ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย

Wireless Sensor Network Monitoring and Management System

นามผู้วิจัย นางสาวบราลี ทุมกานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ณัฐวุฒิ ขวัญแก้ว, วศ.ม.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูเกียรติ การะเกตุ, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วชิระ จงบุรี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย

Wireless Sensor Network Monitoring and Management System

โดย

นางสาวบราลี ทุมกานนท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2552

บราลี ทุมกานนท์ 2552: ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ณัฐวุฒิ ขวัญแก้ว, วศ.ม. 128 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาวิชวลเบสิกเพื่อทำงานร่วมกับฮาร์ดแวร์ Network Adapterที่ติดต่อกับเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ซึ่งฮาร์ดแวร์Network Adapterจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ในเครือข่ายตรวจจับไร้สาย และส่งข้อมูลมาให้ยังตัวโปรแกรม รวมทั้งสามารถสั่งงานจากโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ใช้ไปยังฮาร์ดแวร์Network Adapter เพื่อที่จะควบคุมอุปกรณ์ในเครือข่ายตรวจจับไร้สาย โดยโปรแกรมมีการทำงานสองรูปแบบด้วยกันได้แก่ รูปแบบ Monitoring ทำหน้าที่วิเคราะห์เฟรม และแสดงผลในรูปแบบกราฟและตาราง และรูปแบบการทำงานที่สองคือ Management ทำหน้าที่ส่งคำสั่งจากผู้ใช้ไปยังNetwork Adapter เพื่อควบคุมหรืออ่านค่าสถานะของอุปกรณ์ในเครือข่ายไร้สายที่ต่อกับNetwork Adapterในขณะนั้น

ผลการทำงานของโปรแกรมการทำงานในรูปแบบ Monitoring สามารถจำแนกประเภทของเฟรมตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยไม่จำกัดความยาวของเฟรม และไม่จำกัดประเภทของตัวตรวจจับที่ส่งมากับเฟรมข้อมูล และการทำงานในรูปแบบ Management สามารถตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ในเครือข่ายตรวจจับไร้สายบางชนิด และสามารถควบคุมการเปิดปิดของอุปกรณ์ในเครือข่ายตรวจจับไร้สายบางชนิดได้

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Baralee Thumkanont 2009: Wireless Sensor Network Monitoring and Management System. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nattavut Kwankeo, M.Eng. 128 pages.

This thesis is program writing with Visual Basic for working to cooperate with Network Adapter hardware which connection with wireless sensor networks. Network Adapter hardware gets the datas from equipments in wireless sensor networks and sends the datas to the program. The users can command from the program to control the equipments in the wireless sensor networks.There are two working forms in this program. First, Monitoring form is for analysing the data frames and showing the data in graph and table forms and second, Management form is for sending the command from the users to the Network Adapter for controling or reading the status of the equipments in wireless sensor networks with which the Network Adapter connecting .

The result of program in Monitoring form can analyse unlimited standard frame of data and unlimited type of sensor that sent with frame of data. In Management form, The program can check the status of some equipment in the wireless sensor network and can control to turn on or turn off some equipment in the wireless sensor network.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ณัฐวุฒิ ขวัญแก้ว ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูเกียรติ การะเกตุ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วชิระ จงบุรี กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอขอบคุณ น้องโต้ง น้องตั้ม น้องแร๊ค น้องโย และน้องๆ ทุกคนในห้องวิจัยที่คอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนในทุกเรื่อง และทำให้มีวันนี้ และขอขอบพระคุณพระเป็นเจ้าที่ให้ชีวิตที่ดี และให้ทุกสิ่งทุกอย่างในชีวิต

บราลี ทุมกานนท์

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	70
อุปกรณ์	70
วิธีการ	70
ผลและวิจารณ์	117
สรุปและข้อเสนอแนะ	127
สรุป	127
ข้อเสนอแนะ	127
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	128
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลภายในสัญญาณที่ส่งจาก Network Adapter	74

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย	3
2	สถาปัตยกรรม IEEE 802.15.4	4
3	รูปแบบเฟรม IEEE 802.15.4	4
4	การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในรูปแบบต่างๆ	8
5	การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในระบบอุตสาหกรรม	10
6	การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในบ้าน	13
7	การใช้งานของเครือข่ายไร้สายทางการทหารในรูปแบบ MOUT (Military Operations on Urban Terrain) WSN Architecture	15
8	การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายทางการทหาร แบบ Two-Tier MOUT (Military Operations on Urban Terrain) WSN	16
9	การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในการติดตามทรัพย์สิน และ การจัดการโซ่อุปทาน	18
10	การใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายในนาข้าว	20
11	การใช้เครือข่ายไร้สายในการเฝ้าระวังสุขภาพ	22
12	ลักษณะต่างๆของเครือข่าย	26
13	The Army Amateur Radio System (1925)	30
14	Integrated time นี้ เป็นรูปแบบที่ทำให้จำถึงการเปลี่ยนแปลงในปี 1929 ของระบบ AARS	33
15	ระบบ ALOHA แบบดั้งเดิมที่ใช้การส่งสัญญาณต่อเนื่อง (pure ALOHA)	34
16	ระบบ ALOHA แบบที่ใช้การแบ่งช่วงเวลาสื่อสาร (slotted ALOHA)	35
17	IEEE 802.15.4 cluster tree	47
18	ZigBee Network Model	49
19	การตอบสนองไมโครโฟนที่ 250Hz sine wave stimulus ของ Amplitude ที่เพิ่มขึ้น	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ผลตอบสนอง Acoustic ของ จุดตรวจจับที่แตกต่าง 4 จุด สำหรับ A chain of white noise pluses ของ Amplitude ที่เพิ่มขึ้น	58
21	ผลตอบสนอง Acoustic ของจุดตรวจจับที่แตกต่างกัน 4 จุด ใน correspondence ในขณะที่มียานยนต์ผ่าน	59
22	Number of samples collected in a binary second (sampling rate: 8192 Hz)	59
23	Microphone’s average output voltage	60
24	Equivalent noise level Leq	60
25	สถาปัตยกรรมเบื้องต้นของระบบตรวจวัด	66
26	สถาปัตยกรรมเครือข่ายของอุปกรณ์การตรวจวัด	67
27	ส่วนแสดงผลสถานะตัวตรวจจับของอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด	68
28	ส่วนแสดงผลสถานะขบวนการของอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด	69
29	ฮาร์ดแวร์ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย	71
30	รูปแบบเฟรมข้อมูลที่ Network Adapter ส่งมายังโปรแกรม	72
31	ตัวอย่างเฟรมข้อมูลที่ Network Adapter ส่งให้ยังโปรแกรม	72
32	รูปแบบเฟรมคำสั่งขอค่าข้อมูลจาก Network Adapter	73
33	รูปแบบคำสั่งควบคุมสวิตช์	74
34	รูปแบบเฟรมคำสั่งที่ใช้ในการตั้งค่าเวลาการส่งขอ้มูลจาก Network Adapter	74
35	ลักษณะสัญญาณของ Network Adapter ที่ส่งสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายในการค้นหาเครือข่าย	75
36	ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างการส่งข้อมูลและรับ Network Adapter	77
37	สถานะการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	77
38	ผังงานการทำงานแรกเริ่มของอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย	79
39	แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเกตเวย์และอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย	80
40	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้หลัก	108
41	ส่วนการลงชื่อเข้าใช้ระบบ	109

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	ส่วน Monitor	110
43	การเลือก Tab Database	111
44	Monitor จากฐานข้อมูล	111
45	การเลือก Tab Details	112
46	การเลือก Tab Type of Sensor	112
47	การเลือก Tab Node	113
48	การเลือกดูข้อมูลจาก Address ของจุดตรวจจับ	113
49	การเลือก Tab Graph	114
50	ส่วนแสดงข้อมูลแบบกราฟ	114
51	ผลการ Monitoring จาก Network Adapter	117
52	ผลจากการเลือกดูข้อมูลแบบ Type of Sensor	118
53	ผลจากการเลือกดูข้อมูลแบบ Address of Node	119
54	ผลการเลือกดูข้อมูลแบบ Graph	120
55	ผลการ Add New User เมื่อสำเร็จ	121
56	ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบ	121
57	ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูล Password และ Re-Password ไม่ตรงกัน	122
58	ผลเมื่อ Add Type of Sensor สำเร็จ	123
59	ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบ	123
60	ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลซ้ำ	124
61	ผลการตรวจสอบสถานะของสวิตช์เมื่อเปิดอยู่	125
62	ผลการตรวจสอบสถานะของสวิตช์เมื่อปิดอยู่	125
63	ผลการตรวจสอบสถานะของ Node ที่ไม่มีสวิตช์	126

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AARS	=	Army-Amateur Radio
ADC	=	Analog to Digital Converter
APs	=	Access Points
ARPA	=	Advance Research Project Agency
ARQ	=	Automatic repeat request
ARRL	=	American Radio Relay League
ASIC	=	Application-Specific Integrated Circuit
ATMS	=	Authenticated Tracking and Monitoring System
BPSK	=	Binary Phase Shift Keying
CAP	=	Contention Access Period
CCAs	=	Clear Channel Assessments
CMOS	=	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CSMA	=	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CA	=	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DARPA	=	Defense Advanced Research Projects Agency
DECT	=	Digital European Cordless Telephony
DSSS	=	Direct-sequence spread spectrum
EC	=	European Community
Esto	=	Embedded System Tool
ETSI	=	European Telecommunication Standards Institute
FCC	=	Federal Communications Commission
FH/TDD	=	Frequency Hopping / Time Division Duplex
FSK	=	Frequency Shift Keying
GPS	=	Global Positioning System
GRAd	=	Gradient routing
GTSs	=	Guaranteed Time Slots
GUI	=	Graphical User Interface
HVAC	=	Heating, Ventilating, and Air Conditioning

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ICE	=	In Circuit Emulator
IDE	=	Integrated Development Environment
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	=	Internet Engineering Task Force
IP	=	Internet Protocol
LAN	=	Local Area Network
LEACH	=	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LLC	=	Logical Link Control
LMSC	=	LAN/MAN Standards Committees
LQI	=	Link quality Indication
LR	=	Low-Rate
LWIM	=	Low – power Wireless Integrated Microsensors
MAC	=	Message Authentication Code
MACA	=	Multiple Access With Collision Avoidance
MAN	=	Metropolitan Area Network
MANET	=	Mobile Ad hoc Network
MEMS	=	Microelectromechanical
MIC	=	Message-and sender-dependent Message Integrity Code
MONETA	=	MONitoring system for the Embedded Target device
MOUT	=	Military Operations on Urban Terrain
NCS	=	Net Control Station
NFS	=	Network File System
NesCom	=	New Standard Committee
NTS	=	National Traffic System
OFDM	=	Orthogonal Frequency Division Multiplex
O-QPSK	=	Offset Quadrature Phase Shift Keying
OSI	=	Open System Interconnection
PAN	=	Personal Area Network

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

PHY	=	Physical Layer
POS	=	Personal Operating Space
PRNET	=	Packet Radio Network
PSK	=	Phase Shift Keying
QoS	=	Quality of Service
RAM	=	Random-Access Memory
RF	=	Radio Frequency
RFD	=	Reduced function device
ROM	=	Read-Only Memory
RKE	=	Remote Keyless Entry
RSSI	=	Received Signal Strength Indication
SMP	=	Symmetric Multiprocessing
SNMP	=	Simple Network Management Protocol
SPL	=	Sound Pressure Level
S/N	=	Signal to Noise ratio
SSCS	=	Service Specific Convergence Sublayer
SURAN	=	Survivable Radio Networks
SWAP-CA	=	Wireless Access Protocol-Cordless Access
TCP/IP	=	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDMA	=	Time Division Multiple Access
THD	=	TotalHharmonic Distortion
TNC	=	Terminal Node Controller
USB	=	Universal Serial BUS
WG-AEN	=	Working Group Assessment of Exposure to Noise
WINS	=	Wireless Integrated Network Sensors
WSN	=	Wireless Sensor Networks
WLANs	=	Wireless Local Area Networks
WPANs	=	Wireless Personal Area Networks

ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย

Wireless Sensor Network Monitoring and Management System

คำนำ

ระบบเครือข่ายการตรวจวัด (sensor system) เริ่มเป็นที่รู้จักในปัจจุบัน เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจวัดระบบการทำงานต่างๆ ไม่ว่าในโรงงานอุตสาหกรรม ในโรงพยาบาล หรือในองค์กรต่างๆ เนื่องจากการตรวจวัดนั้น จะทำให้มีความรวดเร็ว สะดวกต่อการทำงาน และลดเวลาในการตรวจวัดค่าต่างๆในระบบที่ต้องการ รวมทั้งในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายนั้น มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาก ซึ่งการใช้ระบบไร้สายนั้นจะมีความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ ง่ายต่อการตรวจวัด ลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการเดินทางเพื่อที่จะคอยตรวจวัดค่าได้อีกด้วย รวมทั้งง่ายต่อการแสดงผล (monitoring) และการบริหารจัดการ (Management) ตัวตรวจจับ (sensor node)

ระบบการตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายแบบไร้สายถูกพัฒนาขึ้นให้เป็นระบบที่ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีขององค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ ได้แก่ ไมโครคอนโทรเลอร์ (Microcontroller) ตัวตรวจจับ (Sensor) และ อุปกรณ์สื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุระยะสั้น (Short-rang RF Communication Device) เป็นการลดการบำรุงรักษาแหล่งจ่ายพลังงานเช่นแบตเตอร์รี่

สำหรับการติดต่อสื่อสารในเครือข่ายนี้ จะเป็นการสื่อสารไร้สายซึ่งอยู่บนมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลที่ง่ายและไม่ซับซ้อน และเพื่อความสะดวกในการที่จะนำวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้งานจริงได้ง่าย เข้าได้กับระบบเครือข่ายทุกระบบ และเข้าได้กับระบบทุกขนาด ไม่ว่าระบบนั้นจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กนั้น จึงใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกเพื่อทำหน้าที่วิเคราะห์เฟรมที่ใช้ในเครือข่ายตัวรับรู้แบบไร้สายซึ่งเป็นไปตามาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งโปรแกรมนี้จะสามารถส่งคำสั่งจากผู้ใช้เพื่อที่จะทำการอ่านข้อมูลจากจุดรับรู้เพื่อตรวจวัด นำมาแสดงผล และควบคุมการทำงานของระบบเครือข่ายการตรวจวัดไร้สายนี้

วัตถุประสงค์

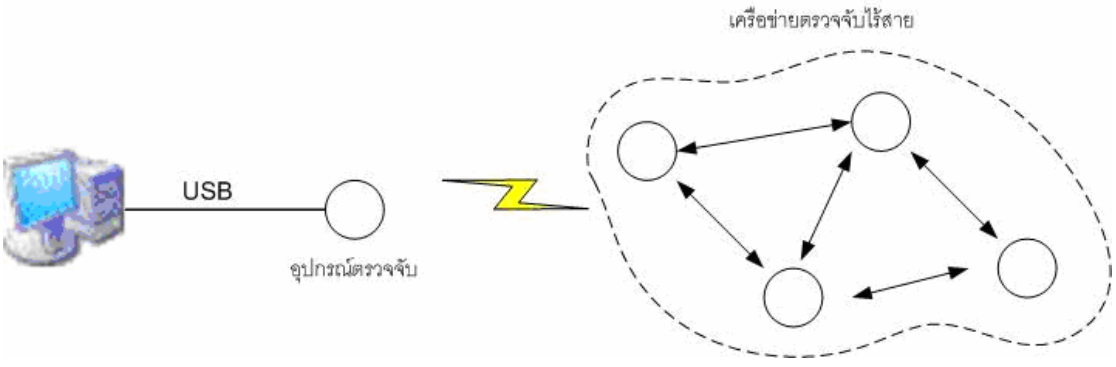
1. เพื่อพัฒนาระบบการแสดงผลและควบคุมการทำงานของเครือข่ายตรวจวัดไร้สายให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ และมีความคงทนมากขึ้น

2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการสื่อสารระหว่างจุดรับรู้และระบบเครือข่ายตรวจวัดให้ง่ายแก่การตรวจวัด และบริหารจัดการระบบ

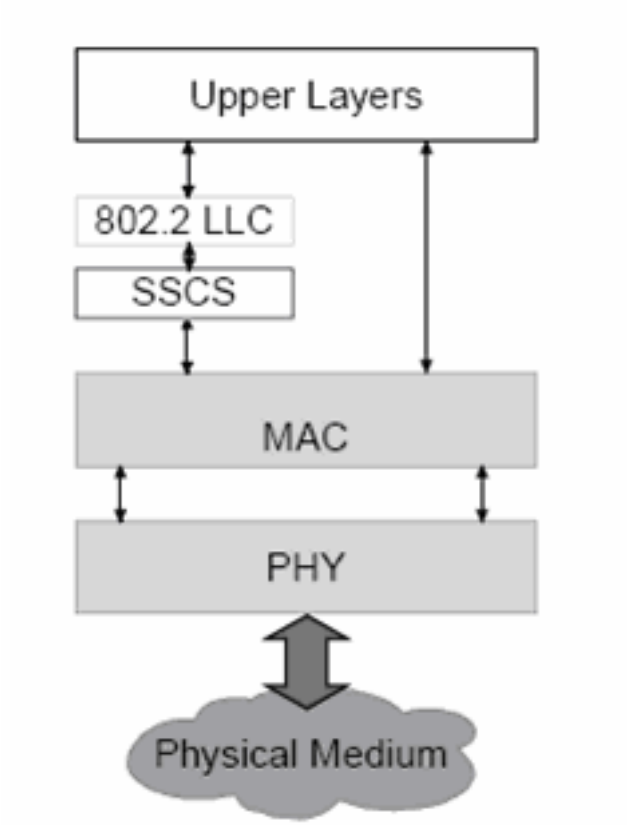
การตรวจเอกสาร

ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย สามารถรองรับตัวตรวจจับที่เป็นระบบเครือข่ายได้หลายแบบ ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายแบบดวงดาว (star) แบบบัส (bus) แบบวงแหวน (ring) แบบลำดับชั้น (hierarchical) รวมทั้งแบบเมช (Mesh) อีกด้วย โดยสื่อสารโดยมีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 รองรับ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่รองรับการสื่อสารไร้สายที่ทำงานในชั้นทางกายภาพ (Physical layer) และชั้นย่อยควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Media Access Control layer หรือ MAC layer) ที่มีการส่งข้อมูลไม่ซับซ้อน

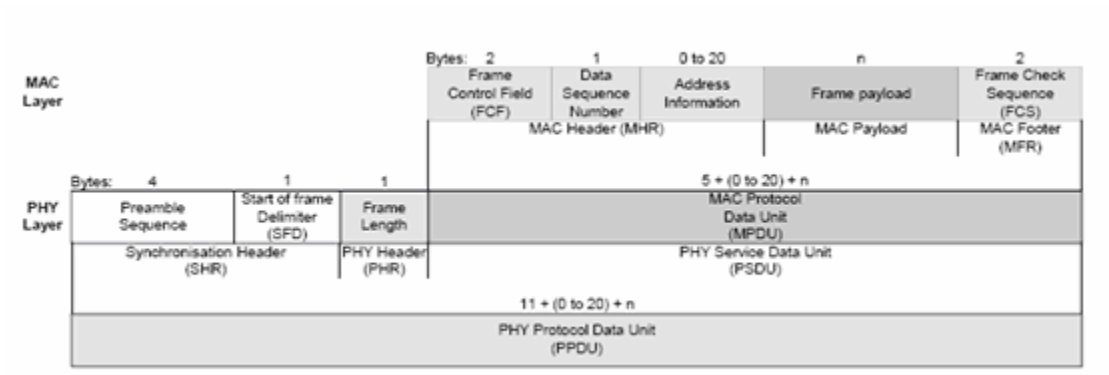
ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ โดยส่วนฮาร์ดแวร์นั้นประกอบด้วยบอร์ดเชื่อมต่อไร้สายความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และ มาตรฐานของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยมีคอมพิวเตอร์สำหรับเป็นเทอร์มินอลในการแสดงผลแ ละควบคุมการทำงาน ส่วนซอฟต์แวร์จะใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกเพื่อทำการรับข้อมูลของจุดต่อต่างๆ ในเครือข่ายผ่านทางบอร์ดเชื่อมต่อแบบไร้สาย รับส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายไร้สายที่จำลองขึ้นจากบอร์ดไร้สาย กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะส่งข้อมูลไปให้กับโปรแกรมโดยผ่านพอร์ตยูเอสบี (USB Port)



ภาพที่ 1 ระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรม IEEE 802.15.4



ภาพที่ 3 รูปแบบเฟรม IEEE 802.15.4

ส่วนซอฟต์แวร์มีการทำงานด้วยกัน 2 รูปแบบได้แก่

1. ตรวจวัดค่าต่างๆ (Monitor) ทำหน้าที่แสดงค่าต่างๆของข้อมูลที่ต้องการวัดในรูปแบบกราฟ และตาราง

2. บริหารและจัดการ (management) ทำหน้าที่นำค่าที่ได้มาเก็บเป็นฐานข้อมูล และนำมาประมวลผล ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นกราฟฟิค เพื่อแสดงให้เห็นระบบอย่างชัดเจน สำหรับที่จะบริหารและจัดการเครือข่ายได้ง่ายยิ่งขึ้น และทำหน้าที่ควบคุมอุปกรร์ในเครือข่ายด้วย

การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการทำหน้าที่เป็น Packet Sniffer เพื่อวิเคราะห์เฟรมของ IEEE 802.15.4 และแสดงข้อมูลของเฟรมแต่ละประเภทที่ได้รับไว้ในตารางและสามารถเลือกดูข้อมูลดิบของเฟรมได้ และนำข้อมูลดิบมาทำฟังก์ชัน Monitor ซึ่งจะแสดงค่าของเฟรมที่เรารับได้จากการทำงานรูปแบบ Packet Sniffer ลงในกราฟและตารางเพื่อให้ง่ายในการอ่านค่าข้อมูล โปรแกรมสามารถรับคำสั่ง (Command) ซึ่งจะเป็นการให้ผู้ใช้ส่งคำสั่งไปยังบอร์ดเชื่อมต่อแบบไร้สายและแสดงผลตอบรับของคำสั่งนั้นจากบอร์ดเชื่อมต่อแบบไร้สาย และโปรแกรมยังสามารถแสดงเครือข่ายในรูปของกราฟฟิกเพื่อตรวจวัดค่าการทำงานของอุปกรณ์ในเครือข่าย และสามารถดูการทำงาน และควบคุมอุปกรณ์แต่ละตัวในเครือข่ายจากหน้ากราฟฟิกที่เห็นเสมือนมองเห็นเครือข่ายจริงทั้งเครือข่าย รวมทั้งรวบรวมข้อมูลการทำงานต่างๆของอุปกรณ์ในระบบ และนำมาเก็บเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ และดูระบบการทำงานของเครือข่ายต่อไป

โดยโปรแกรมดังที่กล่าวมานั้น จะถูกเขียนขึ้นโดยโปรแกรมภาษาวิชวลเบสิก เพื่อจะได้สามารถนำไปใช้ได้ในทุกเครือข่าย และไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่หรือเล็ก ก็สามารถที่จะทำงานจากโปรแกรมเดียวกันได้ เพียงแค่ตั้งค่าตัวอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละตัวในระบบเครือข่ายว่าอยู่ตำแหน่งไหน และต้องการตรวจวัดค่าอะไร ก็สามารถใช้งานได้ เพื่อให้ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สายนั้นสะดวกและง่ายแก่การใช้งาน ประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง อีกทั้งยังสะดวกไม่ต้องเปลืองเวลาในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ตรวจจับโดยไม่จำเป็นอีกด้วย

ความรู้พื้นฐานระบบตรวจวัด และบริหารจัดการเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

เครือข่ายตรวจจับไร้สาย

เครือข่ายตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Networks : WSN) คือ เครือข่ายไร้สายที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ควบคุมตัวเองซึ่งกระจายอยู่อย่างอิสระต่อกัน โดยใช้ตัวตรวจจับ (Sensor) เพื่อตรวจวัดลักษณะทางกายภาพ หรือเงื่อนไขต่างๆของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ, เสียง, การสั่น, ความดัน, การเคลื่อนไหว, หรือมลภาวะในสถานที่ที่แตกต่างกันออกไป (Römer and Mattern, 2004) การพัฒนาของเครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นเริ่มต้นจากการทหารเพื่อสำรวจในสนามรบ อย่างไรก็ตาม เครือข่ายตรวจจับไร้สายก็ถูกใช้ในเขตบ้านเรือน รวมทั้งการตรวจวัดสภาพแวดล้อม และที่อยู่อาศัย, เพื่อตรวจวัดเกี่ยวกับสุขภาพ, ระบบบ้านอัตโนมัติ และการควบคุมการจราจร

ในเครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นจะมีตัวตรวจจับขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเรียกตัวตรวจจับนี้ว่า Sensor node และมีสถานีพื้นฐานตั้งแต่หนึ่งสถานีขึ้นไป ซึ่งเป็นศูนย์กลางของการเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวตรวจจับ (sensor nodes) (Hadim and Mohamed, 2006)

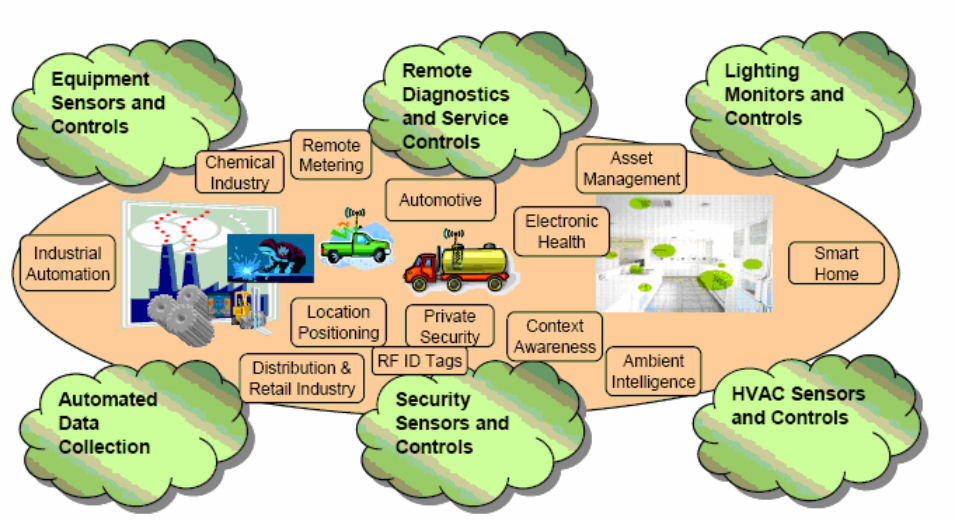
ตัวตรวจจับ (sensor nodes) สามารถมองได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นพื้นฐานของการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบไปด้วยตัวประมวลผล (processing unit) ที่ใช้พลังงานจำกัด (ในที่นี้ใช้ตัวประมวลผลในตระกูล MSP 430) , หน่วยความจำจำกัด, ตัวตรวจจับ (วงจรที่ประกอบขึ้นตามเงื่อนไขเฉพาะ), อุปกรณ์สื่อสาร (ปกติก็คือตัวรับส่งคลื่นวิทยุ ในที่นี้ใช้ ตัวรับส่งที่เป็น IC เบอร์ CC2500) , และ ตัวจ่ายพลังงานซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เป็นแบตเตอรี่ ส่วนประกอบอื่นๆที่อาจมีในเครือข่าย คือ energy harvesting modules, secondary ASICs, และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆที่เป็นไปได้ (RS232 หรือ USB) ในที่นี้จะเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 และส่งค่าขึ้นไปยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษาวิชวลเบสิกรับข้อมูลที่ส่งมาจากเครือข่ายตรวจจับไร้สาย เพื่อประมวลผล และแสดงขึ้นทางจอภาพของคอมพิวเตอร์

สถานีฐานจะมีหนึ่งส่วน หรือมีส่วนประกอบแยกเป็นหลายๆส่วนของระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายมีความสามารถในการคำนวณได้สูงขึ้น รวมถึงต้องใช้พลังงาน และทรัพยากรใน

การสื่อสารมากขึ้นด้วย โดยที่สถานีฐานนี้จะทำตัวเป็นเสมือน Network Adapter ระหว่างตัวตรวจจับ และผู้ใช้

1. ลักษณะการใช้งาน และประโยชน์ของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

(Callaway, 2003) ในหลายปีที่ผ่านมา ความต้องการการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เครือข่ายข้อมูลไร้สายนั้นเป็นที่นิยมขั้นต้นๆเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลในการบริการอินเตอร์เน็ต เช่น World Wide Web, e-mail และ การส่งผ่านข้อมูล ซึ่งในปัจจุบันนี้การใช้งานก็ได้พัฒนาอยู่ตลอด เช่น การใช้ระบบเกี่ยวกับความบันเทิงไร้สายในบ้านเรือน ซึ่งก็เป็นที่นิยม และมีการสนใจพัฒนาต่อไป เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Networks : WLANs) ก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของการใช้งาน ในปี 1997 สถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute Electrical and Electronic Engineers :IEEE) ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย 802.11 ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลด้วยอัตรา 2 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s) ที่ความถี่ 2.4 GHz ได้มีการนำมาใช้ในปี 1997 ซึ่งได้มีการพัฒนาเป็น 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n และ 802.11y โดยที่ 802.11a ซึ่งมีอัตราการรับส่งข้อมูลเป็น 54 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s) ที่ความถี่ 5 GHz ได้มีการนำมาใช้ในปี 1999 ,802.11b จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลได้ 11 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s) ที่ความถี่ 2.4 GHz ได้มีการนำมาใช้ในปี 1999, 802.11g จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลได้ 54 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s) ที่ความถี่ 2.4 GHz ได้มีการนำมาใช้ในปี 2003 และ802.11n จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลได้ 248 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s) ที่ความถี่ 2.4 และ5 GHz ได้มีการนำมาใช้ในปี 2008 เครือข่ายพื้นที่เฉพาะตัวไร้สาย (Wireless Personal Area Networks : WPANs) เป็นเครือข่ายที่ผู้ใช้ไม่มีการกำหนดบริการ และระบบพื้นฐานที่จำเป็นในการใช้งานระบบ และมีความยาวในการติดต่อสื่อสารน้อยกว่า 10 เมตร ระหว่างจุดศูนย์กลางของระบบนั้นๆ



