.1	The RS232C communications standard.....	6
3.2.2	The RS422 communications standard.....	7
3.2.3	The RS485 communications standard.....	7
3.2.4	The IEEE488 communications standard.....	8
3.3	The Fieldbus systems.....	8
3.3.1	What is a Fieldbus? .....	8
3.3.2	Advantages that Fieldbus offers.....	9
3.3.3	Fieldbus standards.....	10
3.3.3.1	AS-Interface.....	10
3.3.3.2	CAN.....	11
3.3.3.3	DeviceNet.....	12
3.3.3.4	EtherCAT.....	13
3.3.3.5	FOUNDATION Fieldbus.....	13
3.3.3.6	HART Protocol.....	14
3.3.3.7	Interbus.....	16
3.3.3.8	LonWorks.....	18
3.3.3.9	Modbus.....	19
3.3.3.10	Profibus.....	20
3.3.3.11	Bitbus.....	21
3.3.3.12	Industrial Ethernet.....	22
4.	A particular implementation of industrial automation networks (case study).....	24
5.	Drawing conclusions.....	25
6.	Bibliography.....	26

### **1. BRIEF DESCRIPTION OF THIS PROJECT**

What we'll be dealing with in this very project is the networking solutions offered for contemporary automated industries. Quite like the need to "link" several personal computers, a similar need has been developed in the industrial field. Hundreds of field devices need to be interconnected and communicating with a central controller, which in turn has to communicate with a "supervisor's" PC. These elements that control and affect every aspect of the production line can work much more effectively in that manner. We will get to examine several different standards and protocols developed for this purpose, the transmission media they use as well as the pros and cons they have to offer. Finally, we'll take a look at a specific case where a combination of these solutions has been implemented.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ / ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τα βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού του σήμερα χρησιμοποιούν κατακευματισμένες αρχιτεκτονικές όπου κάποιες ψηφιακές υπομονάδες (modules) διασυνδέονται μεταξύ τους, μέσω δικτύων επικοινωνίας, για συλλογή δεδομένων και λειτουργίες ελέγχου σε χαμηλότερο επίπεδο. Για τα σύγχρονα αυτά συστήματα, ο τρόπος επικοινωνίας για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών αυτοματισμού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Προκειμένου να «ενοποιηθούμε» κάποιες συσκευές σε ένα τελικό μεγάλης κλίμακας σύστημα αυτοματισμού, πρέπει να συμφωνηθεί κάποιο σύνολο προτύπων (standards) σύμφωνα με τα οποία θα είναι εφικτή η επικοινωνία. Ένα πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε για να ξεπεράσει τα προβλήματα επικοινωνίας ανάμεσα σε συσκευές αυτοματισμού διαφορετικών κατασκευαστών, ήταν το manufacturing automation protocol (MAP), το οποίο μάλιστα αναγνωρίστηκε ευρέως σαν το βιομηχανικό πρότυπο επικοινωνίας δεδομένων στον εργοστασιακό χώρο. Πάμε όμως να δούμε από πού ξεκίνησε η ιστορία των βιομηχανικών συστημάτων αυτοματισμού.

Στις αρχές του 20ού αιώνα, τα συστήματα ελέγχου διεργασιών και τα συστήματα κατασκευής στη βιομηχανία σχεδιάζονταν κυρίως με τη βοήθεια μηχανικών τεχνολογιών και με αναλογικές συσκευές. Λίγο αργότερα, εισήχθησαν στη βιομηχανία τα πνευματικά και τα υδραυλικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Η τεχνολογία του πνευματικού ελέγχου επέτρεπε τον έλεγχο απομακρυσμένων συστημάτων από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου.

Την δεκαετία του '50, η χρήση των κεντρικών συστημάτων ελέγχου αυξήθηκε με την ανάπτυξη των ψηφιακών / ηλεκτρονικών ελεγκτών (controllers) εξαιτίας της ικανότητάς του για μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις. Κατά την ίδια περίοδο, πολλά βιομηχανικά επικοινωνιακά συστήματα σχεδιάστηκαν για χρήση στα συστήματα ελέγχου. Αυτά ήταν «πρωτόγονα» δίκτυα που χρησιμοποιούσαν αναλογικά σήματα και συνέδεαν τον κεντρικό επεξεργαστή με περιφερειακά και τερματικά. Τα περιφερειακά συνήθως χρησιμοποιούσαν παράλληλα πολλαπλά καλώδια και σειριακές διασυνδέσεις όπως το ρεύμα των 20mA σε χαμηλό ρυθμό μετάδοσης.

Στις αρχές του '60, ένας υπολογιστής χρησιμοποιήθηκε ως ψηφιακός ελεγκτής για να ελέγχει άμεσα κάποια διεργασία. Τότε βέβαια, η χρήση ενός υπολογιστή για αυτό το σκοπό ήταν μία σχετικά ακριβή λύση για τον βιομηχανικό χώρο. Την ίδια δεκαετία, άρχισαν να αναπτύσσονται τα PLC (Programmable Logic Controllers), ηλεκτρονικές συσκευές που αντικαθιστούσαν τις «πατροπαράδοτες» συσκευές που έβρισκε κανείς σε κλασικά συστήματα αυτοματισμού, όπως το ρελέ. Στα τέλη του '60, η εταιρία Mollins της Μ.Βρετανίας ανακοίνωσε το «Σύστημα 24», το οποίο σχεδιάστηκε για τον έλεγχο πολλαπλών εργαλειομηχανών από ένα και μόνο υπολογιστή. Αυτό αναμενόμενο ήταν ότι θα απέφερε πολύ μεγαλύτερη παραγωγικότητα στη βιομηχανία από ότι εάν αυτές οι μηχανές λειτουργούσαν ανεξάρτητα. Η ιδέα αυτή έγινε γνωστή ως flexible manufacturing system (FMS). Το τελευταίο αύξησε το βαθμό χρήσης και αξιοποίησης των μηχανών στη βιομηχανία, συντελλώντας στην αύξηση της παραγωγικότητας. Μετά από αυτό, η έννοια computer-integrated manufacturing (CIM) που είδαμε παραπάνω, άρχισε να αποκτά μία νέα σημασία: παρακολούθηση / επίβλεψη / έλεγχος και ενοποίηση όλων των διεργασιών στη βιομηχανία από ψηφιακούς υπολογιστές σε κάθε πτυχή της παραγωγής. Αυτό βέβαια, οδήγησε στην προσπάθεια ανάπτυξης ειδικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας για αυτό το σκοπό.

Στα μέσα του '70, το πρώτο καταναμημένο υπολογιστικό σύστημα ελέγχου (DCCS) ανακοινώθηκε από την εταιρεία Honeywell. Από τότε, η ιδέα των DCCS εξαπλώθηκε αρκετά στα βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού, όπως σε συστήματα ελέγχου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, σε συστήματα κατασκευής κτλ.

Όπως τα βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού αποκτούσαν μεγαλύτερη κλίμακα και ο αριθμός των επιμέρους συσκευών τους αυξανόταν, έπρεπε ο βιομηχανικός αυτοματισμός να βρει πρότυπα που θα μπορούσαν να διασυνδέσουν πολλές τέτοιες συσκευές αυτοματισμού, ανεξαρτήτως κατασκευαστή. Για παράδειγμα, το γνωστό μοντέλο OSI (Open Systems Interconnection) επέτρεπε σε κάθε ζεύγος συσκευών αυτοματισμού να επικοινωνούν αξιόπιστα με αυτό τον τρόπο. Επίσης, το πρωτόκολλο MAP (Manufacturing Automation Protocol) παρέχει την ίδια δυνατότητα όντας μία λύση βιομηχανικού τοπικού δικτύου, όμως βρέθηκε να είναι πολύ ακριβό και συγχρόνως να έχει αδυναμίες να φτάσει τις απαιτήσεις για ταχύτατη απόκριση και μικρούς χρόνους, ανάλογα με την εφαρμογή.

### **3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

#### **3.1 ΙΕΡΑΡΧΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΒΙΟΜΗΧ. ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Το κατώτερο επίπεδο τέτοιων συστημάτων στη βιομηχανία είναι το **επίπεδο πεδίου (field level)**. Σε αυτό βρίσκονται κάποιες απλές συσκευές όπως αισθητήρες, βαλβίδες, ρελέ, τελεστές κτλ. Ο ρόλος τους είναι να μεταφέρουν δεδομένα ανάμεσα στο παραγόμενο προϊόν και στη διεργασία. Τα δεδομένα μπορεί να είναι είτε σε δυαδική μορφή (0 ή 1) ή σε αναλογική. Για την επικοινωνία σε αυτό το επίπεδο, παράλληλα, πολύκλωνα καλώδια και πρότυπα μεταφοράς σήματος ρεύματος 20mA χρησιμοποιούνται. Τα πρότυπα σειριακής επικοινωνίας όπως τα **RS232C**, **RS422**, και **RS485** είναι τα συνηθέστερα για αυτό το σκοπό μαζί με το πρότυπο παράλληλης επικοινωνίας **IEEE488**. Αυτές οι από-σημείο-σε-σημείο (point-to-point) μέθοδοι επικοινωνίας αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα υψηλού κόστους καλωδίωσης και για να παρέχουν υψηλής ποιότητας και γρήγορα μεταφορά δεδομένων. Επειδή στο χώρο των βιομηχανικών διεργασιών υπάρχει περισσότερο από οπουδήποτε αλλού ο χρονικός περιορισμός, οι εφαρμογές σε αυτό το επίπεδο απαιτούν την λειτουργία κυκλικής μεταφοράς δεδομένων που μεταδίδει την πληροφορία σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η αναπαράσταση των δεδομένων φυσικά, πρέπει να είναι όσο «λακωνική» και μικρή γίνεται για να είναι χαμηλός και ο χρόνος μεταφοράς τους πάνω στο δίκτυο.

Στο αμέσως ανώτερο επίπεδο, το **επίπεδο κελιού (cell level)**, η ροή της πληροφορίας κυρίως αποτελείται από την φόρτωση των προγραμμάτων, των παραμέτρων και των δεδομένων. Εδώ γίνεται η επικοινωνία των βιομηχανικών ελεγκτών (PLC), των ρομποτικών βραχιόνων ή αυτόματων εργαλειομηχανών με τον υπολογιστή. Στο επίπεδο αυτό έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πολλές λύσεις. Μία καλή λύση είναι το **Ethernet** μαζί με το **TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol)**, το οποίο έγινε εν μέρει αποδεκτό σαν de-facto πρότυπο στη βιομηχανία, παρόλο που δεν μπορεί να παρέχει μία πραγματικού χρόνου (real time) επικοινωνία.

## **3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ RS232C, RS422, RS485 και IEEE488.**

### **3.2.1 Το πρότυπο RS232C**

Στις τηλεπικοινωνίες, το πρότυπο RS-232 χρησιμοποιείται για την σειριακή διασύνδεση μεταξύ ενός DTE (Data terminal equipment) και ενός DCE (Data Circuit-terminating Equipment). Χρησιμοποιείται ευρέως στις σειριακές θύρες των υπολογιστών. Στο πρότυπο αυτό, τα δεδομένα μεταδίδονται σαν μία χρονική σειρά από bits. Υποστηρίζει και σύγχρονη και ασύγχρονη επικοινωνία. Υπάρχουν ξεχωριστά κυκλώματα και τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα δεδομένα οπότε μιλάμε για μία αμφίδρομη (full-duplex) επικοινωνία η οποία υποστηρίζει συνεχόμενη ροή δεδομένων και από τις δύο κατευθύνσεις.

Το πρότυπο καθορίζει, μεταξύ άλλων τα ακόλουθα:

- Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού σήματος όπως επίπεδα ηλ. τάσης (δεκτές τιμές τάσης είναι π.χ. +/- 3 V και +/- 15 V), ρυθμό σηματοδοσίας, σήματα χρονισμού και ρυθμού εναλλαγής λογικών επιπέδων (0 και 1), συμπεριφορά σε βραχυκύκλωμα και μέγιστο μήκος καλωδίου

Το πρότυπο δεν καθορίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αν και προοριζόταν αρχικά για ρυθμούς χαμηλότερους από 20.000 bits το δευτερόλεπτο. Σχεδόν όλες οι μοντέρνες συσκευές πλέον μπορούν να ξεπεράσουν αυτή την ταχύτητα (38.400, 57.600 bits/sec συνήθεις ταχύτητες και κάπως πιο σπάνια 115.200 και 230.400 bits/sec) τηρώντας τα συμβατά επίπεδα σήματος. Ακόμη δεν καθορίζει το πρότυπο χαρακτήρες πλαισίωσης στη ροή των δεδομένων (bits ανά χαρακτήρα, bits αρχής/τέλους και parity) ούτε όμως και αλγόριθμους ανίχνευσης σφαλμάτων.

