

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University of Macedonia

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά

Master Information Systems

Συστήματα

Computer Networks

Δίκτυα Υπολογιστών

Professor: A.A. Economides

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Ασύρματα Βιομηχανικά Δίκτυα

Industrial Wireless Networks



Γιαννίκου Αγγελική

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013

Περιεχόμενα

Περίληψη-Abstract.....	σελ. 3
Εισαγωγή.....	σελ. 4
1. Ασύρματα Δίκτυα.....	σελ. 6
1.1 Bluetooth.....	σελ. 7
1.1.1 Βασικά χαρακτηριστικά Bluetooth.....	σελ. 7
1.1.2 Πρωτόκολλα Bluetooth.....	σελ. 8
1.2 ZigBee.....	σελ. 8
1.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά ZigBee.....	σελ. 9
1.2.2 Πρωτόκολλα ZigBee.....	σελ. 9
1.3 Wi-Fi.....	σελ. 10
1.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi.....	σελ. 10
1.3.2 Πρότυπα Wi-Fi.....	σελ. 11
1.4 WiMAX	σελ. 12
1.4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά WiMAX	σελ. 12
1.4.2 Πρωτόκολλα WiMAX	σελ. 13
1.5 Cellular.....	σελ. 13
1.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Cellular.....	σελ. 13
1.3.2 Πρότυπα Cellular.....	σελ. 14
2. Εφαρμογές στη Βιομηχανία.....	σελ. 15
2.1 Ανταλλαγή άμεσων μηνυμάτων μεταξύ PLCs(Implicit Messages)	σελ.16
2.2 Ασύρματα δίκτυα για HMI(διεπαφή ανθρώπου-μηχανής)	σελ.17
2.3 Συστήματα τηλεελέγχου (SCADA)	σελ.18

2.4 Αποστολή έμμεσων μηνυμάτων (Explicit Messages)	σελ. 19
3. Μελέτες Περιπτώσεων.....	σελ. 20
3.1 Περίπτωση Remex.....	σελ. 20
3.2 Περίπτωση Soil Instruments Ltd.....	σελ.21
Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	σελ. 23
Βιβλιογραφία.....	σελ. 24

Περίληψη

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών η ανάγκη για γρήγορες και εύκολες λύσεις οδήγησε τις βιομηχανικές επιχειρήσεις στην εφαρμογή τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης. Το κύριο πλεονέκτημα της ασύρματης δικτύωσης είναι η δυνατότητα συσσώρευσης και ανάλυσης τεράστιου όγκου δεδομένων με πολύ χαμηλό κόστος και χωρίς την χρήση καλωδίων. Οι βιομηχανικές επιχειρήσεις επιλέγουν πλέον την χρήση της ασύρματης δικτύωσης. Σε σκληρά περιβάλλοντα με ακραίες θερμοκρασίες, υγρασία, υψηλές δονήσεις αποτελεί βέλτιστη λύση. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει συνοπτικά ποια ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως σε μια βιομηχανική μονάδα, πώς χρησιμοποιούνται και πώς εφαρμόζονται.

Abstract

Through the last years the need for rapid and easily applicable solutions led businesses to implement wireless networking technologies. The main advantage of wireless networking, is the ability of accumulation and of analyzing vast amounts of data at very low cost and without the use of cables. Industrial firms choose to use wireless networking. In environments with extreme weather conditions as high or low temperatures, humidity, high vibration it is considered to be the best and more suitable solution. The purpose of this paper is to identify and explain which wireless networks are mainly used in an industrial unit and how these can be used and applied

Εισαγωγή

Όλα ξεκίνησαν το 1886 όταν ο Heinrich Rudolf Hertz ανακάλυψε τη διπολική κεραία, η οποία εκπέμπει υπερβραχέα κύματα. Τα υπερβραχέα κύματα είναι υπεύθυνα για την μετάδοση των ραδιοσυχνοτήτων στην τηλεόραση και το ραδιόφωνο.

Λίγο μετά, το 1893 ο Nikola Tesla κατασκεύασε το πρώτο ασύρματο σύστημα επικοινωνίας με αποτέλεσμα έπειτα από μια δεκαετία να σταλεί το πρώτο υπερατλαντικό σήμα από τον Guglielmo Marconi. (Τουμπής, 2012).

Στην εποχή μας η ανταλλαγή δεδομένων ασύρματα είναι πλέον καθημερινή ανάγκη. Ειδικά στον κλάδο της βιομηχανίας η δικτύωση είναι απαραίτητη καθώς υπάρχει ανάγκη για έλεγχο των διαδικασιών του εκάστοτε εργοστασίου ή βιομηχανίας. Η πραγματική ευκολία του να συνδέεις συσκευές χωρίς τη χρήση καλωδίων έχει οδηγήσει στην πρωτοφανή επιτυχία της ασύρματης τεχνολογίας.

Σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον τα οφέλη από τη χρήση ασύρματης τεχνολογίας είναι πολλά. Κατ' αρχήν η μη ύπαρξη καλωδίων μειώνει σημαντικά το χρόνο και το κόστος που θα χρειαζόταν σε μια αντίθετη περίπτωση. Παράλληλα δεν υφίσταται η φθορά που θα μπορούσαν να προκαλέσουν στα καλώδια οι δονήσεις, τα χημικά και τα μηχανήματα που αναπόφευκτα υπάρχουν σε ένα τέτοιο περιβάλλον.

Πολλές βιομηχανικές εφαρμογές εξυπηρετούνται από συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για την επίλυση ή την αυτοματοποίηση εργασιών ελέγχου που βασίζονται στη διασύνδεση των ψηφιακών ελεγκτών με άλλους ψηφιακούς ελεγκτές καθώς και αισθητήρες. (A. Willig, K. Matheus and A. Wolisz, 2005). Τα πλεονεκτήματα της ασύρματης δικτύωσης έχουν οδηγήσει σε μια σειρά από λύσεις όπως είναι τα WLAN(Wireless Local Area Networks), WPAN(Wireless Personal Area Networks), WMAN(Wireless Metropolitan Area

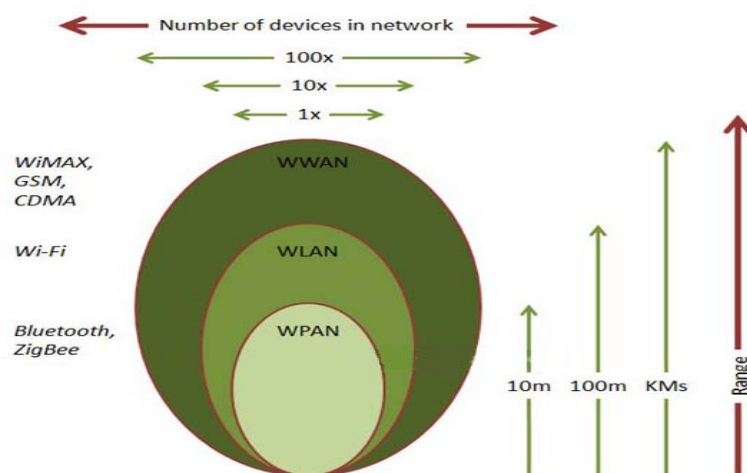
Networks), τα μεγάλης κλίμακας δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπως είναι τα UMTS, Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε τα δημοφιλέστερα ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούνται κυρίως στις βιομηχανίες, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και δύο επιτυχημένες εφαρμογές ασύρματης δικτύωσης.