ภาพที่ 4 การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในรูปแบบต่างๆ

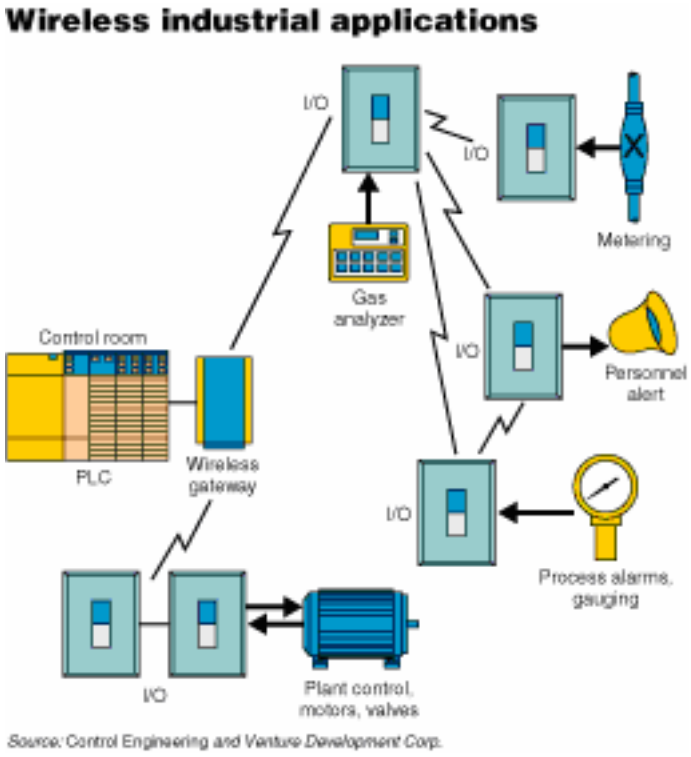
การใช้งานเครือข่ายไร้สายนั้นปัจจุบันมีอยู่มากมาย อย่างไรก็ตาม การใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการใช้เพื่อความสะดวก และใช้ในการวัดค่าต่างๆ ที่ต้องวัดบ่อยๆในแต่ละวัน รวมถึงการควบคุม และการตรวจวัดในอุตสาหกรรม , บ้านอัตโนมัติ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, ระบบความปลอดภัย และการตรวจจับในกองทัพ, การหาร่องรอยทรัพย์สมบัติ และการจัดการสิ่งต่างๆ, ระบบกสิกรรมอัจฉริยะ, และการตรวจวัดเกี่ยวกับสุขภาพ เพราะการใช้งานดังที่กล่าวมานั้นเป็นการใช้งานที่มีอัตราในการรับส่งข้อมูลต่ำ รวมถึงการตรวจจับที่อาจตรวจจับเพียงรูปแบบเดียวหรือหลายรูปแบบ และทำงานเป็นเครือข่าย จึงเรียกการใช้งานพวกนี้ว่า เครือข่ายตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Networks) หรืออาจเรียกว่า เครือข่ายพื้นที่เฉพาะตัวไร้สายอัตราต่ำ (Low-Rate WPANs :LR-WPANs) เพราะการใช้งานนี้ต้องการการเชื่อมต่อที่มีระยะสั้นๆ โดยปราศจากระบบพื้นฐานที่จำเป็นในการใช้งานระบบอยู่ก่อน โดยจะกล่าวถึงการใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายโดยสังเขปต่อไปดังนี้

1.1 การตรวจวัดและควบคุมในงานอุตสาหกรรม

ส่วนใหญ่แล้วนั้น ในอุตสาหกรรมจะมีห้องควบคุมเพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุมสิ่งต่างๆในโรงงาน ห้องควบคุมจะควบคุมตัวชี้วัด และ แสดงข้อมูลต่างๆซึ่งจะบรรยายค่าสถานะต่างๆในโรงงาน เช่น สถานะของวาล์ว, เงื่อนไขของการควบคุมอุปกรณ์, อุณหภูมิ และความดันในห้องเก็บวัสดุ เป็นต้น รวมไปถึงอุปกรณ์อินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนหรือเปลี่ยนแปลงชนิดของอุปกรณ์ในโรงงานด้วย เช่น วาล์ว, ตัวทำความร้อน เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการ

สังเกตการณ์สถานะในโรงงานนั้นๆ ตัวตรวจจับจะบรรยายค่าสถานะต่างๆทางกายภาพของโรงงาน ซึ่งจะมีการแสดงข้อมูลต่างๆนี้ไว้ในห้องควบคุม และ เมื่อเรามีการเปลี่ยนอุปกรณ์อินพุตหรือการเปลี่ยนแปลงอื่นๆภายในโรงงานนั้นจะสามารถทำได้โดยที่มีราคาไม่แพงมากนักเมื่อเทียบกับราคาค่าติดตั้งของสายเคเบิ้ลที่จำเป็นต้องใช้ในการสื่อสารระหว่างตัวอุปกรณ์เอง การบำรุงรักษาของระบบไร้สายนั้นก็สะดวกกว่า และมีราคาในการบำรุงรักษาต่ำกว่าระบบที่ต้องมีการติดตั้งสายของอุปกรณ์อีกด้วย เครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นจะมีการใช้งานอุปกรณ์หลายจุด และมีเส้นทางในการส่งข้อความเพื่อทำการสื่อสารถึงกันหลายทาง ซึ่งสามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้

ตัวอย่างของการควบคุมแบบไร้สายในอุตสาหกรรม เช่น การควบคุมระบบแสงสว่างทางการพาณิชย์ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบแสงสว่างในตึกใหญ่ๆนั้น ขึ้นอยู่กับการควบคุมระบบแสงสว่าง ในสถานที่ โดยที่จะต้องเดินสายเพื่อติดตั้งสวิทช์ ซึ่งระบบควบคุมแสงสว่างจะต้องมีการเปิดและปิด รวมถึงบางครั้งต้องมีการปรับปริมาณของแสงด้วย ดังนั้นความยืดหยุ่นของระบบไร้สายนั้นจะช่วยให้สามารถควบคุมไฟจำนวนมากเพื่อให้อยู่ในบริเวณใกล้เคียงที่ต่างๆออกไปโดยที่ไม่ต้องห่วงเรื่องค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายไฟ การที่จะใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายสำหรับระบบความปลอดภัยในโรงงาน ก็เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่น่าจะมีการพัฒนาให้สามารถทำได้ในอนาคต ซึ่งเครือข่ายตรวจจับไร้สายนี้ อาจจะมีตัวตรวจจับสำหรับตรวจจับสารพิษที่เกิดขึ้น หรือมีวัสดุที่เป็นอันตรายเจือปน ซึ่งจะสามารถตรวจจับได้เร็ว และมีการบ่งชี้ได้ว่ามีการรั่ว หรือมีการหกของสารเคมี หรือสารชีวภาพใดๆ ก่อนที่จะมีความเสียหายรุนแรงเกิดขึ้น รวมถึงจะทราบก่อนที่วัสดุต่างๆนั่นจะส่งออกสู่สาธารณชน เพราะเครือข่ายไร้สายสามารถที่จะทำงานกระจายอยู่ในเส้นทางต่างๆตามที่วิเคราะห์ไว้แล้ว ซึ่งจะมีหลากหลายเส้นทาง และสามารถที่จะทำให้ระบบการผลิตมีการรักษาตัวเอง และบำรุงรักษาระบบด้วยตัวเองได้อีกด้วย ทำให้ไม่ต้องกังวลในเรื่องของการระเบิดหรือมีความเสียหายรุนแรงในระบบการผลิตในโรงงาน และทางสำนักงานสามารถทราบข้อมูลสถานะของโรงงานภายใต้เงื่อนไขที่ยากต่อการรับทราบข้อมูลก็ตาม



ภาพที่ 5 การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในระบบอุตสาหกรรม

การตรวจวัดและควบคุมของการหมุน หรือการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรก็เป็นอีกหนึ่งลักษณะของงานที่เหมาะสม สำหรับการที่จะใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สาย ในการใช้งานเช่นนี้ การที่จะติดตั้งสายที่ตัวตรวจจับ และตัวส่งข้อมูลที่มีสายนั้นมักจะทำไม่ได้ ซึ่งอาจจะเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะตรวจวัดอุณหภูมิ การสั่นสะเทือน การหล่อลื่น และสิ่งอื่นๆด้วยของส่วนต่างๆของเครื่องจักรที่ทำให้เราใช้เวลาไม่มากนักที่ต้องปิดเครื่องจักรในช่วงการทำการบำรุงรักษาระบบการผลิต ระบบตรวจจับไร้สายนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การปฏิบัติงานได้เต็มที่ระหว่างช่วงการบำรุงรักษา และในการใช้งานนั้น เครือข่ายตรวจจับไร้สายก็ต้องการพลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตัวตรวจจับมักจะมีขนาดเล็ก และราคาไม่แพงมากนัก เครือข่ายตรวจจับไร้สายจึงเป็นที่นิยมในการใช้งานเพื่อที่จะสังเกตการณ์ และทำนายถึงการเสียหายของชิ้นส่วนต่างๆ

การวัดความร้อน การระบายอากาศ และการควบคุมการปรับอากาศ (The Heating, Ventilating, and Air Conditioning: HVAC) ของอาคารต่างๆก็เป็นอีกการใช้งานหนึ่งที่นิยมใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สาย ระบบ HVAC นี้ก็ต้องมีการควบคุมการทำงานของตัวควบคุมอุณหภูมิ

และความชื้นตัวเล็กๆด้วย ซึ่งจำนวนของตัวควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นนี้จะมีจำกัด แต่การที่จะติดตั้งสายเพื่อติดต่อระหว่างอุปกรณ์พวกนี้ก็จะทำให้ระบบ HVAC มีราคาสูงขึ้นมาก

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากคนที่อาศัยในอาคารนั้นไม่แน่นอน รวมถึงช่วงเวลากลางวัน ฤดู และการเกิดความแปรปรวนของอากาศ ก็มีผลทำให้ความร้อนในอาคารไม่แน่นอน การแปรเปลี่ยนนี้อาจเกิดจากการกระจายของคนที่อาศัยในตึกในแต่ละวัน แต่ละอาทิตย์ แต่ละฤดู และแต่ละปีด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารในแต่ละช่วงเวลาที่ไม่เป็นปกติ เช่น เมื่อองค์กรมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบองค์กร การจัดพื้นที่การใช้งาน หรือการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆในสำนักงานอาจจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของการที่จะก่อเกิดความร้อนแตกต่างไป รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในส่วนของตัวตึกเอง ซึ่งอาจมีการตกแต่งภายใน อาจมีการเพิ่มเติมผนัง เคลื่อนย้าย เอาออก หรือเพิ่มเติมส่วนต่างๆภายในตึกเป็นต้น

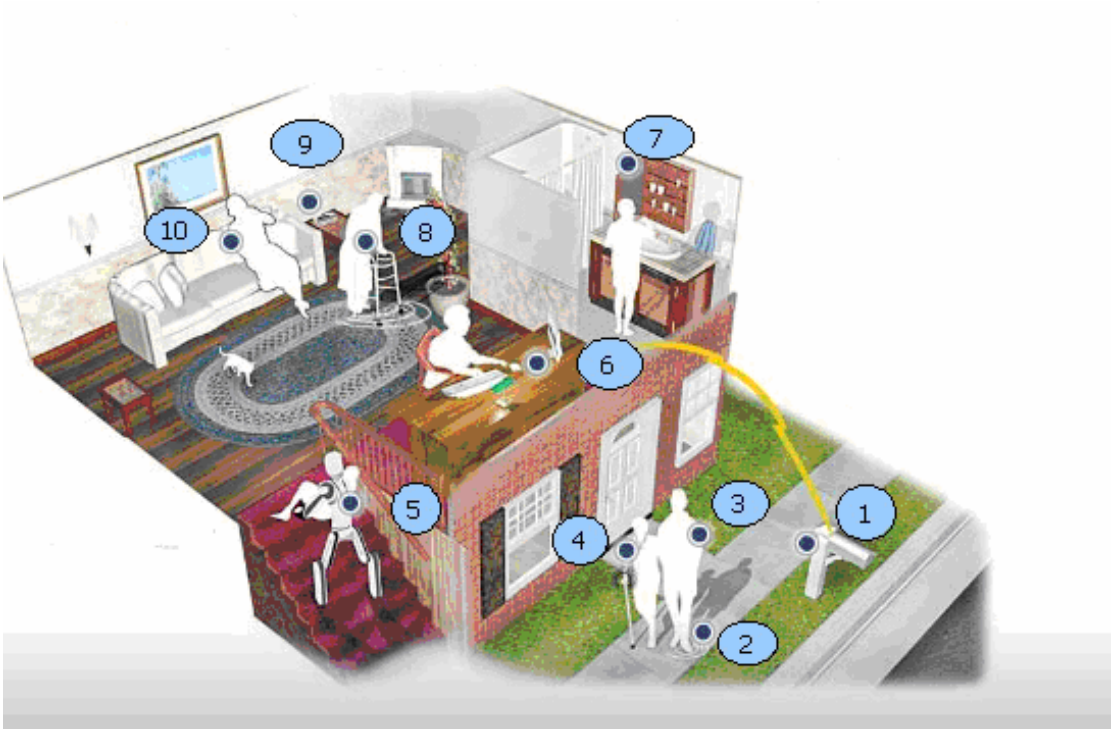
เหตุผลหลักของความไม่พึงพอใจในฟังก์ชัน HVAC คือการที่จะควบคุมระบบได้ล่าช้ากว่าข้อมูลที่ได้รับเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมภายในอาคารเพื่อที่จะรักษาสภาพที่ดีที่สุดของอาคารได้ รวมทั้งผู้ใช้ไม่ต้องการจ่ายแพงขึ้นในการติดตั้งสายสำหรับตัวตรวจจับ และความเป็นจริงนั้น เครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นก็สามารถที่จะรองรับการเพิ่มขึ้นจำนวนมากของข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในอาคารที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เพื่อส่งให้กับระบบควบคุม HVAC และยังสามารถจะทำการตอบสนองในส่วนเล็กๆตามที่ต้องการได้อีกด้วย ตัวควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไร้สายนั้นสามารถที่จะติดตั้งไว้ได้ในหลายๆที่ในแต่ละห้อง เพื่อที่จะได้รับข้อมูล และส่งข้อมูลนั้นไปยังระบบควบคุม ในทางเดียวกันนั้น ในระบบ bypass dampers และ volume dampers ไร้สายสามารถที่ใช้สำหรับการปรับการตอบสนองสำหรับระบบ HVAC ได้เป็นอย่างดีในสถานการณ์ที่ต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น เมื่อบุคลากรในบริษัทได้เคลื่อนย้ายไปยังห้องประชุมเพื่อทำการประชุมกันนั้น ระบบก็สามารถที่จะตอบสนองโดยการปิด volume dampers ในออฟฟิตขณะเดียวกันก็เปิด volume dampers ในห้องประชุมแทน หรือเมื่อกลุ่มบุคคลได้ออกนอกอาคาร ระบบ HVAC ก็จะสั่งการ bypass dampers ไร้สาย เพื่อที่จะตอบสนองการ เปลี่ยนแปลงของผลรวมความร้อนในอาคาร หรือในกรณีทีกลุ่มบุคคลนั้นต้องเดินทางโดยมีพายุฝนและเมื่อเข้ามาในอาคาร ตัวควบคุมความชื้นสามารถที่จะตรวจจับความชื้นจากร่มหรือจากเสื้อผ้า ระบบ HVAC ก็สามารถที่ควบคุมอากาศภายในอาคารให้ความชื้นลดลงจนแห้งได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่นๆในอาคาร

ระบบ HVAC ไร้สายนั้น สามารถที่จะแก้ปัญหาได้ในอีกหลายๆปัญหาที่วิศวกรระบบควบคุมการระบายอากาศในอาคารจะต้องพบเจอ คือ การทำให้เกิดสมดุลความร้อน และการปรับอากาศ ซึ่งเป็นเรื่องปกติที่แหล่งความร้อนมักจะกระจายอยู่อย่างไม่แน่นอนภายในอาคาร ในบ้านเรือนก็มักจะมีความร้อนเพิ่มขึ้นขณะมีการทำอาหาร, ห้องนอนก็มักจะเย็นลงในหน้าหนาว ดังนั้นก็ต้องมีการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในห้องนอนช่วงหน้าหนาว และทำให้อุณหภูมิลดลงในห้องครัวเมื่อเกิดความร้อนมากขึ้นในห้องครัว ความแตกต่างกันในการกระจายความร้อน และระบบเครื่องปรับอากาศนั้นเป็นปัญหาที่แก้ยาก และมักจะต้องมีค่าใช้จ่ายแพงในการแก้ไขปัญหาด้วยการควบคุมระบบที่ต้องมีการติดตั้งสาย เพราะตัว volume damper ในแต่ละห้องภายในบ้านนั้นจำเป็นต้องถูกควบคุมอย่างเป็นอิสระต่อกัน บ่อยครั้ง dampers นั้นอาจจะถูกติดตั้งแค่เพียงตัวเดียวซึ่งกำหนดตำแหน่งแน่นอน และอาจติดตั้งไว้ในพื้นที่ที่มีความเย็นอยู่เสมอ และตัวอื่นๆติดตั้งไว้ในที่ที่มีความร้อนอยู่เสมอก็ได้ ด้วยตัวตรวจจับนั้นเป็นตัวตรวจจับไร้สาย จึงเคลื่อนย้ายได้ในระบบ HVAC ปัญหาต่างๆก็กลายเป็นเรื่องเล็กน้อย ตัว dampers ในแต่ละห้องนั้นสามารถถูกควบคุมได้โดยตัวตรวจจับในแต่ละห้อง ทำให้ระบบนั้นทำงานได้อย่างสมดุลและสมบูรณ์แบบในทุกช่วงเวลาของทั้งปี

แต่ละระบบ HVAC ไร้สายนั้น ก็ยังมีความน่าสนใจที่จะนำไปใช้ได้อีกมากมาย การตรวจวัดที่อยู่ใกล้ๆกันของระบบปฏิบัติการณ์นั้น สามารถที่จะบ่งบอกถึงปัญหา และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ก่อนที่ผู้ใช้จะรู้ตัวด้วยซ้ำไป นอกจากนั้นตัวตรวจจับในพื้นที่ที่มีการทำกิจกรรมมากๆ ตัวตรวจจับไร้สายก็อาจจะติดตั้งไว้ข้างๆส่วนของช่องอากาศ (เพื่อที่จะตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของความร้อน เป็นต้น) โดยไม่จำเป็นต้องมีบุคคลากรสำหรับคอยตรวจวัด

1.2 บ้านอัตโนมัติ และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ

ในบ้านนั้นมีการใช้งานมากมายที่สามารถใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายได้ การใช้งานในอุตสาหกรรมหลายๆงาน สามารถที่จะนำมาใช้คู่กับการใช้งานในบ้านเรือนได้ ตัวอย่างเช่นอุปกรณ์ระบบ HVAC ในบ้านซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิแบบไร้สาย และ damper ที่สามารถช่วยให้ห้องที่อยู่ทางด้านที่อยู่ในส่วนที่รับแสงแดดนั้นมีอุณหภูมิที่ทำให้รู้สึกสบายมากขึ้น และในห้องที่ไม่โดนแสงแดดนั้นก็ไม่ทำให้อุณหภูมิเย็นจนเกินไป ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ตัวตัวควบคุมอุณหภูมิที่ต้องมีการติดตั้งสายเพียงตัวเดียว อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีการใช้งานอื่นๆอีกหลากหลายที่เหมาะสมกับการใช้เครือข่ายไร้สาย



ภาพที่ 6 การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในบ้าน

อีกหนึ่งการใช้งานคือ การทำตัวควบคุมระยะไกลที่ควบคุมได้ทุกอย่าง (The “universal” remote control) เครื่องผู้ช่วยดิจิตอลส่วนตัว (Personal digital assistant : PDA) ซึ่งสามารถควบคุมได้ไม่เพียงแค่โทรทัศน์, เครื่องเล่น DVD, เครื่องเสียง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆในบ้าน แต่ยังสามารถควบคุมระบบไฟ, ผ้าม่านไฟฟ้า, และระบบล็อกซึ่งเราสามารถใช้เชื่อมต่อกับเครือข่ายตรวจจับไร้สายได้ ซึ่ง the universal remote control เพียงหนึ่งตัวอาจจะควบคุมระบบในบ้านทั้งหมดได้จากคนที่นั่งบนเก้าอี้สบายๆตัวหนึ่งในบ้านก็ได้ อย่างไรก็ตาม อาจมีการส่งสัญญาณที่มีศักยภาพโดยการส่งสัญญาณเพียงอย่างเดียวก็สามารถทำงานได้หลายอย่างเช่น อาจจะให้มีการปิดม่านโดยอัตโนมัติเมื่อมีการเปิดโทรทัศน์ หรืออาจจะทำให้ระบบความบันเทิงในบ้านนั้นเงียบลงเมื่อมีการรับโทรศัพท์ หรือเสียงกริ่งประตูดัง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์และคอมพิวเตอร์นั้นจะต่อเข้ากับเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

การใช้งานหลักของเครือข่ายตรวจจับไร้สายในบ้านนั้น ถูกคาดหวังว่าจะถูกใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่อยู่ภายนอกบ้านได้ ซึ่งอาจใช้ลักษณะของคีบอร์ด และไมค์ไร้สาย การใช้งานต่างๆในเครือข่ายตรวจจับไร้สายนี้ จะได้เปรียบในเรื่องของราคาที่ต่ำ และ ใช้พลังงานต่ำ ซึ่ง

นั่นก็เป็นส่วนสำคัญของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย การใช้งานอีกอย่างหนึ่งภายในบ้านนั้นคือ การทำงานด้านข้อมูลบนพื้นฐานของตัวตรวจจับ ซึ่งตอบสนองโดยอัตโนมัติ และทำงานร่วมกันเสมือนเป็นผู้อยู่อาศัย

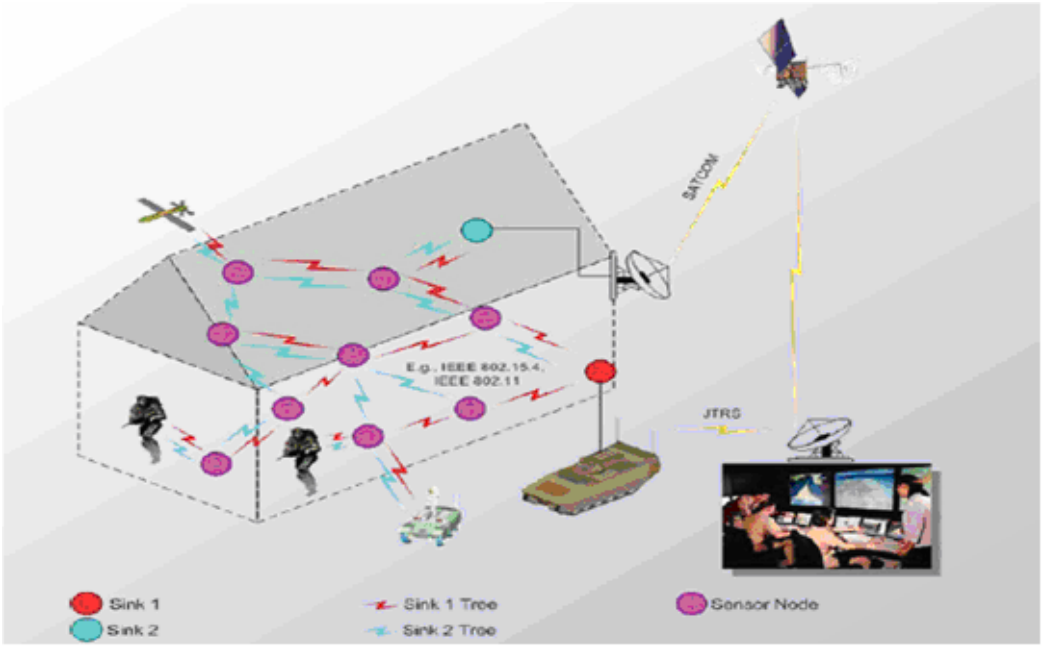
ของเล่นเด็กก็เป็นอีกการใช้งานหนึ่งที่มีความเหมาะสมแก่การใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สาย รายการของเล่นที่ใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายที่เพิ่มขึ้น หรือของเล่นที่สามารถใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายได้นั้น จะจำกัดตามจินตนาการของบุคคล และขอบเขตการใช้งานจากการควบคุมเครื่องเสียงในห้องประชุม เครื่องเสียงในรถยนต์ และเรือ จนถึงการใช้งานในการทำเกมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ joystick ไร้สาย และการควบคุมโดยไร้สาย การใช้งานในรูปแบบที่นำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาขยายให้สามารถเป็นของเล่นได้ ซึ่งมีการใช้พลังงานเหมือนคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพเปรียบเสมือนของเล่น ตัวอย่างเช่น การจดจำและสังเคราะห์คำพูด ซึ่งอาจจะทำได้โดยการใส่ไมโครโฟน และ ลำโพงในตัวของเล่น ซึ่งต้องมีตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล และ แปลงจากดิจิตอลเป็นอนาล็อก แต่การใช้การเชื่อมต่อไร้สายกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีฟังก์ชั่นการจดจำ และสังเคราะห์คำพูดแทนก็ได้ โดยที่เราไม่ต้องติดตั้งวงจรการจดจำคำพูด และสังเคราะห์คำพูดซึ่งมีราคาแพงลงในของเล่นนั้น และใช้การคิดคำนวณในคอมพิวเตอร์ที่คำนวณไว้แล้ว ก็อาจทำให้ราคาของของเล่นนั้นลดลงได้ ในขณะที่ของเล่นนั้นก็มีความสามารถที่ดีขึ้น ซึ่งมันเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะทำให้ของเล่นมีการใช้งานได้ซับซ้อนขึ้น โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีอื่นที่ซับซ้อนวุ่นวาย

การใช้งานหลักอีกงานหนึ่งภายในบ้านนั้นก็คือ การขยายไปใช้ในงานลักษณะ Remote Keyless Entry (RKE) ซึ่งพบมากในรถยนต์ ด้วยเครือข่ายไร้สาย, ระบบล็อกไร้สาย, ตัวตรวจจับที่หน้าต่างและประตูไร้สาย และ การควบคุมไฟไร้สาย เจ้าของบ้านอาจจะมีอุปกรณ์คล้ายๆ กับกุญแจที่มีปุ่มกดเก็บใส่ไว้ในกระเป๋า เมื่อกดปุ่มอุปกรณ์ก็จะส่งสัญญาณไปล็อกประตูหน้าต่างในบ้าน ปิดไฟภายในบ้านทั้งหมด (อาจเหลือไว้เพียงไฟบางดวงในเวลากลางคืน), เปิดไฟนอกบ้านเพื่อความปลอดภัย, และตั้งระบบ HVAC ภายในบ้าน เป็นแบบเวลากลางคืนหรือโหมดการนอนหลับก็ได้ ผู้ใช้ก็ได้รับเสียงสัญญาณตอบกลับ เพื่อให้มั่นใจหนึ่งครั้งว่า การทำงานนั้นได้ทำตามคำสั่งเสร็จสิ้นแล้ว และเมื่อประตูถูกเปิดออก หรือมีปัญหาเกิดขึ้น ก็จะมีการแสดงผลบอกที่อุปกรณ์ถึงสาเหตุของปัญหาได้ เครือข่ายสามารถใช้งานสำหรับระบบความปลอดภัยภายในบ้านได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เพื่อตรวจหาหน้าต่างที่มีการทำให้แตก หรือ ปัญหาอื่นๆได้

ภายนอกบ้านนั้นก็เป็นพื้นที่ซึ่งก็เหมาะแก่การใช้เครือข่ายไร้สายเพื่อการเก็บข้อมูลต่างๆของการทำกิจกรรมของผู้ใช้อุปกรณ์ไร้สายนั้น รวมถึงการท่องเที่ยว หรือการช็อปปิ้ง ในการใช้งานต่างๆนี้ พื้นที่ที่สามารถใช้งานเพื่อที่จะให้ข้อมูลต่างๆที่เฉพาะเจาะจงของผู้ใช้อุปกรณ์ได้ ในกรณีของไกด์นำเที่ยว ไกด์นำเที่ยวก็จะได้รับข้อมูลที่เกี่ยวกับลูกทัวร์ที่ต้องคอยดูแล ในกรณีของการแนะนำการช็อปปิ้ง ผู้ใช้อุปกรณ์ก็จะได้รับข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าต่างๆที่ผู้ใช้สนใจ รวมถึงของที่ขาย และส่วนลดพิเศษ และ ของแถมต่างๆอีกด้วย

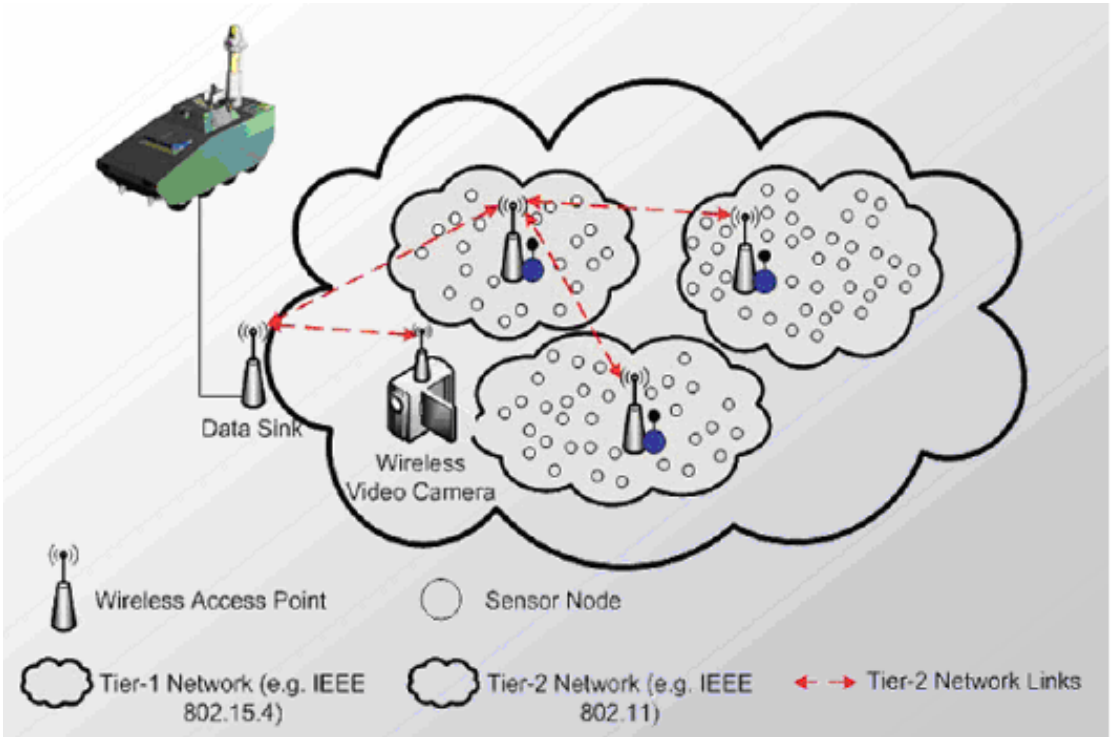
1.3 ตัวตรวจจับที่เกี่ยวกับความปลอดภัย และตัวตรวจจับสำหรับการทหาร

ระบบความปลอดภัยไร้สายนั้นได้กล่าวถึงไปบ้างแล้วในหัวข้อด้านบนที่เกี่ยวกับการใช้งานภายในบ้านซึ่งสามารถนำมาใช้สำหรับระบบความปลอดภัยในโรงงานได้ แต่ละระบบจะมีโปรโตคอลสำหรับสื่อสารของแต่ละระบบ โปรโตคอลพวกนี้สามารถที่จะรองรับตัวตรวจจับได้หลายตัวที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยในโรงงาน รวมถึง Passive infrared, ระบบเปิดประตูแม่เหล็ก, ตรวจจับควัน และตรวจจับกระจกที่แตก และตัวตรวจจับสำหรับใช้กับมนุษย์โดยตรง (ตัวตรวจจับ “panic button” เพื่อเรียกขอความช่วยเหลือเร่งด่วน เป็นต้น)



ภาพที่ 7 การใช้งานของเครือข่ายไร้สายทางการทหารในรูปแบบ MOUT (Military Operations on Urban Terrain) WSN Architecture

บางเทคโนโลยีนั้น จุดประสงค์แรกของการใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้น ก็เพื่อสำหรับการใช้งานกับการทหาร ประโยชน์ที่ยิ่งใหญ่อย่างหนึ่งของการใช้เครือข่ายไร้สายนั้นก็คือเครือข่ายไร้สายนั้นสามารถใช้แทนที่กองรักษาการณ์ และ ทหารยามรอบๆ แนวป้องกันที่ต้องคอยป้องกันทหารไม่ให้ต้องเข้าไปอยู่ในเขตที่อันตราย ในทางเดียวกัน เครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นสามารถที่จะใช้ฟังก์ชันที่คล้ายๆกับการขัดขวางระเบิด โดยปราศจากการระเบิดที่อันตรายต่อพันธมิตรระหว่างสงคราม (หรือ ต่อพลเรือนหลังจากที่มีสงครามผ่านไปแล้ว) และยังมีการใช้งานที่เกี่ยวกับการป้องกันอื่นๆอีกด้วย ผลประโยชน์จากเครือข่ายไร้สายนั้นก็ยังสามารถที่จะนำไปใช้ในพื้นที่ หรือ เป้าหมายที่บ่งชี้ไว้เพื่อจะโจมตีได้อย่างมีศักยภาพ และเพื่อสนับสนุนการโจมตีของกองกำลังหนุน และเรือกองหนุนได้อีกด้วย เครือข่ายตรวจจับไร้สายนี้อาจจะมีอุปกรณ์พวกไมโครโฟน , ตัวตรวจจับการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว, ตัวตรวจจับคลื่นแม่เหล็ก , เรดาร์ Untrawideband, และตัวตรวจจับอื่นๆ