Κάποιοι περιορισμοί αυτού του προτύπου είναι οι εξής:

- Οι μεγάλες αυξομειώσεις της τάσης και οι απαιτήσεις για θετική και αρνητική παροχή τάσης μεγαλώνουν την κατανάλωση ισχύος της διασύνδεσης και περιπλέκουν την σχεδίαση παροχής ισχύος.
- Λόγω κάποιου περιορισμού στα σήματα (σηματοδοσία single-ended), αυτό το πρότυπο είναι σχετικά επιρρεπές σε θόρυβο και όχι ιδανικό για μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών.
- Δεν έχει καθοριστεί κάποια επίσημη λειτουργία multi-drop (σύνδεση περισσότερων από 2 συσκευών). Αν και έχουν επινοηθεί κάποιοι τρόποι παράκαμψης αυτού του προβλήματος, έχουν περιορισμούς σε ταχύτητα και συμβατότητα.
- Μη συμμετρικοί ορισμοί των δύο άκρων της σύνδεσης δημιουργούν προβλήματα στην ανάθεση του ρόλου της συσκευής προς σύνδεση. Ο σχεδιαστής της συσκευής πρέπει να αποφασίσει αν αυτή θα συμπεριφέρεται σαν DTE ή σαν DCE (οι όροι αναφέρθηκαν παραπάνω).
- Η χρήση των γραμμών «handshaking» για έλεγχο ροής δεδομένων, δηλαδή για ρύθμιση της ταχύτητας αποστολής ανάλογα με την ταχύτητα του παραλήπτη, δεν έχει σχεδιαστεί με αξιόπιστο τρόπο σε πολλές συσκευές.

### 3.2.2 Το πρότυπο RS422

Το πρότυπο RS422 είναι ένα τεχνικό πρότυπο που παρέχει μετάδοση δεδομένων με χρήση διαφορικής σηματοδότησης, με τερματιζόμενες ή μη τερματιζόμενες γραμμές μετάδοσης, από σημείο σε σημείο (point-to-point) ή multi-drop. Σε αντίθεση με το πρότυπο RS485 που θα δούμε στη συνέχεια, αυτό δεν επιτρέπει πολλαπλούς πομπούς παρά μόνο πολλαπλούς δέκτες (συγκεκριμένα το πολύ μέχρι 10).

Η διαφορική σηματοδότηση (differential signalling) στην οποία αναφερθήκαμε πριν, είναι μία μέθοδος μετάδοσης πληροφορίας σε ζεύγη καλωδίων, σε αντίθεση με την single-ended signalling, όπου έχουμε μετάδοση πληροφορίας σε ένα καλώδιο). Αυτή η μέθοδος, που χρησιμοποιείται από το RS422, στέλνει την πληροφορία στο ένα καλώδιο και το ακριβώς αντίθετο σήμα στο άλλο καλώδιο ώστε το άθροισμα των τάσεων στα δύο καλώδια να παραμένει σταθερό. Αυτό μειώνει σημαντικά τον θόρυβο στη σύνδεση.

Το μέγιστο μήκος καλωδίου είναι 1200m. Οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων είναι 10 Mbit/s στα 1.2m ή 100 Kbit/s στα 1200m. Το πρότυπο δεν έχει θέσει κάποιο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης αλλά μετά τα 1200m, το σήμα εξασθενεί σημαντικά και είναι δύσκολη η επικοινωνία.

Το πρότυπο RS422 χρησιμοποιεί σήματα ονομαστικής τάσης 0 και 5 V για να ξεχωρίσει τα δύο λογικά επίπεδα.

### 3.2.3 Το πρότυπο RS485

Αυτό το πρότυπο είναι ένας καθορισμός ηλεκτρικών σημάτων του φυσικού επιπέδου του μοντέλου OSI (Open Systems Interconnection) με δύο αγωγούς που επιτυγχάνουν μονόδρομη (half-duplex), πολλαπλών σημείων (multi-point) σειριακή διασύνδεση. Η πολλαπλών σημείων διασύνδεση σημαίνει ότι πολλαπλοί πομποί μπορούν να συνδεθούν σε πολλαπλούς δέκτες. Όπως και το RS422, το πρότυπο RS485 χρησιμοποιεί διαφορική σηματοδότηση, δηλαδή η διαφορά των τάσεων στα δύο καλώδια είναι αυτή που μεταφέρει τα δεδομένα.

Τα λογικά επίπεδα ξεχωρίζονται με σήματα μεταξύ  $-7\text{ V}$  και  $+12\text{ V}$ , η μία πολικότητα αναπαριστά το ένα λογικό επίπεδο και η άλλη πολικότητα το δεύτερο λογικό επίπεδο. Στην ουσία, το πρότυπο αυτό το μόνο που κάνει είναι να καθορίζει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πομπού (driver) και του δέκτη (receiver). Δεν καθορίζει η συνιστά κάποιο πρωτόκολλο δεδομένων. Η διασύνδεση RS485 επιτρέπει τον σχηματισμό φθηνών τοπικών δικτύων και συνδέσεων πολλαπλών σημείων.

Προσφέρει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων (35 Mbit/s για μέχρι 10m και 100 Kbit/s για έως 1200m).

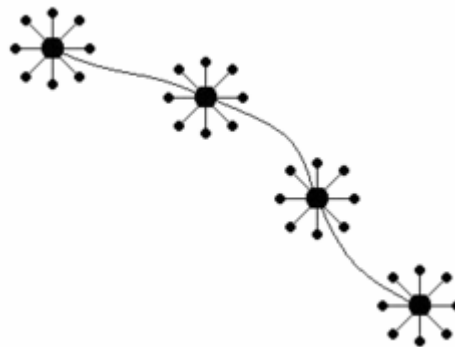
Σε αντίθεση με το RS422, οι συσκευές που συνδέονται με RS485 πρέπει να τοποθετούνται σε λειτουργία μετάδοσης, στέλνοντας ένα ειδικό σήμα στη συσκευή. Αυτό επιτρέπει στο RS485 να υλοποιεί γραμμικές τοπολογίες χρησιμοποιώντας μόνο 2 καλώδια. Οι προτεινόμενες τοπολογίες είναι ως μία διασυνδεδεμένη σειρά point-to-point κόμβων ή bus τοπολογία και όχι τοπολογίες αστέρα ή δακτυλίου. Η χρήση αυτού του προτύπου απαιτεί την χρήση αντιστάσεων τερματισμού μεταξύ των δύο καλωδίων προκειμένου να μην υπάρξει απώλεια δεδομένων. Οι αντιστάσεις αυτές, επίσης, μειώνουν την ευαισθησία στο θόρυβο.

Το RS485 μπορεί να γίνει αμφίδρομη επικοινωνία χρησιμοποιώντας 4 καλώδια. Παρόλα αυτά, αφού είναι διασύνδεση πολλαπλών σημείων, αυτό δεν είναι απαραίτητο.

Το ότι είναι πολύ ανθεκτικό σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και γενικά σε θόρυβο, εξαιτίας της διαφορικής σηματοδότησης που χρησιμοποιεί, το κάνει ιδανικό για χρήση σε βιομηχανικούς χώρους.

### 3.2.4 Το πρότυπο IEEE488

Το IEEE-488, ένα πρότυπο ψηφιακής επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από την εταιρία Hewlett-Packard, επιτρέπει έως και σε 15 συσκευές να μοιράζονται έναν παράλληλο ηλεκτρικό δίαυλο (bus) των 8 bits με συνδέσεις «αλυσιδωτής μαργαρίτας» (daisy-chaining connections), βλέπε σχήμα στο πλάι. Η πιο αργή συσκευή είναι αυτή που καθορίζει τα handshakes της μετάδοσης δεδομένων προκειμένου να υπολογιστεί η ταχύτητα σύνδεσης.



Ο μέγιστος τυπικός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων φτάνει το 1 Mbyte/sec και περίπου 8 Mbyte/sec σε κάποιες παραλλαγές του IEEE-488. Ο δίαυλος σε αυτό το πρότυπο αποτελείται από 16 αγωγούς σημάτων. 8 αμφίδρομους αγωγούς για μεταφορά δεδομένων, οι 3 για handshake (έλεγχος ροής) και οι 5 για διαχείριση διαύλου. Οι άλλοι 8 χρησιμοποιούνται για τη γείωση / επιστροφή του σήματος. Το καλώδιο εδώ μπορεί να φτάσει το μέγιστο μήκος των 20m. Το πρότυπο αυτό συναντάται πλέον σπάνια σε βιομηχανικές εφαρμογές.

### 3.3 Οι συνδέσεις FIELDBUS

Το Fieldbus είναι ένα βιομηχανικό σύστημα δικτύωσης για πραγματικού χρόνου διανεμημένο έλεγχο. Ένα περίπλοκο σύστημα βιομηχανικού αυτοματισμού, σε μία γραμμή παραγωγής λόγου χάριν, πρέπει να έχει μία οργανωμένη δομή των συστημάτων ελεγκτών προκειμένου να λειτουργήσει. Αυτή η δομή, σε γενικές γραμμές, αποτελείται από

- ένα κεντρικό υπολογιστή στην κορυφή, από όπου ένας χειριστής μπορεί να επιβλέπει και να επεμβαίνει σε ολόκληρο το σύστημα.
- Ένα μεσαίο επίπεδο των βιομηχανικών ελεγκτών (PLC, πρόκειται για μία προγραμματιζόμενη ηλεκτρονική συσκευή που αναλαμβάνει να «χειρίζεται» μία εγκατάσταση αυτοματισμού που αποτελείται από αισθητήρες, διακόπτες, επαφές ρελέ, κινητήρες κτλ.). Αυτό το επίπεδο συνδέεται με το ανώτερο συνήθως μέσω ενός συστήματος διαύλου (π.χ. Ethernet).
- Το κατώτερο επίπεδο το χειρίζεται ένα δίκτυο που στις περισσότερες περιπτώσεις που συναντάμε στη βιομηχανία είναι τύπου Fieldbus, το οποίο ενώνει τα PLC με τις χαμηλότερου επιπέδου συσκευές (που είναι και αυτές που κάνουν την πραγματική δουλειά σε μία γραμμή παραγωγής, τελεστές, ηλεκτροβαλβίδες, κινητήρες κτλ.)

#### 3.3.1 Τι είναι το Fieldbus

Το Fieldbus είναι ένα ψηφιακό, αμφίδρομο, σειριακής επικοινωνίας και multidrop δίκτυο, σχεδιασμένο να αντικαταστήσει το πατροπαράδοτο σύστημα αναλογικού



σήματος 4-20mA (παλαιότερα, το σήμα ήταν αναλογικό και κυμαινόταν ανάμεσα στις τιμές 4-20mA για να αναπαραστήσει το 0% και το 100% αντίστοιχα). Είναι αυτό που αναλαμβάνει να συνδέσει τις συσκευές χαμηλότερου επιπέδου (field devices). Οι συσκευές αυτές, πρέπει να πούμε, ότι είναι ως ένα βαθμό «έξυπνες», διαθέτουν μία στοιχειώδη υπολογιστική ισχύ για να επιτελέσουν κάποιες βασικές λειτουργίες. Το δίκτυο Fieldbus είναι αυτό που τους επιτρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με τον κεντρικό υπολογιστή ελέγχου.

Το πρότυπο Fieldbus, σε δικτυακό επίπεδο, αποτελείται από 4 επίπεδα.