1. Ασύρματα Δίκτυα

Τα ασύρματα βιομηχανικά δίκτυα κατατάσσονται κυρίως σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Wireless Sensor Networks(WSN)
2. Wireless Plant Networks(WPN)
3. Wireless Backhaul Connectivity(WBC)

Τα WSN δηλαδή τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων καλύπτουν ένα εύρος 10 μέχρι 100 μέτρα, αποτελούν WPAN δίκτυο και υποστηρίζονται κυρίως από τα πρότυπα WPAN-ISA 100, WHART, ZigBee, Bluetooth. Τα WPN καλύπτουν αποστάσεις 100 m μέχρι λίγων χιλιομέτρων, είναι WLAN δίκτυα και υποστηρίζονται από τα πρότυπα Wi-Fi(IEEE 802.11 a,b,g,n). Τέλος τα WBC καλύπτουν ένα εύρος από 1km μέχρι 100 km απόσταση, είναι δίκτυα WMAN και WWAN και υποστηρίζονται από τα πρότυπα WiMAX(IEEE 802.16), Cellular Networks (2G, 3G), VSAT, Long-term Evolution(LTE). (Al-Walaie, Almadi, Al-Omair, & Al Qahtani, 2012). Εμείς θα μελετήσουμε παρακάτω τα πιο γνωστά και ίσως πιο σημαντικά πρότυπα ασύρματης δικτύωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία βιομηχανία.



Σχ.1: Σχηματική ταξινόμηση των ασύρματων δικτύων

1.1 Bluetooth

Το Bluetooth ανήκει στην ομάδα των ασύρματων προσωπικών δικτύων, δηλαδή WPAN(Wireless Personal Area Network) . Πρόκειται για μια ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων όπου τα σήματά της μεταφέρονται μέσω μικροκυμάτων. (Bluetooth, 2012). Ο όρος Bluetooth πρωτοδημοσιεύτηκε από την Bluetooth Special Interest Group. Μεγάλοι υποστηρικτές της συγκεκριμένης τεχνολογίας αποτελούν οι εταιρείες 3Com, Ericsson, IBM, Intel, Lucent, Microsoft, Motorola, Nokia και Toshiba. Είχε αρχικά σχεδιαστεί για επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων.

1.1.1 Βασικά χαρακτηριστικά Bluetooth

Χαμηλή αποδοτικότητα: Έχουμε δύο περιπτώσεις διαφορετικών εκδόσεων της τεχνολογίας Bluetooth, οι εκδόσεις 1.1 και 1.2 προσφέρουν ταχύτητα αποστολής δεδομένων έως και 1 Mbps και απόδοση περίπου 720 kilobits ανά δευτερόλεπτο , ενώ η εκδόσεις 2.0 + EDR και 2.1 + EDR προσφέρουν ταχύτητα αποστολής δεδομένων έως και 3 Mbps και απόδοση περίπου 2.1 Mbps. (Padgette, Scarfone & Chen, 2012). Παρ'όλ'αυτά η εφαρμογή EDR δεν είναι πολύ αποτελεσματική όσον αφορά την αποστολή δεδομένων και φωνής και έτσι αποφεύγεται η αντικατάσταση ενσύρματων δικτύων από αυτήν.

Χαμηλό με μεσαίο εύρος: Το εύρος εκπομπής των ραδιοκυμάτων της τεχνολογίας Bluetooth χωρίζεται σε 3 κλάσεις. Η κλάση 3 έχει ένα εύρος της τάξεως των 3 ποδών δηλαδή περίπου 1 m και ισχύ 1 mW. Τα προϊόντα που βασίζονται σ'αυτή την κλάση σπάνια τα συναντάμε στην αγορά. Η κλάση 2 προσφέρει ένα εύρος της τάξεως των 30 ποδών, δηλαδή περίπου 10m και ισχύ 2.5 mW. Χρησιμοποιείται συχνά σε κινητά τηλέφωνα και κινητές συσκευές γενικότερα. Η κλάση 1 χρησιμοποιείται κυρίως στις βιομηχανίες και έχει ένα εύρος άνω των 300 ποδών δηλαδή 100 m και ισχύ 100 Mw. (Harte, 2008).

Χαμηλή ισχύς: Οι συσκευές κλάσης 2 όπως προαναφέραμε δουλεύουν στα 2.5 m.W. Αυτό καθιστά την τεχνολογία Bluetooth ιδανική για μικρές συσκευές , π.χ κινητά τηλέφωνα και συσκευές σάρωσης barcode.

Πολύ χαμηλό κόστος: Οι τεχνολογίες Bluetooth δίνουν τη δυνατότητα υψηλής κατανάλωσης ενέργειας με πολύ χαμηλό κόστος.

1.1.2 Πρωτόκολλα Bluetooth

Τα Bluetooth δουλεύουν στις μπάντες ραδιοσυχνοτήτων των 2,4 GHz. Χρησιμοποιούν την τεχνολογία Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Η FHSS είναι μία μέθοδος μετάδοσης ραδιοσημάτων η οποία δίνει τη δυνατότητα εξάπλωσης της ισχύος του σήματος σε ολόκληρη τη συχνότητα. Αυτό παρ'όλ'αυτά έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν παρεμβολές στο δίκτυο, αφού λειτουργεί στις μπάντες ραδιοσυχνοτήτων που λειτουργούν τα 2.4 GHz 802.11 Wi-Fi δίκτυα. Το πρότυπο IEEE802.15.1 βασίζεται στις αρχικές εφαρμογές των Bluetooth. Αναπτύσσει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως 20 Mbps και έχει πολύ υψηλές επιδόσεις σε απλές εφαρμογές. Το πρότυπο IEEE 802.15 είναι ένας συνδυασμός διαφόρων προτύπων. Επιτρέπει την κάλυψη σε μεγάλη έκταση χωρίς να υπάρχει η ανάγκη σημείων πρόσβασης για ορισμένες εφαρμογές. Αυτό μειώνει το κόστος και δίνει τη δυνατότητα ευρείας διάδοσης σε καινούριες εφαρμογές (δίκτυα ad-hoc). (Geier, 2007).