ภาพที่ 8 การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายทางการทหาร แบบ Two-Tier MOUT (Military Operations on Urban Terrain) WSN

เครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นสามารถทำให้มีขนาดเล็ก และสามารถพรางตาได้เมื่อไปวางไว้กับหินธรรมชาติ ต้นไม้ หรือ ตามฟางหญ้าริมถนน โดยธรรมชาติแล้ว เครือข่าย Multihop นั้นจะมีการใช้งานซ้ำๆกัน เครือข่ายพวกนี้จะมีการควบคุม และ ขั้นตอนการหาเส้นทางของตัวเองกระจายกันอยู่ ดังนั้นจึงยากแก่การที่จะทำลายอุปกรณ์ทั้งหมดนี้ในสงคราม การใช้เทคนิคการกระจายสเปคตรัม รวมถึงการส่งผ่านรูปแบบการระเบิดไปยังเครือข่ายตรวจจับไร้สาย (โดยที่มีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้นานอีกด้วย) จึงสามารถทำให้เป็นไปได้ต่ำที่จะตรวจจับพวกอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายนี้ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ปริมาณของระบบตรวจจับไร้สายแบบ ad hoc ที่ได้มีการวางแผนการจัดเรียงในพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กันนั้น สามารถที่จะใช้จุดตรวจจับของระบบในรูปแบบการเรียงตัวแบบ retrodirective array ที่มีการกระจายส่วนต่างๆอย่างซุ่ม แต่ละ array สามารถที่จะถูกใช้สำหรับหาการแทรกซึมออกของข้อมูลของระบบตรวจจับ ข้อมูลการติดตั้งที่สัมพันธ์กันนั้นจะถูกจัดเรียงให้สัมพันธ์กับ carrier phase ของสัญญาณที่ถูกส่งโดยแต่ละ node ด้วยข้อมูลนี้ การแทรกซึมออกของข้อมูลอาจจะไม่ถูกส่งออกไปในทิศทางของสัญญาณขาเข้า แต่จะส่งไปในทิศทางอื่นๆที่เราต้องการ เทคนิค Beamforming ที่จะนำมาปรับปรุงใช้กับตัวตรวจจับพวกนี้ได้ เพื่อที่จะทำให้ความละเอียด และความน่าจะเป็นของตรวจจับให้ดีขึ้น

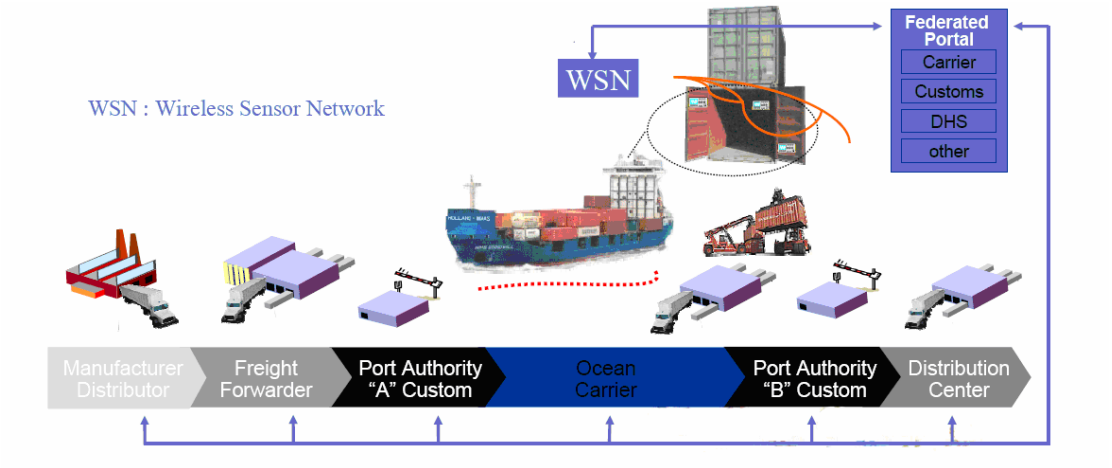
เครือข่ายตรวจจับไร้สายสามารถที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัด และควบคุมประชากรในเมืองด้วยตัวตรวจจับที่เกี่ยวกับสายตา, เสียง, เคมี, ชีววิทยา และทางด้านรังสี เพื่อติดตามทั้งส่วนบุคคล และเป็นกลุ่ม

1.4 การติดตามทรัพย์สิน และ การจัดการโซ่อุปทาน

การใช้งานที่มีปริมาณมากที่สุดของเครือข่ายตรวจจับไร้สายถูกคาดหวังให้สามารถใช้ในการติดตามทรัพย์สิน และจัดการโซ่อุปทานได้

การติดตามทรัพย์สินนั้นมีหลายรูปแบบ ตัวอย่างหนึ่งก็คือการติดตามของการส่งสินค้าในท่าเรือใหญ่ สิ่งอำนวยความสะดวกในแต่ละท่าเรือนั้นอาจจะมีตู้คอนเทนเนอร์จำนวนมากมายซึ่งบางตู้นั้นอาจจะว่าง และ บางตู้อาจจะมีการเก็บสินค้า ขณะที่แต่ละตู้นั้นมีจุดหมายปลายทางที่แตกต่างกันไป ตู้มีการวางซ้อนกันทั้งบนบก และในเรือ จุดที่สำคัญที่สุดของผู้ประกอบการขนส่งสินค้า ก็คือการจัดระเบียบตู้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้มีการขนน้อยครั้งที่สุด และผิดพลาดน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น จะต้องให้ตู้ที่จะใช้ต่อไปมาอยู่ด้านบนของกองที่ใกล้เคียง แทนที่จะให้อยู่ข้างใต้สุดของกองที่ห่างออกไปไกลๆ ความผิดพลาดในการบันทึกของตู้ จะทำให้เกิดความเสียหาย

อย่างใหญ่หลวง ตู้ที่หายไปจากบันทึก จะสามารถหาพบได้โดยการค้นหาอย่างเหนื็ดเหนื่อยในโกดังขนาดใหญ่ การติดตามทรัพย์สินสามารถใช้ประโยชน์ได้ในกรณีนี้ โดยการติดตัวตรวจจับที่ตู้ทุกใบ ทำให้เรารู้ตำแหน่งของตู้ทุกใบที่กองอยู่



ภาพที่ 9 การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายในการติดตามทรัพย์สิน และ การจัดการโซ่อุปทาน

สถานการใกล้เคียงกันสามารถพบได้ในการติดตามทรัพย์สินต่างๆ ในสายพานจำนวนมากบนไลน์ผลิต โดยรถสายพานจำนวนมากจะต้องมีการจัดการที่ถูกต้อง และในการผลิตสินค้าที่มีอายุการใช้การยาวนาน เช่นรถยนต์ และรถบรรทุก ซึ่งใช้ที่เก็บเป็นจำนวนมากหลังจากผลิตเสร็จก่อนที่จะส่งให้ผู้จำหน่าย

การใช้งานที่เกี่ยวข้องของการจัดการโซ่อุปทาน สินค้าที่อยู่ในโกดังขนาดใหญ่โดยที่ไม่รู้ตำแหน่งที่แน่นอน จะเหมือนกับว่าสูญหายไป เนื่องจากไม่สามารถนำมาใช้หรือขายได้ ซึ่งเป็นตัวแทนของการหดหายไปของรายการสินค้า แม้ว่าสินค้าจะมีอยู่จริงก็ตาม ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายทางธุรกิจ โดยในทางเดียวกันกับการติดตามทรัพย์สินที่ได้กล่าวไปข้างต้น เครือข่ายตรวจจับไร้สายสามารถใช้ลดต้นทุนในส่วนนี้ รวมทั้งได้รับข้อดีในด้านอื่นๆ ในกระบวนการกระจายสินค้า (distribution chain) ปัญหาที่สร้างความปวดหัวให้กับตัวแทนจำหน่าย คือการต้องระบุที่อยู่ที่แน่นอนของสินค้าที่ต้องการจะขาย ความแตกต่างของการรู้ถึงที่อยู่ของสินค้านั้น คือจะทำให้เราสามารถรู้ว่าสินค้ามีอยู่จริง และสามารถทำการขายได้ แต่ถ้าไม่รู้ถึงที่อยู่ของสินค้า ต่อให้สินค้ามีอยู่จริงก็ไม่สามารถทำการขายได้ แต่การรู้ถึงสถานะของโซ่อุปทานทั้งหมดตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงสินค้าสำเร็จรูป จะช่วยให้ธุรกิจดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่นการขนย้ายสินค้าที่เหลือจาก

ร้าน ก (ซึ่งขายสินค้าได้ช้า) ไปให้ร้าน ข (ซึ่งขายสินค้าได้เร็ว) สามารถช่วยให้บริษัทหลีกเลี่ยงจากการซื้อวัตถุดิบเพิ่มสำหรับร้าน ข ได้ เครือข่ายตรวจจับไร้สายที่นำมาใช้กับทุกส่วนของโซ่อุปทาน ทำให้ทุกคนในธุรกิจสามารถตัดสินใจได้ดีขึ้น เพราะมีข้อมูลทั้งหมดของสินค้าในโซ่อุปทาน

ข้อมูลนี้สามารถใช้เพื่อความได้เปรียบในการแข่งขัน การที่สามารถบอกลูกค้าได้ว่าของที่ลูกค้าต้องการอยู่ที่ไหนในโซ่อุปทาน ความมั่นใจของลูกค้าที่จะได้รับสินค้าตรงเวลาจะสูงขึ้น ซึ่งมีการใช้จำนวนมากอยู่แล้วในอุตสาหกรรมขนส่ง และเป็นส่วนที่ลูกค้าคาดหวังว่าจะได้รับบริการนี้ ผู้ขนส่งที่ไม่สามารถบอกได้ว่าสินค้าของลูกค้าอยู่ที่ไหนจะไม่ค่อยได้รับความไว้วางใจในการใช้บริการในครั้งต่อไป การใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายสำหรับติดตามวัสดุทางนิวเคลียร์มีการทดลองใน Authenticated Tracking and Monitoring System (ATMS) โดย ATMS ติดตั้งตัวตรวจจับไร้สาย (ซึ่งรวมถึงสถานะของการซีลประตู รวมทั้งตัวตรวจจับอินฟราเรด ควันรังสี และอุณหภูมิ) ภายในตู้ขนส่ง เพื่อเฝ้าดูสถานะของสิ่งของที่อยู่ด้านใน การแจ้งเตือนของตัวตรวจจับจะมีการส่งแบบไร้สายภายในตู้ขนส่งไปยังหน่วยประมวลผลเคลื่อนที่ ที่ต่อเชื่อมกับตัวรับสัญญาณของระบบบอกพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) และตัวส่งและรับสัญญาณดาวเทียมน่านน้ำสากล (INMASAT) ด้วยระบบ INMASAT ตำแหน่งของการขนส่งจะสามารถตรวจสอบได้ทุกๆที่ในโลก

1.5 ตัวตรวจจับในการเกษตร และสภาวะแวดล้อมที่ชาญฉลาด

ตัวอย่างทางทฤษฎีหนึ่งที่ใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายในงานเกษตรคือ เครื่องวัดปริมาณฝน ฟาร์ม คอกปศุสัตว์ขนาดใหญ่ มักจะมีพื้นที่ครอบคลุมถึงหลายตารางไมล์ ซึ่งได้รับปริมาณน้ำฝนไม่เท่ากัน หรือได้รับเพียงแค่ส่วนหนึ่งของฟาร์ม ระบบน้ำมีราคาแพง ดังนั้นการที่เรารู้ว่าพื้นที่บริเวณใดที่ได้รับน้ำฝนจึงมีความสำคัญ ทำให้งดเว้นการรดน้ำ และพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำฝนจะต้องมีการรดน้ำ โดยการใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายดังกล่าวถือเป็นอุดมคติ เพราะปริมาณข้อมูลที่ส่งในเครือข่ายน้อยมาก (น้อยขนาดที่ใช้เพียงแค่ 1 บิต “ใช่ หรือไม่ใช่” ต่อคำถามที่ว่า “วันนี้ฝนตกหรือไม่”) โดยความล่าช้าของข้อความไม่มีผลมาก นั่นจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยมาก และพลังงานที่ต้องใช้ก็ต่ำ

เครือข่ายตรวจจับไร้สาย สามารถที่จะใช้ตัววัดความชื้นของดินได้จำนวนมาก อย่างไรก็ตาม เพราะเครือข่ายสามารถที่จะทำให้ตัวตรวจจับมีความหลากหลายทางด้านเคมี และชีวภาพ

ข้อมูลที่ให้แต่ละเครือข่ายนั้นสามารถที่จะรวมถึงการให้ข้อมูลที่ประกอบไปด้วยรูปแบบของกราฟของความชื้นในดิน; อุณหภูมิ; ความต้องการสารเคมี เช่น สารกำจัดแมลง, สารกำจัดวัชพืช และปุ๋ยหมัก; การได้รับแสงอาทิตย์; และข้อมูลที่เกี่ยวกับด้านคุณภาพอื่นๆอีกมากมาย ลักษณะการใช้งานนั้นสำคัญอย่างยิ่งในไร่อ่งุนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลกระทบมากผลที่ได้ในการเก็บเกี่ยว และมีผลในขบวนการผลิต

ภาพที่ 10 การใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายในนาข้าว

ลักษณะที่จะใช้ในการกำหนดที่ติดตั้งของเครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นบางครั้งก็อาจจะขึ้นกับการใช้งานของระบบควบคุมที่พลิกแพลงเพื่อที่จะสามารถควบคุมอุปกรณ์ในโรงนาอย่างอัตโนมัติ

หลายการใช้งานของเครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นมักถูกใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ ฟาร์มปศุสัตว์อาจจะใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายในการหาตำแหน่งของสัตว์ที่อยู่ในฟาร์มปศุสัตว์นั้น โดยมีตัวตรวจจับนั้นติดอยู่กับสัตว์แต่ละตัว เพื่อตัดสินใจว่าจะให้ยารักษาโรค หรือยาป้องกันพยาธิ บางครั้งเจ้าของฟาร์มอาจจะใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายเพื่อที่จะตัดสินใจทำการผสมพันธ์สัตว์ในปศุสัตว์ ฟาร์มไก่ และฟาร์มสุกรนั้นเป็นฟาร์มประเภทที่มีสัตว์เยอะซึ่งต้องทำให้อากาศเย็น และระบายอากาศได้ดีในโรงเลี้ยงสัตว์ ถ้าปล่อยให้อุณหภูมิขึ้นสูงมากเกินไป ก็จะเป็นสาเหตุให้มีสัตว์

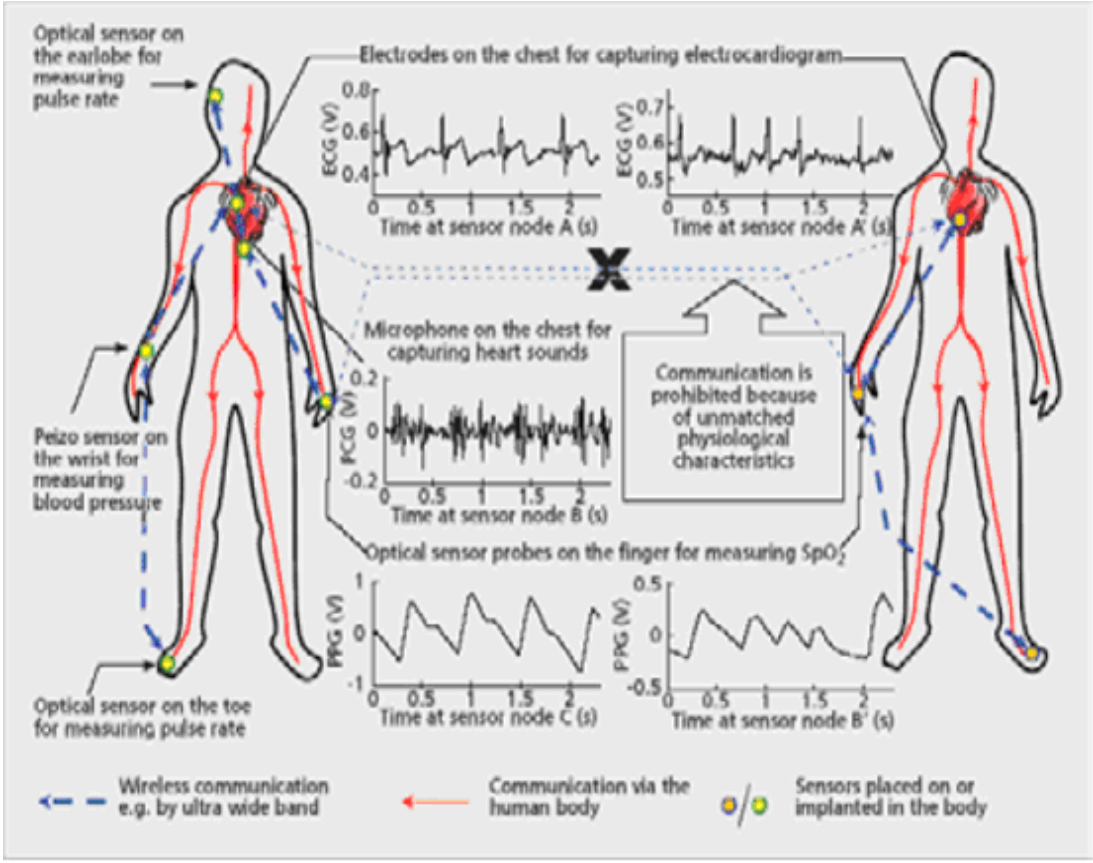
จำนวนมากเสียชีวิตได้ เครือข่ายตรวจจับไร้สายสามารถที่จะใช้การตรวจวัดอุณหภูมิในโรงเลี้ยงสัตว์ เพื่อที่จะทำให้สัตว์นั้นปลอดภัย

เครือข่ายตรวจจับไร้สายอาจจะถูกใช้สำหรับตัวตรวจจับพลังงานต่ำเพื่อตรวจจับสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ อย่างเช่นสารปรอท เป็นต้น

1.6 การเฝ้าระวังด้านสุขภาพ

ตลาดสำหรับเครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นถูกคาดหวังว่าจะเติบโตได้อย่างรวดเร็วในสาขาการเฝ้าระวังด้านสุขภาพ “Health monitoring” โดยทั่วไปจะหมายถึง การเฝ้าระวังข้อมูลทางสุขภาพที่ไม่ร้ายแรง เพื่อที่จะแยกความแตกต่างจากการรักษาทางไกล (medical telemetry) แม้ว่าความหมายของมันจะกว้างและไม่เจาะจง และการรักษาทางไกลหลายชนิดนั้นสามารถที่จะพิจารณาว่าเป็นเครือข่ายไร้สายได้

การเฝ้าระวังสุขภาพที่ใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นสามารถแบ่งเป็นลักษณะใหญ่ๆ ได้สองลักษณะ ลักษณะหนึ่งคือการเฝ้าระวังประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อ ตัวอย่างเช่น การติดตามการเต้นของหัวใจ และชีพจร โดยอาศัยตัวตรวจจับติดตัว และส่งข้อมูลไปให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ อีกลักษณะหนึ่งคือ การเฝ้าระวังสุขภาพที่บ้านเช่น การควบคุมน้ำหนัก โดยจะส่งข้อมูลน้ำหนักของคนไข้แบบไร้สายไปที่คอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกค่า อีกหนึ่งตัวอย่างคือ การวัดระดับน้ำตาลในเลือดทุกวัน และบันทึกและเฝ้าติดตามพฤติกรรมคนไข้



ภาพที่ 11 การใช้เครือข่ายไร้สายในการเฝ้าระวังสุขภาพ

การใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายในการเฝ้าระวังสุขภาพ คาดว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการค้นคว้าตัวตรวจจับทางชีวภาพที่เข้ากันได้กับวงจรประมวลผลประเภท CMOS โดยทั่วไป ตัวตรวจจับเหล่านี้สามารถตรวจจับเอนไซม์, กรดฟิวคลีอิก และองค์ประกอบทางชีวภาพที่สำคัญอื่น ๆ ซึ่ง สามารถทำให้มีขนาดเล็กมากและไม่แพง ซึ่งนำไปสู่การใช้งานมากมายในทางการแพทย์

สาขาที่มีการค้นคว้าของการเฝ้าระวังสุขภาพคือ การฝังตัวตรวจจับไร้สายในอุปกรณ์ทางการแพทย์ ในสหรัฐอเมริกา องค์การ The Federal Communications Commission (FCC) ได้ก่อตั้ง the Medical Implant Communications Service ในเดือนมกราคม ปี 2000 เพื่อการส่งข้อมูลเพื่อช่วยวินิจฉัยทางการแพทย์หรือข้อมูลทางการรักษาที่เก็บได้จากอุปกรณ์ที่ฝังอยู่ในอุปกรณ์ทางการแพทย์ ระบบเหล่านี้ถูกนำไปใช้งานในหลายกรณี ตั้งแต่การตรวจสอบการเต้นของหัวใจเพื่อที่จะจ่ายยาได้อย่างเฉพาะเจาะจงด้วย

สาขาที่เกี่ยวข้องกับการเฝ้าระวังสุขภาพและความปลอดภัยก็คือ การบรรเทาภัยพิบัติ ตัวอย่างเช่น ตัวตรวจจับไร้สายของระบบ HVAC ในตึกที่ถล่ม (สมมุติว่าเกิดจากแผ่นดินไหว) จะสามารถบอกตำแหน่งของผู้ประสบภัยเพื่อที่จะช่วยเหลือคนงานได้ ถ้าตัวตรวจจับเกี่ยวกับเสียงถูกกระตุ้นโดยอัตโนมัติจากอุปกรณ์ตรวจจับความเร่ง หรือกระตุ้นโดยคนที่ได้รับการติดตั้งตัวตรวจจับไว้ ตัวตรวจจับน้ำ และก๊าซจะช่วยให้ทีมช่วยเหลือสามารถเข้าใจสภาพภายในซากปรักหักพังได้ แม้จะไม่มีตัวตรวจจับติดตั้ง แต่สภาพพื้นที่ก่อนและหลังถล่มของระบบเครือข่ายที่ไม่ได้รับผลกระทบจะช่วยให้ทราบว่าอาคารถล่มอย่างไร โดยช่องอากาศและพื้นที่ที่ปลอดภัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้สามารถออกแบบอาคารที่ปลอดภัยขึ้นได้ในอนาคต

ระบบบรรเทาภัยพิบัติไร้สายในรูปของอุปกรณ์ส่งสัญญาณช่วยเหลือบนยอดเขาสูงนั้นมีอยู่แล้วในท้องตลาด อุปกรณ์ส่งสัญญาณช่วยเหลือบนยอดเขาสูงจะส่งสัญญาณอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทีมช่วยเหลือสามารถรู้ตำแหน่งของผู้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยเหลือในกรณีฉุกเฉิน อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกนำไปใช้กับนักสกี และนักปีนเขาในพื้นที่เทือกเขาสูง ระบบในปัจจุบันมีข้อจำกัดที่สามารถบอกได้เพียงตำแหน่งเท่านั้น โดยไม่ได้บอกข้อมูลสุขภาพของผู้ประสบภัย ในพื้นที่ขนาดใหญ่ที่ตรวจพบสัญญาณมากมาย จะไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าจะช่วยใครก่อน ทำให้มีการเสนอว่าควรติดตั้งตัวตรวจจับตรวจสอบสภาพร่างกายซึ่งรวมถึงตัววัดออกซิเจนและอุณหภูมิเพื่อที่ทีมช่วยเหลือจะสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องเพื่อที่จะช่วยเหลือผู้ที่ยังมีชีวิตอยู่ภายใต้หิมะ

2. จุดมุ่งหมายของประสิทธิภาพของเครือข่าย

เพื่อที่จะให้ตรงความต้องการของการใช้งานที่ได้กล่าวมาแล้ว ระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ประสบความสำเร็จจะต้องมีลักษณะพิเศษ ซึ่งความต้องการลักษณะพิเศษที่นำไปสู่การประยุกต์รวมการใช้งานทางเทคนิคหลายแขนงซึ่งไม่พบในเครือข่ายไร้สายอื่น

2.1 การใช้งานพลังงานที่ต่ำ

การใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายโดยทั่วไปมีความต้องการอุปกรณ์ที่กินพลังงานโดยรวมน้อยกว่าอุปกรณ์ที่มีอยู่โดยทั่วไป เช่น Bluetooth ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ในโรงงานบางประเภทรวมถึง ตัวตรวจจับทางการแพทย์, smart tags และป้ายต่างๆที่ใช้ไฟจากแบตเตอรี่ขนาดเหรียญเล็กๆที่มีอายุการใช้งานยาวนานเป็นพิเศษ เพื่อที่จะไม่ต้องยุ่งกับการวางแผนการเปลี่ยน

แบตเตอรี่ การใช้งานอื่นๆเช่น การตรวจสอบสภาวะแวดล้อมในพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งมีอุปกรณ์มาก จะทำให้การเปลี่ยนแบตเตอรี่ทำได้ยากมาก รวมถึงการใช้งานบางประเภทที่ไม่สามารถติดตั้งแบตเตอรี่ได้ อุปกรณ์จะต้องได้รับพลังงานจากสภาพแวดล้อม ตัวอย่างเช่น ตัวตรวจจับวัดลมยางไร้สายในรถยนต์ ซึ่งออกแบบให้ได้รับพลังงานจากกลไกการเคลื่อนไหว หรืออุณหภูมิของยาง แทนที่จะเป็นแบตเตอรี่ ซึ่งอาจจะต้องเปลี่ยนเมื่อหมดอายุ

ในทางเดียวกัน แหล่งจ่ายไฟที่ถูกจำกัดกำลังไฟเฉลี่ยมักจะมีกำลังไฟสูงสุดที่จ่ายได้จำกัดเช่นกัน ซึ่งเงื่อนไขนี้จะต้องนำไปพิจารณาเวลาออกแบบระบบ

2.2 ต้นทุนต่ำ

ต้นทุนเป็นเรื่องสำคัญในการที่จะติดตั้งระบบไร้สายให้กับสินค้าที่มีราคาถูกหรือใช้แล้วทิ้ง และในการใช้งานที่ประกอบด้วยอุปกรณ์มากมาย เช่นในป้ายราคาไร้สายในห้างสรรพสินค้า ในการใช้งานเหล่านี้ต้องการการส่งสัญญาณที่ไม่ซับซ้อน และมีราคาต่ำเมื่อเทียบกับราคาสินค้า

เพื่อจะให้ได้ตามจุดมุ่งหมายนี้โปรโตคอลการส่งข้อมูล และการออกแบบเครือข่ายจะต้องหลีกเลี่ยงอุปกรณ์ที่มีราคาสูง เช่น discrete filter โดยการติดตั้งอุปกรณ์อนาล็อกในทุกๆจุดที่เป็นไปได้ และลดการใช้ silicon โดยการลดความซับซ้อนของโปรโตคอล และความต้องการหน่วยความจำ ในทางเดียวกัน พึงระลึกไว้ว่า ต้นทุนที่สูงที่สุดอันหนึ่งในเครือข่ายหลายๆตัวคือค่าใช้จ่ายในการดูแล และบำรุงรักษา เพื่อที่จะเป็นระบบต้นทุนต่ำโดยแท้จริง เครือข่ายจะต้องเป็น ad hoc และสามารถปรับแต่ง และบำรุงรักษาตัวเองได้ “ad hoc” ในที่นี้หมายถึง เครือข่ายที่ไม่มีข้อจำกัดในการติดตั้งทางกายภาพ หรือทาง logical “Self-configuration” คือความสามารถที่จะตรวจสอบการมีอยู่ของอุปกรณ์อื่น และปรับตัวเองเข้าไปในโครงสร้าง และทำงานโดยไม่ต้องใช้คนเข้าไปปรับแต่ง “Self-maintenance” คือความสามารถที่จะตรวจจับ และรักษาตัวเองได้ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในอุปกรณ์ หรือเครือข่ายส่งสัญญาณโดยไม่ต้องใช้คนเช่นกัน

เพื่อที่จะให้ผลิตอุปกรณ์จำนวนมากได้ง่าย และลดต้นทุนของอุปกรณ์ การค้นคว้าโปรโตคอลมาตรฐานในการส่งข้อมูลก็มีความจำเป็น ที่ผ่านมาก IEEE 802 LAN/MAN Standards Committees (LMSC) ได้จัดตั้งคณะทำงานที่ 15 เพื่อพัฒนามาตรฐานสำหรับ WPANs เพื่อให้ใช้

พลังงานต่ำ และต้นทุนต่ำ ในเดือนธันวาคมปี 2000 IEEE New Standard Committee (NesCom) ได้ประกาศอย่างเป็นทางการให้คณะทำงานที่ 15 เริ่มต้นพัฒนามาตรฐานสำหรับ Low-Rate WPANs (LR-WPANs) เรียกว่า 802.15.4 จุดมุ่งหมายของหน่วยงานกลุ่ม 4 ที่ระบุในความต้องการของโครงการ คือสร้างมาตรฐานที่มีความซับซ้อน, ต้นทุน และพลังงานต่ำมาก สำหรับการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่การส่งข้อมูลต่ำให้กับอุปกรณ์ที่ไม่แพง, ติดตั้งกับที่, พกพาได้ และเคลื่อนที่ได้ ความสามารถติดตั้งได้ทุกที่จะถูกพิจารณาเป็นเงื่อนไขใน Datalink Layer ภายใน ISO OSI model ในทางเดียวกันต้องเข้ากันได้กับมาตรฐาน 802.2 logical link control Layer โดยมาตรฐาน 802.15.4 ได้รับการยอมรับในเดือน พฤษภาคม ปี 2003

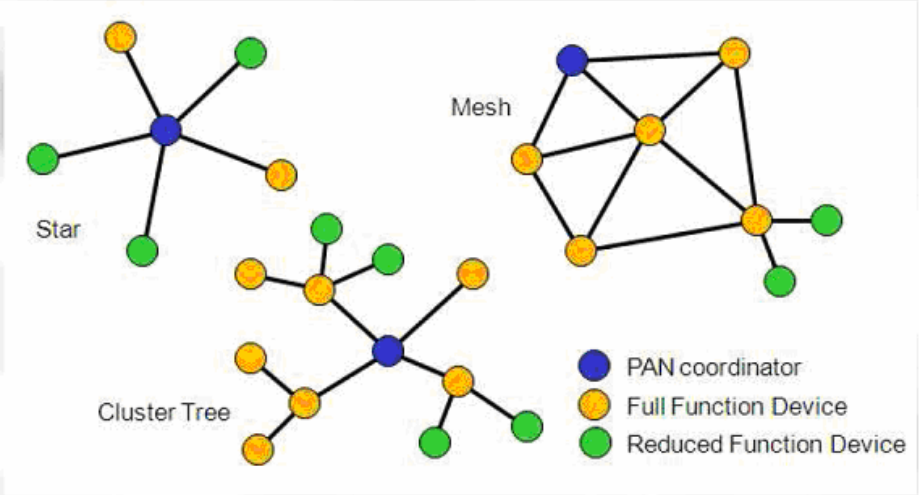
2.3 ใช้ได้กับสากล

หลายๆลักษณะงานของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย เช่น ตัวติดตามไร้สายเพื่อติดตามสัมภาระ และระบบระบุตำแหน่งของตู้สินค้าในการขนส่งทางเรือ มีความจำเป็นที่จะต้องให้เครือข่ายเข้ากันได้กับสากล เพื่อให้สินค้าที่ติดตั้งเครือข่ายตรวจจับไร้สายประสบความสำเร็จในทางการผลิต, การตลาด, และประสิทธิภาพ การใช้งานควรหลีกเลี่ยงตัวแปรที่ยึดติดกับพื้นที่ และควรให้เข้ากันได้กับการทำงานเป็นสากล ในทางทฤษฎี ความสามารถนี้จะทำได้โดยการติดตั้งตัวรับ GPS หรือ GLONASS ในทุกๆอุปกรณ์ เมื่อปรับแต่งพฤติกรรมตามสถานที่ที่อุปกรณ์อยู่ ซึ่งต้นทุนในการติดตั้งตัวรับ และประสิทธิภาพที่จะปรับตัวเองเข้ากับความต้องการของทั่วโลกทำให้ความคิดนี้ไม่น่าสนใจ ทำให้มีการคิดที่จะจัดตั้งคลื่นความถี่สากลที่จะไม่ขัดกับประเทศใดขึ้น เพื่อที่จะให้ตลาดของเครือข่ายตรวจจับไร้สายเติบโตขึ้น