- I. **Φυσικό επίπεδο (Physical Layer):** Αυτό καθορίζει το μέσο με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η επικοινωνία, μπορούμε να το δούμε σαν την αντικατάσταση του προτύπου 4-20mA.
- II. **Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer):** Αυτό επιβλέπει την επικοινωνία μεταξύ των διάφορων συσκευών και βρίσκει σφάλματα.
- III. **Επίπεδο εφαρμογών (Application Layer):** Αυτό μορφοποιεί τα δεδομένα σε μηνύματα (πακέτα) που κάθε άλλη συσκευή στο δίκτυο μπορεί να αναγνωρίσει και προσφέρει τις υπηρεσίες ελέγχου διεργασιών, παρέχοντάς τες στο επίπεδο χρήστη.
- IV. **Επίπεδο χρήστη (User Layer):** Αυτό συνδέει τις ξεχωριστές πτέρυγες μίας βιομηχανικής εγκατάστασης και συνθέτει ένα περιβάλλον για τις εφαρμογές. Υλοποιείται με τη χρήση υψηλού επιπέδου λειτουργιών ελέγχου.

### 3.3.2 Πλεονεκτήματα του Fieldbus

Ο τύπος δικτύου αυτός έχει μία πληθώρα πλεονεκτημάτων από τα οποία μπορούν επωφεληθούν οι τελικοί χρήστες. Το κυριότερο από αυτά είναι το μειωμένο κόστος. Αυτό πηγάζει από

1. **μικρότερο αρχικό κόστος αγοράς:** Ένα από τα πιο κύρια χαρακτηριστικά του fieldbus είναι η μειωμένη καλωδίωση που απαιτείται. Κάθε στοιχείο της διεργασίας απαιτεί μόνο ένα καλώδιο να τρέχει μέχρι τον κύριο αγωγό. Συνεπώς, το κόστος της εγκατάστασης των συσκευών επιπέδου (field devices) είναι πολύ μικρότερο. Τα κόστη εγκατάστασης μειώνονται ακόμη περισσότερο αν σκεφτεί κανείς ότι το fieldbus είναι ένα δίκτυο multi-drop και όχι point-to-point (από σημείο σε σημείο) και ότι τα δίκτυα multi-drop μπορούν να προσφέρουν μέχρι και 5:1 μείωση στο κόστος καλωδίωσης. Η εξοικονόμηση χρημάτων φτάνει μέχρι 50\$ για κάθε συσκευή επιπέδου. Το σύστημα fieldbus απαιτεί λιγότερη εργασία για την εγκατάσταση σε σχέση με τα συνηθισμένα συστήματα διαύλου και εξοικονομεί χρήματα εξαιτίας της μειωμένης ανάγκης από υλικά για την εγκατάσταση.
2. **πιο λίγες συντηρήσεις:** Από το γεγονός και μόνο ότι το πρότυπο fieldbus είναι λιγότερο περίπλοκο από τα συμβατικά, καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει μικρότερη ανάγκη για συντήρηση και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Οι χρήστες των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν fieldbus θα μπορούν να επιβλέπουν όλες τις συσκευές και να αναλύουν την αλληλεπίδραση μεταξύ τους, κάτι που μειώνει εξαιρετικά τον χρόνο εκσφαλμάτωσης (debugging time). Κάτι τέτοιο επίσης επιτυγχάνεται από το ότι το fieldbus επιτρέπει να διεξάγονται διαγνωστικοί έλεγχοι online σε ξεχωριστές συσκευές πεδίου και να ρυθμίζεται απομακρυσμένα κάθε συσκευή (remote device calibration).

- 3. βελτιωμένες επιδόσεις του συστήματος:** Η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ συσκευών πεδίου γίνεται δυνατή με αυτό το πρότυπο. Ως εκ τούτου, βελτιώνεται η συνολική επίδοση του συστήματος αφού δύο συσκευές μπορούν απευθείας να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να χρειάζεται η παρεμβολή του συστήματος ελέγχου.

Ένα άλλο όφελος του Fieldbus είναι ότι ο τελικός χρήστης δεν είναι ανάγκη να ασχοληθεί καθόλου με τα επίπεδα σύνδεσης δεδομένων και εφαρμογών. Όσο αφορά τον χρήστη, πρέπει απλά να δουλεύουν. Ο χρήστης θα πρέπει μόνο να έχει κάποια γνώση των υπηρεσιών διαχείρισης του προτύπου για να ερμηνεύει κάποιες πληροφορίες που αυτές εξάγουν σε περίπτωση σφάλματος κάπου στο σύστημα. Ο χρήστης είναι μόνο απαραίτητο να ασχολείται με το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο χρήστη.

Τέλος, παρόλα τα πλεονεκτήματα του Fieldbus σε σύγκριση με το πρότυπο ρεύματος 4-20mA, υπάρχει κι ένα μειονέκτημα. Τα σήματα ρεύματος γενικά είναι λιγότερο επιρρεπή σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο (κυρίως λόγω ελλιπούς θωράκισης) από τα σειριακά σήματα, όπως αυτά που χρησιμοποιεί το fieldbus.

### 3.3.3 Τα πρότυπα του Fieldbus

Το fieldbus είναι ένα γενικότερο πρωτόκολλο στο οποίο ανήκουν κάποια εξειδικευμένα πρότυπα (standards). Σήμερα, στη βιομηχανία χρησιμοποιείται μία πλειάδα τέτοιων. Μερικά από τα πιο διαδεδομένα είναι

#### ➤ 3.3.3.1 AS-Interface

Το AS-Interface (επίσης γνωστό και ως AS-i), είναι το απλούστερο πρότυπο βιομηχανικής δικτύωσης που χρησιμοποιείται σε ελεγκτές PLC, DCS (διανεμημένα συστήματα ελέγχου) και βασισμένα σε H/Y συστήματα αυτοματισμού. Σχεδιάστηκε (κυρίως για τα χαμηλότερα επίπεδα του βιομηχανικού αυτοματισμού) για να συνδέει δυαδικές συσκευές, όπως οι τελεστές και οι αισθητήρες, σε εφαρμογές διεργασιών χρησιμοποιώντας ένα διπλό καλώδιο. Μέσω αυτού του καλωδίου, μεταφέρει δεδομένα και ηλεκτρικό ρεύμα για μία μέγιστη απόσταση 100 μέτρων. Με χρήση επαναληπτών, αυτή η απόσταση μπορεί να αυξηθεί μέχρι τα 200 μέτρα. Υπάρχουν στο εμπόριο συσκευές (Ethernet links) οι οποίες επιτρέπουν σε ένα δίκτυο AS-Interface να ελέγχεται απευθείας από ένα TCP/IP δίκτυο. Αυτό, κατ'επέκταση, το καθιστά ιδανική λύση και για τα υψηλότερα επίπεδα του βιομηχανικού αυτοματισμού. Η επικοινωνία γίνεται με ψηφιακό τρόπο. Η τροφοδοσία έρχεται από ένα 24V DC τροφοδοτικό που είναι πλήρως απομονωμένο από τα σήματα δεδομένων. Τα δεδομένα δε, μορφοποιούνται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται πολύ μεγάλη ανοχή σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, μπορεί συνεπώς ένα AS-Interface δίκτυο να λειτουργήσει χωρίς πρόβλημα ακόμη και σε υψηλής τάσης εγκαταστάσεις. Το δίκτυο μπορεί να αντέξει ένα ονομαστικό ρεύμα 8A και πιθανώς να το ξεπεράσει με κατάλληλη σχεδίαση του δικτύου. Εφόσον έχουμε μεγαλύτερη ανάγκη σε ρεύμα, το πρότυπο επιτρέπει τη χρήση βοηθητικού τροφοδοτικού και καλωδίου ειδικά για τον σκοπό αυτό.

Το δίκτυο επιτρέπει μέχρι και 31 συσκευές slave. Οι συνδεδεμένοι slaves «ερωτώνται» με τη σειρά από τη συσκευή master (master μπορεί να είναι ένας ελεγκτής PLC ή ένας H/Y). Ένα «φορτωμένο» δίκτυο προσφέρει μέγιστη χρονική απόκριση της τάξης των 5ms ανά I/O συσκευή. Λιγότερες συσκευές στο δίκτυο σημαίνει και γρηγορότεροι κύκλοι (cycle times). Τα μηνύματα δεδομένων που ανταλλάσσονται ανάμεσα σε master και slaves, τα λεγόμενα telegrams, έχουν 4 bits εξόδου και αυτά είναι που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των συνδεδεμένων συσκευών (π.χ. για το άνοιγμα μιας βαλβίδας, για το κλείσιμο ενός διακόπτη κλπ.). Ο slave απαντά αμέσως, επιστρέφοντας 4 bits σχετικά με τη λειτουργία ελέγχου, για παράδειγμα επιβεβαιώνοντας την εκπλήρωση κάποιας ενέργειας. Σε κάθε κύκλο μεταδίδονται επιπρόσθετες πληροφορίες για διαγνωστικούς σκοπούς.

Μία πρόσφατη εξέλιξη αυτού του μοντέλου αποτελεί η έκδοση 2.1. Αυτή επιτρέπει τον χειρισμό αναλογικών σημάτων και ακόμη, διπλασιάζει το μέγιστο αριθμό συσκευών slaves σε 62. Η μέγιστη χρονική απόκριση, παρόλα αυτά, διπλασιάζεται κι εκείνη στα 10ms για ένα «φορτωμένο» δίκτυο.

Είναι μία «ανοιχτή» τεχνολογία (όχι κατοχυρωμένη ως εμπορική) που υποστηρίζεται από τις κυρίαρχες εταιρίες κατασκευής εξοπλισμού αυτοματισμού. Πάνω από 10.000.000 AS-ί συσκευές πεδίου έχουν εγκατασταθεί παγκοσμίως.

### ➤ 3.3.3.2 CAN

Το CAN (Controller Area Network) είναι ένα multicast, διαφορικής σηματοδοσίας, σειριακού διαύλου πρότυπο που αρχικά αναπτύχθηκε από την εταιρεία Robert Bosch GmbH για τη διασύνδεση ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου.

*Όταν λέμε multicast, εννοούμε τη μετάδοση πληροφοριών σε μία ομάδα προορισμών ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας την καλύτερη στρατηγική για την παράδοση των μηνυμάτων σε κάθε κόμβο του δικτύου μόνο μία φορά και τη δημιουργία αντιγράφων όταν ο κόμβος δε συμπίπτει με τον τελικό προορισμό.*

Το CAN σχεδιάστηκε για να είναι πολύ ανθεκτικό σε περιβάλλοντα με έντονο ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Αν χρησιμοποιηθεί συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων, μπορεί να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Παρόλο που αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως δίκτυο οχημάτων (vehicle network), σήμερα βρίσκεται σε χρήση σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές ελέγχου.

Τα μηνύματα που στέλνονται μέσα από αυτό το δίκτυο είναι μικρά (8 bytes δεδομένων το πολύ) αλλά προστατεύονται από ένα CRC-15 αλγόριθμο αντιμετώπισης σφαλμάτων. Αυτός εγγυάται ότι μέχρι και 5 «χαλασμένα» bits σε μία σειρά θα ανιχνευθούν από κάθε κόμβο στο δίκτυο. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bitrate) φτάνει το 1 Mbit/s για μήκος δικτύου έως 40m. Μπορούμε να μειώσουμε λίγο το bitrate (π.χ. 125 kbit/s) προκειμένου να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη κάλυψη σε απόσταση (π.χ. 500m).

Το δίκτυο υλοποιεί ένα αλγόριθμο προτεραιότητας. Ένα CAN μήνυμα υψηλής προτεραιότητας, για παράδειγμα, θα «καταλάβει» το δίκτυο και κάποιος κόμβος ο οποίος θα θέλει να στείλει μήνυμα χαμηλής προτεραιότητας θα το αισθανθεί αυτό, θα σταματήσει τη μετάδοση και θα περιμένει. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση «κυρίαρχων» και «υποτελών» bits.

Η δομή του πρωτοκόλλου CAN μπορεί να περιγραφεί από τα ακόλουθα επίπεδα.