1.2 ZigBee

Το ZigBee αποτελείται από ένα σύνολο προδιαγραφών ειδικά σχεδιασμένα για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες χαμηλής ισχύος βασισμένες στο πρότυπο IEEE 802 για τα WPAN. Χρησιμοποιείται συχνά για να μεταδίδει δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις. (ZigBee, 2013).

1.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά ZigBee

Χαμηλές επιδόσεις: Τα προϊόντα ZigBee έχουν σχετικά χαμηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, πιο συγκεκριμένα, μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα 250 kbps στην μπάντα των 2.4 GHz, 40 kbps στην μπάντα των 915 MHz και 20 kbps στην μπάντα των 868 MHz, ανάλογα με το είδος της συσκευής. (Geier, 2007).

Χαμηλό μέχρι μέτριο εύρος εκπομπής: Δίνει τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων (π.χ boiler και θερμοστάτη) και μπορεί να εκπέμψει συνήθως σε απόσταση μέχρι και 100 m, αν και αυτό πολλές φορές εξαρτάται από την κατασκευή της εκάστοτε συσκευής. (Schneider Electric Industries SAS, 2011).

Χαμηλή ισχύς: Έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε ισχύ και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μπαταρία τους να διαρκεί από ένα μήνα μέχρι χρόνια. Αυτό έχει οδηγήσει στο να δημιουργηθούν καινούριες ασύρματες εφαρμογές, όπως είναι η εκπομπή ηλεκτρονικών σημάτων με μεγάλη πυκνότητα.

Χαμηλό κόστος: Οι συσκευές Bluetooth είναι πολύ οικονομικές και μπορεί να τις προμηθευτεί μία επιχείρηση ή μία βιομηχανία, με πολύ χαμηλό κόστος.

1.2.2 Πρωτόκολλα ZigBee

Η τεχνολογία ZigBee βασίζεται στα πρότυπα IEEE 802.15.4-2006 και 802.15.4-2003 τα οποία καθορίζουν την εξάπλωση του φάσματος στις διάφορες μπάντες ραδιοσυχνοτήτων. Τα ZigBee Alliance όπως επίσημα ονομάζονται σχετίζονται άμεσα με τα πρωτόκολλα 802.15, όπως και τα Wi-Fi Alliance σχετίζονται με τα 802.11 δίνοντάς τους τη δυνατότητα της διαλειτουργικότητας. Παρ'όλ'αυτά η ταυτόχρονη χρήση των πολύ κοντινών 802.11 Wi-Fi δικτύων μπορεί να προκαλέσει εσωτερικές παρεμβολές σε ένα δίκτυο ZigBee. Για παράδειγμα μια εφαρμογή τηλεμετρίας η οποία μεταδίδει κάθε λεπτό πληροφορίες για την

θερμοκρασία του περιβάλλοντος που μελετάμε , μπορεί να αντιμετωπίσει μικρές καθυστερήσεις λόγω παρεμβολών.

Μπορεί ένα πρότυπο Bluetooth να ικανοποιεί όλες τις WPAN εφαρμογές, το ZigBee παρ'όλ'αυτά προσφέρει χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερη ισχύ (περισσότερη αντοχή στις μπαταρίες και οικονομία). Η τεχνολογία ZigBee στοχεύει στις εφαρμογές βιομηχανικού ελέγχου οι οποίες δεν απαιτούν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων αλλά απαιτούν χαμηλή ισχύ, χαμηλό κόστος και ευκολία στη χρήση (τηλεχειριστήρια, αυτοματισμοί κ.λ.π). (Geier, 2007).

1.3 Wi-Fi

Η ονομασία Wi-Fi αποτελεί συντομογραφία του όρου Wireless Fidelity. Βασίζεται στο πρότυπο 802.11 για δίκτυα WLAN. Η Wi-Fi τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης από απομακρυσμένα σημεία πρόσβασης και προσφέρει υψηλές αποδόσεις για κινητές και μη κινητές εφαρμογές. Οι παροχείς δικτύων Wi-Fi έχουν τοποθετήσει σε σημεία που μαζεύεται πλήθος κόσμου (σταθμούς, αεροδρόμια, ξενοδοχεία, τρένα) δίκτυα Wi-Fi. Τα σημεία αυτά ονομάζονται hotspots. (WiFi - Portée et débit, 2012).

1.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά Wi-Fi

Υψηλή αποδοτικότητα: Έχει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων που ξεπερνούν τις εκατοντάδες Mbps. Χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα με λογότυπα a, b, g, n. Μερικοί κατασκευαστές υλοποιούν πρότυπα τα οποία έχουν πολύ υψηλές ταχύτητες και βασίζονται στο εκάστοτε προϊόν. Αυτό απαιτεί πελάτης και κατασκευαστής να έχουν κοινό σημείο πρόσβασης. Επίσης κάποιες φορές μία συσκευή μπορεί να έχει περιορισμένη διαλειτουργικότητα με μερικές εφαρμογές.

Μεσαίο εύρος: Το εύρος εκπομπής των Wi-Fi εξαρτάται από την κατασκευή τους. Συνήθως κυμαίνεται γύρω στα 100 πόδια, δηλαδή 3000 m. Καλύπτουν όλη την έκταση του κτιρίου όπου έχουν εγκατασταθεί έχοντας πολλαπλά σημεία πρόσβασης(hotspots). Σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι δυνατή η 100% κάλυψη , π.χ σε νοσοκομεία και εργοστάσια.

Μέτρια ισχύς: Έχει μέτριες απαιτήσεις σε ισχύ. Η ζωή της μπαταρίας εξαρτάται τις περισσότερες φορές από την κατασκευή του.

Μέτριο κόστος: Συγκρίνοντάς το με τα Bluetooth το Wi-fi είναι ακριβότερο αν και αυτό εξαρτάται κυρίως από την απόδοση της κάθε συσκευής που συνήθως διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή. (Geier, 2007).

1.3.2 Πρωτόκολλα Wi-Fi

Η τεχνολογία Wi-Fi βασίζεται στα παρακάτω πρότυπα:

IEEE 802.11 a: Το πρότυπο IEEE 802.a θεσπίστηκε από τον IEEE το 1999. Δεν είναι τόσο δημοφιλές όσο τα υπόλοιπα λόγω του ότι παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα. Λειτουργεί στη μάντα ραδιοσυχνοτήτων των 5 GHz και η ταχύτητα αποστολής δεδομένων κυμαίνεται από τα 6 μέχρι τα 54 Mbps. (Δρεμούση & Ιωαννίδης, 2004). Σε αντίθεση με το IEEE 802.11 b δεν παρουσιάζει προβλήματα παρεμβολών από συσκευές ή δίκτυα που δουλεύουν στις ίδιες συχνότητες

IEEE 802.11 b: Το πρότυπο IEEE 802.11 b αποτελεί επέκταση του πρωτοκόλλου 802.11.