2.4 ลักษณะของเครือข่าย

เครือข่าย Star โดยทั่วไปซึ่งมีตัวแม่ 1 ตัว และตัวลูกหลายๆตัว สามารถใช้ได้กับหลายๆการใช้งาน แต่เนื่องจากการส่งพลังงานของอุปกรณ์เครือข่ายถูกจำกัดโดยกฎหมาย และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ซึ่งเครือข่ายแบบนี้จำกัดพื้นที่การใช้งานทางกายภาพตามระยะของอุปกรณ์ตัวแม่ เมื่อต้องการระยะที่เพิ่มขึ้นลักษณะของเครือข่ายที่รองรับการเลือกเส้นทางผ่านหลายๆจุด (เช่น Mesh หรือ Cluster) จะต้องนำมาใช้ หน่วยความจำที่เพิ่มขึ้น และการคำนวณเส้นทางส่งข้อมูลทำให้มี overhead สูงขึ้น ซึ่งจะต้องรองรับได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายหรือพลังงานที่เพิ่มขึ้น พึงระลึกไว้

ว่าสำหรับการใช้งานหลายๆประเภท เครือข่ายตรวจจับไร้สายจะมีอุปกรณ์มากมาย(เช่น มากกว่า 256 จุด) และความหนาแน่นสูง (เช่นในกรณีป้ายราคาในห้างสรรพสินค้า)



ภาพที่ 12 ลักษณะต่างๆของเครือข่าย

2.5 ความปลอดภัย

ความปลอดภัยของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย มี 2 มุมมองที่สำคัญ คือลักษณะของระบบที่มีความปลอดภัย และมุมมองของผู้ใช้ที่มีต่อความปลอดภัยของระบบ การวัดระดับความปลอดภัยมีความสำคัญ เพราะผู้ใช้มักจะเข้าใจว่าเมื่อส่งข้อมูลไปในอากาศ ใครๆก็สามารถรับได้ มักจะพบบ่อยๆว่าระบบไร้สายมักจะเข้าไปแทนที่ระบบมีสายที่ลูกค้าเห็นได้ชัดๆว่า สายที่วิ่งไปที่ไหนซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าไม่มีคนอื่นสามารถมารับข้อมูล หรือส่งข้อมูลที่ผิดพลาดมาให้ได้ การใช้งานระบบไร้สายจะต้องสร้างความเชื่อมันให้กับผู้ใช้เพื่อที่จะเปิดตลาดให้กว้าง และลดต้นทุนในการผลิตได้

ความปลอดภัยนั้นจะมากกว่าแค่การรับรหัสข้อมูล ในความเป็นจริงในหลายการใช้งาน การเข้ารหัสไม่ใช่จุดสำคัญในเครือข่ายตรวจจับไร้สาย โดยทั่วไป จุดมุ่งหมายสำคัญของความปลอดภัย คือมั่นใจว่าข้อมูลที่ได้รับไม่ได้ถูกเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีใดก็ตาม และเป็นความตั้งใจของผู้ส่ง ตัวอย่างเช่น ไฟส่องสว่างไร้สาย และสวิตช์ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเข้ารหัส “เปิด” หรือ “ปิด” ซึ่งใครก็ตามก็รู้ว่า มีค่าส่งแค่ 2 อย่างที่เป็นไปได้ และเขาสามารถมองเห็นแสงที่ส่องผ่านหน้าต่างได้จากตำแหน่งที่เขาเดินบนถนน ซึ่งการมีคำสั่งที่เป็นความลับไม่จำเป็นในกรณีนี้

อะไรคือสิ่งที่สำคัญกว่า ตัวอย่างเช่น มีผู้ไม่ประสงค์ดี อยู่ที่ถนนต้องไม่สามารถส่งข้อมูลให้กับเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ซึ่งจะทำให้หลอดไฟเปิดปิดแบบไม่พึงประสงค์ กระบวนการนี้ต้องการความปลอดภัยในอีกลักษณะหนึ่ง คือ การระบุตัวตน และความน่าเชื่อถือ ซึ่งกระทำโดยเพิ่ม code ที่มีลักษณะของข้อความ และผู้ส่งที่เกี่ยวเนื่องกัน (message-and sender-dependent Message Integrity Code : MIC) เข้าไปในข้อมูลที่ส่ง (ในทางความปลอดภัย MIC จะเรียก Message Authentication Code :MAC) แต่ MIC ถูกใช้เพื่อไม่ให้เกิดการสื่อสารกับ Media Access Control Layer บน OSI โดยตัวรับ และส่ง จะใช้กุญแจตัวเดียวกัน ซึ่งผู้ส่งใช้เพื่อสร้าง MIC และตัวรับใช้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือและตัวตนของผู้ส่ง เพื่อหลีกเลี่ยง “การโจมตีจากการส่งซ้ำ” ซึ่งผู้ไม่ประสงค์ดีจะบันทึกข้อมูลไว้แล้วมาใช้ในภายหลัง ตัวนับข้อความ หรือตัวกำหนดเวลาจะนำมาคำนวณใน MIC ด้วย ทำให้ข้อมูลการระบุตัวตนไม่มีทางเกิดขึ้นซ้ำเหมือนเดิมได้

ผลจากความปลอดภัย ผู้ออกแบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายมักจะพบกับปัญหาที่ยุ่งยาก 3 ข้อคือ

- ความยาวของ MIC รวมทั้งแผนรักษาความปลอดภัยจะต้องสมดุลกับความยาวของข้อมูลที่จะส่ง แม้ว่า 16 byte (128 bits) MIC มักจะใช้เพื่อความปลอดภัยของระบบโดยทั่วไป แต่จะไม่สมเหตุสมผล เมื่อข้อมูลที่จะส่งมีแค่ 1 byte (เช่น เปิด, ปิด) ผู้ออกแบบจะต้องสามารถสร้างความสมดุลระหว่างความต้องการด้านความปลอดภัยกับความต้องการพลังงานที่ต้องมีค่าต่ำของเครือข่ายสังเกตว่า จะมีหลายตัวเลือกของความยาว MIC รวมถึงการประยุกต์เข้ากับข้อความระบุตัวตน, การตรวจสอบความน่าเชื่อถือ และการเข้ารหัส และจะต้องทำโดยอัตโนมัติ โดยเป็นส่วนหนึ่งของการจัดระบบตัวเองของเครือข่าย
- เพื่อที่จะลดต้นทุนของอุปกรณ์เครือข่าย การรักษาความปลอดภัยจะต้องทำอยู่ในเงื่อนไขของอุปกรณ์ที่ไม่แพง มีเกตน้อยๆ RAM และ ROM มีไม่มาก ทำให้ความสามารถในการคำนวณ (ความเร็วสัญญาณนาฬิกา, ตัวช่วยประมวลผล) มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้อัลกอริทึมในการรักษาความปลอดภัยมีให้เลือกไม่มากนัก
- สุดท้าย ปัญหาที่ยุ่งยากมากที่สุด คือการแจกจ่ายกุญแจที่จะเข้าถึงระบบ มีวิธีมากมายรวมทั้งการบรรจุกุญแจเข้าไปในอุปกรณ์ การให้ตั้งรหัสเอง ซึ่งทุกวิธีมีข้อดีและข้อเสีย ผู้ออกแบบจะต้องเลือกตัวที่เหมาะสมที่สุด

เครือข่ายตรวจจับไร้สายมีความต้องการอีกหลายอย่าง รวมทั้งการที่จะต้องสามารถขยายระบบให้เป็นขนาดใหญ่มากได้, การทนต่อความผิดพลาด, และต้องทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เลวร้าย แม้ว่าการออกแบบเครือข่ายที่จะให้ได้ความต้องการดังกล่าวจะทำได้ยาก แต่ผู้ออกแบบไม่ใช่ไม่มีหนทาง การต้องการกำลังไฟต่ำ และต้นทุนถูกทำให้ความต้องการด้านอื่นผ่อนคลายลง

2.6 Throughput ของข้อมูล

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว เครือข่ายตรวจจับไร้สายมีความต้องการ Throughput จำกัด เมื่อเปรียบเทียบกับ Bluetooth (IEEE 802.15.1) และ WPANs และ WLANs อื่นๆ ในมุมของการออกแบบ อัตราข้อมูลสูงสุดสามารถกำหนดให้เป็น 512 b/s (64 bytes/s) ซึ่งตั้งเป็นสิ่งสมมติเท่านั้น อัตราการส่งข้อมูลจริงคาดว่าจะต่ำกว่านี้ อาจถึง 1 b/s หรือต่ำว่านั้นในบางการใช้งาน สังเกตว่านี่คือ throughput ของข้อมูล ไม่ใช่ข้อมูลที่ต้องการส่งจริงๆในช่องสัญญาณซึ่งจะมากกว่านี้

การที่ต้องการ Throughput ข้อมูลต่ำ จะสรุปได้ว่าด้วยโปรโตคอล overhead (header, addressing เป็นต้น) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลจะต่ำมาก โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับเครือข่ายที่ส่งแพ็กเก็ต TCP/IP ซึ่งยาว 1500 bytes ไม่ว่าจะเลือกการออกแบบอย่างไร ประสิทธิภาพก็จะต่ำมาก และในสถานการณ์ดังกล่าวสามารถมองในแง่ดีได้ โดยสามารถเลือกโปรโตคอลใดก็ได้ โดยไม่ต้องสนใจ ประสิทธิภาพในการสื่อสารซึ่งเป็นปัญหาหลักในการเลือกโปรโตคอล

2.7 ความล่าช้าของข้อความ

เครือข่ายตรวจจับไร้สายมีอิสระมากในแง่ของ Quality of Service (QoS) เพราะในทางปฏิบัติ เครือข่ายตรวจจับไร้สายไม่รองรับการติดต่อสื่อสารแบบ isochronous และ synchronous และมีข้อจำกัดของ throughput ของข้อมูล ทำให้ไม่สามารถส่งสัญญาณต่อเนื่องแบบเวลาจริง และเสียงได้ ความล่าช้าของเครือข่ายตรวจจับไร้สายจะไม่ค่อยมีผลมากนักเมื่อเทียบกับ WPANs อื่นๆ ความล่าช้าเป็นวินาทีหรือกระทั่งนาทีก็ยังยอมรับได้ในหลายๆการใช้งาน

2.8 ความสามารถในการเคลื่อนที่

ในทางปฏิบัติ การใช้งานเครือข่ายไร้สายไม่ต้องการความสามารถในการเคลื่อนที่ เพราะเครือข่ายไม่ต้องรับภาระในการตรวจสอบการเปิดช่องสัญญาณ เครือข่ายตรวจจับไร้สาย ได้รับผลกระทบจาก Overhead ที่ควบคุมการส่งน้อยมาก และใช้การเลือกเส้นทางอย่างง่ายๆ เมื่อเทียบกับเครือข่าย ad hoc เคลื่อนที่ (ตัวอย่างเช่น MANET)

วิวัฒนาการของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

1. เครือข่ายไร้สายยุคแรก

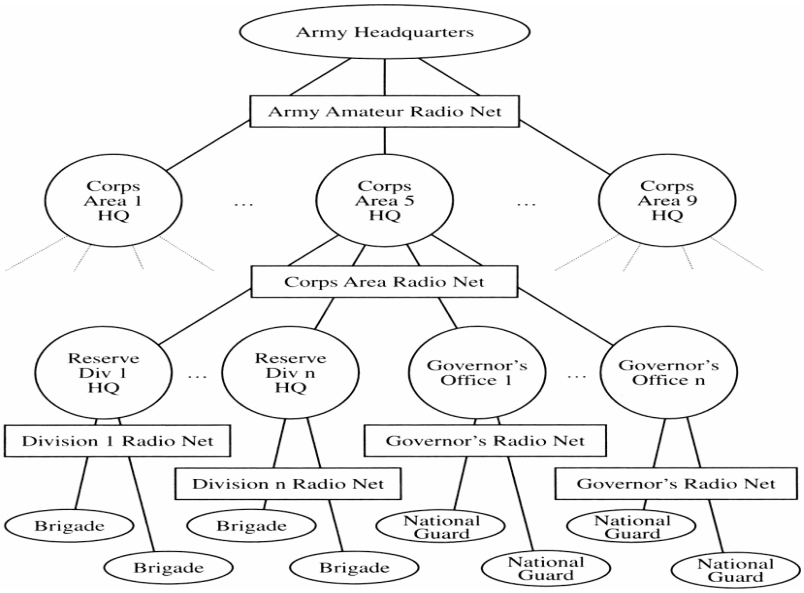
เครือข่ายการติดต่อสื่อสารไร้สายมีความเป็นมายาวนาน ตัวอย่างเช่น ในปี 1921 U.S. Army Signal Corps ไม่รับอนุญาตให้จัดตั้ง War Department Radio Net ซึ่งเป็นเครือข่ายวิทยุที่ครอบคลุมในประเทศ โดยในปี 1925 มีจำนวน 164 สถานี ขยายไปถึง อลาสก้า และถูกเรียกว่า “เครือข่ายวิทยุที่ใหญ่ และมีประสิทธิภาพที่สุดในโลกปัจจุบัน” ซึ่งส่งข้อมูลมากกว่า 3.8 ล้านคำในปีแรก และในปี 1933 มีการส่งมากกว่า 26 ล้านคำต่อปี อีกตัวอย่างคือ Army-Amateur Radio System (AARS) ก่อตั้งในปี 1925 โดย Signal Corps และ American Radio Relay League (ARRL) เป็นองค์การของนักวิทยุสมัครเล่น เพื่อที่จะส่งข้อมูลไร้สายระหว่างกองทัพ, กองกำลังป้องกันประเทศ, และกำลังสำรองทั่วประเทศ ในระบบนี้อาสาสมัครนักวิทยุสมัครเล่นที่ใช้งานของรหัสมอร์สรวมตัวกันจัดตั้งเป็น “เครือข่ายยุทธการ” ซึ่งแบ่งเป็นลำดับชั้น ตามโครงสร้างการสั่งงานของกองทัพ ในเวลานั้นกองทัพแบ่งออกเป็น 9 หน่วยตามพื้นที่ในดินแดนของอเมริกา ในแต่ละพื้นที่เครือข่ายวิทยุสมัครเล่นจะประจำการแต่ละหน่วยประกอบด้วย

- A Corps Area Radio Net ประกอบด้วย สำนักงานใหญ่ของทุกๆหน่วยงาน, สำนักงานของผู้ปรกครองแต่ละรัฐ และทำหน้าที่เป็นสถานีควบคุมเครือข่าย
- A Division Radio Net สำหรับทุกๆกรมที่มีกองพลย่อย เพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างแต่ละหน่วย

- A Radio Net สำหรับกองกำลังป้องกันประเทศ โดยจะเรียกว่า Governor's Radio Net ซึ่งประกอบด้วย ทุกหน่วยของกองกำลังป้องกันประเทศของรัฐนั้นๆ โดยจะรวมเป็นกลุ่มตามความจำเป็น เพื่อทำการสื่อสารให้กับทุกหน่วยในกองกำลัง

สำนักงานใหญ่ของหน่วยที่จะต่อกับ Army Amateur Radio Net ซึ่งตั้งอยู่ใน Army Headquarter Station ที่ Signal School, Fort Monmouth, New Jersey

เครือข่ายต้นไม้ (รูปที่ 13) ซึ่งผู้ส่งจะระบุปลายทางเป็นลำดับชั้น ข้อความที่สร้างจากชั้นที่ต่ำกว่าจะส่งขึ้นไปหาชั้นที่สูงกว่า ที่ชั้นนั้นข้อความจะถูกส่งกลับไปหาปลายทาง ยกเว้น จุดที่เป็นใบของต้นไม้ สมาชิกแต่ละตัว จะทำหน้าที่เหมือนกับ Net Control Station (NCS) ของ " tactical net" ซึ่งรวมถึงการเป็นศูนย์ควบคุมให้กับตัวมันเองและจุดที่อยู่ต่ำลงไปตามลำดับขั้น และถูกควบคุมโดยชั้นที่สูงขึ้นไป (ที่ชั้นใต้สุด จุดที่เป็นใบ จะเป็นเพียงสมาชิกเท่านั้น และไม่ได้ทำการควบคุมเหมือนอย่าง NCSs) เพื่อที่จะส่งข้อความ เครือข่ายจะพบกันตามเวลาและความถี่ที่นัดกันไว้ เมื่อพบกัน ข้อความจะถูกส่งระหว่างศูนย์ควบคุม NCS และสมาชิกอื่นๆตามทิศทางที่ระบุของ NCS ในการส่งข้อมูลสมัยใหม่ทุกๆศูนย์จะทำหน้าที่เป็นหัวหน้าของเครือข่ายรูปดาว และเป็นลูกน้องให้กับเครือข่ายอื่นๆ ประกอบกันเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ สมาชิกที่อยู่ใกล้กับรากโดยทั่วไปจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีระยะทำการที่ไกลกว่า



ภาพที่ 13 The Army Amateur Radio System (1925)

เพราะการนิยมอย่างแพร่หลายหลังจากพายุฟลอริด้า เมื่อ AARS ถูกติดต่อไปยัง West Palm Beach AARS ถูกวางนโยบายใหม่ในปี 1929 เพื่อที่เข้าสู่แนวด้วย Red Cross แนวทางเครือข่ายต้นไม้ถูกมองเป็นความสำเร็จสำหรับองค์กรใหม่พร้อมกับ additional layer ของ hierarchy มากกว่านั้น ขั้นรากของ Army Amateur Radio Net (มี 1 สถานี ในแต่ละ Corps Area ซึ่งถูกควบคุมโดยสถานี the Fort Monmouth) ซึ่งแต่ละ Corps Area ประกอบด้วย

- Corps Area Amateur Radio Net ประกอบด้วย 1 สถานีในเมืองหลวงของแต่ละ state สถานี Corps area amateur หรือ สถานี civilian amateur ที่ถูกเลือก จะทำตัวเหมือนเป็นสถานี Net Control
- State Amateur Radio Nets ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการแบ่งแต่ละ state ไปเป็น 5 พื้นที่ตามภูมิศาสตร์ สถานีจะถูกวางอยู่ในส่วนสำคัญของเมืองของแต่ละพื้นที่ตามภูมิศาสตร์ หรืออยู่ใกล้ส่วนกลางของพื้นที่ สถานีหลักของ state จะทำตัวเหมือนเป็นสถานี Net Control
- District Amateur Radio Nets ประกอบด้วย 5 สถานี ซึ่งกระจายอยู่อย่างมีประสิทธิผล (จุดมุ่งหมายของ AARS) สถานีพื้นที่ตามภูมิศาสตร์อ้างถึงก่อนหน้านี้ จะทำหน้าที่เหมือนเป็นสถานี Net Control
- Local Amateur Radio Nets ประกอบด้วย amateurs ทั้งหมดในพื้นที่สำหรับสถานีย่อยของ District Net ซึ่งอาจทำหน้าที่เหมือนเป็นสถานี Net Control ในส่วนLocal Net จะทำการตามตารางงานที่เตรียมไว้ โดยสถานี Net control และ ถูกตรวจสอบโดย corps area signal officer

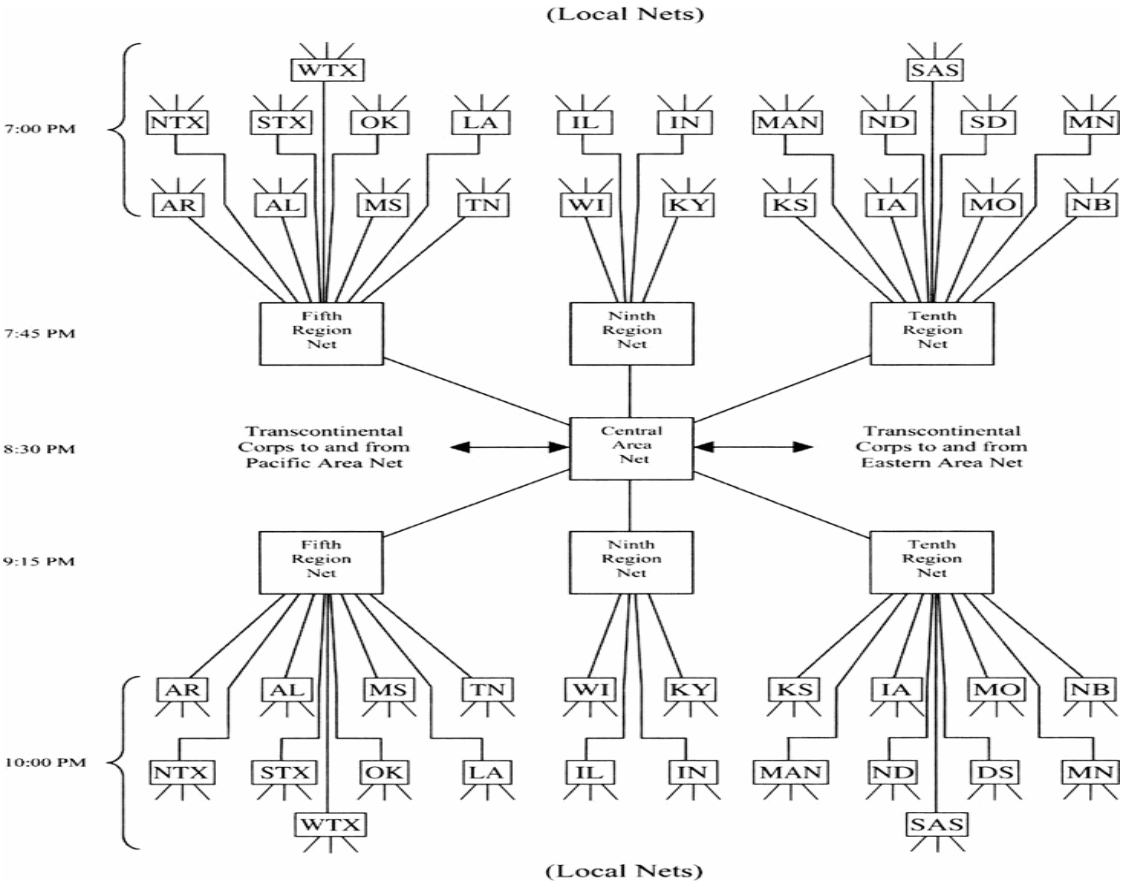
กฎข้อบังคับใหม่กำหนดให้ต้องมี ตารางการจราจรหลัก (Master traffic schedule) ซึ่งต้องกำหนดเวลาและรูปแบบเครือข่ายของแต่ละชั้นของ hierarchy สำหรับแต่ละ Corps Area ที่ถูกกระตุ้น ระบบสามารถใช้กับหน่วยประสานงานทั่วประเทศระหว่าง hierarchical Layers ของแต่ละชั้นเอง ตารางถูกออกแบบให้อนุญาตข้อความที่ส่งมาจากพื้นที่ไหนก็ได้ในสหรัฐอเมริกาเพื่อที่จะส่งต่อไปยังเครือข่ายเหมือนองค์กร และ ส่งถึงจุดหมายที่ตั้งไว้ในคืนเดียวกัน

AARS เป็นเครือข่ายการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมาก โดยเฉพาะหลังการวางนโยบายใหม่ในปี 1929 ได้มีการผลิตการเชื่อมต่อการสื่อสารสำหรับกองทัพ ความพึงพอใจสำหรับการปฏิบัติการ และ การติดต่อฉุกเฉินในช่วงภัยพิบัติธรรมชาติสำหรับประชาชาติ ระหว่าช่วงเวลาจาก 1 กรกฎาคม 1936 จนถึง 30 มิถุนายน 1937 สถานีกองบัญชาการกองทัพได้ใช้ 22,458 ข้อความ (นับข้อความที่ส่งเป็น 1 ข้อความ , รายการการส่งถึงเป็น 1 ข้อความ และข้อความล่าช้าเป็น 1

ข้อความ) ARRS ได้ใช้ 504,330 ข้อความในช่วงเวลาเดียวกัน ในเวลานั้น มีสมาชิก AARS ที่ใช้งานจำนวน 1,151 และจำนวนสมาชิกเพิ่มขึ้นเป็น 2,400 ในเดือน ธันวาคม 1941

เมื่อ 27 มกราคม 1938 ระบบถูกทดสอบโดยมีการส่งข้อความ 14 ข้อความไปยังสมาชิก AARS ที่ถูกเลือกด้วยคำสั่งไปยังแฟ้มเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สำหรับการส่งข้อมูลไปยังสถานีกองบัญชาการกองทัพในวอชิงตัน ดี.ซี. (สถานีถูกย้ายจาก Fort Monmouth ในปี 1930) 12 ข้อความที่ได้รับ ; ใช้เวลา 12 นาที จากเซนต์ออกัสติน, ฟลอริด้า, โดยทาง เส้นทาง two-hop หนึ่งเส้นทาง 7 ข้อความถูกได้รับถึงใน 1 ชั่วโมง 15 นาที หรือน้อยกว่านั้น เวลาที่ใช้ยาวนานมากที่สุดคือ 22 ชั่วโมง 37 นาที จาก นิวออรีน, หลุยส์เซียนา โดยใช้เส้นทาง three-hop หนึ่งเส้นทาง ในส่วนหนึ่งเส้นทางของ four-hop จากสแตนฟอร์ด, อาริโซนา ใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมง 16 นาที เครือข่ายมีการทดสอบเป็นประจำโดยการ flooding จากตัวฐาน ซึ่งจะมีการคืนค่าการร้องขอการรับทราบด้วย

George Hart สตาร์ฟของสำนักงานใหญ่ ARRL มุ่งหวังที่จะเปลี่ยนแปลงอย่างสิ้นเชิงในปี 1949 เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพให้กับระบบ แผนใหม่ได้แต่งตั้งให้เป็น ARRL National Traffic Plan และหลังจากนั้นได้เปลี่ยนเป็น ARRL National Traffic System (NTS) ซึ่งมาจากพื้นฐานของเครือข่ายต้นไม้ AARS ก่อนสงครามโลก โดยวางซ้อนทับมันลงกับโครงสร้างองค์กร AARL ในเวลานั้น ARRL เป็นองค์กรตามภูมิศาสตร์ซึ่งแบ่งเป็น 73 ส่วนใหญ่ๆตามขอบเขตของรัฐ George Hart ใช้รูปแบบดังกล่าวเป็นเหมือนกับใบไม้ของต้นไม้ (ตามรูปที่ 14) ดังนี้



ภาพที่ 14 Integrated time นี้ เป็นรูปแบบที่ทำให้จำถึงการเปลี่ยนแปลงในปี 1929 ของระบบ AARS

- แผนนี้ถูกเรียกใช้สำหรับ local section nets ในแต่ละส่วนของ ARRL ดังนั้น traffic อาจจะล่าช้าระหว่างส่วนต่างๆของ regional nets

- Traffic ระหว่าง regions อาจจะถูกเปลี่ยนแปลงได้บน area nets และ traffic ดั้งเดิมระหว่าง areas จะถูกจัดการโดย area net liaison stations เฉพาะ

- แผนเดิมถูกเรียกใช้สำหรับ 4 area nets และ 13 regional nets ซึ่ง Regional nets อาจจะถูกสร้างขึ้นมาในแต่ละ four areas ส่วน area nets จะถูกสร้างบนรากฐานของ time zones: Eastern, Central, Mountain และ Pacific

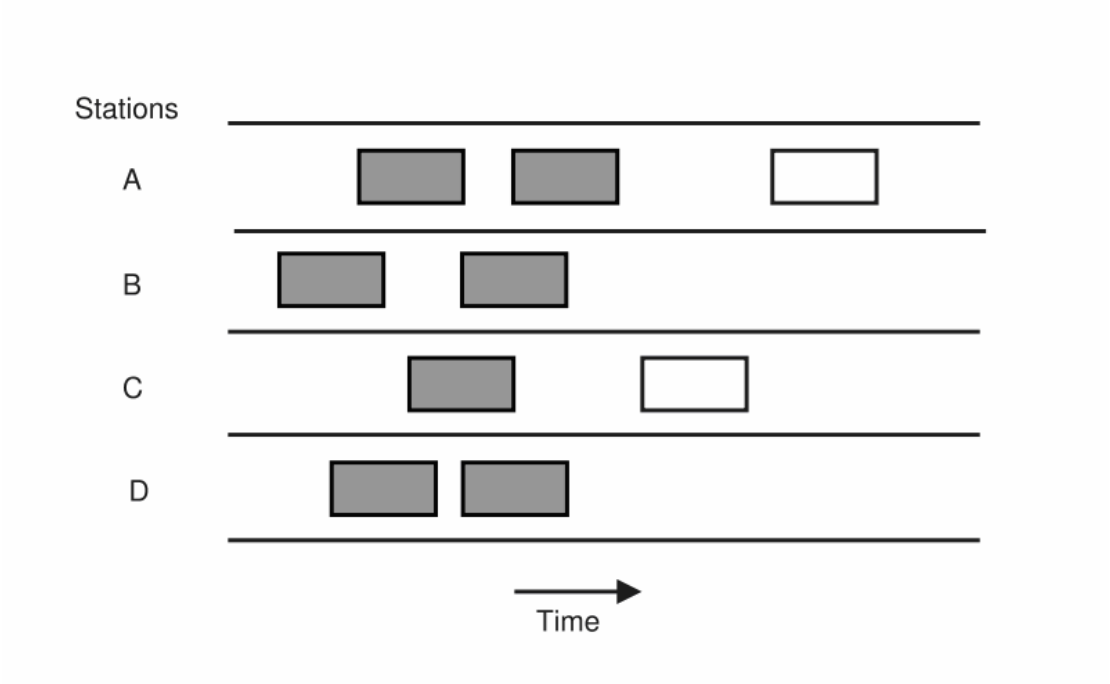
- แผนจะถูกเรียกใช้สำหรับตาราง integrated time ที่สามารถเคลื่อนย้าย traffic ภายในส่วน, ระหว่างส่วน, ระหว่าง regions และระหว่าง area net,ทั้งหมดที่กล่าวมานั้นเป็น smooth time pattern ส่วน traffic อาจจะเคลื่อนย้ายจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกในหนึ่งคืน และจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกในรอบสองวัน

2. เครือข่ายข้อมูลไร้สาย

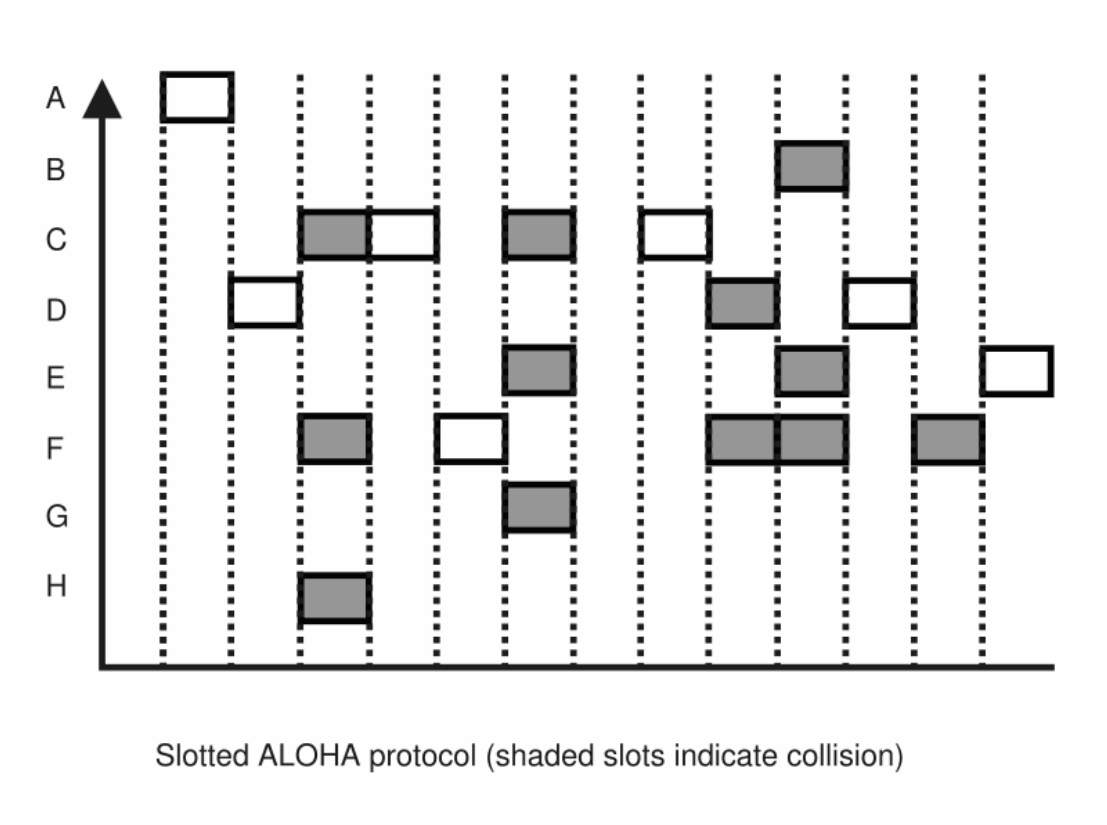
2.1 ระบบ ALOHA

ALOHA เป็นระบบที่มักจะถูกจดจำว่าเป็นเครือข่ายสื่อสารข้อมูลไร้สายระบบแรกที่ประสบความสำเร็จ และเป็นระบบแรกที่มีการใช้โปรโตคอลเข้าถึงช่องสัญญาณแบบสุ่ม ปัจจุบันถูกจดจำได้ด้วยกลไกการเข้าถึงตัวกลางที่ประสบความสำเร็จอย่างงดงาม ระบบ ALOHA ให้บริการส่งข้อมูลโต้ตอบขนาด 24 kBaud ระหว่างคอมพิวเตอร์เมนเฟรมของมหาวิทยาลัยฮาวาย กับคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งานในเกาะทั้ง 4 ของหมู่เกาะฮาวาย โดยใช้งาน 2 คลื่นความถี่วิทยุ (RF) (คลื่นหนึ่งสำหรับส่ง และอีกหนึ่งสำหรับรับ) ภายในความถี่ 400 MHz แม้ว่าบางครั้งจะถูกจัดให้เป็นระบบวิทยุแบบแพ็กเก็ต แต่ข้อความไม่ได้ถูกแบ่งเป็นหลายแพ็กเก็ต ทุกๆแพ็กเก็ตจะถือเป็น 1 ข้อความ แพ็กเก็ตมีขนาดคงที่ที่ 640 bits (80 bytes) บวกกับข้อมูลควบคุมและแสดงตัวตน 32 bits และพาริตี้อีก 32 bits (รวมเป็น 604 bits ในแต่ละแพ็กเก็ต)

ระบบ ALOHA แบ่งตามวิธีการใช้สัญญาณนาฬิกาออกเป็น 2 แบบ คือแบบดั้งเดิมที่ใช้การส่งสัญญาณต่อเนื่อง (pure ALOHA) และแบบที่ใช้การแบ่งช่วงเวลาสื่อสาร (slotted ALOHA)



ภาพที่ 15 ระบบ ALOHA แบบดั้งเดิมที่ใช้การส่งสัญญาณต่อเนื่อง (pure ALOHA)



ภาพที่ 16 ระบบ ALOHA แบบที่ใช้การแบ่งช่วงเวลาสื่อสาร (slotted ALOHA)

2.2 ระบบ PRNET

จากความสำเร็จส่วนหนึ่งของระบบ ALOHA บวกกับการค้นคว้าเทคโนโลยีของ Advance Research Project Agency (ARPA-Net) U.S. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) ได้เริ่มโครงการค้นคว้าวิทยุแพ็กเก็ต เริ่มต้นจากโครงการเครือข่ายวิทยุแพ็กเก็ต DARPA (Packet Radio Network : PRNET) ในปี 1972 PRNET คือระบบกระจายสเปคตรัมในแนวเส้นตรง 12.8 Mc/s ที่ทำงานที่ความถี่ 1800 MHz ซึ่งให้บริการเครือข่ายขนาด 138 จุด โดยมีการจัดการเครือข่ายแบบเต็มรูปแบบอัตราการส่งข้อมูลจะเป็น 100 หรือ 400 kb/s สลับไปมาได้ขึ้นอยู่กับสถานะของการเชื่อมต่อ, การซ้อนทับความถี่, การเข้ารหัสคอนโวลูชั่น 3 อัตรา 7/8, 3/2 และ 1/2 และใช้ CRC 32 bits ตัวกระจายสัญญาณจะมีการส่งข้อมูลทุก 7.5 s เพื่อประกาศตัวเอง และบอกอุปกรณ์ใกล้เคียงถึงสภาพของ โทโปโลยีของเครือข่าย ตัวกระจายสัญญาณ จะเก็บจำนวนจุดที่ต้องไปจากตัวส่งไปทุกๆจุดในเครือข่าย ข้อมูลที่เก็บไว้นี้จะใช้ในการเลือกเส้นทาง

ระบบ PRNET ไม่ใช่ไม่มีข้อด้อย แต่ข้อด้อยของระบบนี้ประกอบด้วยข้อจำกัดของการที่สามารถใช้กับระบบขนาดเล็ก ขนาดและการใช้พลังงานของจุดต่างๆใน PRNET และไวต่อการโจมตีทางอิเล็กทรอนิคส์ ซึ่งถูกจัดการในโครงการต่อมาของ DARPA คือโครงการ Survivable Radio Networks (SURAN) ซึ่งเริ่มในปี 1983

2.3 เครือข่ายวิทยุแพ็กเก็ตสมัครเล่น (Amateur Packet Radio Networks)

เครื่องควบคุมการสื่อสารวิทยุแพ็กเก็ตสมัครเล่นเครื่องแรกถูกเรียกว่า Terminal Node Controller (TNC) ถูกสร้างก่อนปี 1980 ตามมาด้วยการแก้ไขกฎ Federal Communications Commission (FCC) เพื่อให้อนุญาตการใช้งานเครื่อง TNC สถานีทวนสัญญาณข้อมูลแพ็กเก็ตสมัครเล่น U.S. ซึ่งถูกสร้างขึ้นในปี 1980 ทำงานที่หนึ่งช่องสัญญาณที่ความถี่ 146 MHz มันจะถูกส่งสัญญาณตรวจสอบทุกๆ 5 นาที โดยใช้ 1200 Baud frequency Shift Keying (2-FSK) เวลาที่เหลือจะเป็นเวลาเพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูลซ้ำในรูปแบบทางเดียว การหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตจะใช้วิธี Carrier Sense Multiple Access (CSMA) ดังนี้

TNC จะทำการเช็คสัญญาณตัวส่ง (เพื่อดูว่ามีใครใช้ช่องสัญญาณอยู่หรือไม่) เพื่อจะลดความเป็นไปได้ที่ TNC 2 ตัว จะเช็คไม่เจอ และส่งข้อมูลออกมาในเวลาเดียวกัน จะใช้การหน่วงเวลาที่ปรับค่าได้ ด้วยเหตุว่า การหน่วงเวลาของแต่ละ TNC จะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ การที่จะเกิดการชนกันของ TNC คู่เดิมก็จะไม่เกิดขึ้น (เผยแพร่โดยได้รับอนุญาตจาก ARRL ลิขสิทธิ์ถูกต้อง 1971, ARRL)

มีการเลือกเส้นทางแต่ไม่สามารถไปได้ไกลกว่า 2 จุด (1 จุดสำหรับตัวทวนสัญญาณ) แม้ว่าจะมีการพัฒนาการส่งข้อมูลผ่านหลายๆจุดของเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อรองรับ NTS สมัครเล่น เครือข่ายจะต้องใช้ความถี่ 144 หรือ 220 MHz ในขณะที่การส่งข้อมูลดิจิตอลในทวีปหรือแม้กระทั่งระหว่างทวีป ใช้ได้ที่คลื่นความถี่สั้น (14 หรือ 28 MHz) ความยากของการกระจายสัญญาณหลายเส้นทางที่ความถี่นี้ นำไปสู่ Throughput ของข้อมูลที่ต่ำมาก ที่ physical และ link layer อย่างง่ายๆใช้ (มอดูเลชั่นเสียง FSK และ automatic repeat request (AKQ) ที่ไม่มีการซ้อนทับหรือส่งตัวแก้ความผิดพลาดไปด้วย) เครือข่ายส่งสัญญาณแพ็กเก็ตทั่วประเทศนี้ได้ถูกสร้างขึ้น แต่ใช้เพียงคลื่นที่สามารถส่งข้อมูลได้ต่ำ เพื่อเชื่อมพื้นที่ต่างๆ เพราะความขาดแคลนโปรโตคอลที่เป็น

มาตรฐานที่เหนือกว่า link layer การเลือกเส้นทางจะทำโดยจุดที่เป็นผู้ส่งต้องเลือกเอง โดยมีตัวเครือข่ายช่วยอย่างจำกัด

เครือข่ายแพ็กเก็ตเป็นเครือข่ายที่เพิ่งเริ่มต้นการพัฒนา Physical Layer สำหรับการสื่อสาร แพ็กเก็ตคลื่นความถี่สั้น และความสำเร็จในการใช้เครือข่ายแพ็กเก็ตดาวเทียมไม่หยุดนิ่ง น่าจะเป็นผลมาจากการพัฒนาการเข้าถึงตัวกลายแบบ Multiple Access With Collision Avoidance (MACA) โปรโตคอลนี้ได้รวมเอาโปรโตคอล CSMA เดิม กับ การร้องขอการส่งแบบ RTS/CTS ของเครือข่าย Apple's Localtalk (และใช้ระบบ manually ใน NTS) เพื่อแก้ปัญหา "hidden terminal" และ "expressed terminal" MACA ได้รับการพัฒนาต่อมาในหลายๆทาง (เช่น เพิ่มความเท่าเทียมกันในกลไกหลัก)

2.4 Wireless Local Area Networks (WLANs)

ในปี 1990 สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) 802 LAN/MAN Standards Committee (LMSC) ได้ตั้งคณะทำงาน 802.11 เพื่อกำหนดมาตรฐานของ WLAN มาตรฐานแรกออกมาในปี 1997 โดยใช้งานที่ 1 และ 2 Mb/s มาตรฐานได้ถูกปรับปรุงแก้ไขหลายครั้ง จนปัจจุบันประกอบด้วยเลเยอร์ทางกายภาพ 5 ประเภท

2.4.1 Infrared ที่ 1 Mb/s และ อีกทางเลือกคือที่ 2 Mb/s

2.4.2 การกระจายสเปกตรัมความถี่ไปเป็นจุดๆที่ความเร็ว 1Mb/s และอีกทางเลือกคือ 2Mb/s ที่ 2.4 GHz

2.4.3 การกระจายสเปกตรัมแบบตรงตามลำดับตั้งแต่ 1 ถึง 11 Mb/s ที่ 2.4 GHz

2.4.4 Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) สูงสุดที่ 54 Mb/s ที่ 5 GHz

2.4.5 ทางเลือกระหว่าง DSSS และ OFDM สูงสุดที่ 54Mb/s ที่ 2.4 GHz

มาตรฐาน 802.11 ระบุการเข้าถึงตัวกลางแบบ carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA) ซึ่งปรับปรุงจากโปรโตคอล MACA ซึ่งใช้กลไก binary exponential random backoff

ทั้งการเชื่อมต่อแบบ จุดต่อจุด Ad hoc และเครือข่ายที่มีโครงสร้างพื้นฐานจะต้องการจุดเชื่อมต่อ access points (APs) เพื่อทำหน้าที่เป็น Network Adapters ระหว่างเครือข่ายมีสาย (802.3 เช่น Ethernet) และเครือข่ายไร้สายโดยระบุไว้ในมาตรฐาน

2.5 Wireless Personal Area Networks (WPANs)

การค้นคว้าพัฒนาของ WPANs เริ่มขึ้นในปี 1997 ด้วยการจัดตั้งกลุ่ม Home RF Working Group และในปี 1998 ด้วยการจัดตั้งกลุ่ม Bluetooth Special Interest Group รุ่นที่ 1.0 ของทั้งสองถูกประกาศในปี 1999 และในขณะที่ Home RF Working Group หยุดทำงานลงในเดือนมกราคมปี 2003 การพัฒนาของ Bluetooth ยังคงมีต่อถึงปัจจุบัน การทำงานของทั้งสองกลุ่มทำงานที่ 2.4 GHz ISM band โดยใช้การกระจายสเปกตรัมความถี่เป็นจุดๆ ซึ่ง Home RF นั้นมีอัตราการส่งข้อมูลดิบที่ 800 kb/s โดยใช้ 2-level frequency – shift keying (2-FSK) และอีกทางเลือกคือ ที่ 1.6 Mb/s โดยใช้ 4-level FSK (4-FSK) ซึ่งมีการกล่าวอ้างว่า Throughput ของข้อมูลในระบบที่มีการใช้งานนั้นไม่มากสามารถใช้ได้ถึง 1Mb/s โดยใช้ 4-FSK ในส่วนของ Bluetooth มีอัตราการส่งข้อมูลดิบที่ 1Mb/s โดยใช้ 2-FSK เช่นกัน และกล่าวอ้างว่า Throughput ของข้อมูลสูงสุดที่ได้คือ 721 kb/s

Home RF ใช้โปรโตคอล Shared Wireless Access Protocol-Cordless Access (SWAP-CA) ซึ่งประกอบด้วยลักษณะการทำงานของมาตรฐาน Digital European Cordless Telephony (DECT) จาก European Telecommunication Standards Institute (ETSI) สำหรับการจราจรประเภทถือเวลาเป็นสำคัญ (isochronous traffic) และมาตรฐาน WLAN IEEE 802.11 สำหรับการส่งข้อมูลทั่วไป ส่วน SWAP-CA นั้นมีการสร้าง Superframe ซึ่งมีการใช้การควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ time division multiple access (TDMA) medium access control (MAC) เพื่อใช้สำหรับการจราจรประเภทที่ถือเวลาเป็นสำคัญ (isochronous traffic) ส่วน CSMA/CA MAC จะใช้สำหรับการจราจรประเภท asynchronous ซึ่ง Home RF สามารถให้บริการได้ทั้ง ad hoc จุดไปจุด และเครือข่ายรูปดาว (ซึ่งเรียกว่า การจัดการเครือข่าย) ในเครือข่ายแบบจุดไปจุดนั้นใช้เพียง CSMA/CA MAC เท่านั้น ทั้งหมดของ superframe จะประกอบด้วย ช่วงเวลา contention สำหรับมาตรฐานของ Home RF จะแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 4 ประเภท คือ จุดเชื่อมต่อ (Network Adapters), อุปกรณ์ที่ถือเวลาเป็นสำคัญ (อุปกรณ์ส่งสัญญาณเสียง), อุปกรณ์ asynchronous (อุปกรณ์ส่งสัญญาณข้อมูล) และ

อุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวมา ทำให้สามารถใช้เครือข่ายที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายๆประเภทได้

ในทางตรงกันข้าม Bluetooth จะใช้วิธีการเข้าถึงแบบ frequency hopping / time division duplex (FH/TDD) ส่วนเครือข่าย ad hoc Bluetooth ซึ่งเรียกว่า piconets ซึ่งถูกกำหนดมีลักษณะโทโปโลยีรูปดาวเท่านั้น ซึ่งมีหัวหน้าเพียงหนึ่ง และลูกน้องได้สูงสุด 7 ตัว อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ทุกตัวจะเหมือนกันทางกายภาพ (ตัวอย่างเช่น เครือข่ายที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ประเภทเดียว) ช่องสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงหลายช่วงขนาด 625 μs ในช่วงเวลาดังกล่าว อุปกรณ์หนึ่งๆในเครือข่ายสามารถที่จะรับและส่งแพ็กเก็ต ความถี่ของช่องสัญญาณจะถูกเปลี่ยนไปในทุกทุกช่อง ตัวลูกน้องจะสามารถส่งข้อมูลได้ก็ต่อเมื่อได้รับการถามจากหัวหน้า ซึ่งไม่มีช่วงเวลา contention สำหรับการเข้าถึงช่องสัญญาณ ลักษณะของ Bluetooth ไม่สามารถสร้างโครงข่ายที่ใหญ่กว่า 1 piconet ได้ (เรียกว่า scatternet) โดยประเด็นนี้อยู่ในช่วงของการวิจัย

3. ตัวตรวจจับไร้สาย และเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง

ในลักษณะเดียวกับการค้นคว้าระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลอื่นๆ การพัฒนาในปัจจุบันของเครือข่ายตัวตรวจจับไร้สายมีมากมาย ย้อนหลังไปในปี 1978 ทาง DARPA ได้สนับสนุนห้องปฏิบัติการเครือข่ายตัวตรวจจับแบบกระจายที่มหาวิทยาลัย Carnegie-Mellon ใน Pittsburgh, Pennsylvania (เช่น Lacoss และ Walton) เรื่องที่สนใจคือระบบเตือนภัยทางทหาร ซึ่งนำไปสู่เงื่อนไขระหว่างการสื่อสารและการคำนวณของเครือข่ายตัวตรวจจับ รวมถึงสภาพแวดล้อมที่มีการคำนวณอยู่ทุกที่ (Lyytinen และ Yoo ได้แบ่งแยกความแตกต่างระหว่างการคำนวณในทุกๆที่ ซึ่งพวกเขาระบุเป็น การคำนวณที่ต้องการความสามารถในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้สูง และการคำนวณที่แพร่หลายทั่วไป ซึ่งต้องการความสามารถในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ต่ำ ซึ่งนิยามของทั้งคู่เชื่อมโยงกันมากขึ้นด้วยเครือข่ายตัวตรวจจับไร้สาย) ความสนใจนี้สูงขึ้นเมื่อ DARPA เริ่มโครงการ low – power wireless integrated microsensors (LWIM) ในกลางทศวรรษที่ 1990 และสานต่อด้วยการเปิดโครงการ SensIT ในปี 1998 ซึ่งพุ่งเป้าไปที่เครือข่าย ad hoc ไร้สาย สำหรับระบบตัวตรวจจับทางการทหารแบบกระจายขนาดใหญ่ โครงการทั้งหมด 29 โครงการ จาก 25 สถาบัน ได้รับการสนับสนุนจากโครงการนี้ รายละเอียดสั้นๆของการค้นคว้าที่โดดเด่น (ไม่ทั้งหมดของ SensIT)

3.1 WINS

มหาวิทยาลัย California ใน Los Angeles ซึ่งร่วมมือกับสถาบันวิทยาศาสตร์ Rockwell มีโครงการ Wireless Integrated Network Sensors (WINS) ตั้งแต่ปี 1993 ซึ่งถูกนำมาใช้ในทางธุรกิจจากการก่อตั้งบริษัท Sensoria (San Diego, California) ในปี 1998 โครงการนี้ครอบคลุมความเป็นไปได้เกือบทั้งหมดของการออกแบบเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ตั้งแต่ตัวตรวจจับระบบ microelectromechanical (MEMS) และผนวกตัวรับส่งเข้าไปในระดับวงจร โครงสร้างการประมวลผลสัญญาณ และการออกแบบโปรโตคอลเครือข่ายไปจนถึงการศึกษากฎขั้นพื้นฐานของทฤษฎีการรับรู้และตรวจจับสัญญาณ ทางทีมงานเชื่อว่า WINS จะ "ผสานเครือข่ายแบบกระจายและความสามารถเข้าถึง Internet ลงในตัวตรวจจับ, การควบคุม และตัวประมวลผลซึ่งรวมอยู่ในอุปกรณ์, ปัจจัยพื้นฐาน และสภาพแวดล้อม"

โปรโตคอลของการสื่อสารของ WINS ในชั้น data link อยู่บนพื้นฐานของโครงสร้าง TDMA ช่องสัญญาณต่างๆจะติดต่อกันระหว่างจุดต่างๆที่การเริ่มต้นของเครือข่าย โดยชั้นกายภาพจะใช้เทคนิคการกระจายสเปคตรัม RF เพื่อความต้านทานการกวนสัญญาณ

3.2 PicoRadio

Jan M. Rabaey ของมหาวิทยาลัย California ที่ Berkeley ได้เริ่มโครงการ PicoRadio ขึ้นในปี 1999 เพื่อรองรับ "การผลิตของเครือข่าย ad hoc ไร้สายของตัวตรวจจับซึ่งประกอบไปตัวตรวจจับที่มีลักษณะเป็น mesoscale มีต้นทุนต่ำ รวมทั้งใช้พลังงานต่ำ และจุดตรวจสอบ ชั้นกายภาพของ PicoRadio จะใช้การกระจายสเปคตรัมแบบตรงลำดับ ส่วนโปรโตคอล MAC เสนอ "การรวมของเทคนิคการกระจายสเปคตรัมที่ดีที่สุด และ Carrier Sense Multiple Access (CSMA)" จุดหนึ่งๆจะเลือกช่องสัญญาณแบบสุ่ม (เช่น เลือกจากโค้ด หรือช่องเวลา) และเช็คการใช้งาน ถ้าช่องสัญญาณมีการใช้งาน จุดๆหนึ่งจะเลือกช่องสัญญาณอื่นที่เหลืออยู่ จนกระทั่งเจอช่องสัญญาณว่าง และส่งข้อความออกไป ถ้าไม่เจอช่องสัญญาณว่าง จุดหนึ่งๆจะหยุดและตั้งเวลานับถอยหลังแบบสุ่มให้กับทุกช่องสัญญาณ และจะใช้ช่องสัญญาณที่หมดเวลาก่อน และจะลบเวลานับถอยหลังของช่องอื่นๆทั้งหมด

สังเกตว่าโครงการ PicoRadio ที่ Berkeley จะต่างจากโครงการที่รู้จักกันดีในอีกชื่อว่า “Smart Dust” ซึ่งมีส่วนประกอบด้วย MEMS-based “อาจมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะเสมือนสาบสูญอยู่ในอากาศ, ลอยไปตามกระแสลม, รับรู้ และสื่อสารในเวลาหลายชั่วโมง หรือหลายวัน” ชั้นกายภาพของ Smart Dust อยู่บนพื้นฐานของการส่งสัญญาณแสงด้วยมุมมองของ MEMS ซึ่งจะ modulate แสงสะท้อนของสัญญาณทางแสง

3.3 μAMPS

โครงการ μAMPS นำโดยผู้ค้นคว้าหลักคือ Anantha Chandrakasan แห่ง Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาระบบที่สมบูรณ์ของเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่มีการใช้พลังงานต่ำ ผลงานของพวกเขานำไปสู่การค้นคว้าโปรโตคอลสื่อสารของเครือข่ายตรวจจับที่เรียกว่า Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) โดยที่ LEACH มีการทำงานของอัลกอริทึมของ node-clustering ซึ่งจะสุ่มกระจายการทำงานที่ใช้พลังงานสูงไปให้กับจุดหลายๆจุดในเครือข่าย การกระจายการทำงานไปให้กับจุดที่เลือกได้เองหลายๆจุดทำให้เครือข่ายมีอายุการทำงานที่ยาวขึ้น

3.4 Terminodes, MANET, และ เครือข่าย Ad Hoc เคลื่อนที่อื่นๆ

หัวข้อที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายตรวจจับไร้สาย คือการศึกษาเครือข่าย ad hoc เคลื่อนที่ โครงการ Terminodes และ Mobile Ad Hoc Networks (MANET) ของ Internet Engineering Task Force (IETF) เป็น 2 ตัวอย่างของการศึกษา ad hoc เคลื่อนที่ แม้ว่าโครงการทั้งสองจะเกี่ยวข้องกับเครือข่าย ad hoc ของจุดต่างๆที่ใช้พลังงานต่ำ แต่ปัญหาที่พบคือการเลือกเส้นทางในเครือข่าย ad hoc เมื่อจุดต่างๆมีความสามารถในการเคลื่อนที่ ปัญหานี้กลับไม่เกิดขึ้นในเครือข่ายตรวจจับไร้สาย จุดต่างๆถูกสมมติให้อยู่กับที่ในช่วงเวลาใดๆ ในทางเดียวกัน เครือข่าย ad hoc เคลื่อนที่โดยทั่วไปจะสันนิษฐานได้ว่าจะประกอบด้วยจุดที่อ้างอิงได้ด้วย Internet Protocol (IP) ซึ่งมีความสามารถในการจัดการ ตัว Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP) โดยทั่วไปจะอยู่นอกเหนือความสามารถของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย เนื่องจากต้นทุน (ตัวอย่างเช่น ขนาดของหน่วยความจำที่ต้องการ) และปัญหาด้านพลังงาน

3.5 Underwater Acoustic และ Deep Space Networks

โปรโตคอลของเครือข่ายตรวจจับไร้สายได้ถูกออกแบบมาให้ง่ายแก่การใช้งานโดยสามารถใช้งานได้กับเครือข่ายหลายๆประเภทตั้งแต่เครือข่าย underwater acoustic จนถึง เครือข่าย deep space radio ความต้องการในการทำแผนที่ใต้สมุทรสำหรับเครือข่าย underwater acoustic ซึ่งต้องใช้พลังงานต่ำ, มี throughput ของข้อมูลน้อย, ต้องครอบคลุมพื้นที่ทางกายภาพขนาดใหญ่ และความทนต่อ latency ของข้อความได้สูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาระบบหลายๆระบบในต้นทศวรรษที่ 1990 เครือข่าย underwater acoustic นั้นใช้ phase shift keying (PSK) ในชั้นกายภาพ และใช้โปรโตคอลซึ่งดัดแปลงจาก MACA สำหรับการเข้าถึงช่องสัญญาณ และใช้เทคนิคการหาเส้นทางแบบ multi-hop ซึ่งลักษณะที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นที่คุ้นเคยกับผู้ที่ออกแบบโปรโตคอลของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ในทางเดียวกัน ความต้องการพลังงานที่จำกัด โครงสร้างของเครือข่าย ad hoc และความต้องการการทนทานต่อ latency ของข้อมูล ซึ่งเป็นพื้นฐานของเครือข่ายสื่อสารของ deep space ซึ่งเหมือนกับเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

มาตรฐานเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

ความสำเร็จในการสื่อสารของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย และเทคโนโลยีขึ้นกับความสำเร็จของการพยายามทำให้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับและมีคนใช้มาก การที่เป็นผู้นำด้านอุปกรณ์จำนวนมากที่มีราคาที่ต่ำ , เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานได้ง่าย และหลีกเลี่ยงการขยายผลด้านสิทธิบัตร, การเข้ากันไม่ได้ของโปรโตคอล, ถึงแม้ว่าบางครั้งอาจจะดีที่สุดในการทำช่องทางการตลาดที่เป็นเฉพาะตัว มาตรฐานที่มีการใช้งานเครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้นมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมมากนั้นมีสองมาตรฐานคือ มาตรฐานของ สถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) IEEE 802.15.4 คือ มาตรฐานเครือข่ายพื้นที่เฉพาะตัวไร้สายอัตราต่ำ (Low Rate Wireless Personal Area Network) เช่น Zigbee Alliance ซึ่งเป็นองค์กรที่มีการรับรองในท้องตลาด และไม่ค่อยมีปัญหามากมายนัก และ มาตรฐาน IEEE 1451.5 ซึ่งเป็นมาตรฐานของ สมาร์ท ทรานดิวเซอร์อินเตอร์เฟส ไร้สาย (Wireless Smart Transducer Interface standard)

1. มาตรฐาน IEEE 802.15.4 มาตรฐานเครือข่ายพื้นที่เฉพาะตัวไร้สายอัตราต่ำ (Low Rate Wireless Personal Area Network)

IEEE 802.15.4 นั้นเป็นกลุ่มซึ่งใช้ในรายละเอียดของชั้นกายภาพ (Physical Layer: PHY) และ MAC Layer (MAC) สำหรับการรับส่งข้อมูลไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ, อุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้ โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงาน (battery) หรือมีการจำกัดการใช้พลังงาน โดยที่มีการใช้งานในระยะการใช้งานเฉพาะตัว (Personal Operating Space :POS) ไม่เกิน 10 เมตร และจะพัฒนามาตรฐานต่อเพื่อรับส่งข้อมูลที่มีความซับซ้อนน้อยมาก, ใช้ราคาที่ต่ำมาก, ใช้พลังงานต่ำมาก และใช้อัตราการรับส่งข้อมูลต่ำมากๆผ่านการติดต่อแบบไร้สายกับอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง อัตราการรับส่งข้อมูลดิบจะสูงมากพอ (สูงสุดที่ 200 กิโลบิตต่อวินาที) ที่จะทำให้เกิดการกระตุ้นการทำงาน แต่อัตราการรับส่งที่ตัวตรวจจับ และการทำระบบอัตโนมัติในการสื่อสารนั้น ต้องการเพียง 10 กิโลบิตต่อวินาที หรือต่ำกว่านั้น ค่าสูงสุด และต่ำสุดของอัตราการรับส่งข้อมูลดิบนั้นสูงได้ถึง 250 และ ต่ำสุดที่ 20 กิโลบิตต่อวินาที

เซตที่แตกต่างของเป้าหมายต้องการมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงได้อย่างเต็มที่ ไม่เหมือนแฟ้มที่ถ่ายโอนโปรโตคอลอย่างเช่น IEEE 802.11 ซึ่งมีการออกแบบสำหรับการทำงานเพียงอย่างเดียว มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สนับสนุนการทำงานที่เป็นไปได้จำนวนมากมายใน POS การทำงานเหล่านี้เปลี่ยนแปลงจากความต้องการข้อมูล throughput จำนวนมาก และ การแฝงไปด้วยข้อความที่มีความสัมพันธ์ต่ำ อย่างเช่นคีย์บอร์ดไร้สาย, ไมค์, และ joystick สำหรับอุปกรณ์ดังกล่าวนั้นมีความต้องการการเปลี่ยนแปลงของ throughput ต่ำ และสามารถที่จะทนต่อข้อความที่มีนัยแฝงได้ อย่างเช่น การใช้งานระบบกสิกรรมอัจฉริยะ และ ตัวตรวจจับสภาพแวดล้อมอัจฉริยะ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 รองรับการเชื่อมต่อทั้งแบบดวงดาว และแบบจุดไปจุด และยังสามารถที่จะสนับสนุนความหลากหลายของ โทรโพโลยีของเครือข่าย และอัลกอริทึมของเส้นทาง เมื่อระบบความปลอดภัยถูกใช้ ชุดความปลอดภัย AES-128 ก็เป็นที่ต้องการ

มาตรฐานมักใช้ Beacons ถึงแม้ว่า การใช้งานนี้จะเป็นเพียงทางเลือกเท่านั้น ช่วงเวลาของ beacon นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการคูณเลขฐาน 2 ด้วย 15.36 ms จนถึงค่ามากสุดที่ 15.36 ms x 2^{14} = 4 นาที 11.65824 วินาที ดังนั้นการ trade-off ที่ได้ผลดีที่สุด สามารถที่จะทำระหว่างข้อความแฝง และอัตราการใช้พลังงานของจุดในเครือข่ายสำหรับแต่ละการใช้งาน Beacons อาจจะ