- Επίπεδο εφαρμογών
- Επίπεδο αντικειμένου
  - Φιλτράρισμα μηνύματος
  - Χειρισμός μηνύματος
- Επίπεδο μεταφοράς: *Το επίπεδο μεταφοράς αντιπροσωπεύει τον πυρήνα του πρωτοκόλλου CAN. Παραδίδει τα ληφθέντα μηνύματα στο επίπεδο αντικειμένου και αποδέχεται μηνύματα για να μεταδοθούν από το επίπεδο αντικειμένου. Το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για το χρονισμό των bits, για πλαισίωση και επικύρωση μηνυμάτων, προτεραιότητα, επιβεβαίωση, ανίχνευση και απομόνωση σφαλμάτων, δρομολόγηση δεδομένων κτλ.*
- Physical Layer: *Το φυσικό επίπεδο καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδονται τα σήματα. Τα επίπεδα στάθμης (signal levels), η αναπαράσταση των bits και το μέσο μετάδοσης αποτελούν «δουλειές» αυτού του επιπέδου.*

### ➤ 3.3.3.3 DeviceNet

Το DeviceNet αναπτύχθηκε αρχικά από μία Αμερικάνικη εταιρεία με το όνομα Allen-Bradley (τώρα είναι γνωστή ως Rockwell Automation). Χρησιμοποιεί το πρότυπο CAN σαν κορμό του, το οποίο σημαίνει ότι είναι συμβατό με το μοντέλο 7 επιπέδων του OSI. Επιπρόσθετα, το DeviceNet καθορίζει το δικό του πρωτόκολλο για το επίπεδο εφαρμογών. Πρόκειται για ένα σύστημα fieldbus των 8 bytes που στοχεύει σε μεσαίας κατηγορίας βιομηχανικό έλεγχο που συνδέει συνήθως συσκευές όπως αισθητήρες, διακόπτες, σαρωτές barcode κ.α. Το μεγάλο πλεονέκτημα με το DeviceNet είναι ότι υπόσχεται (και πραγματοποιεί) τη σύνδεση συσκευών με ένα και μόνο καλώδιο. Αυτό το καλώδιο περιλαμβάνει μέσα του 4 μικρότερα. Ένα για την ηλεκτρική τάση, ένα για τη γείωση και άλλα δύο για τα δεδομένα ελέγχου. Γύρω γύρω από αυτά τα καλώδια, υπάρχει ειδική θωράκιση για ανοσία σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο.

Το DeviceNet καθορίζει το μέσο και το φυσικό, σύνδεσης δεδομένων και επίπεδο εφαρμογών του μοντέλου OSI. Καθορίζονται μόνο τρεις ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων στο DeviceNet, 125, 250 και 500 Kbps. Χρησιμοποιεί τάση στα 24V DC με ανοχή 1% και υποστηρίζει ένα μέγιστο αριθμό 64 κόμβων σε ένα δίκτυο. Οι αποστάσεις που μπορούμε να καλύψουμε σε ένα

τέτοιο δίκτυο κυμαίνονται από 100 – 500 μέτρα, ανάλογα με την ταχύτητα μετάδοσης. Υποστηρίζει master/slave λειτουργία καθώς και επικοινωνία peer-to-peer, αν και οι περισσότερες συσκευές στο δίκτυο αυτό λειτουργούν ως slave. Τέλος, επιτρέπει πολλαπλούς masters στο ίδιο δίκτυο.

#### ➤ **3.3.3.4 EtherCAT**

Είναι ένα γρήγορο, πραγματικού χρόνου master/slave δίκτυο που είναι βασισμένο στο Ethernet. Με το EtherCAT, το πακέτο/πλαίσιο του Ethernet δε λαμβάνεται πλέον, έπειτα μεταφράζεται και μεταφέρεται σαν δεδομένα διεργασίας σε κάθε κόμβο. Οι συσκευές slave στο EtherCAT διαβάζουν τα δεδομένα που απευθύνονται σε αυτές όσο το «μήνυμα» περνά διαμέσω τους. Παρομοίως, δεδομένα εισόδου από τη συσκευή περνάνε στο μήνυμα με τον ίδιο τρόπο. Τα πλαίσια καθυστερούν λιγότερο από 1μs σε κάθε κόμβο, οπότε πολλοί κόμβοι (τυπικά ολόκληρο το δίκτυο) μπορούν να «ερωτηθούν» με κάθε ένα πλαίσιο/μήνυμα.

Το πρωτόκολλο του EtherCAT είναι σχεδιασμένο ειδικά για μεταφορά δεδομένων διεργασιών και μεταφέρεται απευθείας μέσα στο πλαίσιο του προτύπου του Ethernet IEEE 802.3. Η μετάδοση broadcast και multicast καθώς και επικοινωνία μεταξύ συσκευών slave είναι δυνατή. Αν είναι απαραίτητη η δρομολόγηση IP, το πρωτόκολλο μπορεί να μπει μέσα σε μηνύματα UDP/IP.

Η ανταλλαγή δεδομένων διεργασίας με 1000 διανεμημένες ψηφιακές I/O συσκευές χρειάζεται περίπου 30μs. Υποστηρίζονται σε αυτό το πρωτόκολλο τοπολογίες γραμμής, δένδρου ή αστέρα. Εφόσον χρησιμοποιείται το φυσικό επίπεδο 100BASE-TX Ethernet, η απόσταση μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να είναι μέχρι 100m.

Μπορούν να συνδεθούν έως και 65536 συσκευές, οπότε το μέγεθος το δικτύου είναι πρακτικά σχεδόν απεριόριστο. Για ενσωμάτωση ήδη προυπαρχόντων προτύπων fieldbus (π.χ. DeviceNet, Profibus) σε δίκτυα EtherCAT, διατίθενται ειδικές συσκευές (πύλες / gateways). Επίσης, άλλα πρωτόκολλα βασισμένα στο EtherNet μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με το EtherCAT. Τα πλαίσια του Ethernet «μασκάρονται» μέσω του EtherCAT (μέθοδος γνωστή ως tunneling), που είναι μία συνήθης μέθοδος για εφαρμογές στο διαδίκτυο (π.χ. VPN, PPPoE (DSL) κτλ). Το δίκτυο EtherCAT είναι πλήρως «διαφανές» για τη συσκευή Ethernet, χωρίς να βλάπτονται τα χαρακτηριστικά real-time του δικτύου, δηλαδή η απόκριση σε πραγματικό χρόνο. Όλες λοιπόν οι εφαρμογές διαδικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο περιβάλλον του EtherCAT, όπως ο ενσωματωμένος web server, e-mail, FTP κλπ.

#### ➤ **3.3.3.5 FOUNDATION Fieldbus**

Το FOUNDATION Fieldbus είναι ένα ψηφιακό, σειριακό, αμφίδρομο σύστημα επικοινωνίας που χρησιμεύει ως το field-level δίκτυο σε μία εγκατάσταση αυτοματισμού. Αναπτύχθηκε από την εταιρεία Fieldbus Foundation.

Προορίζεται για εφαρμογές που κάνουν χρήση βασικού ή εξελιγμένου αναλογικού ρυθμιστικού ελέγχου, και για πολλές διακριτού ελέγχου. Υπάρχουν δύο σχετικές υλοποιήσεις του FOUNDATION Fieldbus που σχεδιάστηκαν για να ικανοποιήσουν διαφορετικές ανάγκες του αυτοματισμού διεργασιών. Αυτές χρησιμοποιούν διαφορετικά μέσα μετάδοσης και ρυθμούς μετάδοσης.

- **H1:** Λειτουργεί στα 31.25 kbit/s και γενικά συνδέεται σε συσκευές πεδίου. Παρέχει επικοινωνία και ηλεκτρική ισχύ μέσω συνηθισμένης καλωδίωσης συνεστραμμένου ζεύγους. Είναι μέχρι τώρα η πιο συνηθισμένη υλοποίηση.
- **HSE (High-speed Ethernet):** Λειτουργεί στα 100 Mbit/s και συνήθως συνδέει υποσυστήματα εισόδου/εξόδου, συστήματα ξενιστών (hosts), ζεύκτες, πύλες και συσκευές πεδίου χρησιμοποιώντας κανονική Ethernet καλωδίωση. Δε μεταφέρει και ηλεκτρική ενέργεια στην τρέχουσα μορφή του αν και γίνονται προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση.

Το FOUNDATION Fieldbus αρχικά σχεδιάστηκε ως ο αντικαταστάτης του προτύπου 4-20mA, αλλά πολλές καθυστερήσεις στην ανάπτυξη του απέτρεψαν την ευρεία χρήση του και έδωσαν ελεύθερο πεδίο για άλλες συναφείς τεχνολογίες όπως τα Modbus, Profibus και Industrial Ethernet για να καθιερωθούν στο χώρο.

#### ➤ 3.3.3.6 HART Protocol

Το πρωτόκολλο επικοινωνιών HART (Highway Addressable Remote Transducer Protocol) είναι ένα πρώιμο πρωτόκολλο Fieldbus. Το κυριότερο γνώρισμα που έχει είναι το ότι μπορεί να εγκατασταθεί «από πάνω» σε συστήματα που χρησιμοποιούν το πρότυπο 4-20mA, μοιραζόμενο το ζεύγος καλωδίων αυτών των παλαιότερων αναλογικών συστημάτων. Ακριβώς επειδή το πλήθος των εγκαταστάσεων βασισμένων στο 4-20mA είναι τεράστιο, πιστεύεται ότι το HART είναι από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα βιομηχανικής δικτύωσης σήμερα.

Το πρωτόκολλο HART βασίζεται σε αρκετά μεγάλο βαθμό στο 7-επίπεδο μοντέλο του OSI.

	OSI Layer	Function	HART
7	Application	Provides the User with Network Capable Applications	Provides the User with Network Capable Applications
6	Presentation	Converts Application Data Between Network and Local Machine Formats	
5	Session	Connection Management Services for Applications	
4	Transport	Provides Network Independent, Transparent Message Transfer	
3	Network	End to End Routing of Packets, Resolving Network Addresses	
2	Data Link	Establishes Data Packet Structure, Framing, Error Detection, Bus Arbitration	A Binary, Byte Oriented, Token Passing, Master / Slave Protocol.
1	Physical	Mechanical / Electrical Connection, Transmits Raw Bit Streams	Simultaneous Analog & Digital Signaling, Normal 4-20mA Copper Wiring

Συγκεκριμένα, αναφέρεται απευθείας σε 3 επίπεδα του μοντέλου OSI. Το φυσικό, το σύνδεσης δεδομένων και το επίπεδο εφαρμογών. Το φυσικό επίπεδο συνδέει τις συσκευές μεταξύ τους και στέλνει ακολουθίες από bits από τη μία συσκευή στην άλλη. Ασχολείται με τις μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες της σύνδεσης και του μέσου μετάδοσης. Επίσης, εδώ καθορίζονται και τα χαρακτηριστικά των σημάτων που θα χρησιμοποιούνται. Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων ευθύνεται για την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων μέσα από το κανάλι. Οργανώνει το ρεύμα από bits σε πακέτα (πλαισίωση), προσθέτει επιπλέον πληροφορία στο μήνυμα για την ανίχνευση σφαλμάτων και εφαρμόζει έλεγχο πρόσβασης του μέσου (Media Access Control) για να υπάρχει «δίκαιη» πρόσβαση του μέσου μεταξύ του master και των slave συσκευών. Το δίκτυο χρησιμοποιεί tokens για αυτό το σκοπό (αυτός που έχει στην κατοχή του το token, αυτός μεταδίδει). Τέλος, το επίπεδο εφαρμογών καθορίζει τις εντολές, τις αποκρίσεις, τους τύπους δεδομένων και τις αναφορές κατάστασης που υποστηρίζει το πρωτόκολλο.

Οι συσκευές HART έχουν δύο τρόπους λειτουργίας. Στη λειτουργία analog/digital, τα ψηφιακά σήματα μεταδίδονται μέσω του 4-20mA ρεύματος (αναλογικό σήμα). Και το ρεύμα και το ψηφιακό σήμα αναφέρονται στην τιμή του οργάνου. Σε κάθε συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων μπορεί να συνδεθεί μόνο ένα όργανο. Στη λειτουργία multidrop, μόνο ψηφιακά σήματα χρησιμοποιούνται. Το αναλογικό σήμα, το ρεύμα δηλαδή σετάρεται σταθερά στα 4mA. Σε αυτή τη λειτουργία, υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης μέχρι και 15 οργάνων σε ένα ζεύγος καλωδίων, διαχωρίζονται δε οι συσκευές αποκτώντας η κάθε μία ένα ξεχωριστό polling address.