Είναι ίσως το πιο δημοφιλές από τα πρωτόκολλα Wi-Fi. Είναι ουσιαστικά ένας ορισμός του επιπέδου MAC καθώς και τριών άλλων διαφορετικών Φυσικών επιπέδων στο δικτυακό μοντέλο OSI. Λειτουργεί στις μάντες ραδιοσυχνοτήτων 2,4 GHz- 2,483 GHz και το εύρος εκπομπής ενός σήματος είναι γύρω στα 30 MHz. Οι ταχύτητες αποστολής δεδομένων είναι της τάξεως των 11Mbps. Είναι συμβατό με πολλές συσκευές και άλλα πρότυπα. Είναι πολύ

ευαίσθητο σε παρεμβολές γι' αυτό πολλές φορές μπορεί να υπάρξει πρόβλημα εξαιτίας των ραδιοσυχνοτήτων, των κινητών τηλεφώνων ή από μικροκύματα. (Patras Wireless Network, 2006).

IEEE 802.11 n: Θεσπίστηκε το 2009. Βασίζεται στα προηγούμενα πρότυπα και στην τεχνολογία MIMO. Έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει δεδομένα της τάξεως των 300 Mbps. Προσφέρει πολύ υψηλότερες ταχύτητες από το IEEE 802.11 g.

IEEE 802.11 g: Το πρότυπο IEEE 802.11 g θεσπίστηκε από τον IEEE το 2003. Είναι μεταγενέστερο του IEEE 802.11 b. Λειτουργεί στις μπάντες ραδιοσυχνοτήτων 2,4 GHz-2,483GHz και το εύρος εκπομπής σήματος είναι 30 MHz ενώ η ταχύτητα αποστολής δεδομένων είναι 54 mbps. Βασίζεται στην τεχνολογία Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Αντιμετωπίζει και αυτό πρόβλημα εξαιτίας των παρεμβολών. (Ρούπας & Θιακούλη, 2005).

1.4 WiMAX

Τα αρχικά του σημαίνουν Worldwide Interoperability for Microwave Access. Είναι μία από τις δημοφιλέστερες τεχνολογίες στον τομέα της ασύρματης δικτύωσης. Οι τεχνολογίες WiMAX έχουν παρεμφερή τρόπο λειτουργίας με το Wi-Fi. Έχουν εξελιχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια και προσφέρουν πολλές δυνατότητες κυρίως για κινητές συσκευές. (WiMAX, 2012).

1.4.1 Βασικά χαρακτηριστικά WiMAX

Υψηλή αποδοτικότητα: Το WiMAX προσφέρει υψηλές ταχύτητες δεδομένων, της τάξεως των Mbps και αυτό εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή.

Μεσαίο – μεγάλο εύρος: Το εύρος των ραδιοσυχνοτήτων που εκπέμπουν εξαρτάται επίσης από την εκάστοτε εφαρμογή. Είναι μεγαλύτερο από αυτό των Wi-fi καθώς μπορεί να εκπέμπει σε υψηλότερες μπάντες ραδιοσυχνοτήτων.

Μεσαία δύναμη: Είναι το ίδιο ισχυρά με τα Wi-Fi πρότυπα

Υψηλό κόστος: Τα WiMAX έχουν δυστυχώς πολύ υψηλό κόστος γι' αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο από μεγάλες βιομηχανίες.

1.4.2 Πρωτόκολλα WiMAX

Βασίζεται στα πρότυπα IEEE 802.16 d και IEEE 802.16 e. Τα πρότυπα WiMAX έχουν σχεδιαστεί για την ανάπτυξη ασύρματων δικτύων σε εξωτερικούς χώρους. Βασίζονται στην τεχνολογία Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), και λειτουργούν σε αδειοδοτημένα και μη αδειοδοτημένα φάσματα με εύρος από 2 μέχρι 66 GHz. Μπορούν να εκπέμπουν ακόμα και σε πολύ χαμηλές συχνότητες όπως είναι τα 700 MHz. Κυρίως εκπέμπουν στις αδειοδοτημένες συχνότητες στα 2.5 GHz και 3.5 GHz και στις μη αδειοδοτημένες στα 5.8 GHz. Ένα πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπίσει κάποιος χρήστης WiMAX είναι σε ελάχιστες περιπτώσεις η χαμηλή απόδοση του δικτύου. Αυτό συμβαίνει επειδή Wi-Fi και WiMAX μοιράζονται το ίδιο εύρος ραδιοσυχνοτήτων. (Manic, Dan Stan, & Stankovic, 2010).

1.5 Cellular

Στα ελληνικά ονομάζεται κυψελοειδές ή κινητό (χρησιμοποιείται ευρέως στην κινητή τηλεφωνία). Είναι ένα δίκτυο που λειτουργεί και αυτό με ραδιοκύματα.. Επιτρέπει σε ένα πλήθος κινητών συσκευών να συνδέονται μεταξύ τους μέσα στο δίκτυο και να ανταλλάζουν δεδομένα. Τα cellular systems δίνουν τη δυνατότητα διασύνδεσης σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. (Cellular network, 2012). Είναι μεταγενέστερα των Wi-Fi και WiMAX.

1.5.1 Βασικά χαρακτηριστικά Cellular

Χαμηλή με μέτρια αποδοτικότητα: Οι περισσότεροι προμηθευτές της τεχνολογίας αυτής προσφέρουν ταχύτητες δεδομένων για τις 2G και 3G τεχνολογίες, της τάξεως των Kbps. Οι 4G τεχνολογίες από την άλλη προσφέρουν ταχύτητες δεδομένων της τάξεως των Mbps και δίνουν τη δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων, video και φωνής.

Μεγάλο εύρος: Τα cellular systems λειτουργούν στα αδειοδοτημένα φάσματα καλύπτοντας μεγάλο μέρος του πλανήτη. Οι χρήστες μπορούν να διαχειρίζονται κινητές συσκευές στις περισσότερες περιοχές με εξαίρεση κάποιες αγροτικές περιοχές.

Χαμηλή με μέτρια ισχύς: Προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής για τις μπαταρίες, μεγαλύτερη κάποιες φορές από τις συσκευές Wi-Fi.

Πολύ υψηλό κόστος: Το κόστος ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος είναι πολύ ακριβό, γιαντό το λόγο οι προμηθευτές το προσφέρουν στους πελάτες με συνδρομή.

1.5.2 Πρωτόκολλα Cellular

Τα cellular systems έχουν εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες GPRS, EDGE και UMTS οι οποίες βασίζονται στην τεχνολογία GSM(Global System for Mobile Communications)

GPRS: Προσφέρει συνδεσιμότητα δεδομένων στην αγορά των GSM με ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων πάνω από 100 Kbps. Ένα πλεονέκτημά τους είναι ότι βασίζονται στην τεχνολογία GSM, η οποία είναι ένα ανοικτό ψηφιακό σύστημα που υποστηρίζει την διεθνή περιαγωγή.