ถูกละเว้นได้สำหรับการใช้งานที่มีการทำงานเป็นวงรอบซ้ำๆ อย่างที่สามารถเกิดขึ้นบนเครือข่ายในแถบคลื่นวิทยุ 868 MHz (ซึ่งมีกฎข้อบังคับจำกัดบนวงรอบรอบการทำงานซ้ำของจุดในเครือข่าย) หรือการทำงานที่ต้องการหลายๆจุดในเครือข่ายซึ่งมีการรับค่าที่คงที่ การเข้าถึงช่องสัญญาณเป็นการช่วงชิงพื้นฐาน โดยการเข้าถึงแบบ carrier sense multiple โดยมีการป้องกันการชนกันของข้อมูล (CSMA-CA) โดย Beacon จะถูกตามด้วย contention access period (CAP) สำหรับการพยายามของอุปกรณ์ที่จะรับค่าการเข้าถึงข้อมูลของช่องสัญญาณ ความยาวของ CAP นั้นสามารถปรับได้ เช่นค่าเศษส่วนของช่วงเวลาระหว่าง Beacons การใช้งานแบตเตอรี่ที่ยืนยาว(battery life extension) สามารถทำได้ ซึ่งมีข้อจำกัดของ CAP ที่จะกำหนดเวลาเข้าใกล้ 2 ms การเข้าถึงที่อยู่ที่จำเป็นของการใช้งานที่ต้องการข้อความแฝงต่ำ มาตรฐานสนับสนุนการใช้งานของตัวเลือกช่องสัญญาณที่รับประกันเวลาได้ (guaranteed time slots :GTSs) ซึ่งจองเวลาของช่องสัญญาณสำหรับอุปกรณ์เฉพาะบุคคลโดยปราศจากความจำเป็นที่ต้องตามด้วยการเข้าถึงแบบ CSMA-CA

มาตรฐานมีขอบเขตของที่อยู่จำนวน 16-bit หมายความว่าสามารถมีค่าได้สูงถึง $(2^8 - 2) \times (2^8 - 2) = 64,516$ อุปกรณ์ที่อาจจะถูกกำหนดที่อยู่ตามสมควร (2 ค่าในแต่ละไบต์นั้นจะถูกจองไว้) อย่างไรก็ตาม มาตรฐานจะประกอบไปด้วยความสามารถที่จะส่งข้อความด้วย 64-bit โดยเพิ่มที่อยู่เข้าไปด้วย เพื่ออนุญาตจำนวนที่ไม่จำกัดของอุปกรณ์ที่เข้ามาแทนที่ในเครือข่ายเดี่ยว การถ่ายโอนข้อความสามารถที่จะมีการตอบรับการส่งอย่างสมบูรณ์ โดยแต่ละการถ่ายโอนของแต่ละเฟรม (ซึ่งมีการยกเว้นของ Beacons และการตอบรับของตัวเอง) อาจจะรับการตอบกลับอย่างชัดเจน การผลิตโปรโตคอลที่เชื่อถือได้ ค่าใช้จ่ายในการเข้าร่วมกับการตอบรับที่ชัดเจนเป็นค่าที่ยอมรับได้ของการส่ง throughput ของข้อมูลที่ต่ำ ของเครือข่ายตรวจจับไร้สาย การใช้ของการตอบรับเป็นตัวเลือกของการถ่ายโอนของแต่ละเฟรม อย่างไรก็ตาม ก็สนับสนุนการใช้งานเทคโนโลยีการตอบกลับแบบ passive เทคโนโลยีเหล่านี้มีการใช้บ้างในแบบแผนสำหรับการหาเส้นทางของ ad hoc ตัวอย่างเช่น อัลกอริทึมของการหาเส้นทาง แกรเดียน (gradient routing : GRAd)

การอยู่รวมกันของการให้บริการอื่นๆโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ไม่ต้องมีใบอนุญาตของอุปกรณ์ที่ใช้ IEEE 802.15.4 เป็นฟังก์ชันหลักในการออกแบบโปรโตคอล และเห็นได้ชัดในหลายๆลักษณะของตัวมันเอง ตัวอย่างเช่น ความต้องการของการเลือกช่องสัญญาณแบบไม่ตายตัวควรที่จะแทรกได้จากบริการอื่นๆที่ปรากฏบนช่องสัญญาณที่มีการใช้โดยเครือข่าย IEEE 802.15.4 จุดของเครือข่ายในการควบคุมของเครือข่าย (จุดเชื่อมต่อของเครือข่ายส่วนบุคคล :PAN) สแกนช่องสัญญาณอื่นๆที่มีอยู่เพื่อที่จะหาช่องทางที่เหมาะสมมากขึ้น ในการสแกนนี้จะได้รับเกณฑ์ของ

ค่าพลังงานสูงสุดที่มีอยู่ ในแต่ละช่องสัญญาณที่มีให้เลือกได้ และยังใช้ข้อมูลนี้ เพื่อที่จะเลือกช่องสัญญาณที่เหมาะสมได้ การสแกนแบบนี้สามารถที่จะถูกใช้เป็นลำดับต้นๆเพื่อที่จะทำการสร้างของเครือข่ายใหม่ ลำดับของการถ่ายโอนสัญญาณของแต่ละเฟรม (นอกเหนือจาก beacon หรือเฟรมการตอบกลับ) แต่ละจุดของเครือข่าย IEEE 802.15.4 ต้องประกอบไปด้วย 2 clear channel assessments (CCAs) อย่างเช่นส่วนของกลไก CSMA-CA เพื่อที่จะทำให้แน่ใจได้ว่าช่องสัญญาณที่วางจะได้มีการถ่ายโอนข้อมูลก่อน

ไบต์ของตัวชี้คุณภาพของการเชื่อมโยง (Link quality Indication: LQI) จะถูกแนบไปด้วยกับเฟรมการส่งแต่ละครั้ง โดยชั้นกายภาพ (physical layer) ก่อนที่จะถูกส่งไปกับชั้นการควบคุมการเข้าถึงระดับกลาง (medium access control layer) จุดที่รับก็จะรอเพื่อใช้ข้อมูลนี้สำหรับกำหนดจำนวนของจุดมุ่งหมาย ซึ่งจะพิจารณาการออกแบบเครือข่ายดังต่อไปนี้

- สามารถที่จะถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ของการเสียหายของช่องสัญญาณ เพื่อที่จะนำไปใช้กับการเลือกช่องสัญญาณที่ไม่ตายตัว และเปลี่ยนไปยังช่องสัญญาณอื่น
- สามารถที่จะถูกใช้สำหรับการควบคุมพลังงานของแต่ละการถ่ายโอนข้อมูลของแต่ละอัน ภายใต้ผลรวมของช่องสัญญาณ symmetrical
- สามารถที่จะถูกใช้เป็นส่วนของอัลกอริทึมของนโยบายการวางตำแห่งที่สัมพันธ์กัน เพื่อที่จะคาดคะเนการวางตำแหน่งของแต่จะจุดของเครือข่ายให้สัมพันธ์กับจุดของตัวเอง
- สามารถที่จะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของอัลกอริทึมของการหาเส้นทางของเครือข่าย เพื่อที่จะสร้างเส้นทางแพ็กเกตซึ่งวางอยู่บนรากฐานของคุณภาพของการเชื่อมต่อระหว่างจุดในเครือข่ายเท่านั้น

LQI นั้น อาจจะถูกสร้างจากการกำหนดระดับสัญญาณ การกำหนด signal-to-noise หรือการรวมกันของสองสัญญาณ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของเครื่องมือของจุดในเครือข่าย ความสามารถนี้เป็นไปได้ทั้งรับตัวบ่งชี้ความแรงของสัญญาณ (received signal strength indication: RSSI) และเป็นตัวคาดคะเนคุณภาพของสัญญาณ correlation-base ที่ถูกใช้ ถึงแม้ว่าแต่ละไบต์ (8 บิต) เป็นการจองสำหรับ LQI เพื่อให้ง่ายต่อกับอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ไม่ได้ต้องการที่จะใช้ในขณะนั้น (เป็นการตั้งใจที่จะแยกเผื่อไว้สำหรับการใช้งานบางประเภท) มาตรฐานที่เฉพาะเจาะจงนั้น ต้องมีอย่างน้อยที่สุด 8 ค่า เพื่อที่จะถูกนำไปใช้ใน LQI รวมถึง 0x00 และ 0xFF ซึ่งเป็นสมาชิกที่มีคุณภาพต่ำสุด และสูงสุดของสัญญาณ IEEE 802.15.4 ที่สามารถสืบค้นได้โดยตัวรับ ตามลำดับ

เพื่อให้การใช้งานได้สูงสุดของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 นั้น กลุ่มของงานต้องมีความสมดุลของความต้องการของจุดของเครือข่ายที่สามารถทำให้มีขนาดเล็ก ราคาถูก และใช้พลังงานต่ำ ซึ่งต้องการที่จะสร้างมาตรฐานที่สามารถใช้กันได้อย่างแพร่หลายของการใช้งานทั่วๆไปด้วย มาตรฐานที่ได้ผลจะประกอบไปด้วย 3-ลักษณะของฟังก์ชั่นของจุดในเครือข่าย ดังนี้

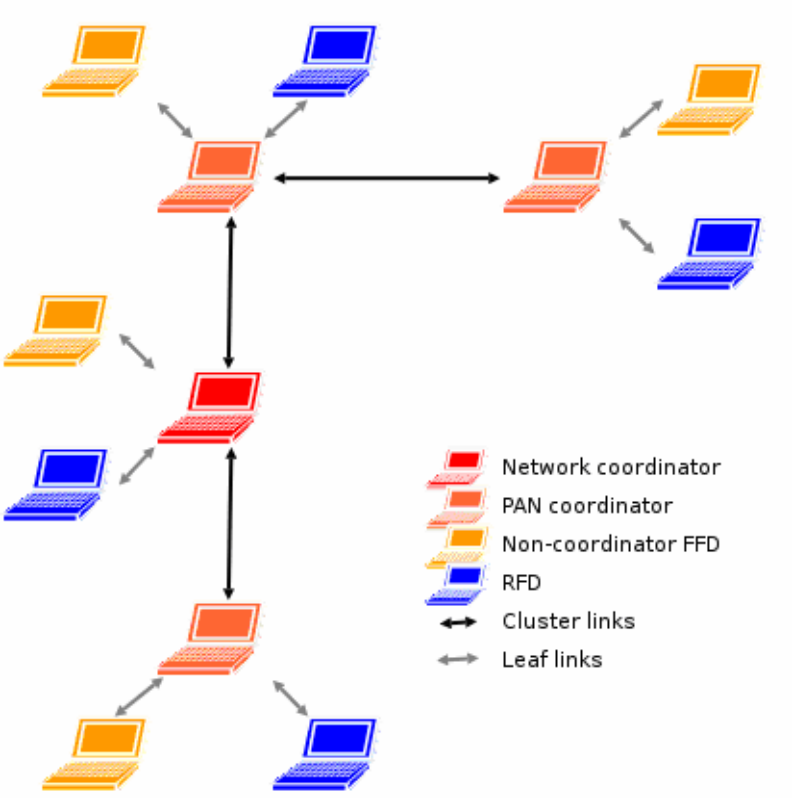
- ตัวเชื่อมต่อ PAN (PAN coordinator) ซึ่งตัวเชื่อมต่อของ PAN นั้น เป็นการเชื่อมต่อกันเป็นจุด (ซึ่งกำหนดให้เรียกว่า จุดตัวเชื่อมต่อ) ที่เริ่มต้นของเครือข่าย และ เป็นตัวควบคุมตัวแรกของระบบ จุดการเชื่อต่อของ PAN อาจจะมีการถ่ายโอน beacons และสามารถที่จะติดต่อสื่อสารโดยตรงกับอุปกรณ์ใดๆที่อยู่ในขอบเขตของเครือข่าย ระบบเครือข่ายอาจจะมีหน่วยความจำที่เพียงพอสำหรับการเก็บค่าของข้อมูลสำหรับทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่าย และจำเป็นต้องมีหน่วยความจำที่เพียงพอสำหรับการเก็บค่าข้อมูลของเส้นทาง อย่างเช่นความต้องการของอัลกอริทึมที่มาจากเครือข่าย ซึ่งทั้งหมดนี้ต้องขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ
- ตัวเชื่อมต่อ (Coordinator) ซึ่งตัวเชื่อมต่ออาจจะถ่ายโอน beacons และสามารถติดต่อสื่อสารได้โดยตรงกับอุปกรณ์ใดๆที่อยู่ในขอบเขตของเครือข่าย ตัวเชื่อมต่อหนึ่งตัวอาจจะกลายเป็นตัวเชื่อมต่อของ PAN ซึ่งสามารถให้เป็นตัวเริ่มในเครือข่ายใหม่ได้
- อุปกรณ์ (Device) อุปกรณ์ในเครือข่ายอาจจะไม่ใช้ beacon และ สามารถติดต่อสื่อสารกันโดยตรงได้โดยผ่านตัวเชื่อมต่อ หรือตัวเชื่อมต่อ PAN

ฟังก์ชั่นสามอย่างที่กล่าวมาถูกทำให้เป็นรูปเป็นร่างขึ้นในแบบของสองอุปกรณ์ที่แตกต่างกันทางกายภาพ ดังนี้

- Full function device (FFD) ตัว FFD นั้นสามารถที่จะทำงานในเครือข่ายในหน้าที่ใดๆก็ได้ในสามหน้าที่ของเครือข่าย ดังที่กล่าวมาข้างต้น (PAN coordinator, coordinator หรือ device) ซึ่งจำเป็นต้องมีหน่วยความจำมากเพียงพอเพื่อที่จะเก็บข้อมูลของเส้นทางอย่างเช่นการร้องขอของอัลกอริทึมที่สร้างออกมาโดยเครือข่าย
- Reduced function device (RFD) ตัว RFD นั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาต่ำมากๆ ด้วยมีความต้องการหน่วยความจำจำนวนน้อย ซึ่งสามารถเป็นได้เพียงแค่อุปกรณ์ในเครือข่ายเท่านั้น

ตัวอย่างที่สมบูรณ์แบบที่สุดของ RFD ก็คือ สวิตช์แสงสว่างแบบไร้สาย ซึ่งเป็นผลสำเร็จที่ต้องทำให้มีราคาไม่แพงในการผลิต ใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่ และ มีความต้องการการใช้งานที่

จำกัดมาก โดยความต้องการเพียงเพื่อติดต่อสื่อสารกับดวงไฟเพียง 1 ดวงเท่านั้น ตัวดวงไฟเองนั้นอาจจะเป็นตัวอย่างที่สมบูรณ์แบบที่สุดของ FFD ด้วย เพราะ อาจจะมีราคาแพงขึ้นกว่าเล็กน้อย มีการใช้กับพลังงานหลัก และสามารถที่จะเพิ่มเติมการใช้งานของเครือข่าย อย่างเช่นการเพิ่มลักษณะติดอยู่ถาวรของตึกเป็นต้น



ภาพที่ 17 IEEE 802.15.4 cluster tree

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สามารถที่จะรองรับโทรโพโลยีของหลายๆเครือข่ายๆได้ ในมาตรฐาน มีรูปแบบปกติ 2 รูปแบบที่ต้องถูกพิจารณา นั่นคือ เครือข่ายดวงดาว และ เครือข่ายจุดไปจุด สำหรับในเครือข่ายดวงดาว ตัวอุปกรณ์หลักนั้นจะเป็นตัวเชื่อมต่อ PAN (ตัว FFD 1 ตัว) และจุดของเครือข่ายอื่นอาจเป็นได้ทั้ง FFD หลายๆตัว หรือ RFD หลายๆตัว ก็ได้ สำหรับในเครือข่ายจุดไปจุดนั้น ตัว FFD หลายๆตัวจะถูกใช้ ซึ่งเป็นหนึ่งตัวของตัวเชื่อมต่อ PAN ตัว RFD หลายๆตัวอาจถูกใช้ในเครือข่ายจุดไปจุด แต่สามารถที่จะติดต่อสื่อสารได้กับเพียง FFD เพียงทีจะตัวเท่านั้นซึ่งขึ้นอยู่กับเครือข่าย และไม่มีการติดต่อสื่อสารแบบจุดไปจุดอย่างแท้จริง

ความคล้ายกันของมาตรฐานไร้สายทั้งหมดของ IEEE 802 ก็คือ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ถูกทำให้เป็นมาตรฐานเดียวกันในชั้นกายภาพ (physical layer) และชั้นการควบคุมการเข้าถึง

ระดับกลาง (medium access control layers : MAC) ความจริงแล้ว มาตรฐาน 802.15.4 มีการรวมกันของ 2 ชั้นกายภาพ ดังนี้

- คลื่นความถี่ต่ำ (The lower band) : 868.0 – 868.6 MHz (สำหรับทางยุโรป) รวมถึง 902-928 MHz (สำหรับอเมริกา และรอบนอกของแปซิฟิก)
- คลื่นความถี่สูง (The upper band) : 2.400 – 2.485 GHz (สามารถใช้ได้ทั่วโลก)

จำนวนช่องสัญญาณ และความถี่กลางของช่องสัญญาณสามารถกำหนดได้ตามนี้

$$Fc = 868.3 \text{ MHz สำหรับ } k = 0$$

$$Fc = 902 + 2 (k - 1) \text{ MHz สำหรับ } k = 1, 2, \ldots, 9, 10$$

$$Fc = 2405 + 5 (k - 11) \text{ MHz สำหรับ } k = 11, 12, \ldots, 25, 26$$

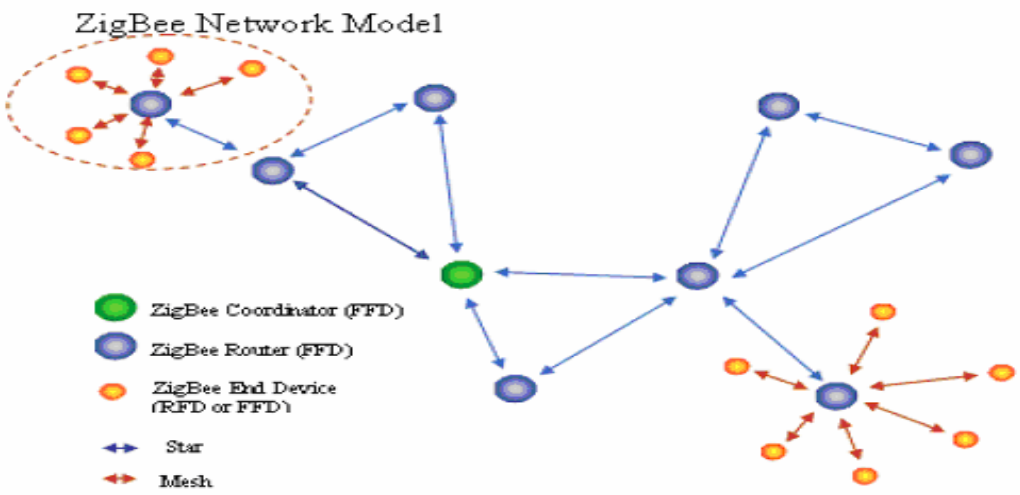
โดยที่ k คือ จำนวนช่องสัญญาณ

คลื่นความถี่ทั้งแบบคลื่นความถี่ต่ำ และคลื่นความถี่สูงใช้รูปแบบของ direct sequence spread spectrum (DSSS) สำหรับในคลื่นความถี่ต่ำ binary phase shift keying (BPSK) ซึ่งมี raised-cosine pulse shaping จะถูกใช้ ในคลื่นความถี่ 868 MHz นั้นมี data rate 20 kb/s และ chip rate 300 kc/s จะถูกใช้ ในขณะที่คลื่นความถี่ 902-928 MHz จะใช้ data rate 40 kb/s และ chip rate 600 kc/s ส่วนใน คลื่นความถี่สูง จะใช้ offset quadrature phase shift keying (O-QPSK) ซึ่งมี half-sine pulse shaping จะถูกใช้ที่ chip rate 2 Mc/s พร้อมด้วย 16-ary orthogonal symbol scheme ซึ่งส่งข้อมูลที่ 62.5 ksymbols/s ซึ่งทำให้มี data rate เป็น 250 kb/s ลำดับ PN ของแต่ละ orthogonal symbols จะถูกทำให้สัมพันธ์กับแต่ละ through cyclic shifts และ/หรือ conjugation (กลับกันกับ chips transmitted บน Q-channel) เพราะความเป็นไปได้ทั้งหมดที่จะรับ symbols อาจจะได้รับมาอย่างง่ายๆจาก single PN sequence ซึ่งแบบแผนนี้ถูกทำให้ง่ายต่อการออกแบบของตัวรับในการเทียบเคียงกับวิธี 16-ary DSSS อื่นๆ ซึ่งต้องการการเก็บข้อมูลของ 16 PN sequences

2. The ZIGBEE ALLIANCE

อย่างที่กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ไม่ได้ถูกทำให้เป็นมาตรฐานใน

ชั้นโปรโตคอลการสื่อสารที่สูงขึ้นไป ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นเครือข่าย (Network Layer) และชั้นการใช้งาน (Application Layer) เพื่อที่จะรับรองการทำงานระหว่างกันของอุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 นั้น คุณสมบัติของชั้นเหล่านั้นจะต้องถูกกำหนดอย่างเฉพาะเจาะจง การสร้างของคุณสมบัติเฉพาะนั้นจะถูกกำหนดโดย Zigbee Alliance, Sn Ramon, แคลิฟอเนีย, สมาคมอุตสาหกรรมของส่วนของผู้ผลิต, ผู้ผลิต OEM , Service Providers และ ผู้ใช้งานในเครือข่ายตรวจจับไร้สายทั่วๆไป , การพัฒนาการทำงานของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เองด้วย และยิ่งกว่านั้น การสร้างคุณสมบัติเฉพาะของชั้นที่สูงขึ้นนั้น ZigBee Alliance ทำทั้งทางด้านการตลาด และการทำข้อตกลงการใช้งานของ IEEE 802.15.4 ในหลายๆตัวอย่างเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Wi-Fi Alliance, Mountain View, แคลิฟอเนีย มาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN (เครื่องหมายการค้า คือ “Wi-Fi®”)



ภาพที่ 18 ZigBee Network Model

การพัฒนาของคุณสมบัติของเครือข่าย ZigBee นั้น ประกอบไปด้วยโทรโพโลยีทั้งแบบดวงดาว และแบบจุดไปจุด พร้อมด้วยโพรไฟล์การใช้งานแรก ซึ่งสำเร็จในครึ่งปีแรกของปี 2004 การพัฒนาของโพรไฟล์การใช้งานที่เพิ่มขึ้นนั้นถูกคาดหวังว่าจะมีการดำเนินการต่อไป ให้ใช้กับเทคโนโลยีเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ใช้งานในระบบที่ใหญ่ขึ้นและกว้างขึ้นด้วย

เครือข่ายตรวจจับไร้สายสำหรับตรวจวัดสภาวะแวดล้อมทางเสียง

(Santini and Vitaletti, 2007) ขณะที่ประเด็นเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมได้รับความสนใจที่เพิ่มมากขึ้นจากความคิดเห็นของประชาชน และผู้ร่างนโยบาย หลายๆการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า ผลสำเร็จของเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ถูกนำไปใช้งานในการตรวจวัดสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย ซึ่งมุ่งเน้นไปยังการประเมินถึงมลภาวะของสภาวะแวดล้อมทางเสียงในเขตตัวเมือง ซึ่งได้ผลของการพิจารณาระดับคุณภาพ และผลการทดลองเบื้องต้นที่กระตุ้น และสนับสนุนการใช้เครือข่ายตรวจจับไร้สายในบทความนี้

ในปี 1996, the European Community ได้ประมาณว่า จำนวนของประชากรในเมืองประมาณ 80 ล้านคนที่ไม่สามารถยอมรับระดับของสภาวะแวดล้อมทางเสียงได้ ขณะที่อีก 170 ล้านคน ต้องทนรำคาญอย่างมากจากมลภาวะทางเสียงที่สูงมากตลอดวัน คำสั่ง 2002/49/EC ของ the European Parliament ได้มีนโยบายในยุโรป เพื่อทำการหลีกเลี่ยง, ป้องกัน และลดต้นเหตุหลักของสภาวะแวดล้อมทางเสียง สิ่งแรกที่สมาชิกของรัฐต้องการที่จะกำหนดสถานการณ์ที่เลวร้ายของประชากรในเมืองเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมทางเสียง สิ่งที่สอง เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมทางเสียง และผลจากสภาวะแวดล้อมทางเสียงนั้นจะถูกนำไปเผยแพร่ให้กับประชากรได้รับทราบ

ตามกฎดังกล่าว สมาชิกของรัฐถูกเรียกร้องให้จัดหา Mapping ที่ถูกต้องของสถานการณ์ที่เลวร้ายของสภาวะแวดล้อมทางเสียงในพื้นที่ตัวเมือง อย่างเช่น สวนสาธารณะ, โรงเรียน, โรงพยาบาล และพื้นที่อื่นๆที่มีความไวต่อเสียง (Noise-sensitive zones) ขณะที่ Current noise maps ส่วนใหญ่มีพื้นฐานมาจาก sparse data และ ad-hoc noise propagation models ซึ่งจะได้ว่า ทุกๆการทดลองควรจะทำให้ได้รับข้อมูลจริงที่มีความถูกต้องจากแหล่งของเสียง เพราะรายละเอียดของ Noise modelling/mapping และการประเมินสถานการณ์ที่เลวร้าย บางข้อมูลอาจจำเป็นต้องยอมรับเพื่อที่จะผลิตแผนการทำงานในพื้นที่ให้ได้อย่างละเอียด ความต้องการสำหรับข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับระดับสถานการณ์ที่เลวร้ายของเสียงมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังที่กล่าวมาทำให้มีการกำหนดเป็นกฎข้อบังคับขึ้น เป็นที่น่าเชื่อได้ว่าเครือข่ายตรวจจับไร้สายจะสามารถเป็นที่พอใจความต้องการที่จะให้มีเครื่องมือวัดเสียงที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง และมีราคาที่เหมาะสม

เครือข่ายตรวจจับไร้สายได้มีการนำไปใช้ในอย่างมากมายหลากหลาย ในการใช้งานเพื่อตรวจวัดสภาวะแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น ใช้ตรวจจับถึงที่อยู่อาศัย และนิสัยของนก, ใช้เพื่อจะหารูปแบบการเจริญเติบโตของต้นไม้ หรือเพื่อที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะแวดล้อมของคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น เครือข่ายตรวจจับไร้สายยังคงช่วยให้การตรวจวัดปัจจัยของมลภาวะในเขตพื้นที่ในตัวเมืองที่มีความถูกต้องแม่นยำที่ก่อนหน้านี้ไม่สามารถทำได้ ให้สำเร็จได้ ตัวอย่างเช่น ใน City-Sense testbed (from http://www.citysense.net) ซึ่งมีการวางแผนที่จะใช้เครือข่ายที่ตายตัว โดยใช้ตัวตรวจจับไร้สายแบบ line-powered จำนวน 100 ตัว เพื่อที่จะเก็บรวบรวมข้อมูล fine-grained ของมลภาวะทางอากาศ และส่งข้อมูลไปถึงผู้ใช้แบบ real-time

1. การประเมินมลภาวะทางเสียง

การวัดเสียงในเขตตัวเมืองส่วนใหญ่จะถูกปฏิบัติการโดยกำหนดเจ้าหน้าที่ที่เก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ที่สนใจเพื่อนำมาวิจัยหลายๆครั้งอย่างต่อเนื่อง และเก็บข้อมูลไว้ โดยใช้เครื่องตรวจระดับเสียง หรือ อุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายกันนั้น วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยมือที่ใช้ปกรณ์ที่มีราคาถูก แต่มักจะไม่ได้ตามเกณฑ์ตามที่ต้องการสำหรับ higher granularity ของการวัดเสียงทั้งในเรื่องของเวลา และเนื้อที่ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น เครือข่ายของจุดตรวจจับไร้สายราคาถูกจึงถูกนำมาแทนที่และนำไปใช้ในพื้นที่ที่น่าสนใจเพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลมลภาวะทางเสียง โดยมีช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลนานๆ และสามารถมีผลรายงานได้อย่างอัตโนมัติไปยังเซิร์ฟเวอร์กลางโดยทาง the sensor's on-board radio โดยการแทรกแซงของมนุษย์ต้องการเพียงแค่ ติดตั้ง และเอาอุปกรณ์ตรวจจับออกทีหลัง มากกว่านั้นจุดตรวจจับเป็นอุปกรณ์ที่มีตัวตรวจจับที่แตกต่างกันหลายๆตัว ซึ่งสามารถที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีข้อมูลเพิ่มเติม อย่างเช่น ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้น เช่นเดียวกับเครื่องมือวัดเสียงที่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ จริงๆแล้ว ข้อมูลนี้ต้องมีเซตที่ถูกเก็บรวบรวมไว้อย่างเหมาะสมของข้อมูลสถานการณ์อันเลวร้ายของเสียง ตลอดจนปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาอย่างเช่น ความเร็วลม และ ทิศทางของลมอีกด้วย

ข้อมูลของเสียงที่เก็บรวบรวมจะถูกเก็บในแต่ละพื้นที่ รวมถึงขอมูลพี่เพิ่มเติมขึ้นเกี่ยวกับแหล่งที่มาของเสียงที่เกิดขึ้นของแหล่งที่มาของเสียง เพื่อที่จะป้อนข้อมูลให้กับต้นแบบสำหรับคำนวณข้อมูลซึ่งจะได้ค่าระดับสถานการณ์อันเลวร้ายของเสียงที่เป็นจริงและไว้สำหรับคาดการณ์ต่อไปได้นั้น สำหรับในแต่ละพื้นที่ของข้อมูลนั้นๆ เพื่อที่จะสามารถหาค่าที่เป็นค่าที่เกิดขึ้นจริงได้ ตัวต้นแบบสำหรับคำนวณมีความผิดพลาดบ่อยครั้งที่จะให้ค่าคาดคะเนที่ถูกต้องแม่นยำของระดับ

มลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นกระบวนการการประเมินนั้นยังคงไม่เป็นที่น่าพอใจสำหรับกฎของทางยุโรป และในความเป็นจริงนั้น คุณสมบัติของ Free propagation ของเสียงที่ออกมาจากแหล่งที่มาของเสียงทั่วๆไปนั้น เป็นที่เข้าใจกันดีอยู่แล้วว่า ผลของเงา และ การสะท้อนของเสียงนั้นเป็นอุปสรรคขัดขวางการประมาณการณ์ที่ถูกต้องแม่นยำของระดับเสียงในแถบที่เป็นตัวเมืองที่ซับซ้อน เช่น ระดับเสียงที่ถูกประมาณการณ์ด้านหน้าของอาคาร (เช่น ด้านหน้าสนาม) นั้นมักจะไม่ค่อยแน่นอน และความไม่เที่ยงตรงนี้ อาจจะกลายเป็นจุดวิกฤตได้ ถ้าข้อมูลของสถานการณ์อันเลวร้ายของเสียงนั้น ถูกนำไปใช้เพื่อใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการออกแบบสิ่งปลูกสร้าง หรือเพื่อที่จะใช้เพื่อให้รายละเอียดเพิ่มเติมเพื่อดำเนินนโยบายเพื่อทำการลดเสียงในพื้นที่ ความถูกต้องแม่นยำของระดับเสียงที่ประมาณการณ์ไว้นั้น สามารถที่จะตรวจสอบ และปรับปรุงได้ง่ายโดยการติดตั้งเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ในตำแหน่งที่ตัวต้นแบบการคำนวณที่ให้ค่าประมาณการณ์ไม่ถูกต้อง ในการติดตั้งนี้ จุดประเมินเสียงจำเป็นต้องมีระยะห่าง (ประมาณ ทุกๆ 2-3 เมตร) และเครื่องมือวัดควรจะสามารถวัดค่าได้พร้อมๆกันจากจุดประเมินการณ์ในสถานที่ที่มีเสียงจากแหล่งที่มาของเสียง ขณะที่การติดตั้งการตรวจจับที่กระจายออกไปนั้นเป็นเรื่องที่ยากมากที่จะทำได้จริงด้วยขบวนการของเครื่องมือวัดที่มีในปัจจุบัน ซึ่งเป็นธรรมดาของการติดตั้งสำหรับเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