### Συγκριτικά με το FOUNDATION Fieldbus

Το HART, όπως και το H1 Physical Layer του FOUNDATION Fieldbus, είναι ένα ανοιχτό πρότυπο για όργανα ελέγχου διεργασιών που υποστηρίζει μόνο ψηφιακή σηματοδότηση. Μοιάζει επίσης στο ότι υποστηρίζει κι αυτό όργανα πεδίου 2 καλωδίων και στην υπέρθεση του σήματος πάνω από την DC

τάση του οργάνου. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων στο HART είναι πολύ χαμηλότερος από τα 31.25 kbit/s του H1. Επί του παρόντος, οι συσκευές του FOUNDATION Fieldbus καταναλώνουν τυπικά 3 – 5 φορές μεγαλύτερη ισχύ από τις αντίστοιχες HART. Η τοπολογία δικτύου του HART είναι παρόμοια με του Foundation Fieldbus, όχι όμως τόσο περιορισμένη.

### ➤ 3.3.3.7 Interbus

Το Interbus είναι ένα σύστημα σειριακού διαύλου, το οποίο μεταδίδει δεδομένα μεταξύ συστημάτων ελέγχου (π.χ. H/Y, PLC, ρομποτικούς ελεγκτές κτλ.) και κατανεμημένων μονάδων I/O (modules) που συδέονται αισθητήρες, διακόπτες κ.α. Αποτελεί ένα σύστημα σε τοπολογία δακτυλίου, δηλαδή όλες οι συσκευές είναι ενεργά ενσωματωμένες σε μία κλειστή διαδρομή μετάδοσης. Κάθε συσκευή ενισχύει το εισερχόμενο σήμα και το στέλνει παραπέρα (ακόμη κι όταν δεν προορίζεται γι' αυτήν) επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης σε πιο μεγάλες αποστάσεις. Σε αντίθεση με άλλα συστήματα δικτύου, οι γραμμές προώθησης δεδομένων και επιστροφής οδηγούνται σε όλες τις συσκευές μέσω ενός μόνο καλωδίου. Αυτό σημαίνει ότι η φυσική όψη του δικτύου είναι μία «ανοικτή» δομή δένδρου (tree structure). Η κύρια αρτηρία του δικτύου, που περνά φυσικά από τον master, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία υποδικτύων μέχρι και 16 επιπέδων βάθους. Αυτό προσφέρει μεγάλη ευελιξία και προσαρμογή αυτού του δικτύου σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών.

Το Interbus είναι ένα master/slave σύστημα που επιτρέπει τη σύνδεση μέχρι και 512 συσκευών στα 16 επίπεδά του. Ο δακτύλιος τερματίζεται αυτόματα από την τελευταία συσκευή στο δίκτυο. Η σύνδεση από σημείο σε σημείο (point to point) εξαφανίζει την ανάγκη για χρήση αντιστάσεων τερματισμού. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ειδικά τερματικά (branch terminals) που δημιουργούν ξεχωριστούς κλάδους στο δίκτυο. Τα ζευκτικά μέσα ανάμεσα στους κλάδους του δικτύου μας επιτρέπουν να απομονώσουμε κάποιο τμήμα (υποδίκτυο) ώστε να δουλέψουμε πάνω σε αυτό χωρίς προβλήματα.

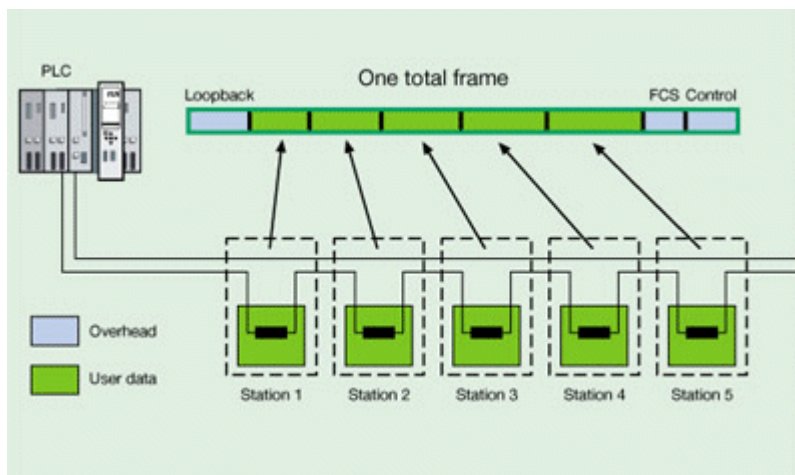
Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα στο Interbus είναι η φυσική διευθυνσιодότηση. Εδώ, δεν είναι ανάγκη να ρυθμίσουμε μία μοναδική διεύθυνση για κάθε συσκευή ξεχωριστά. Το σύστημα αυτόματα αναθέτει διεθύνσεις στις συσκευές βάσει της φυσικής τοποθεσίας τους στο δίκτυο. Αυτή η λειτουργία «plug-and-play» δημιουργεί απίστευτες ευκολίες αφού το δίκτυο δεν «αποσυντονίζεται» κάθε φορά που συνδέεται ή αποσυνδέεται κάποια συσκευή αλλά ρυθμίζεται μόνο του. Ο master μπορεί να συνδεθεί τόσο στον τοπικό δίαυλο (local bus) όσο και σε κάποιο απομακρυσμένο δίαυλο με χρήση ειδικού hardware. Στην τελευταία περίπτωση, συνήθως, κάθε συσκευή στο απομακρυσμένο δίκτυο τροφοδοτείται τοπικά. Για την τοπική διασύνδεση, το καλώδιο είναι αθωράκιστο δύο αγωγών και μεταφέρει συγχρόνως δεδομένα και τροφοδοσία.

Το Interbus είναι το μόνο Fieldbus σύστημα που χρησιμοποιεί την αθροιστική μέθοδο πλαισίων (summation frame method). Αυτή χρησιμοποιεί ένα μεγάλο πλαίσιο για τα μηνύματα από όλες τις συσκευές (slaves). Επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο μεγάλη αποτελεσματικότητα στη επικοινωνία αφού δεδομένα



μπορούν να αποστέλλονται και να λαμβάνονται συγχρόνως (αμφίδρομη επικοινωνία, full-duplex operation). <Βλέπε σχέδιο στην επόμενη σελίδα>. Στο μεγάλο πλαίσιο που αναφέραμε, περιλαμβάνεται η επικεφαλίδα (header), μία ειδική λέξη loop-back, τα δεδομένα και πληροφορίες για την ακεραιότητα των δεδομένων (checksum). Ο χρόνος που απαιτείται για την ανταλλαγή δεδομένων με όλες τις συσκευές (καλείται cycle time) εξαρτάται από το πλήθος των σταθμών και το μήκος των επιμέρους μηνύματων των σταθμών. Παρόλα αυτά, επειδή αυτό το πλαίσιο, το summation frame, έχει ένα προκαθορισμένο μήκος, το cycle time παραμένει σταθερό. Αυτή η μέθοδος λοιπόν είναι που δίνει στο Interbus το λεγόμενο «deterministic method of operation», δηλαδή το προβλέψιμο και σταθερό cycle time, πράγμα απαραίτητο στη βιομηχανία.

Υπάρχουν πολλά μέσα μετάδοσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ένα Interbus σύστημα. Συνήθως είναι καλώδια χαλκού, οπτικές ίνες ή υπέρυθρες ακτίνες. Στην πρώτη περίπτωση (και συνηθέστερη), χρησιμοποιείται μετάδοση διαφορικού σήματος (έχουμε ήδη αναφέρει για αυτή την τεχνική) σύμφωνα με το RS-485. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται ένα ξεχωριστό καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους για τη γραμμή πρόωθησης και ένα ακόμη για τη γραμμή επιστροφής. Με ταχύτητα μετάδοσης τα 500 Kbps, η σημειακή σύνδεση (point-to-point) με το RS-485 καλύπτει απόσταση 400 m μεταξύ των δύο συσκευών. Λόγω της ενσωματωμένης λειτουργίας repeater που υπάρχει στις εν λόγω συσκευές, μπορεί η απόσταση να φτάσει τα 13 Km.



Κάθε κάποιο αριθμό διαδοχικών κύκλων, σε ένα κβάντο χρόνου, μεταδίδεται ένα κομμάτι από τα παραμετρικά δεδομένα που θέλει να στείλει ο master στους slaves. Έτσι, τα παραμετρικά δεδομένα χωρίζονται σε κομμάτια και στέλνονται σιγά σιγά, για να μην παρεμποδίζεται η μετάδοση των time-critical δεδομένων.

Ο master του διαύλου εξασφαλίζει την αξιοπιστία των δεδομένων χρησιμοποιώντας το loop-back word που αναφέραμε. Αυτή η λέξη αποτελείται από ένα μοναδικό συνδυασμό bits που εκτελείται σε κάποιο υπολογίσιμο αριθμό κύκλων συστήματος. Εάν έχει επιστρέψει μετά από αυτό το χρόνο στον buffer εισόδου (προσωρινή αποθηκευτική μνήμη) του master, ο

δακτύλιος κλείνει. Τα δεδομένα μπορούν να ανιχνευθούν για λάθη με τον CRC16 αλγόριθμο.

### ➤ 3.3.3.8 LonWorks

Το LonWorks είναι μία δικτυακή πλατφόρμα σχεδιασμένη ειδικά με σκοπό να ανταπεξέλθει στις ανάγκες κορυφαίων επιδόσεων, αξιοπιστίας, εγκατάστασης και συντήρησης των εφαρμογών ελέγχου. Είναι χτισμένη πάνω σε ένα πρωτόκολλο χαμηλού εύρους ζώνης από την εταιρεία Echelon Corporation για διαδίκτυωση συσκευών με μέσα μετάδοσης όπως συνεστραμμένου ζεύγους καλώδια, αγωγούς ηλεκτρικού ρεύματος, οπτικές ίνες και RF. Συναντάται κυρίως σε αυτοματισμούς κτιρίων.

Το LonWorks βασίζεται σε ένα πρωτόκολλο της ίδιας εταιρίας, το LonTalk. Το τελευταίο υλοποιεί και τα 7 επίπεδα του μοντέλου OSI. Μερικές από τις δυνατότητές του είναι η επιβεβαίωση ανταλλαγής δεδομένων, επικοινωνία peer-to-peer, αποφυγή συγκρούσεων στο μέσο μεταφοράς, αναγνώριση «διπλών» μηνυμάτων, υποστήριξη client-server λειτουργίας, πολλαπλούς ρυθμούς μετάδοσης, μετάδοση σε πολλαπλούς σταθμούς ταυτόχρονα (broadcasting) και αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων με ελέγχους 16-bit κυκλικής περιττότητας (CRC-16). Παρακάτω φαίνεται για κάθε επίπεδο του μοντέλου OSI οι υπηρεσίες που προσφέρονται στο LonWorks.

	OSI Layer	Purpose	Services Provided
7	Application	Application compatibility	<ul style="list-style-type: none"><li>• Standard objects and types</li><li>• Configuration properties</li><li>• File transfer</li><li>• Network services</li></ul>
6	Presentation	Data interpretation	<ul style="list-style-type: none"><li>• Network variables</li><li>• Application messages</li><li>• Foreign frames</li></ul>
5	Session	Control	<ul style="list-style-type: none"><li>• Request-response</li><li>• Authentication</li></ul>
4	Transport	End-to-end reliability	<ul style="list-style-type: none"><li>• End-to-end acknowledgement</li><li>• Service type</li><li>• Packet sequencing</li><li>• Duplicate detection</li></ul>
3	Network	Message delivery	<ul style="list-style-type: none"><li>• Unicast and multicast addressing</li><li>• Packet routing</li></ul>
2	Data link	Media access and framing	<ul style="list-style-type: none"><li>• Framing and data encoding</li><li>• Error checking</li><li>• Media access</li><li>• Collision avoidance and detection</li></ul>
1	Physical	Electrical	<ul style="list-style-type: none"><li>• Media-specific interfaces</li></ul>

Το πρωτόκολλο βασίζεται σε μία τεχνική πρόσβασης μέσου παρόμοια με του Ethernet, την “predictive persistent CSMA, with optional priority & collision detection”. Αυτή προσφέρει γραμμική απόκριση σε σύγκριση με τον φόρτο δικτύου και συνεπώς επιτρέπει «προβλέψιμη» απόδοση ακόμη και για επιβαρυσμένα δίκτυα αλλά και σταθερή απόδοση ανεξάρτητα από το μέγεθος του δικτύου.