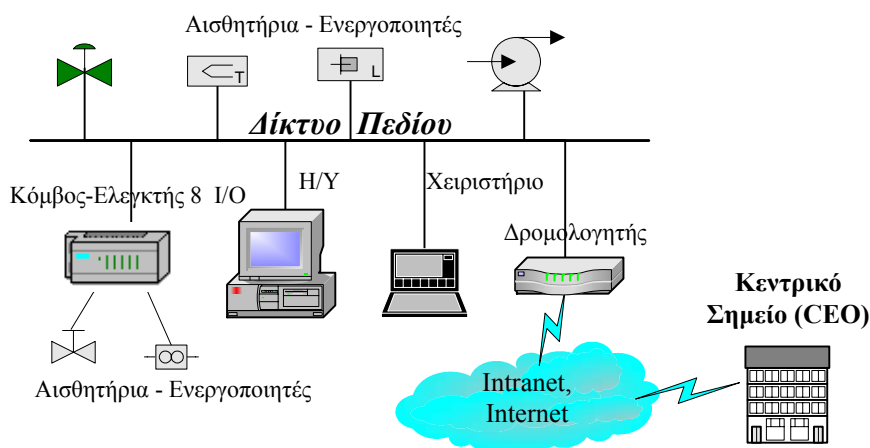
EDGE: Επιτρέπει στους διαχειριστές των GSM να χρησιμοποιούν τις ήδη υπάρχουσες ραδιοσυχνότητες των GSM για να προσφέρουν ασύρματες υπηρεσίες, π.χ επεξεργασία

πολυμέσων, με ταχύτητες που ξεπερνούν τα 384 Kbps. Η τεχνολογία EDGE βασίζεται τεχνικά στα συστήματα GSM, αλλά απαιτούνται κάποιες πολύ μικρές αλλαγές τόσο σε επίπεδο software όσο και σε επίπεδο hardware. Έχουν ωστόσο την ίδια δομή, εκπέμπουν στο ίδιο λογικό κανάλι και με τις ίδιες συχνότητες των 20 KHz.

UMTS: Είναι μέρος του 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Υποστηρίζεται από πολλούς κατασκευαστές και διευθυντές εταιρειών τηλεπικοινωνιών. Μπορεί να αναπτύξει ταχύτητες άνω των 2 Mbps και υποστηρίζει λειτουργίες βίντεο. (Geier, 2007).

2. Εφαρμογές στη βιομηχανία

Τα δεδομένα σε ένα βιομηχανικό δίκτυο μεταδίδονται είτε με καλωδίωση (χαλκός), είτε μέσω οπτικών ινών, είτε μέσω ραδιοκυμάτων (ασύρματα). Ο όρος βιομηχανικό δίκτυο αναφέρεται πολλές φορές και ως δίκτυο πεδίου (fieldbus) ή δίκτυο ελέγχου. Ένα δίκτυο πεδίου αποτελείται από τους εξής κόμβους: Αισθητήρες, Ενεργοποιητές, Ελεγκτές(PLCs, Controllers), H/Y, Χειριστήρια-Οθόνες, Διασύνδεση με Intranets και Internet μέσω δρομολογητών(Routers) και Gateways όπως παρουσιάζεται και στο Σχ. 2. (Χαδέλλης, 2004).



Σχ. 2: Πώς συνδέονται οι κόμβοι σε ένα δίκτυο πεδίου

Η τεχνολογία των ασύρματων αισθητήρων είναι ίσως η βέλτιστη λύση για την διασύνδεση των διεργασιών σε ένα εργοστάσιο π.χ τη σύνδεση scattered αισθητήρων, έλεγχο ασύρματων

και ενσύρματων μηχανημάτων. Από την άλλη πλευρά οι τεχνολογίες Wi-Fi και Cellular μπορούν, εξαλείφοντας την ανάγκη για φυσική καλωδίωση (οπτικές ίνες) να μειώσουν σημαντικά το κόστος εγκατάστασης. (Al-Walaie, Almadi, Al-Omair, & Al Qahtani, 2012). Επιπλέον παρέχουν ένα επαρκές εύρος μπάντας ραδιοσυχνοτήτων και υψηλή αποδοτικότητα από σημείο σε σημείο (point to point) ή από ένα σημείο σε πολλαπλά σημεία (point to multiple points) έτσι ώστε να ικανοποιούν τις παρούσες και μελλοντικές απαιτήσεις των βιομηχανικών εφαρμογών οι οποίες είναι μεταξύ άλλων η παρακολούθηση πλατφόρμων εξόρυξης πετρελαίου ή φυσικού αερίου καθώς και των αγωγών σε εργοστάσια παραγωγής νερού, η διαχείριση της ενέργειας, η διαχείριση των υγρών αποβλήτων, συστήματα παρακολούθησης του ηλεκτρικού ρεύματος, συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης (SCADA), εφαρμογές ανίχνευσης μικροσεισμών.

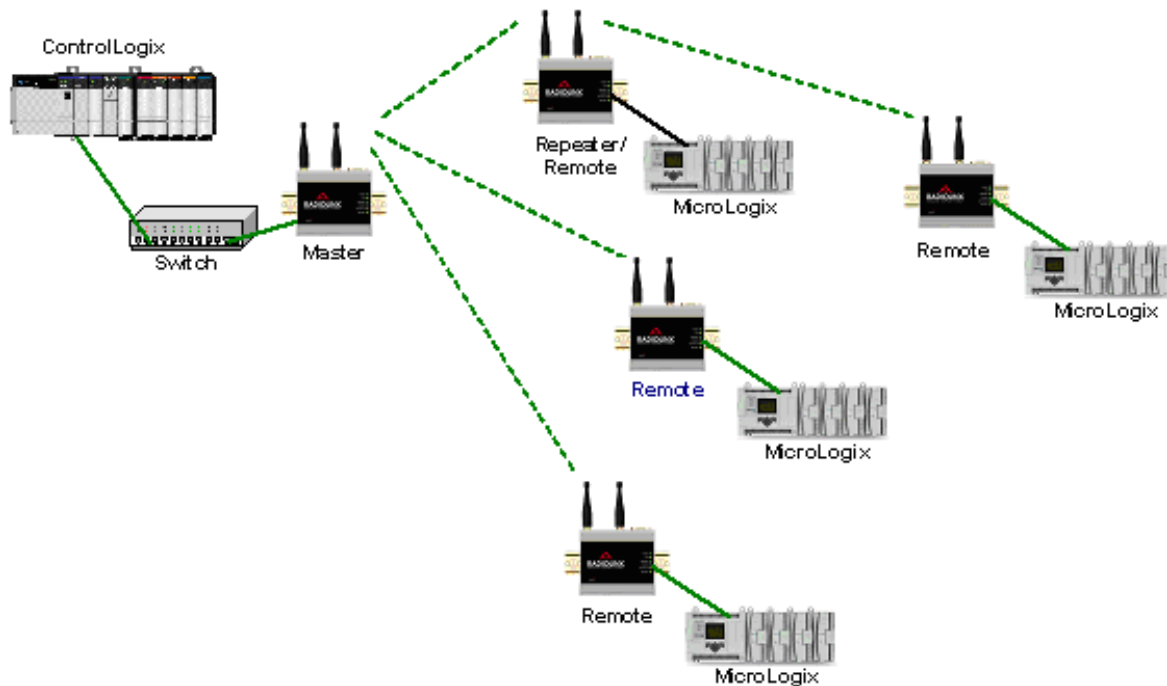
Οι ασύρματες βιομηχανικές εφαρμογές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αυτές που έχουν υψηλή ταχύτητα και χαμηλή χρονοκαθυστέρηση και σε αυτές που έχουν μικρότερη ταχύτητα και μεγαλύτερη χρονοκαθυστέρηση στην αποστολή των πακέτων δεδομένων.