เครือข่ายตรวจจับไร้สายอาจจะนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการประเมินมลภาวะทางเสียงในการจราจรของยานยนต์บนถนนในตัวเมือง ขบวนการที่ใช้ในที่นี้ สำหรับชนิดยานยนต์ที่แตกต่างกันมากมายนั้น ต้องการการประมาณการณ์ค่าเฉลี่ยของจำนวนยานยนต์ที่ผ่านไปมาในช่วงกลางวัน, ช่วงเย็น และช่วงกลางคืน และต้องการประมาณการณ์ค่าเฉลี่ยของระดับเสียงของยานยนต์แต่ละคันที่ผ่านไป การประมาณการณ์นี้ ดำเนินการโดยใช้เครื่องคำนวณ โดยคำนวณจากลักษณะของข้อด้วยและปัญหาตามที่กล่าวมาด้านต้น หรือจะดำเนินการด้วยมือ เช่น ให้พนักงานออกไปยืนใกล้ถนนและจดชนิด และจำนวนของยานยนต์ที่ผ่านไป เครือข่ายตรวจจับไร้สายได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเครือข่ายไร้สายนั้นสามารถที่จะตรวจหา และแยกชนิดยานยนต์ และสามารถนำผลสรุปในบทความนี้มาใช้สำหรับการทำการตรวจนับจำนวนยานยนต์แบบอัตโนมัติ และในเวลาเดียวกัน ยังสามารถบันทึกระดับเสียงของยานยนต์ที่เกี่ยวพันกันได้อีกด้วย

2. การวัดเสียง

คลื่น Acoustic เป็นการความไม่แน่นอนของแรงดัน (Pressure fluctuations) ที่มักจะเกิดจากการสั่นของพื้นผิวของวัตถุแข็ง ซึ่ง propagate ไปยังตัวกลาง เช่น อากาศ หรือน้ำ เสียงเป็นสิ่งที่หูของมนุษย์สามารถรับรู้ได้ โดยที่หูมนุษย์รับคลื่น Acoustic เข้ามา และเปลี่ยนเป็นสารสื่อประสาทโดยระบบการได้ยิน ในทางเดียวกัน ไมโครโฟนแปลงความไม่แน่นอนของแรงดันคลื่นไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสามารถที่จะนำเข้ากระบวนการเพื่อที่จะคำนวณความดังของแหล่งที่มาของเสียงที่ผลิตคลื่น Acoustic ออกมา ระดับความดังเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานนั้นถูกใช้เป็นตัวชี้วัดทางเสียง (Noise indicators) ตัวอย่างเช่น ข้อปฏิบัติของยุโรป 2002/49/EC นั้นต้องการให้สมาชิกของรัฐใช้ตัวชี้วัด L_{den} และ L_{night} สำหรับการเตรียม และทบทวน strategic noise mapping ก่อนที่จะได้ค่าจำกัดความของตัวชี้วัดจึงจำเป็นต้องอธิบายว่า ระดับแรงดันเสียงเสมือน (the equivalent sound pressure level) ของแหล่งที่มาของเสียงนั้น สามารถที่จะคำนวณได้จากสัญญาณที่ออกมาจากไมโครโฟน

ระดับแรงดันของเสียงขณะหนึ่ง (The instantaneous sound pressure level: SPL) ของเสียงสามารถที่จะอธิบายได้ในรูปของ logarithmic units ซึ่งจะใช้แรงดันอ้างอิง และคำนวณระดับแรงดันของเสียงขณะหนึ่งได้ตามสมการต่อไปนี้

$$L_p(t) = 10log_{10}\frac{p(t)^2}{p_{ref}^2} = 10log_{10}p(t)^2 - 10log_{10}p_{ref}^2 \quad (dB) \tag{1}$$

โดยที่ p(t) คือ the instantaneous pressure ของคลื่น Acoustic ที่กระทบ the membrane ของไมโครโฟน ค่าแรงดันอ้างอิงมาตรฐาน P_{ref} ซึ่งมีค่าเป็น 20 μPa และเป็นค่าของเสียงที่เบาที่สุดที่สามารถได้ยินได้ เมื่อแทนค่านี้ลงในสมการที่ 1 จะได้ดังนี้

$$L_p(t) = 10log_{10}p(t)^2 + 94 \quad (dB) \tag{2}$$

ถ้า $E(t)$ คือค่าแรงดันขาออก (Voltage Output) ของไมโครโฟน ที่ถูกระตุ้นโดย Incident acoustic wave p(t) สมการที่ 2 อาจเขียนใหม่ได้ว่า

$$L_p(t) = 10log_{10}E(t)^2 + 94 - S \quad (dB) \tag{3}$$

ค่า Sensitivity S ของไมโครโฟนที่ปรากฏในสมการที่ 3 ค่าที่บอกว่าไมโครโฟน สามารถที่จะตอบสนองต่อแรงดันขาเข้าเป็นเท่าไร และถูกแสดงในหน่วยเดซิเบล และระดับอ้างอิง สมการต่อไปจะเป็นสมการสำหรับค่า sensitivity S ของไมโครโฟน

$$S = 20log_{10}\frac{E_{p_0}}{E_{ref}p} \quad (dB) \tag{4}$$

ปกติมักจะให้ค่า E_{ref} = 1V และ p_0 = $1Pa$ และให้ sensitivity มีค่าเป็นลบ ซึ่งใช้ค่าอ้างอิง 0 dB =1V/Pa

ปกติแล้ว เสียงนั้นมักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในช่วงเวลาสั้นๆ ระดับแรงดันเสียงที่เกิดขึ้นขณะหนึ่งนั้นก็จะสามารถหาได้จากสมการที่ 3 ความดังของแหล่งที่มาของเสียงที่ให้มานั้นสามารถที่จะแทนด้วยค่าเฉลี่ยของระดับแรงดันเสียงในช่วงเวลาต่างๆ $L_p(t)$ ในช่วงเวลา T

$$L_{eq} = \frac{1}{T}\int_0^T 10^{\frac{L_p(t)}{10}}\,dt \quad (dB) \tag{5}$$

แรงดันของระดับเสียงเสมือน (The equivalent sound level pressure) L_{eq} สามารถหาได้จากสมการด้านบนที่เป็นจำนวนที่สามารถวัดได้จากมิเตอร์วัดระดับเสียง และเป็นตัวที่ใช้ในการคำนวณของตัวชี้วัดเสียงที่ใช้อยู่ปกติส่วนใหญ่ ตัวอย่างเช่น ตัวชี้วัดเสียง L_{day} , $L_{evening}$ และ L_{night} นี้เป็นค่าเฉลี่ยของระดับเสียงเสมือนตลอดช่วงเวลากลางวัน, ช่วงเวลาเย็น และช่วงเวลากลางคืน ระดับตัวชี้วัด L_{den} (day-evening-night) หาได้ตามสมการนี้

$$L_{den} = 10log_{10}\left[\frac{1}{24}\left(12\cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4\cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8\cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}}\right)\right] \tag{6}$$

สามารถย่อ L_{day} , $L_{evening}$ และ L_{night} เป็น L_d , L_e และ L_n สำหรับจุดประสงค์ของ Noise mapping สมาชิกของรัฐของ The European Community ต้องการให้ข้อมูลของมลภาวะทางเสียงในรูปของตัวชี้วัด L_{den} , L_{night}

ถ้ากระบวนการที่ใช้สำหรับคำนวณค่าตัวชี้วัดเสียงที่หาจากสมการด้านบนนั้น มีมาตรฐานที่แตกต่างกันมาก ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับสิ่งสำคัญเล็กน้อย อย่างเช่นการกระจาย

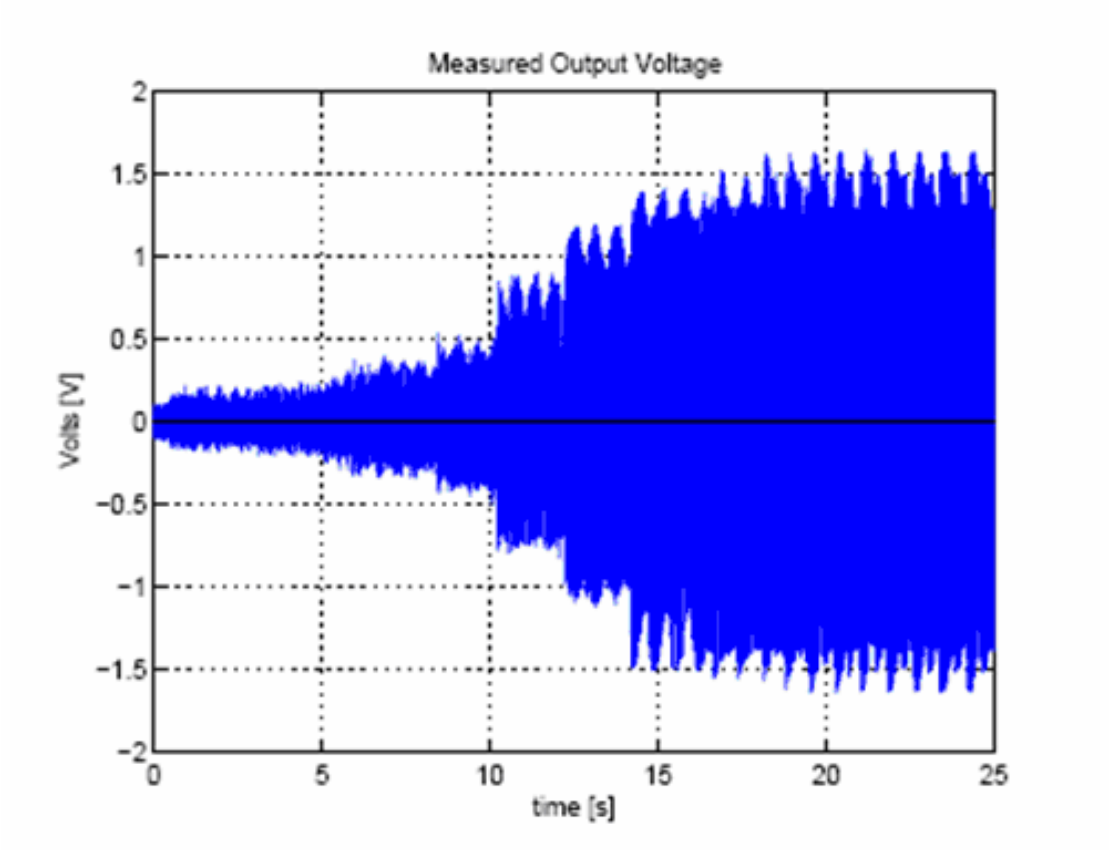
ในพื้นที่ของจุดตรวจวัด หรือกระบวนการของข้อมูล acoustic ที่จำเป็นนั้น อย่างระมัดระวังเมื่อทำการวัดระดับแรงดันของเสียง ความเป็นจริงนั้น เพราะหูของมนุษย์นั้นไม่สามารถที่จะตอบสนองได้เท่ากันในการที่จะได้ยินในช่วงความถี่ทั้งหมด ระดับเสียงที่วัดจำเป็นต้องมีข้อมูลมากเพียงพอ (ในโดเมนของความถี่) เพื่อที่จะนำไปทำเป็นรายงานเกี่ยวกับพฤติกรรมที่เลือกของระบบการได้ยินของมนุษย์ จำนวน the available standard weighting methods ของกฎของยุโรปใช้ the A-weighting function และนำมาเป็น the numerous international standards แรงดันของระดับเสียงแบบ the A-weighted (The A-weighted sound level pressures) และ ตัวชี้วัดเสียง นั้นจะชี้วัดในหน่วย A-weighted decibels หรือ dB(A)

การประเมินตัวชี้วัดทางเสียงนั้น ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดต้องเป็นไปตามกฎของ Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the Assessment and management of Environmental Noise และ กฎของ European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, January 2006

สำหรับการ Noise mapping ใกล้กับอาคารจุดประเมินต้องสูงเหนือพื้นดิน 4.0 ± 0.2 เมตร และต้องอยู่ในที่ที่เห็นได้ชัดเจนในส่วนหน้าอาคาร ถ้าในกรณีที่จำเป็น อาจติดตั้งจุดประเมินที่ความสูงอื่นได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร เหนือพื้นดิน และผลที่ได้ควรจะถูกต้องสอดคล้องตามกฎระเบียบที่เทียบเท่ากับการติดตั้งที่ความสูง 4 เมตร ความต้องการนี้เป็นสิ่งจำเป็นหลักสำหรับเครื่องมือวัดมลภาวะทางเสียง เพื่อตัดปัญหาของสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์ portable hand-held อย่างพวกโทรศัพท์มือถือที่ถูกใช้งาน

3. ผลลัพธ์เบื้องต้น

สำหรับการใช้อุปกรณ์ตรวจจับมลภาวะทางเสียง จุดตรวจจับไร้สายต้องสามารถที่จะคำนวณตัวชี้วัดทางเสียงที่หาจากหัวข้อด้านบนได้ การศึกษาเบื้องต้นนี้เพื่อที่จะเข้าใจถึงความเป็นไปได้ของรูปแบบของเครือข่ายตรวจจับที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันที่จะคำนวณถึงตัวชี้วัด



ภาพที่ 19 การตอบสนองไมโครโฟนที่ 250Hz sine wave stimulus ของ Amplitude ที่เพิ่มขึ้น

ระดับแรงดันที่บันทึกไว้โดยไมโครโฟนจะแปลงค่าใหม่จากค่าตัวอย่างที่ได้จากตัวแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to digital converter: ADC) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้ $E = \frac{E_{ADC}}{4096} \cdot v_{ref}$ ซึ่งค่า v_{ref} ถูกตั้งไว้ที่ 2.5V และ E_{ADC} เป็นค่าตัวอย่าง ADC รูปที่ 13 เป็นค่ารายงาน the (A-weighted) voltage response ของไมโครโฟนที่สังเคราะห์ออกมาที่ 250Hz sine wave stimulus ซึ่ง Amplitude นั้นถูกเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะทำให้ไมโครโฟนนั้นถึงค่าอิ่มตัว

ตัวอย่างข้อมูลดิบของสัญญาณ ที่อ่านค่าได้จาก ADC ที่ 2kHz ที่ถูกส่งมาจากจุดตรวจวัดไปยัง pc โดยทาง serial port จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาผ่านกระบวนการคำนวณด้วย Matlab เพื่อคำนวณหาค่า A-weighted equivalent SPL ซึ่งได้เป็น 90 dB (A)

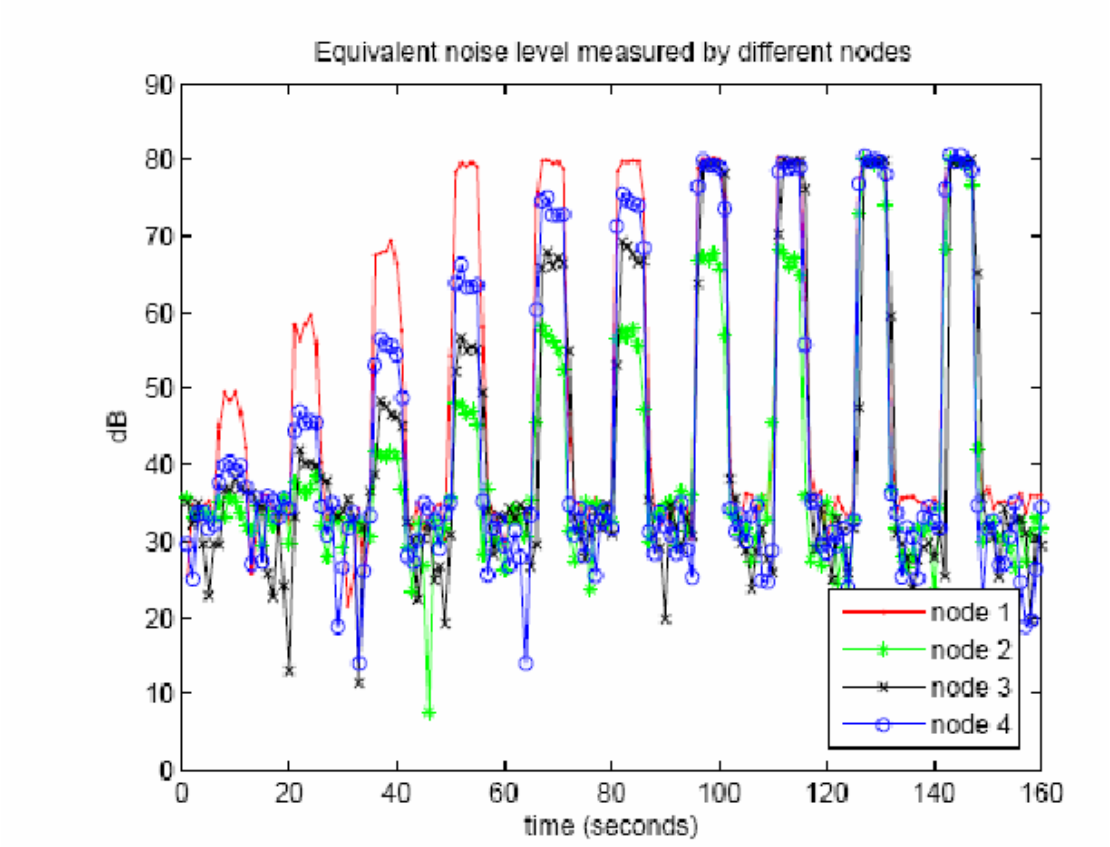
จากการพิจารณาทำให้สามารถที่จะได้ค่าจากการสังเกตข้อมูลตัวอย่าง ในรูปที่ 13 เป็น high level ของ background noise ในตัวอย่างนี้มีระดับ self-noise level เป็น 54 dB (A) SPL (ระดับ self-

noise หรือ equivalent noise อาจจะคำนวณโดยการลดค่า nominal signal to noise ratio (S/N) จากระดับแรงดันเสียงอ้างอิงที่ 94 dB ในการตัวอย่างดังกล่าว ค่า S/N เป็น 40 dB) ซึ่งทำให้เสียงมีค่าระดับ SPL ต่ำกว่า 54 dB (A) จึงทำให้ไม่สามารถแยกออกจาก electrical background noise ได้ ในการทดลองนี้ มี ลักษณะที่สำคัญที่ควรต้องแก้ไขต่อไปดังนี้ ข้อแรก ความถี่ตอบสนองเริ่มไม่เป็นไป linearity ที่ 5 kHz และในส่วน significantly harmonic components จะถูกทำให้ผิดเพี้ยนไปที่ความถี่มากกว่า 10 kHz ข้อสอง ใน datasheet ของตัวอย่างที่ใช้นี้ ไม่มีรายงานถึงค่าสูงสุดของ SPL ที่ไมโครโฟนสามารถวัดได้โดยที่ไม่มี significant total harmonic distortion (THD) ปัจจัยนี้เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องหาค่าของ upper bound ของ dynamic range ของไมโครโฟน

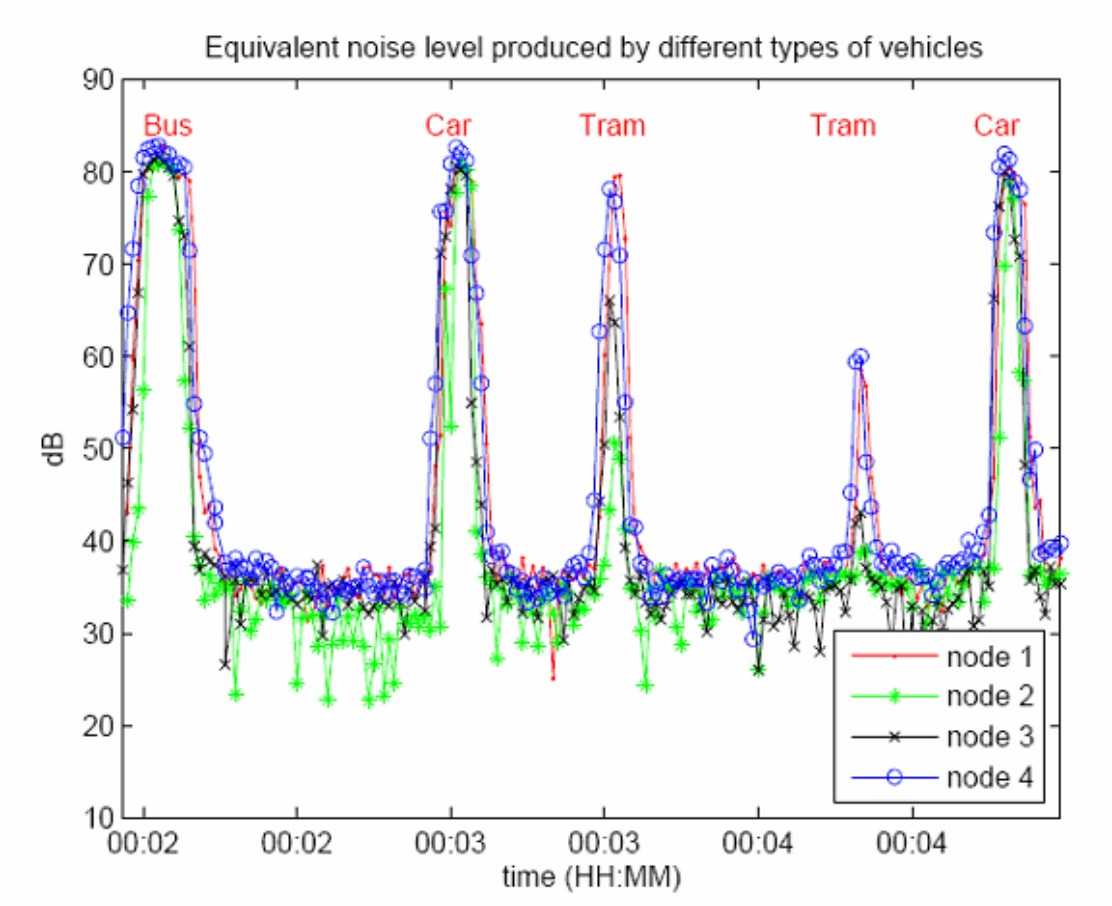
นอกจาก ลักษณะทางไฟฟ้า และ Acoustic ของไมโครโฟน ก็ยังมีหัวข้ออื่นๆที่มีผลต่อคุณภาพของการวัดเสียง เช่น อัตราของ voltage samples ที่อ่านได้จาก ADC เพราะหูของมนุษย์สามารถที่จะได้ยินเพียงคลื่น Acoustic ที่มีความถี่ในช่วง 20 Hz ถึง 20 kHz ซึ่งเมื่อทำการ sampling สัญญาณที่ออกมาของไมโครโฟนต้องเกิดขึ้นที่ความถี่อย่างน้อย 40 kHz ในตัวอย่างการวัดมลภาวะทางเสียงนี้ การ ความถี่ sampling อาจถูกลดเป็น 32 kHz ซึ่งระบบการได้ยินของผู้ใหญ่ไม่สามารถที่จะได้ยินที่ความถี่มากกว่า 16 kHz ในทางกลับกัน อัตราการ sampling นี้ ดูเหมือนจะเป็นความถี่สูงที่ต้องห้ามสำหรับ sensor network platforms ซึ่งธรรมดาแล้วก็จะขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของตัวคิดคำนวณ เพราะตัวชี้วัดเสียงนั้นเป็นค่าเฉลี่ย long-term SPL ที่ส่งข้อมูลดิบกลับไปยังตัวตรวจจับกลางซึ่งไม่ได้เป็นที่จำเป็นเหมือนกับยอดรวมของค่าตัวชี้วัดเสียงที่สนใจ และไม่ได้เป็นระดับแรงดันที่เวลาต่างๆ ในอนาคตนั้น ตัวตรวจจับไม่จำเป็นต้องทำการเก็บค่าตัวอย่างของระดับ acoustic อย่างต่อเนื่อง แต่จะสามารถใช้เทคนิค intelligent data collection เพื่อที่จะประมาณค่าตัวชี้วัดเสียงที่เหมาะสมเพื่อที่จะกำหนดค่าความต้องการที่ถูกต้องแม่นยำได้ ข้อจำกัดของการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ และข้อมูลที่ได้รับมานั้นไม่ได้รวมมากับเครือข่าย เช่นค่ารวมของพลังงานของตัวตรวจจับสามารถที่จะถูกควบคุมได้เพื่อที่จะให้ค่า long-term

ในบางครั้งจำเป็นต้องละเลยการปรับเทียบอุปกรณ์วัด เพื่อที่จะรับข้อมูล First quantitative แต่จริงๆแล้ว ตัวตรวจจับ เช่นตัวตรวจจับมลภาวะทางเสียงนั้น จำเป็นที่ต้องมีการปรับเทียบอุปกรณ์ก่อนใช้งาน เพื่อให้สามารถรับค่าระดับแรงดันของเสียงได้อย่างดี กระบวนการปรับเทียบอุปกรณ์อาจจะต้องใช้ piston-phone เช่น อุปกรณ์ generate (ในกรณีที่ไม่มีเสียงสะท้อน) การวัดค่าที่ไม่ตรงกันระหว่างผลตอบสนองของไมโครโฟน และ ผลตอบสนองที่คาดหวังไว้ ควรจะมีการปรับเทียบค่า gains ของอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละตัวอย่างเพียงพอ เพื่อที่จะทำให้ตัวตรวจจับสามารถที่

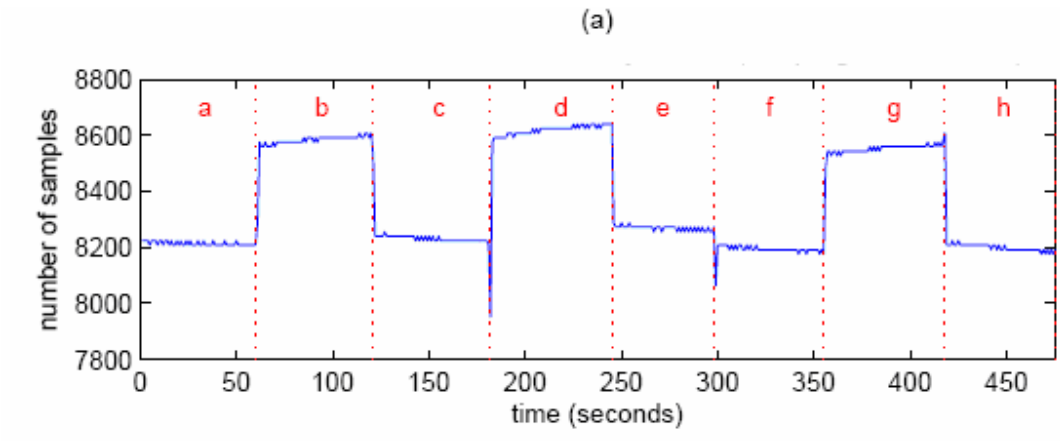
จะให้ค่าการวัด SPL อย่างน่าเชื่อถือได้ ในอนาคต วิธีการปรับเทียบอุปกรณ์ควรจะทำให้มีความถูกต้องในระยะยาวในการใช้งานในเครือข่ายได้



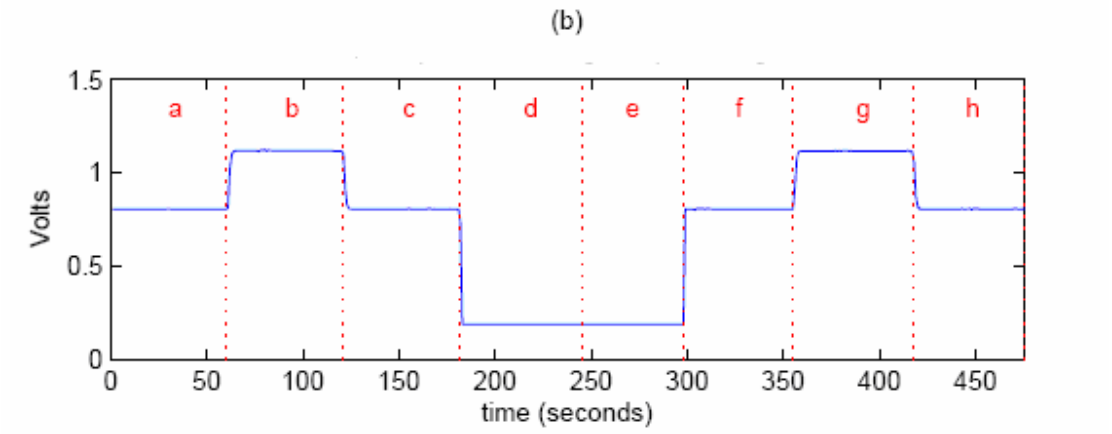
ภาพที่ 20 ผลตอบสนอง Acoustic ของ จุดตรวจจับที่แตกต่าง 4 จุด สำหรับ A chain of white noise pluses ของ Amplitude ที่เพิ่มขึ้น



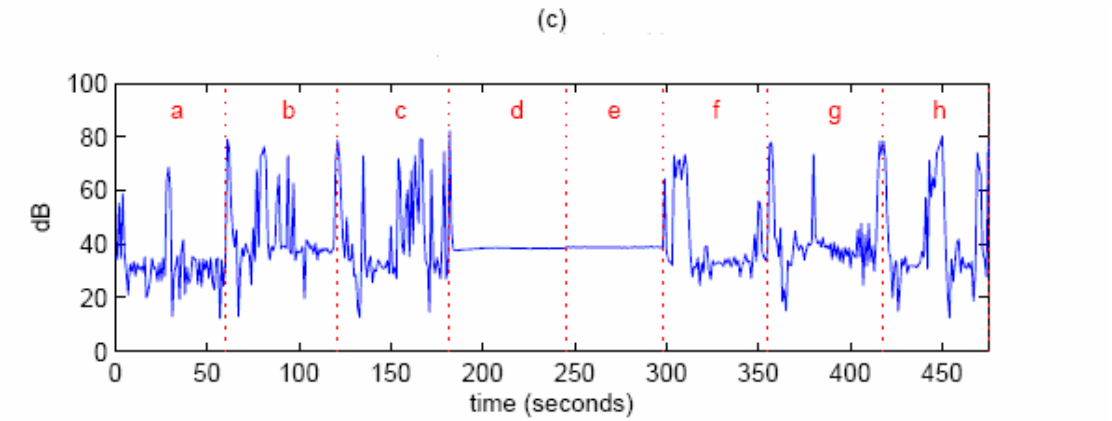
ภาพที่ 21 ผลตอบสนอง Acoustic ของจุดตรวจจับที่แตกต่างกัน 4 จุด ใน correspondence ในขณะที่มียานยนต์ผ่าน



ภาพที่ 22 Number of samples collected in a binary second (sampling rate: 8192 Hz)



ภาพที่ 23 Microphone's average output voltage



ภาพที่ 24 Equivalent noise level Leq

MONETA: ระบบตรวจวัดแบบสมองกลฝังตัวสำหรับสภาพแวดล้อมของเครือข่าย Ubiquitous

(Bae *et al.*, 2006) การตรวจวัดที่มีความถูกต้อง และมีประสิทธิภาพของสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิกส์นั้น เป็นหนึ่งของความต้องการที่สำคัญที่สุดสำหรับสภาพแวดล้อมของเครือข่าย Ubiquitous เพื่อที่จะพัฒนาสภาพแวดล้อม Ubiquitous นี้ จึงออกแบบ และนำระบบตรวจวัดที่เรียกว่า MONETA มาใช้ ซึ่งสามารถรับข้อมูลของตัวตรวจจับที่ถูกส่งมาจากตัวตรวจจับไร้สาย ไปยังจุดเชื่อมต่อฮับในเครื่องมือสมองกลฝังตัว ระบบ MONETA ได้รับเอาเทคโนโลยีของเว็บมาใช้ สำหรับการใช้งานระบบเชื่อมต่อกับผู้ใช้ที่ง่าย แต่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอนุญาตให้ผู้ควบคุมสามารถที่จะสร้างภาพของขบวนการ, ส่วนประกอบ หรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องในรูปแบบกราฟิกแบบง่ายๆ การพัฒนา MONETA นั้น โดยใช้ kernel wrapper mechanism ซึ่ง wrapper นี้เป็นโมดูลของโปรแกรมซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถตรวจวัดข้อมูลสถานะของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวหลายๆตัวได้ โดยปราศจากการเข้าไปยุ่งยากแก้ไขปรับปรุงเกี่ยวกับ kernel โดยที่วิธี wrapper นี้ อนุญาตให้ผู้ใช้เพิ่มความสามารถในการโยกย้ายระบบตรวจวัดเพื่อไปใช้กับ รูปแบบอื่น และลดเวลาที่ใช้การเขียนโมดูลของโปรแกรมตรวจวัดอีกด้วย