Ακόμη, προσφέρει ασφάλεια αφού όλες οι λειτουργίες του δικτύου διεξάγονται χρησιμοποιώντας μία πλήρη «πιστοποιήση αποστολέα» ως μία υπηρεσία του 4<sup>ου</sup> επιπέδου του OSI. Αυτό παρέχει εγγύηση αυθεντικότητας που δε μπορεί να παρακαμφθεί εύκολα. Επειδή αυτή η λογική είναι ενσωματωμένη στο hardware, κάθε συσκευή για δίκτυα LonWorks είναι βέβαιο ότι θα την υποστηρίζει και ότι θα ακολουθείται κατ'επέκταση από όλο το δίκτυο.

Χρησιμοποιεί έναν ειδικό μικροεπεξεργαστή, το «Neuron chip». Αυτό αποτελείται κατ'ουσίαν από 3 εσωτερικούς 8-bit επεξεργαστές, δύο από αυτούς εκτελούν το πρωτόκολλο LonTalk και ένας είναι υπεύθυνος για τις εφαρμογές του κόμβου. Στον μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης των 1.25 Mbps, χρησιμοποιώντας συνεσταμμένο ζεύγος καλωδίων, το πρωτόκολλο LonTalk υποστηρίζει περισσότερες από 500 συναλλαγές ανα δευτερόλεπτο, στην περίπτωση ενός 12-bits μηνύματος.

### ➤ 3.3.3.9 Modbus

Το Modbus είναι ένα πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας με μετάδοση half-duplex που σχεδιάστηκε από την Schneider Automation Inc. το 1979 για χρήση με τους ελεγκτές PLC. Σταδιακά, έγινε ένα ντε-φάκτο πρότυπο στη βιομηχανία και πλέον αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τρόπο σύνδεσης βιομηχανικών ηλεκτρονικών συσκευών. Οι κύριοι λόγοι που χρησιμοποιείται εκτεταμένα και προτιμάται από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα είναι

1. είναι «ανοικτό», ελεύθερο πρωτόκολλο
2. μπορεί να υλοποιηθεί σε μερικές μέρες κι όχι σε μήνες
3. μεταφέρει καθαρά bits ή words (λέξεις) χωρίς πολλούς περιορισμούς

Επιτρέπει επικοινωνία μεταξύ πολλών συσκευών συνδεδεμένων στο ίδιο δίκτυο. Για παράδειγμα, ένα σύστημα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας (με χρήση αισθητήρων) και μεταφέρει τα αποτελέσματα σε έναν υπολογιστή. Χρησιμοποιείται συχνά για να συνδέσει έναν επιβλέποντα υπολογιστή με έναν RTU (μονάδα απομακρυσμένου ελέγχου) σε συστήματα ελέγχου, επίβλεψης και συλλογής δεδομένων (συστήματα SCADA). Υπάρχουν δύο εκδοχές του πρωτοκόλλου, μία για σειριακή επικοινωνία και η άλλη μέσω Ethernet.

Δύο παραλλαγές υπάρχουν, με διαφορετικές αναπαραστάσεις αριθμητικών δεδομένων και μικρές διαφορές στο πρωτόκολλο. Το Modbus RTU είναι μία συμπαγής, δυαδική αναπαράσταση των δεδομένων. Το Modbus ASCII είναι ανθρωπίνως αναγνώσιμο και λιγότερο «λακωνικό». Και τα δύο χρησιμοποιούν σειριακή επικοινωνία και έλεγχο ορθότητας δεδομένων (CRC). Κόμβοι στημένοι για το Modbus RTU δεν επικοινωνούν με κόμβους για το Modbus ASCII και αντιστρόφως. Το Modbus/TCP είναι παραπλήσιο με το RTU, μόνο που μεταδίδει τα δεδομένα του πρωτοκόλλου με πακέτα TCP/IP. Σε αντίθεση με τα πρότυπα ASCII και RTU, το Modbus/TCP είναι ένα connection-oriented πρωτόκολλο, δηλαδή θα πρέπει πρώτα να

εγκαθιδρυθεί μία σύνδεση προτού αρχίζει η διακίνηση δεδομένων. Επιτρέπει πολλαπλές σύγχρονες συνδέσεις στον ίδιο slave αλλά και σε πολλαπλούς slaves.

Το Modbus τοποθετείται στο ανώτερο επίπεδο του μοντέλου OSI, το επίπεδο εφαρμογών. Στηρίζεται σε αρχιτεκτονική master/slave ή πελάτη/διακομιστή. Κάθε συσκευή που προορίζεται για επικοινωνία μέσω Modbus λαμβάνει μία μοναδική διεύθυνση. Οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να στείλει μία εντολή Modbus, αν και συνήθως μόνο μία master συσκευή το κάνει. Μια εντολή Modbus περιλαμβάνει τη διεύθυνση Modbus της συσκευής προορισμού. Μόνο αυτή η συσκευή θα αντιδράσει στην εντολή παρόλο που θα παραληφθεί κι από άλλες. Όλες οι εντολές περιέχουν πληροφορίες ελέγχου ακεραιότητας. Οι βασικές εντολές Modbus μπορούν να διατάξουν μία RTU να αλλάξει μία τιμή σε κάποιο από τους καταχωρητές της, ή να επιστρέψει μία ή περισσότερες τιμές που περιέχονται αυτούς. Στο πρωτόκολλο αυτό, υπάρχει η δυνατότητα broadcasting, δηλαδή ο master να στείλει το ίδιο μήνυμα σε όλους τους slaves ταυτόχρονα. Με αυτό τον τρόπο φυσικά δεν υπάρχουν εγγυήσεις παράδοσης οπότε χρησιμοποιείται κυρίως για μη καίρια ζητήματα όπως ο συγχρονισμός των συσκευών. Ένα τυπικό μήνυμα Modbus έχει την ακόλουθη δομή: <διεύθυνση προορισμού> <Κωδικός λειτουργίας> <Δεδομένα> <Έλεγχος σφαλμάτων>. Υπάρχουν πολλά modem που υποστηρίζουν Modbus. Διαφορετικές υλοποιήσεις του προτύπου χρησιμοποιούν καλώδια, ασύρματη επικοινωνία, ακόμη και SMS και GPRS. Τυπικά είναι τα προβλήματα συγχρονισμού με αυτό το πρωτόκολλο.

Επειδή το Modbus σχεδιάστηκε στα τέλη του 1970, το πλήθος των τύπων δεδομένων περιορίζεται σε αυτούς που αναγνωρίζονταν από τα PLC εκείνη την εποχή. Δεν υπάρχει καθορισμένος τρόπος για να βρεί ένας κόμβος την περιγραφή ενός αντικειμένου δεδομένων, π.χ. να καταλάβει ότι η τιμή σε κάποιο καταχωρητή αναπαριστά τη θερμοκρασία μεταξύ 30 και 175 βαθμών. Αφού το Modbus είναι ένα master/slave πρωτόκολλο, δεν υπάρχει τρόπος κάποια συσκευή να αναφέρει σε κάθε αλλαγή δεδομένων, έτσι ο master πρέπει να ρωτάει κάθε συσκευή πεδίου διαδοχικά για να δει εάν άλλαξαν κάποια δεδομένα. Αυτό βέβαια, καταναλώνει bandwidth και χρόνο απόκρισης στο δίκτυο σε εφαρμογές απαιτητικές σε εύρος ζώνης. Το Modbus περιορίζεται στη διευθυνσιοδότηση 254 συσκευών σε κάθε δίκτυο, που περιορίζει φυσικά τον αριθμό των field devices που συνδέονται σε κάποιον master.

Το πρωτόκολλο δεν ορίζει κάποιο συγκεκριμένο φυσικό επίπεδο και συνεπώς μπορεί να δουλέψει σε διάφορα τέτοια. Οι εκδοχές ASCII και RTU λειτουργούν σε δίκτυα με RS-232C, RS-422 και RS-485. Ακόμη, μπορεί να λειτουργήσει σε όλα τα φυσικά επίπεδα δικτύου που υποστηρίζουν TCP/IP. Για να υλοποιήσουμε την multi-drop λειτουργία του Modbus, χρειαζόμαστε ένα multi-point δίκτυο σαν το RS-485.

### ➤ 3.3.3.10 PROFIBUS

Το PROFIBUS είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους Fieldbus με περισσότερους από 14 εκατομύρια κόμβους παγκοσμίως. Αναπτύχθηκε το

1989 σαν αποτέλεσμα ενός γερμανικού ερευνητικού project. Υπάρχουν τρεις εκδοχές του PROFIBUS, αυτές είναι:

- PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification) που χρησιμοποιείται, βασισμένο στο μοντέλο Client-Server, για την επικοινωνία συσκευών αυτοματισμού.
- PROFIBUS-DP (Decentralised Periphery) που χρησιμοποιείται για γρήγορη, κυκλική διακίνηση δεδομένων μεταξύ των field devices και για διασύνδεση των field devices σε μία συσκευή ελέγχου. Επικοινωνεί στα 93.75 Kbps ή λιγότερα σε απόσταση 1200 μέτρων. Φτάνει μέχρι και τα 12 Mbps αλλά στη μικρή απόσταση των 100 μέτρων. Αποτελεί την ιδανική λύση για εφαρμογές με πολύ στενό «περιθώριο» χρόνου, αφού απαιτείται λιγότερο από 2ms για τη μετάδοση 1Kbyte δεδομένων. Αυτό το πρωτόκολλο επικοινωνεί αποκλειστικά με κυκλική διακίνηση πληροφορίας. Κάθε συσκευή πεδίου ανταλλάσει δεδομένα εισόδου και εξόδου με τον master κάθε τακτά χρονικά διαστήματα, που καλείται cycle time. Η επικοινωνία είναι ομότιμων κόμβων (peer-to-peer), multi-cast ή κυκλική master/slave με χρήση token.
- PROFIBUS-PA (Process Automation) που χρησιμοποιείται για τον παραπάνω σκοπό, αυτό όμως επιτρέπει την ασφαλή μετάδοση δεδομένων και ηλεκτρικού ρεύματος στη γραμμή. Επικοινωνεί στα 31.25 Kbps και έχει μία μέγιστη απόσταση των 1,900 μέτρων ανα κλάδο. Αν χρησιμοποιηθούν επαναλήπτες, φτάνει τα 9500 μέτρα. Χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική client/server.

Υπάρχει και η παραλλαγή PROFINet, η οποία είναι ένα πρωτόκολλο που επιτρέπει Profibus επικοινωνία μέσω Ethernet δικτύων.

Το μέσο μετάδοσης μπορεί να είναι είτε καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους είτε οπτική ίνα. Η τοπολογία του δικτύου είναι είτε διαύλου (bus), είτε δακτυλίου, είτε αστέρα. Χρησιμοποιείται για διασύνδεση συσκευών αναλογικού αλλά και διακριτού ελέγχου. Ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να μεταφερθεί ξεχωριστά από τον δίαυλο επικοινωνίας, σε ένα ειδικό παράλληλο δίαυλο, εκτός από το PROFIBUS-PA όπου μπορεί να παρέχεται τροφοδοσία στον ίδιο τον δίαυλο επικοινωνίας. Το μέσο μεταφοράς είναι θωρακισμένος αγωγός συνεστραμμένου ζεύγους ή οπτική ίνα.

### ➤ 3.3.3.11 BITBUS

Το Bitbus είναι ένα Fieldbus πρωτόκολλο, βασισμένο σε παγιωμένες τεχνολογίες μετάδοσης όπως η RS-485. Είναι ένα εύχρηστο σύστημα επικοινωνίας master/slave που επιτρέπει σε έναν master να «μιλάει» με μέχρι και 249 slaves. Πρόκειται για ένα διεθνές πρότυπο, γνωστό κι ως IEEE-1118. Ο τυπικός ρυθμός δεδομένων για ένα τέτοιο δίκτυο είναι 375 Kbit/s για απόσταση 300m και 62,5 Kbit/s στα 1200m. Παρόλο που είναι σχετικά μικρός, έχει σημασία και το overhead του πρωτοκόλλου που είναι πολύ μικρό.