Η ευρέως διαδεδομένη άποψη ότι υψηλή ταχύτητα συνεπάγεται υψηλότερη αποτελεσματικότητα είναι λανθασμένη. Πολλές φορές μία εφαρμογή μπορεί να καθίσταται πιο αποτελεσματική με χαμηλότερες ταχύτητες. Πιο κάτω θα παρουσιάσουμε τις πιο σημαντικές βιομηχανικές εφαρμογές και ποια πρωτόκολλα χρησιμοποιούν. (Enstad & Ralston, 2009)

2.1 Ανταλλαγή άμεσων μηνυμάτων μεταξύ PLCs(implicit messages)

Μία από τις πιο συχνές χρήσεις ενός ασύρματου δικτύου σε μια βιομηχανία είναι η ανταλλαγή I/O δεδομένων μεταξύ PLCs. Τα PLCs είναι ψηφιακοί υπολογιστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση των ηλεκτρομηχανολογικών διεργασιών, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος των μηχανημάτων στις γραμμές συναρμολόγησης ενός εργοστασίου κ.λ.π. (Programmable Logic Controllers, 2012)

Επειδή πολλές φορές αυτά τα μηνύματα δεν είναι καλά δομημένα στο Protocol Layer είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται γι' αυτά πιο αργές τεχνολογίες. Ωστόσο κάποιες φορές απαιτούνται υψηλότερες ταχύτητες οι οποίες μπορούν να υποστηριχθούν από τα IEEE 802.11a και IEEE 802.11g πρότυπα.



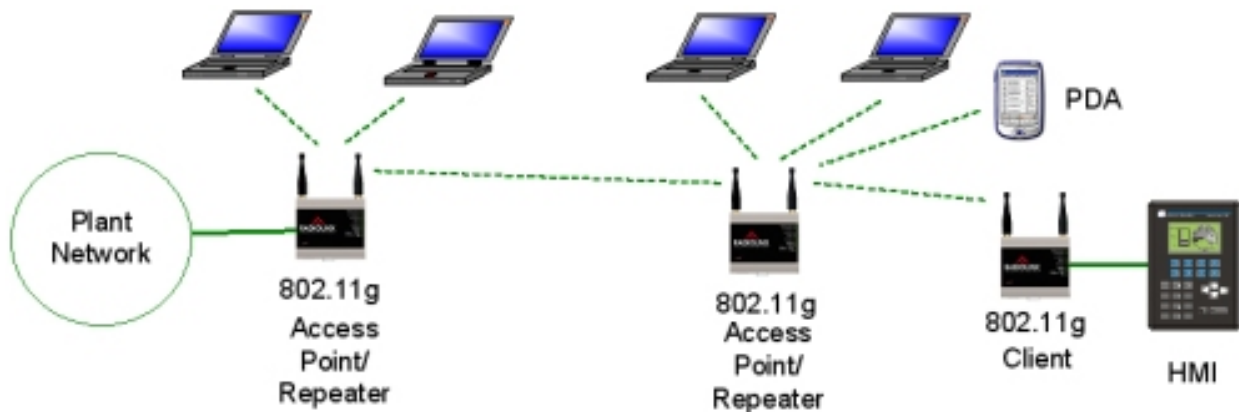
Σχ. 3: Ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιεί το explicit messaging

2.2 Ασύρματα δίκτυα για HMI (διεπαφή ανθρώπου-μηχανής)

Τα HMI συστήματα αποτελούν τη γέφυρα μεταξύ των ανθρώπων και των μηχανών ή των υπολογιστών σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Συνδέουν ανθρώπινο δυναμικό με τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) που λειτουργούν τα μηχανήματα.

Συνήθως, το ανθρώπινο δυναμικό μέσα σε μία βιομηχανική μονάδα βρίσκεται σε διαρκή κίνηση. Κινούνται συνεχώς από τα μηχανήματα στους σταθμούς εργασίας ή στους θαλάμους ελέγχου όπου βρίσκονται οι υπολογιστές από εκεί έχουν πρόσβαση στα δεδομένα, μπορούν να ελέγξουν πληροφορίες και κωδικούς συναγερμού σε βασικούς δείκτες απόδοσης (KPIs)

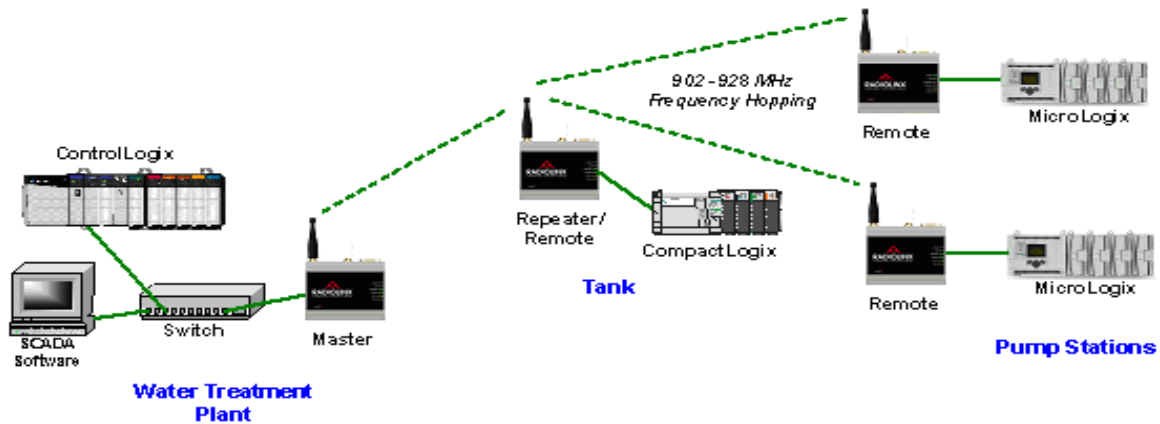
και χρονοδιαγράμματα συντήρησης. Το προσωπικό επίσης χρησιμοποιεί τους σταθμούς εργασίας για αποστολή e-mail, για να ρυθμίσει παραγγελίες π.χ αλλαγή εξαρτημάτων ή οδηγίες δρομολόγησης. Υποστηρίζει κυρίως κινητές συσκευές και τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται είναι τα 802.11b και 802.11g, παρέχει υψηλή ταχύτητα και ταυτόχρονα πολύ χαμηλό χρόνο καθυστέρησης. (Motorola, 2011).



Σχ. 4: Ασύρματο δίκτυο HMI

2.3 Συστήματα τηλεέλεγχου (SCADA)

Κάποιες φορές είναι αναγκαία η παρακολούθηση ή η πρόσβαση στα μηχανήματα από έναν χώρο που βρίσκεται μακριά από τον κεντρικό σταθμό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του συστήματος SCADA. Αυτό το σύστημα τηλεελέγχει και τηλεεπιτηρεί για παράδειγμα αντλιοστάσια, δεξαμενές, υποσταθμούς, αγωγούς και καταγράφει και ενημερώνει όλες τις μεταβλητές και τις παραμέτρους του δικτύου. Έχει ακόμα τη δυνατότητα να ειδοποιεί άμεσα τον διαχειριστή σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης. Τα πρωτόκολλα με βάση το IEEE 802.11 προσφέρουν τις υψηλότερες ταχύτητες για την εφαρμογή τηλεελέγχου. (SCADA, 2008).



Σχ. 5: Ασύρματο σύστημα τηλεέγχου (SCADA)

2.4 Αποστολή έμμεσων μηνυμάτων (implicit messages)

Είναι μια σχετικά πρόσφατη εφαρμογή η οποία επιτρέπει τη σύνδεση point to point μεταξύ δύο κόμβων αίτησης/απόκρισης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάγνωση των προσβάσιμων από το δίκτυο στοιχείων μίας συσκευής. Η ασύρματη δικτύωση προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε αυτές τις εφαρμογές όπως την κατάργηση της καλωδίωσης σε κινούμενα μηχανικά συστήματα (ρελέ, slip rings), και την μείωση το κόστους λόγω της μείωσης των υποδομών Ethernet. (Enstad & Ralston, 2009).



Σχ. 6: Ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιεί το implicit messaging

3. Μελέτες Περιπτώσεων

3.1 Μελέτη Περίπτωσης – Remex



Στόχος

Η Remex είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής ενέργειας στον κόσμο. Διαχειρίζεται ένα σύμπλεγμα από 10 υπεράκτιες πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου στον κόλπο του Μεξικού. Η Remex καλείται να δημιουργήσει ένα ισχυρό και αξιόπιστο δίκτυο έτσι ώστε να μπορεί να συνδέει μεταξύ τους τις πλατφόρμες και αυτές να είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένες στις χερσαίες εγκαταστάσεις της. Το δίκτυο που θα εφαρμόσει καλείται να έχει μέγιστη απόδοση κάτω από δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες.

Λύση

Η AllanDick group Mexico κορυφαία στον κλάδο των Systems Integrator ανέλαβε τη διαχείριση του έργου δικτύωσης της Remex επιλέγοντας τις λύσεις της RedMax για την σύνδεση των πατφόρμων της με δίκτυο WiMAX.

Αποτέλεσμα

Η Remex αποτελεί σήμερα μία από τις πρώτες εταιρείες εξόρυξης πετρελαίου που χρησιμοποιεί WiMAX δίκτυα πολλαπλών σημείων συνδέοντας πλατφόρμες παραγωγής οι οποίες βρίσκονται 16 kms πέρα από την ακτή και απέχουν μεταξύ τους 10 km κατά μέσο όρο. Το δίκτυο της Red-max δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης φωνής, βίντεο και δεδομένων σε

πραγματικό χρόνο και με πολύ χαμηλό κόστος βοηθώντας την Remex να βελτιώσει την αποτελεσματικότητά της. (Oliver, 2012).

3.2 Μελέτη Περίπτωσης-Soil Instruments Ltd

Στόχος

Η Soil Instruments Ltd είναι μια από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές εταιρείες που κατασκευάζει και εγκαθιστά σε όλο τον κόσμο γεωτεχνικά και δομικά όργανα για αστικές υποδομές, όπως φράγματα, σήραγγες και γέφυρες. Έχουν αναπτύξει ένα σύστημα αισθητήρων οι οποίοι μετράνε την πίεση, την ένταση και τους κραδασμούς σε μεγάλο μήκος χρόνου. Οι αισθητήρες είναι δικτυωμένοι με εγκαταστάσεις που απέχουν πάνω από ένα χιλιόμετρο. Η Soil Instruments θέλησε να αντικαταστήσει το καλώδιο που συνέδεε τους αισθητήρες μεταξύ τους. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του δικτύου το κόστος και ο χρόνος εγκατάστασης ήταν ένα σημαντικό πρόβλημα που έπρεπε να λυθεί. Τα καλώδια επίσης ήταν πολύ επιρρεπή σε καταστροφές.

Λύση

Η MailBox ανέλαβε να δικτυώσει τους αισθητήρες της SI με το δίκτυο ZigBee. Το μόνο που χρειάστηκε ήταν να μεταφερθούν οι αισθητήρες σε ειδικό κύκλωμα. Στο νέο σύστημα κάθε αισθητήρας ήταν ένας ZigBee Router.

Αποτέλεσμα

Οι μηχανικοί μπορούν πλέον να συνδεθούν σε οποιοδήποτε αισθητήρα και να κατεβάσουν δεδομένα από κάποιον άλλο αισθητήρα. Επίσης έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους με γραπτά μηνύματα χρησιμοποιώντας το δίκτυο αυτό. Η SI είναι πλέον η ταχύτερα αναπτυσσόμενη βιομηχανία τεχνολογίας στη Ν.Α Αγγλία με κέρδη άνω των 250%

και τις πωλήσεις της να ανέρχονται στα 9 εκατομ. δολλάρια μεταξύ των ετών 2003-2005.

(Scott, 2007).

Συμπεράσματα

Η ασύρματη δικτύωση είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς στην τεχνολογία. Σχεδόν κάθε ενσύρματο δίκτυο έχει πλέον αντικατασταθεί από ένα ασύρματο. Αναμφισβήτητη η χρήση της ασύρματης τεχνολογίας σε μία βιομηχανική μονάδα μπορεί να έχει πολλά πλεονεκτήματα. Οι χρήστες μπορούν πλέον με μηδαμινό κόστος να δικτυώνονται εύκολα και γρήγορα χωρίς καλώδια. Παρ'όλ'αυτά υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα που αφορούν κυρίως θέματα ασφάλειας, π.χ: είναι ευάλωτα σε παρεμβολές και επιθέσεις. Τα μειονεκτήματα αυτά είναι ελάχιστα μπροστά στα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η χρήση ασύρματων δικτύων.