Συγκεκριμένα, το Bitbus έχει χρόνους πρόσβασης που κυμαίνονται στα 3-4 ms ανά εντολή. Σε κάθε μήνυμα, μπορούμε να στείλουμε ένα μέγιστο 248 bytes καθαρών δεδομένων. Συνδέεται σε τοπολογία διαύλου και τερματίζεται και στις δύο άκρες του. Προσφέρει σύγχρονη επικοινωνία, κάνει χρήση ειδικών opening και closing bits καθώς και έλεγχο διευθύνσεων. Ακόμη, έχει σχεδιαστεί για να είναι αξιόπιστο. Ακολουθεί το SDLC πρωτόκολλο (το οποίο εφήυρε η IBM και χρησιμοποιείται στην τεχνολογία ISDN) και υιοθετεί ένα πολύ δυνατό αλγόριθμο ανίχνευσης λαθών, τον CRC. Εάν υπάρξει σφάλμα, το bitbus θα το ανακαλύψει και θα το χειριστεί.

### ➤ 3.3.3.12 Industrial Ethernet

Η χρήση του πρωτοκόλλου Ethernet σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον για αυτοματισμό και έλεγχο μηχανών σε γραμμές παραγωγής καλείται βιομηχανικό Ethernet (Industrial Ethernet). Όπως είδαμε παραπάνω, στο επίπεδο πεδίου, ένας ελεγκτής PLC επικοινωνούσε με μία slave συσκευή χρησιμοποιώντας ένα από τα πολλά πρωτόκολλα Fieldbus που είδαμε, όπως το Modbus, το Profibus, το CANopen, το DeviceNet κτλ. Παρόλα αυτά, υπάρχει μία τάση ενδιαφέροντος προς τη χρήση του Ethernet ως το πρωτόκολλο στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων με κάποιο από το παραπάνω πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογών. Αυτό προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα

1. Αυξημένη ταχύτητα, από 9.6 kbit/s με RS232 ως 1 Gbit/s με IEEE 802 και καλώδια Cat5e/Cat6 ή οπτική ίνα
2. Αυξημένες συνολικές επιδόσεις
3. Δυνατότητα διασύνδεσης σε μεγαλύτερη απόσταση
4. Ικανότητα χρήσης «κοινού εξοπλισμού» όπως σημείων πρόσβασης, δρομολογητών, μεταγωγέων, hubs καλωδίων και οπτικών ινών που είναι κατά πολύ φθηνότερα από τον «εξειδικευμένο» εξοπλισμό για βιομηχανική δικτύωση.
5. Ευκολία στη σχεδίαση δικτύων ομότιμων σταθμών (peer-to-peer)
6. Καλύτερη διαλειτουργικότητα

Υπάρχουν και κάποια εμπόδια βέβαια σχετικά με το βιομηχανικό Ethernet, όπως

1. Μεταφορά υπάρχοντων συστημάτων σε ένα νέο πρωτόκολλο (αν και υπάρχουν μετατροπείς για αυτό το σκοπό)
2. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν TCP μπορεί να μην είναι ικανά σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες δράσης σε πραγματικό χρόνο που συναντούμε στη βιομηχανία. Γι'αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως αυτά που κάνουν χρήση πρωτοκόλλου UDP (Το πρωτόκολλο UDP δεν είναι πολύ αξιόπιστο, όπως το TCP, δεν προσφέρει «εγγυήσεις» για τη μεταφορά δεδομένων, αλλά είναι πολύ πιο γρήγορο)
3. Ο χειρισμός ενός ολόκληρου σωρού TCP/IP είναι πολύ πιο πολύπλοκος από το απλά να παραλαμβάνουμε σειριακά δεδομένα.

Επεκτείνοντας τη σκέψη που παρουσιάστηκε στο δεύτερο μειονέκτημα, πρέπει να πούμε ότι το Ethernet στηρίζεται στο πρότυπο CSMA/CD (carrier

sense multiple access with collision detection). Σύμφωνα με το παραπάνω, χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός που «ακούει» το μέσο μετάδοσης για να ελέγξει εάν εκείνη τη στιγμή κάποιος άλλος μεταδίδει. Εάν τη στιγμή που μεταδίδει κάποιος σταθμός, αυτός ανιχνεύσει κάποιο άλλο σήμα παρεμβολής, τότε σταματά αμέσως τη μετάδοση, μεταδίδει ένα ειδικό jam signal που μπλοκάρει προσωρινά τη μετάδοση και των άλλων σταθμών, περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα (γνωστό και ως back-off delay) και δοκιμάζει να το ξαναστείλει μετά. Αυτό το διάστημα καθορίζεται βάσει κάποιου εκθετικού αλγόριθμου.

Είναι ξεκάθαρο ότι πρόκειται για ένα πιθανοκρατικό πρότυπο όπου δε μπορούμε να εγγυηθούμε ότι το μήνυμα μεταξύ δύο σταθμών θα φτάσει σε κάποια milliseconds. Τα σημερινά Ethernet δίκτυα προσφέρουν τρομερά μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης αλλά παρόλα αυτά, είναι πολύ δύσκολο να προσφέρουν τη «σιγουριά» που απαιτείται σε time-critical βιομηχανικές εφαρμογές. Σε αντιπαράθεση με αυτό, είδαμε τα Fieldbus δίκτυα όπου υπάρχει ένας ή περισσότεροι masters οι οποίοι «συντονίζουν» την κυκλοφορία στο δίκτυο και δεν υπάρχει αυτή η λογική δοκιμής και σφάλματος στη μετάδοση.

Παρόλα αυτά, λόγω της ραγδαίας εξέλιξης και διάδοσης των Ethernet δικτύων, είναι κάπως συνηθισμένο φαινόμενο να χρησιμοποιούνται και στη βιομηχανία σε ανώτερο επίπεδο, για τη διασύνδεση των H/Y με τον κεντρικό ελεγκτή.

### Εφαρμόζοντας Quality of Service (QoS) στο βιομηχανικό Ethernet

Ένα δίκτυο βιομηχανικού Ethernet μπορεί να μεταδίδει πολλά διαφορετικά είδη πληροφορίας, από δεδομένα ρουτίνας μέχρι και σημαντικά δεδομένα ελέγχου πραγματικού χρόνου, ή ακόμη και video ή φωνή τα οποία είναι πολύ απαιτητικά σε bandwidth. Το δίκτυο θα πρέπει να ξεχωρίζει αυτούς τους τύπους δεδομένων και να τους αποδίδει την κατάλληλη προτεραιότητα.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό, μπορεί να υλοποιηθεί Quality of Service με χρήση διάφορων τεχνικών.

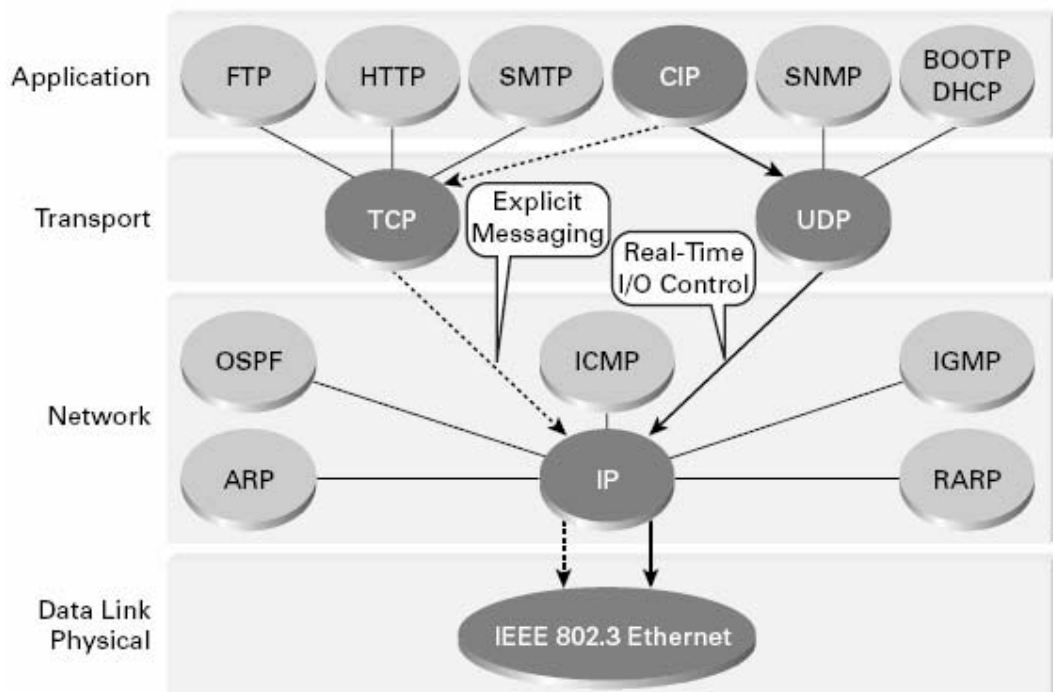
- Με χρήση τεχνικών κατηγοριοποίησης, οι διάφοροι τύποι δεδομένων πρέπει να μπορούν να αναγνωρισθούν.
- Προχωρημένες τεχνικές διαχείρισης του buffer για να αποτραπεί η απόρριψη κάποιου «σημαντικού» πακέτου λόγω συμφόρησης του δικτύου.
- Τεχνικές χρονοπρογραμματισμού πρέπει να ενσωματωθούν για τη μετάδοση αυτών των σημαντικών πακέτων από τις ουρές (από τον buffer) το γρηγορότερο δυνατό.

Με τη χρήση εξελιγμένων switches σε ένα Ethernet δίκτυο, είναι δυνατόν να φέρουμε αυτή την ιδέα στην πράξη. Ένα τέτοιο switch μπορεί να ρυθμιστεί με τρόπο ώστε να ταξινομεί ιεραρχικά πλαίσια βασισμένο σε διάφορα κριτήρια σε διάφορα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI. Για παράδειγμα, η κίνηση

στο δίκτυο μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με τη φυσική διεύθυνση (MAC address) του αποστολέα ή την TCP θύρα του παραλήπτη.

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ: Η κάρτα διασύνδεσης δικτύου (NIC) που υπάρχει σε κάθε υπολογιστή (και συνεπώς σε κάθε παραλήπτη) έχει μία ΜΟΝΑΔΙΚΗ διεύθυνση, αυτή είναι η MAC address. Ακόμη, για την επικοινωνία των υπολογιστών, οι εφαρμογές μεταξύ τους επικοινωνούν χρησιμοποιώντας κάποιες θύρες, κάποια εικονικά «παράθυρα» δηλαδή με τη βοήθεια των οποίων επικοινωνούν οι εφαρμογές μεταξύ τους.

Σε μία εφαρμογή βιομηχανικού Ethernet, τα πραγματικού χρόνου δεδομένα ελέγχου θα μπορούν να μοιράζονται δικτυακούς πόρους με άλλες ροές δεδομένων (μη σημαντικές) π.χ. με FTP σύνδεση. Χρησιμοποιώντας Quality of Service, μπορούμε να δώσουμε υψηλή προτεραιότητα σε κίνηση UDP (για time-critical δεδομένα) και χαμηλή στις συνδέσεις TCP, αποφεύγοντας πολλές φορές καθυστερήσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν λειτουργίες ελέγχου στη βιομηχανία.

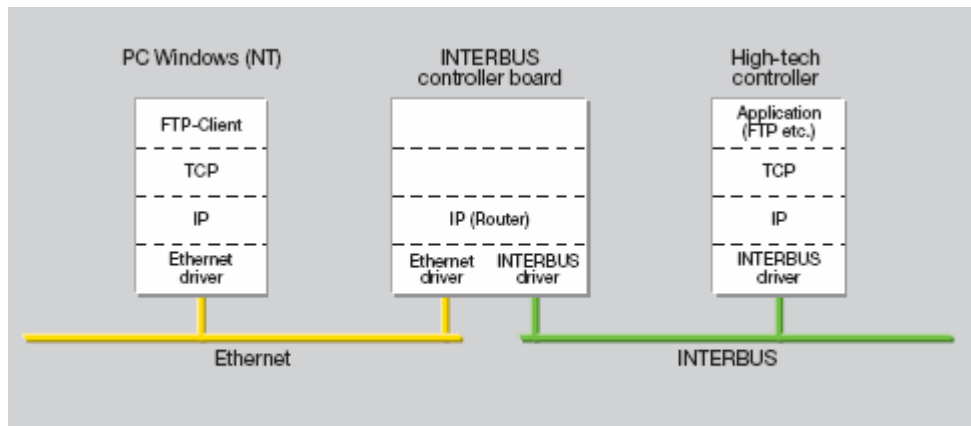


Στο παραπάνω σχήμα, φαίνεται ότι το πρωτόκολλο SIP (πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ελέγχου στο επίπεδο εφαρμογών για τη δημιουργία, μεταβολή και τερματισμό «συνεδριών» με έναν ή περισσότερους συμμετέχοντες) αλλά και τα άλλα πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογών μπορούν να στείλουν δεδομένα μέσα από διαφορετικά «μονοπάτια» στο επίπεδο μεταφοράς, βάσει των οποίων μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός προτεραιότητας.