Η τεχνολογία της ασύρματης δικτύωσης έχει σημάνει την αρχή μίας νέας εποχής όπου άνθρωποι, επιχειρήσεις και μηχανές μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους, κάθε στιγμή, κάθε λεπτό, οπουδήποτε. Σήμερα, άτομα, επιχειρήσεις και βιομηχανίες έχουν πρόσβαση σε οποιοδήποτε δίκτυο μέσα από μια πληθώρα κινητών συσκευών.

Η νέα αυτή πραγματικότητα δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να επικοινωνούν και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες ταχύτερα και ευκολότερα από ποτέ.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Ένα Wi-Fi μπορεί να αντικαταστήσει πολύ εύκολα οποιοδήποτε ενσύρματο δίκτυο Ethernet, έτσι θα μπορούσε μια βιομηχανία να αντικαταστήσει όλα της τα Ethernet ενσύρματα δίκτυα με ένα WI-fi. (Γιαπιτζάκης, 2012).
- Τα Cellular δίκτυα δεν είναι πολύ δημοφιλή ακόμα στον κλάδο της βιομηχανίας. Παρ'όλ'αυτά η χρήση τους αυξάνεται χρόνο με το χρόνο και ίσως στο μέλλον αποτελέσει επανάσταση για πολλές επιχειρήσεις λόγω των άπειρων εφαρμογών που προσφέρει.

Βιβλιογραφία

- Al-Walaie, S. A., Almadi, S. M., Al-Omair, A. M., & Al Qahtani, S. M. (2012). *Wireless Technology for Industrial Applications, "Opportunities and Challenges"*. Riyadh, Saudi Arabia.
- Bluetooth. (2012, Νοέμβριος 20). *Wikipedia*. Ανάκτηση Νοέμβριος 23, 2012, από Wikipedia: www.wikipedia.org
- Cellular Network. (2012, Νοέμβριος 18). *Wikipedia*. Ανάκτηση Νοέμβριος 19, 2012, από Wikipedia: <http://en.wikipedia.org>
- Enstad, G., & Ralston, J. (2009). *Applying wireless to Ethernet/IP Automation Systems*. Prosoft Technology.
- Geier, J. (2007). *Wireless Industry Report*. Independent Consulting Services. Wireless Nets Ltd .
- Harte, L. (2008). *Introduction to Bluetooth, Technology, Market, Operation, Profiles, and Services* (2η Έκδοση εκδ.). Νέα Υόρκη: Εκδόσεις Althos.
- Manic, M., Dan Stan, S., & Stankovic, S. (2010). WiMAX in industry. Στο *Industrial Communication Systems*.
- Motorola. (2011). *Quick Reference Guide, Mobile Human Machine Interface(HMI), Innovation that Empowers the mobile operator*.
- Oliver, J. (2012). *Case Study - RedMAX™ Connects Remote Oil Rigs for Pemex*. AlanDick, Mexico: Redline Communications. Ανάκτηση από www.redlinecommunications.com.
- Padgette, J., Scarfone , K., & Chen, L. (2012). *Guide to Bluetooth Security, Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*. National Institute of Standards and Technology, U.S Department of Commerce, U.S.A.
- Patras Wireless Network. (2006, Ιούλιος 18). *Patras Wireless Network*. Ανάκτηση Νοέμβριος 26, 2012, από Τοποθεσία Web της Patras Wireless Network: <http://patraswireless.net/WiFi.pdf>
- Programmable Logic Controllers. (2012, Νοέμβριος). *Wikipedia*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2012, από Wikipedia: <http://en.wikipedia.org>
- SCADA. (2008). *Δίκτυα Τηλεελέγχου*. Ανάκτηση Νοέμβριος 30, 2012, από automatica: <http://www.automatica.gr>
- Scheiner Electric Industries SAS. (2011). *Zigbee*. Γαλλία: Scheiner Electric.
- Scott, J. (2007). *Soil Instrument, Sensor Networking Case Study*. Flexipanel Ltd.

- WiFi - Portée et débit. (2012). *Comment ca marche*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 1, 2012, από Comment ca marche: <http://www.commentcamarche.net/contents/wifi/wifiintro.php3>
- Willing, A., Matheus, K., & Wolisz, A. (2005). Wireless Technology in industrial networks. *Proceedings of the IEEE(93)*, σσ. 1131-1151.
- WiMAX. (2012, Νοέμβριος 20). *Wikipedia*. Ανάκτηση Νοέμβριος 23, 2012, από Wikipedia: <http://en.wikipedia.org>
- Zigbee. (2012, Νοέμβριος 21). *Wikipedia*. Ανάκτηση Νοέμβριος 23, 2012, από Wikipedia: <http://en.wikipedia.org>
- Γιαπιτζάκης, Ε. Ι. (2012). *Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και Ελεγκτών στη Βιομηχανία*. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Μηχανολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πάτρα.
- Δρεμούση, Ε., & Ιωαννίδης, Γ. (2004). *Αξιολόγηση απόδοσης ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Θεσσαλονίκη.
- Ρούπας, Χ., & Θιακούλη, Α. (2005). *Educational software of self-teaching of protocols for wireless networks*. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Μεταπτυχιακό Πληροφοριακών Συστημάτων, Θεσσαλονίκη.
- Τουμπής, Σ. (2009). *Ασύρματες επικοινωνίες, Παρελθόν, Παρόν, Μέλλον*. Πρακτικά Μαθήματος, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πληροφορικής, Αθήνα.
- Χαδέλλης, Λ. (2004). *Δίκτυα Πεδίου*. Πρακτικά Μαθήματος, Τ.Ε.Ι Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Πάτρα.

Εικόνες:

Εξώφυλλο: http://img.directindustry.com/pdf/repository_di/19677/industrial-wireless-application-guidebook-90576_1b.jpg

Εικόνα σελ. 20: <http://philip9876.com/wp-content/uploads/2010/08/offshore-platform.jpg>

Σχ 1: <http://cdn4.propakistani.pk/wp-content/uploads/2010/03/0022.jpg>

Σχ 2: Χαδέλλης, Λ. (2004). *Δίκτυα Πεδίου*. Πρακτικά Μαθήματος, Τ.Ε.Ι Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Πάτρα.

Σχ 3: <http://www.processonline.com.au/uploads/Image/Wireless%20EIP-1.jpg>

Σχ 4: <http://www.processonline.com.au/uploads/Image/Wireless%20EIP-2.jpg>

Σχ 5: <http://www.processonline.com.au/uploads/Image/Wireless%20EIP-3.jpg>

Σχ 6: <http://www.data-linc.com/newsletter/05wiinsi/images/industrial-e/Diag02.jpg>