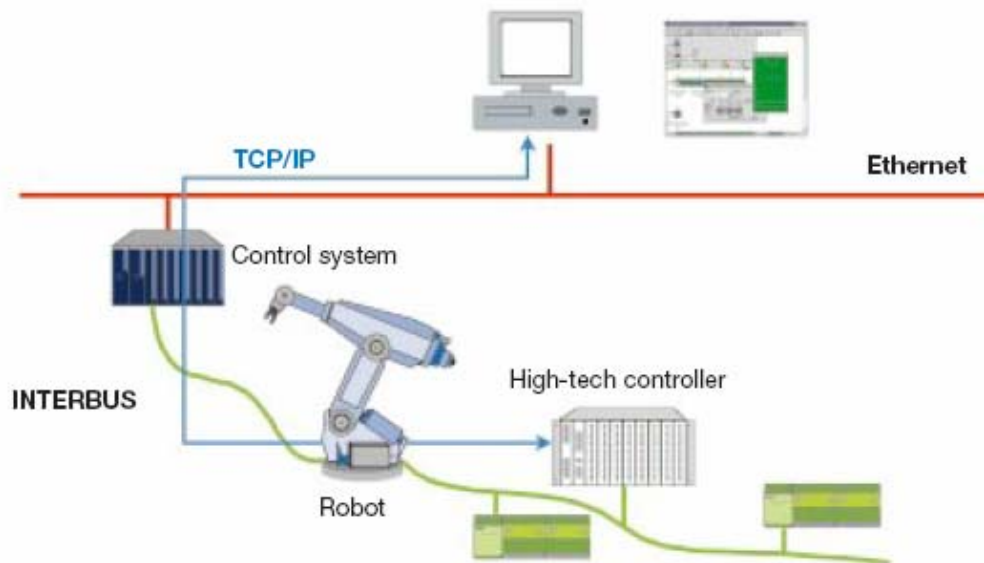
#### **4. Συγκεκριμένη περίπτωση υλοποίησης λύσεων στη βιομηχανία (case study)**

Στην παρακάτω εικόνα, βλέπουμε ένα παράδειγμα όπου έχει στηθεί δίκτυο Ethernet μεταξύ του H/Y και του control system και ο High-tech controller επικοινωνεί με τον H/Y μέσω του TCP/IP.





*TCP/IP protocol communication through Ethernet and INTERBUS without limits*



**FTP file transfer over Ethernet and INTERBUS**

Για παράδειγμα, στο Interbus, η εφαρμογή FTP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατεβάσει προγράμματα ελέγχου και άλλα δεδομένα σε κάποιο high-tech ελεγκτή. Ο χειρισμός μίας μεγάλης εγκατάστασης αυτοματισμού δεν είναι ανάγκη να χειρίζεται απλά από ένα τοπικό κεντρικό υπολογιστή αλλά μπορεί και από ένα απομακρυσμένο. Το TCP/IP «ανοίγει» τον αυτοματισμό στον κόσμο του Internet. Το συνήθες interface για το χειρισμό μίας τέτοιας εγκατάστασης θα είναι οι γνωστοί μας Web-browsers, όπως ακριβώς σήμερα χειριζόμαστε τον Router (εάν έχουμε) στην ADSL εγκατάσταση στο σπίτι μας από κάποιο web-interface.

## **5. Συμπεράσματα**

Ο χώρος του βιομηχανικού αυτοματισμού απαιτεί αξιόπιστη δικτύωση και συγκεκριμένα, ένα ντετερμινιστικό δίκτυο (που να διακρίνεται από αναμενόμενους χρόνους μετάδοσης) με χρόνους απόκρισης της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου (msec) και 99.99% περίοδο λειτουργίας. Μέχρι και σήμερα, διακρίνονται σε πολλές βιομηχανίες χρήση των πρωτοκόλλων Fieldbus που είδαμε παραπάνω αλλά βέβαια, υπάρχει σημαντική τάση να

κυριαρχήσει στον τομέα αυτό η δικτύωση Ethernet, όχι μόνο ανάμεσα στους σταθμούς ελέγχου διεργασιών (στους υπολογιστές) αλλά και στις μηχανές παραγωγής. Παρόλα αυτά, η τελευταία μόδα του Ethernet, δεν έχει δοκιμαστεί εκτενώς σε βιομηχανικές εφαρμογές και είναι αμφίβολη η ικανότητά της να ανταπεξέλθει σε τέτοιες απαιτήσεις. Το switched Ethernet (σε αντίθεση με το παραδοσιακό Ethernet) αποτρέπει τις συγκρούσεις με τη βοήθεια συνήθως ενός δρομολογητή (router). Ο τελευταίος παίζει το ρόλο του «διαιτητή» και δημιουργεί μία εικονική ιδιωτική σύνδεση για κάθε δύο κόμβους στο δίκτυο που θέλουν να επικοινωνήσουν. Αποτέλεσμα είναι το σημερινό Ethernet να έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα ενώ παραμένει σχετικά φθηνό στην υλοποίησή του, κάτι που το κάνει ιδιαίτερα ελκυστική πρόταση για εφαρμογή του στη βιομηχανία. Στον αντίποδα, τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δικτύωσης στη βιομηχανία έχουν σχεδιαστεί εξ'αρχής με γνώμονα την αξιοπιστία στη μετάδοση πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο, την ταχύτητα απόκρισης καθώς και την σχετική έλλειψη ευαισθησίας σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Ο χρόνος θα δείξει κατά πόσο θα μπορέσει το Ethernet να εισβάλλει ολοκληρωτικά στη σύγχρονη βιομηχανία.

## **6. Βιβλιογραφία**

- **Fieldbus Tutorial**  
Clyve Maynard, Senior Lecturer in Computer Engineering, Department of Electrical & Computer Engineering,  
Curtin University of Technology  
<http://kernow.curtin.edu.au/www/Fieldbus/fieldbus.htm>
- **Some Fieldbus Questions**  
Romilly's HART® and Fieldbus Web Site Romilly Bowden, Consultant in Industrial Control Software and Communications  
<http://www.romilly.co.uk/fbfaq.htm>
- **Field buses**  
Providing detailed electronic design information regarding Interface, Computer, Cable, Processor and Embedded Buses.  
[http://www.interfacebus.com/Design\\_Connector\\_Field\\_Buses.html](http://www.interfacebus.com/Design_Connector_Field_Buses.html)
- **Έγγραφο της Schneider Electric για τα AS-I networks**  
[http://www.squared.com/us/products/gendoc.nsf/07a0210021262d45862564b5006e4f84/c14a21aabfacee1685257043006caf86/\\$FILE/Section%2026.pdf](http://www.squared.com/us/products/gendoc.nsf/07a0210021262d45862564b5006e4f84/c14a21aabfacee1685257043006caf86/$FILE/Section%2026.pdf)
- **What is AS-i?**  
As-i Expert Alliance  
<http://www.as-interface.com/whatisasi.asp>
- **AS-Interface, The System**  
<http://www.as-interface.net/System/>
- **CAN Introduction and Fundamentals**  
[http://microcontroller.com/learn-embedded/CAN1\\_sie/CAN1big.htm](http://microcontroller.com/learn-embedded/CAN1_sie/CAN1big.htm)
- **The CAN Protocol tour**  
Kvaser, One of the world's leading CAN development companies  
<http://www.kvaser.com/can/protocol/index.htm>
- **DeviceNet overview and analysis**  
Stonel, Leaders in Process Networking and Valve Communication Technology

<http://www.stonel.com/fieldlink/pdfs/DNsection.pdf>

- **Introduction to DeviceNet**  
CANS, a company specializing in the automation and automotive network technologies  
[http://www.cans.com.my/modules.php?name=FAQ&myfaq=yes&id\\_cat=3&categories=DeviceNet](http://www.cans.com.my/modules.php?name=FAQ&myfaq=yes&id_cat=3&categories=DeviceNet)
- **EtherCAT Technical Introduction and Overview**  
EtherCAT Technology Group  
<http://www.ethercat.org/introduction.html#1>
- **EtherCAT - Industrial Ethernet Protocol**  
HMS Industrial Networks - Connecting Devices™  
<http://www.anybus.com/technologies/ethercat.shtml>
- **FOUNDATION Fieldbus, technical information**  
SAMSON AG, Automation components manufacturer  
[www.samson.de/pdf\\_en/l454en.pdf](http://www.samson.de/pdf_en/l454en.pdf)
- **FOUNDATION Fieldbus, Frequently Asked Questions**  
[http://www.fieldbus.org/index.php?option=com\\_simplefaq&Itemid=309](http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_simplefaq&Itemid=309)
- **About HART**  
Analog Services, Electrical Engineering Consultants  
in Industrial Process Control Devices (Fieldbus and HART), and  
Biomedical Devices  
[http://www.analogservices.com/about\\_part1.htm](http://www.analogservices.com/about_part1.htm)
- **HART Protocol Overview**  
HART Communication Foundation is the technology owner and standards setting body for the HART Protocol  
<http://www.hartcomm.org/technical/overview.html>
- **InterBus Basics**  
The INTERBUS Club is a worldwide operating organisation whose target is to promote the distribution and positioning of automation technology, in particular INTERBUS, in cooperation with its members  
<http://www.interbusclub.com/>
- **Introduction to Interbus: Technical overview**  
US Interbus Club  
<http://www.ibsclub.com/intro/techoverview/>
- **Introduction to the LonWorks platform**  
Echelon Corporation  
<http://www.echelon.com/training/etraining/register.asp>
- **LonWorks Frequently Asked Questions**  
Echelon Corporation  
<http://www.echelon.com/developers/lonworks/faq.htm>
- **Modbus RTU Protocol Overview**  
FieldServer technologies  
[http://www.procoessor.com/techsupport/Modbus\\_RTU\\_Protocol\\_Overview.asp](http://www.procoessor.com/techsupport/Modbus_RTU_Protocol_Overview.asp)
- **Modbus Protocol specification**  
Modbus-IDA, The Architecture for Distributed Automation  
[http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1a.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1a.pdf)

- **What You should know about Modbus**  
 ModbusDRIVER.com is FOCUS Software Engineering's business unit responsible for Modbus® compatible software products.  
<http://www.modbusdriver.com/doc/libmbusmaster/modbus.html>
- **Profibus overview**  
 TopWorx is the leader in field networking, valve control, and position sensing solutions for the process industries.  
[http://www.topworx.com/fn\\_pb.html](http://www.topworx.com/fn_pb.html)
- **PROFIBUS-PA, Technical information**  
 SAMSON AG, Automation components manufacturer  
[http://www.samson.de/pdf\\_en/l453en.pdf](http://www.samson.de/pdf_en/l453en.pdf)
- **Frequently asked questions about BITBUS**  
 The BITBUS EUROPEAN USERS GROUP e.V. (BEUG) was established for the advancement of the BITBUS technology, know-how transfer and protection of investment.  
<http://www.bitbus.org/faq.htm>
- **BITBUS Basics**  
 ELZET80, Manufacturer of microcomputer boards and control equipment for industrial applications  
<http://www.elzet80.com/bitbusspecs.shtml>
- **Industrial Ethernet**  
 Wikipedia, the free encyclopedia  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_Ethernet](http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Ethernet)
- **Industrial Ethernet : A Control Engineer's Guide**  
 Cisco Systems, Inc. is a global company headquartered in San Jose, California, that designs and sells networking and communications technology and services under three brands: Cisco, Linksys, and Scientific Atlanta.  
[http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps628/c1244/dccont\\_0900aec8013313e.pdf](http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps628/c1244/dccont_0900aec8013313e.pdf)
- **Case Study, Ethernet and INTERBUS – Communication Without Limits**  
 The INTERBUS Club is a worldwide operating organisation whose target is to promote the distribution and positioning of automation technology, in particular INTERBUS, in cooperation with its members  
[http://www.interbusclub.com/en/doku/pdf/ib\\_eth\\_e.pdf](http://www.interbusclub.com/en/doku/pdf/ib_eth_e.pdf)