ระบบสมองกลฝังตัวมีประโยชน์มากในหลากหลายรูปแบบของระบบควบคุมเฉพาะจากโรงงานผลิตพลังงานหลัก เพื่อนำไปใช้สำหรับระบบยานยนต์ และระบบภายในบ้าน รูปแบบที่กว้างและหลากหลายของระบบควบคุมสำหรับอุปกรณ์ในโรงงานที่ซับซ้อนนั้น ก็เป็นการใช้งานสำคัญที่ใช้ในระบบสมองกลฝังตัว ระบบสมองกลฝังตัวนั้นมักจะมีส่วนประกอบที่ซับซ้อนของโมดูลของ hardware และ software ที่สร้างติดมากับระบบการใช้งานของสภาพแวดล้อม, โครงสร้างที่ละเอียด, ส่วนติดต่อที่เฉพาะเจาะจง และรูปแบบที่ไม่เหมือนใครของข้อมูลภายนอกและภายในสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อย่างเช่นกังหันพลังงาน ระบบควบคุมส่วนเหล่านี้จะถูกนำมาใช้บ่อยครั้งเหมือนเช่น ระบบ multiprocessor distributed

ด้วยการพัฒนาของเทคโนโลยีการคำนวณแบบ Ubiquitous และ subsequent maturity ของเทคโนโลยีนี้ เครือข่ายตรวจจับไร้สายนั้น สามารถที่จะใช้เพื่อจะติดต่อกับข้อมูลจำนวนมากจากอุปกรณ์ตรวจจับที่หลากหลาย ซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่กว้างๆ อุปกรณ์ตรวจจับเหล่านี้สามารถที่จะติดต่อไปยังServers ของการใช้งานกับเครือข่ายตรวจจับไร้สายซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กที่เรียกว่า ตัวตรวจจับ

จุดตรวจจับสามารถรับข้อมูลได้จากตัวตรวจจับที่หลากหลาย จุดตรวจจับจะมีขบวนการที่จะกำหนดรูปแบบข้อมูลของตัวตรวจจับ และกำหนดรูปแบบของระบบการถ่ายโอนไร้สาย เพื่อที่จะถ่ายโอนรูปแบบของข้อมูล และในทางกลับกัน สัญญาควบคุมที่ต้องการจากตัวตรวจจับก็จะถูกส่งไปยัง Servers หลักด้วย จุดประสงค์ของเครือข่ายตรวจจับนั้นก็เพื่อที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของตัวตรวจจับ ซึ่งต่างไปจากเครือข่ายก่อนหน้านี้ที่จะทำตามคำสั่งเพียงอย่างเดียวไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูล การพัฒนาที่ดำเนินต่อไป และการทำการค้นคว้าในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมุ่งหวังเพื่อให้อุปกรณ์มีราคาต่ำ มีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ ซึ่งทำให้เครือข่ายตรวจจับไร้สายที่หลากหลายนั้นมีความเหมาะสมในการใช้งานตามความต้องการของการสื่อสารจำนวนมาก เครือข่ายตรวจจับในปัจจุบันยังคงมีราคาแพงในการพัฒนาการใช้งานสำหรับการใช้งานที่กว้างขวาง เช่นงานทางด้านวิทยาศาสตร์, ยา, กองทัพ และการค้าขาย

ในการวิจัยนี้ แสดงถึงการวางแผนรูปแบบของระบบตรวจจับที่รวบรวม, วิเคราะห์ และแสดงข้อมูลของสภาวะจากตัวตรวจจับไร้สาย ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการสื่อสารที่เก็บ และถ่ายโอนข้อมูลการควบคุม และข้อมูลสถานะจำนวนมากจากจุดตรวจจับ, จุดฮับ และจาก Servers ในการวิจัยนี้ใช้ระบบตรวจจับที่ง่าย แต่มีประสิทธิภาพที่ชื่อ MONETA (MONitoring system for the Embedded Target device) ซึ่งใช้ remote shell เพื่อรวบรวมข้อมูลสถานะของอุปกรณ์ของอุปกรณ์สมองกลฝังตัว และเพื่อส่งข้อมูลควบคุมไปยังจุดฮับ และจุดตรวจจับ

ระบบสมองกลฝังตัวควรแสดงข้อมูลสถานะของตัวตรวจจับไปยังผู้ปฏิบัติการ และตอบสนองในทันทีไปยังตัวออกคำสั่งจากผู้ปฏิบัติการ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้จำเป็นสำหรับระบบสมองกลฝังตัว เพื่อที่จะแสดงข้อมูล และเพื่อที่จะสื่อสารกับบุคลากรที่ควบคุมดูแล การพัฒนาของส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ซับซ้อนเหล่านี้สามารถเป็นได้ทั้ง time- และ labor- consuming task ส่วนประกอบ Hardware-dependent และ โมดูล unique software ถูกนำมาใช้บ่อยครั้งในการพัฒนาของส่วนติดต่อ และปัญหาต่างๆสามารถเกิดขึ้นในการกระจายของเวลาของ Software ไปยัง client workplaces การใช้งานใหม่ที่เป็นที่ต้องการสำหรับการปฏิบัติการระบบสมองกลฝังตัว โดยเฉพาะในสภาวะแวดล้อมที่กระจายอยู่ เพราะการใช้งานที่แพร่หลายของระบบสมองกลฝังตัวนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบ MONETA ได้รับเทคโนโลยีเว็บ สำหรับการประยุกต์ใช้งานของส่วนติดต่อผู้ใช้ที่ง่าย แต่มีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวมา

เทคโนโลยีเว็บเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ และมีราคาเหมาะสมสำหรับการพัฒนาส่วนติดต่อระบบสมองกลฝังตัว และสำหรับการตรวจวัดและจัดการวัตถุระยะไกล เทคโนโลยีนี้สามารถใช้สำหรับรูปแบบที่มีมาตรฐานหลากหลายสำหรับรูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ประกอบไปด้วยส่วนแสดงค่าในรูปแบบข้อความ และตัวอย่างแบบหลากหลายของตาราง, รายการ, แสดงในรูปแบบรูปภาพกราฟิก (อย่างเช่นตัวอย่างของ บล็อกของการควบคุม เป็นต้น) และในรูปแบบอื่นๆ ตามที่ต้องการ ส่วนติดต่อ MONETA ใช้ได้กับขบวนการ, ส่วนประกอบ, หรือรูปแบบของข้อมูลแบบใดก็ได้เพื่อที่จะให้เห็นเป็นภาพโดยผู้ควบคุมดูแลในรูปแบบที่สามารถตีความหมายได้อย่างสะดวกและง่าย ดังนั้น บุคลากรผู้ควบคุมดูแลระบบจึงไม่จำเป็นต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์เพื่อจะใช้ระบบ ยิ่งกว่านั้น ระบบนี้ยังแสดงส่วนติดต่อที่หลากหลายรวมอยู่ในหน้าส่วนติดต่อเดียวให้กับผู้ปฏิบัติการ และส่งผลให้บุคลากรมีโอกาสในการควบคุมอุปกรณ์ที่ซับซ้อนบนอินทราเน็ต หรืออินเตอร์เน็ตด้วย

การพัฒนา MONETA ใช้ kernel wrapper ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์โมดูลที่สามารถทำให้ตรวจวัดข้อมูลสถานะของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวใดๆได้โดยปราศจากการที่ต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงใดๆ ในส่วน kernel โดยการใช้ wrapper นี้ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการโยกย้ายของระบบดังกล่าวไปยังรูปแบบอื่นๆได้ และยังลดเวลาที่ต้องใช้เพื่อเขียนซอฟต์แวร์โมดูลในการตรวจวัดอีกด้วย

1. เครือข่ายตรวจจับไร้สาย

“Tornado” เป็นการรวมการพัฒนาสภาพแวดล้อมซึ่งทั้งหมดจะถูกนำมาใช้ในการใช้งานแบบ real-time ระบบนี้มีเครื่องมือการพัฒนาที่หลากหลาย และให้การพัฒนาสภาพแวดล้อมที่ง่ายและสม่ำเสมอให้กับผู้ใช้ โดยติดต่อแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เหมาะสำหรับการใช้ในระยะการพัฒนาที่หลากหลาย และยังสนับสนุนระบบเป้าหมายที่แตกต่างหลากหลายด้วย Tornado ใช้ VxWorks เช่นระบบปฏิบัติการขนาดเล็กมาก แต่ให้สภาพแวดล้อมที่เป็น Multitasking, การติดต่อสื่อสารแบบ inter-process, และขบวนการ synchronization ระบบ Tornado มีวิธีหลากหลายในการติดต่อสื่อสาร เช่น อีเทอร์เน็ต (Ethernet), การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม (Serial), ICE (in circuit emulator) หรือ ROM emulator เพื่อที่จะติดต่อกันระหว่างเครื่อง host กับ เครื่องเป้าหมาย อย่างไรก็ตาม Tornado นั้นเป็นทางแก้ปัญหาที่มีราคาแพงมาก และยากสำหรับมือใหม่ที่จะเรียนรู้ทักษะพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับใช้งานฟังก์ชันภายใน

Qplus-P Esto คือ IDE (Integrated Development Environment) เพื่อพัฒนาการใช้งาน Software ที่ปฏิบัติการบน Qplus-p ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการสมองกลฝังตัว โดยที่ Qplus-P เป็นระบบปฏิบัติการ process-based ที่พบในระบบสมองกลฝังตัวของ Linux ระบบ host ทั้งแบบ Linux และ Windows นั้น ใช้ Esto (Embedded System Tool) ในการทำ IDE ที่มีส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิก (GUI : Graphical User Interface), compilation, execution, debugging และ การตรวจวัด บนรูปแบบ single host ถึงแม้ว่าผู้ใช้ของ IDE นี้ จะสามารถพัฒนาโปรแกรมการใช้งานใหม่ให้ใช้งานได้ง่าย แต่ Esto ก็ยังประกอบไปด้วย library, target agent และ โปรแกรมการใช้งานของ target ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ Qplus Embedded Linux RTOS มากกว่านั้น ยังมีอุปกรณ์ที่พัฒนาการใช้งานได้อย่างมากมายหลากหลาย เช่น host agent ที่อยู่บนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการ Linux/Windows, target builder, cross compile tool-chain, ตัวจัดการโปรเจค, remote shell, remote debugger, remote monitor และเครื่องมือสำหรับการวัดพลังงานรวมบนด้านของ host อย่างไรก็ตาม Esto ก็จำเป็นที่จะต้องมีการติดต่อกับผู้ใช้ซึ่งใช้ Eclipse ถึงแม้ว่าจะต้องการความชำนาญอย่างมากในการใช้งาน Qplus-embeded Linux และการใช้งานของ Eclipse ก็ตาม

Momentics IDE(Integrated Development Environment) สำหรับ Neutrino RTOS จาก QNX นั้น สนับสนุนรูปแบบการใช้งานของ host หลายรูปแบบ อย่างเช่น Windows, Linux และ Solaris ถ้าเปรียบเทียบกับระบบปฏิบัติการอื่น Momentic นั้น สามารถปรับเปลี่ยนได้ และสามารถผลิต RTOS image กับ Neutrino kernel ซึ่งมีเพียงหนึ่งขบวนการการใช้งานของ Miltiple-thread เท่านั้น สำหรับระบบสมองกลฝังตัวที่มีขนาดเล็กมาก ตัวจัดการขบวนการสามารถที่จะ execute โปรแกรมการใช้งานหลายโปรแกรม และสามารถ execute ไปบนเครือข่ายที่กระจายออกไปของ cluster ที่เป็น symmetric multiprocessing (SMP) ที่มีขนาดใหญ่มากได้ QNX Momentics เป็นแพ็กเก็ตปกติที่รวมทั้งวิธีการของ enforced productivity และอุปกรณ์วิเคราะห์ในหนึ่ง Eclips-based IDE อย่างไรก็ตาม QNX Momentices ก็มีราคาแพงมาก และปรับเปลี่ยนไม่ค่อยได้เมื่อเทียบกับความมุ่งหมายทั่วไปของสมองกลฝังตัวของ Linux

2. สถาปัตยกรรมของระบบตรวจวัด MONETA

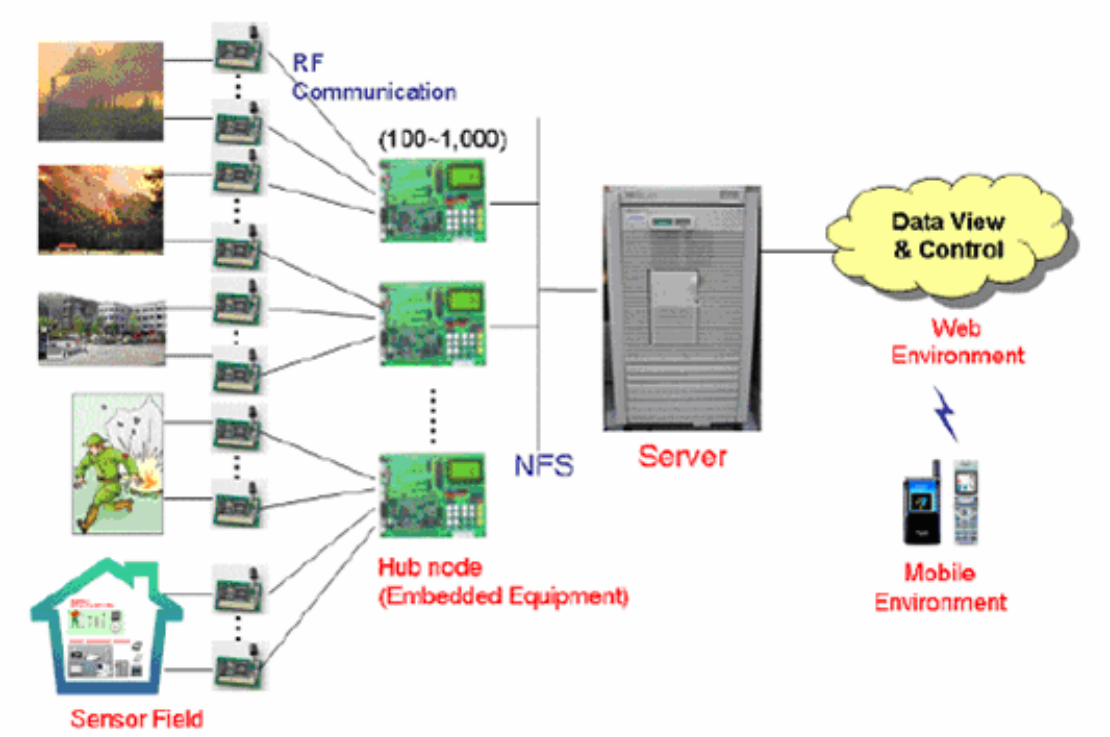
เมื่อส่วนต่างๆเหล่านี้ถูกต่อเข้ากับเครือข่าย อุปกรณ์เหล่านี้ก็มีรูปแบบเป็นเครือข่ายตรวจจับซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวตรวจจับหลายๆตัวที่มีอยู่อย่างหนาแน่นทั้งภายในจุดตรวจจับหรือใกล้กับจุดตรวจจับมากๆก็ตาม ในที่นี้ใช้คลื่นความถี่วิทยุในการติดต่อสื่อสาร เพื่อจะติดต่อ

ระหว่างจุดตรวจจับที่มีจำนวนมาก ตัวตรวจจับพวกนี้จำเป็นต้องถูกตรวจวัดเพื่อที่จะตัดสินถึงความเสถียร และการทนต่อความผิดพลาดของเครือข่ายตรวจจับ และเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์การจราจรเครือข่ายของเครือข่ายตรวจจับด้วย

3. สถาปัตยกรรมของระบบตรวจจับในสภาพแวดล้อมของ Ubiquitous Computing

สภาพแวดล้อมของเครือข่าย Ubiquitous ถูกแบ่งเป็นส่วนของ Server เพื่อตรวจวัด และส่วนควบคุม target ที่เป็นวัตถุที่ถูกตรวจวัด และ clients ผู้ซึ่งใช้ระบบ ธรรมดาแล้วสามารถบอกได้ว่า targets เป็นอุปกรณ์สมองกลฝังตัว ถึงแม้ว่า servers จะสามารถจะถูกนำมาใช้ได้ทั้งที่เป็นระบบอุปกรณ์สมองกลฝังตัว หรือเป็นระบบ server แยก ก็ตาม ในรูปที่ 19 แสดงถึงสถาปัตยกรรมเบื้องต้นของระบบการตรวจวัด

ตัวตรวจจับนั้นมีหลายรูปแบบที่มักใช้สมองกลฝังตัวในอุปกรณ์ที่หลากหลาย ตัวตรวจจับเหล่านี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลดิบไว้ จุดฮับจะเก็บรวบรวมข้อมูลดิบที่ได้จากตัวตรวจจับ และส่งต่อไปให้กับ Server โดยที่ Server จะรับข้อมูลจากจุดฮับ และส่งข้อมูลควบคุมกลับไปยังจุดฮับ ซึ่งจุดฮับมักจะถูกใช้ในรูปแบบของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวนั้นจะติดต่อสื่อสารกับจุดตรวจจับอื่นๆโดยใช้การติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ข้อมูลดิบจะประกอบไปด้วยข้อมูลสถานะของจุดตรวจจับที่ถูกส่งมาให้ยังจุดฮับ และข้อมูลของตัวตรวจจับที่ถูกแปลงไปเป็นรูปแบบข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลต่อไป การติดต่อระหว่างฮับ และ Server จะใช้ระบบ Network File System (NFS) แบบปกติ การพัฒนาการใช้งานโปรแกรมเพื่อที่จะหาค่าสถานะของแต่ละขบวนการเพื่อที่จะวัดประสิทธิภาพการทำงานของจุดฮับของ kernel ภายใน ข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมจะถูกส่งให้กับผู้ใช้โดยผ่านทาง GUI ในระบบ Server ระบบตรวจจับนี้อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถที่จะจัดการและควบคุมข้อมูลที่ตรวจวัดใน mobile environment



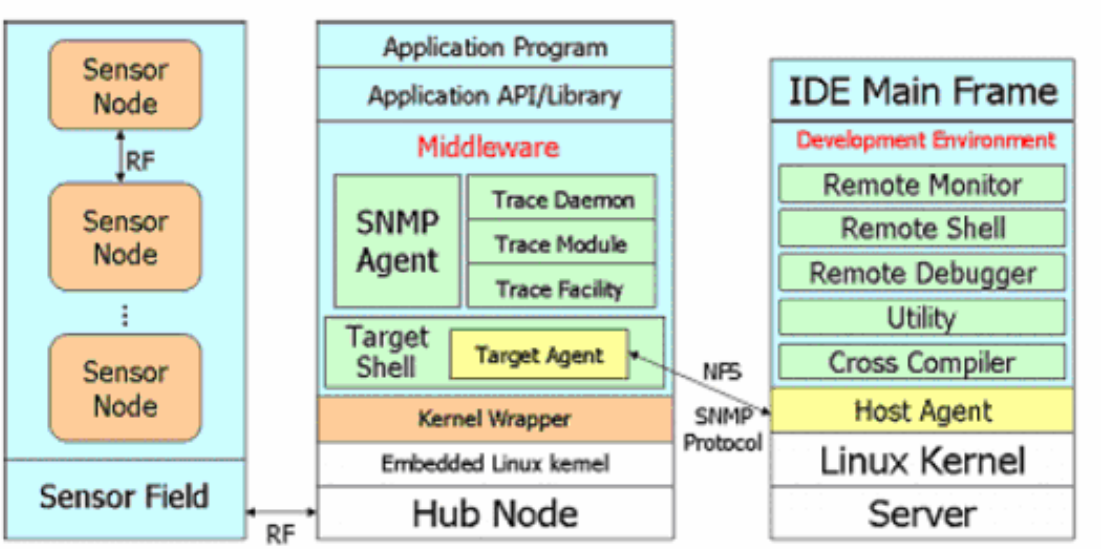
ภาพที่ 25 สถาปัตยกรรมเบื้องต้นของระบบตรวจวัด

คุณลักษณะของจุดตรวจจับ, จุดฮับ และ Server เป็นดังต่อไปนี้

- จุดตรวจจับ : จุดตรวจจับจะรวบรวมข้อมูลดิบหลากหลายรูปแบบจากตัวตรวจจับจำนวนมาก และส่งข้อมูลดิบไปให้ยังจุดฮับ
- จุดฮับ : จุดฮับเป็นอุปกรณ์สมองกลฝังตัวที่รวบรวมข้อมูลที่ได้รับจากจุดตรวจจับ, ปรับรูปแบบใหม่ของข้อมูล และส่งข้อมูลนั้นไปยัง Server ซึ่งจุดฮับนี้จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างจุดตรวจจับและ Server
- Server : Server จะเก็บรวบรวม, จัดเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูลสถานะจากจุดฮับ และหน้า Web server สำหรับการตรวจวัด และการควบคุมข้อมูลเหล่านี้

รูปที่ 25 จะอธิบายถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อของอุปกรณ์การตรวจวัด, Server, จุดฮับ และจุดตรวจจับในสภาวะแวดล้อมเครือข่าย ubiquitous จุดฮับจะติดต่อสื่อสารกับ Server ด้วยหลายๆวิธี โดยใช้ target shell ตัว Server ได้รับข้อมูลกลับมา และข้อมูลควบคุมจากจุดฮับโดยใช้ remote shell ซึ่งมี SNMP (Simple Network Management Protocol) รูปแบบของ shell เหล่านี้ มี agent สำหรับการติดต่อสื่อสาร ซึ่งการทำการติดต่อสื่อสารทั้งหมดจะถูกสื่อสารระหว่าง Server และจุดฮับ และ

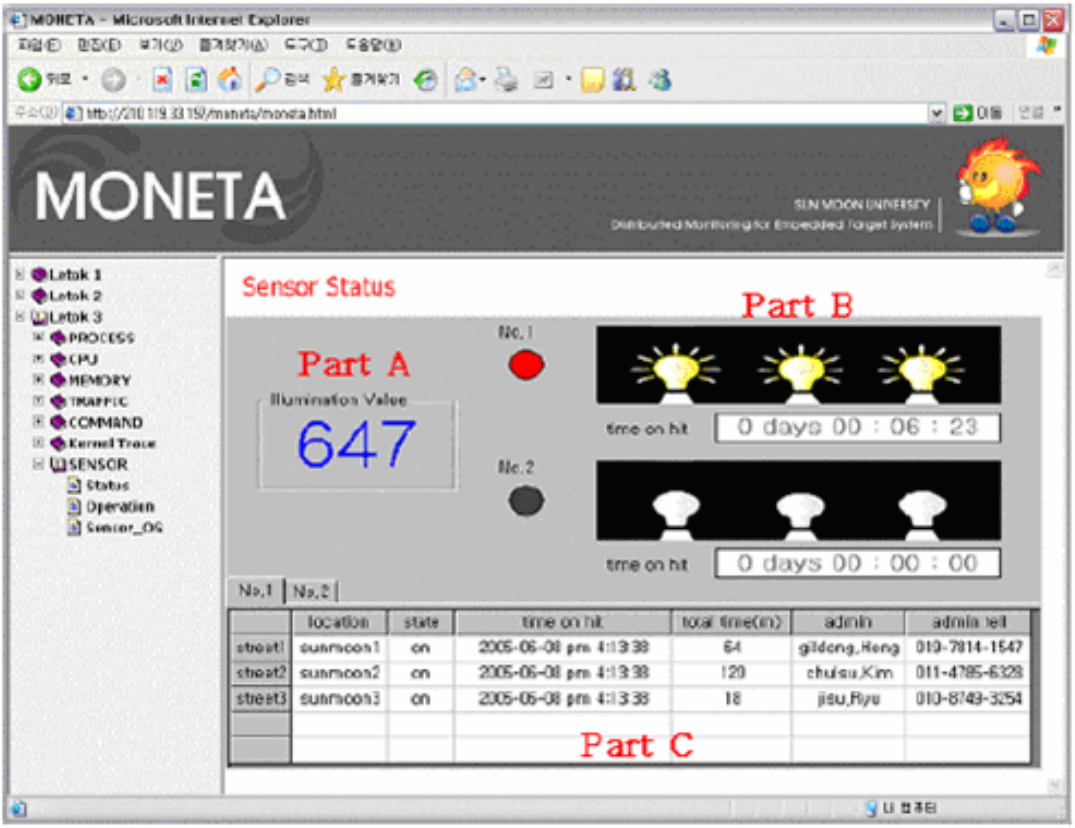
ถูกต่อโดยใช้ NFS และ SNMP ระบบนี้ใช้ NFS และ SNMP เพื่อที่จะส่งข้อมูลจากตัวตรวจจับไปยัง Server ในระบบนี้จะใช้อุปกรณ์ติดตามหลายตัว และ SNMP เป็น middeleware ที่สำคัญเพื่อที่จะทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีของ kernel ในจุดฮับ และด้วย midelware นี้ Server สามารถที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีรูปแบบหลากหลายจากจุดฮับเพื่อที่จะวัดค่าประสิทธิภาพของ Kernel ของฮับสมองกลฝังตัว จุดตรวจจับในบริเวณที่มีตัวตรวจจับจำนวนมากจะใช้การติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างตัวตรวจจับด้วยกันเอง และจุดฮับ



ภาพที่ 26 สถาปัตยกรรมเครือข่ายของอุปกรณ์การตรวจวัด

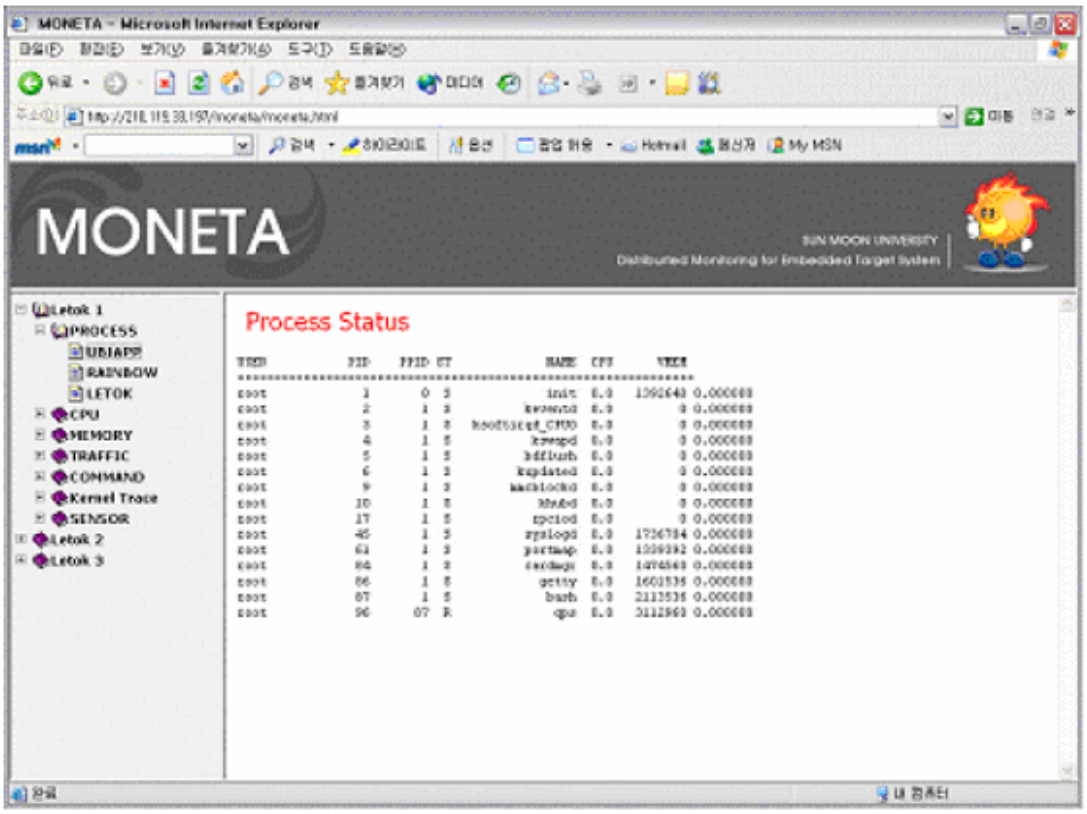
4. ส่วนแสดงผลของข้อมูลการตรวจวัดโดยใช้ MONETA

รูปที่ 27 จะแสดงรูปแบบต่างๆของข้อมูลการตรวจวัดของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวที่ถูกสร้างออกมาโดยอุปกรณ์การตรวจวัด ในที่นี้วางเฟรมเมนูบนด้านซ้าย เพื่อให้ง่ายในการใช้ฟังก์ชันต่างๆที่เกี่ยวข้องกับขบวนการ, ตัวประมวลผล, หน่วยความจำ, การจราจรของระบบ, คำสั่ง, kernel tracing และข้อมูลของตัวตรวจจับจากอุปกรณ์สมองกลฝังตัว



ภาพที่ 27 ส่วนแสดงผลสถานะตัวตรวจจับของอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด

ในรูปที่ 27 จะแสดงให้เห็นข้อมูลที่ต้องการจากอุปกรณ์สมองกลที่ทำการตรวจวัด และยังได้รับข้อมูลสถานะของตัวตรวจจับที่ต่อกับจุดฮับ ในหน้าตัวอย่างนี้ จะเห็นข้อมูลควบคุมตัวตรวจจับความเข้มแสงสำหรับโคมไฟถนน ถ้าค่าของความเข้มแสงมากกว่าค่าที่เลือกไว้ก่อนหน้านั้นอย่างที่แสดงให้เห็นในส่วน A ปุ่มบริเวณเบอร์ 1 จะถูกเปิดอย่างที่แสดงในส่วน B แล้วเวลาการทำงานก็เริ่มนับและถูกเก็บบันทึกไว้อย่างที่แสดงในส่วน C รายละเอียดข้อมูลของโคมไฟถนนอย่างเช่นตำแหน่ง, สถานะ, เวลาทำงาน และการควบคุมของโคมไฟถนนจะถูกแสดงในส่วน C



ภาพที่ 28 ส่วนแสดงผลสถานะขบวนการของอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด

รูปที่ 28 แสดงถึงข้อมูลของสถานะเกี่ยวกับขบวนการที่มีการทำงานใน kernel ของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวของจุดฮับ ซึ่งออกแบบส่วนแสดงผลของข้อมูลเหล่านี้อยู่บนพื้นฐานของตาราง /proc ของระบบปฏิบัติการสมองกลฝังตัว Linux ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆเช่น PID, PPID, สถานะของขบวนการ, ชื่อของขบวนการ, การใช้งานตัวประมวลผล และเวลาการใช้งานของหน่วยความจำแบบ virtual

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Genuine Intel(R) CPU T2500, 2.00GHz, 2GB of RAM
2. โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิก, Microsoft Visual Studio 2005
3. บอร์ดทดลองเครือข่าย

วิธีการ

งานวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักด้วยกัน คือ ในส่วนของฮาร์ดแวร์ และ อีกส่วนคือ ส่วนของซอฟต์แวร์

1. ฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์นั้นจะประกอบไปด้วยสองส่วนย่อยๆ ส่วนแรกคือบอร์ดอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย และอีกส่วนคือ บอร์ด Network Adapter

1.1 อุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย ทำหน้าที่ตรวจสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่นค่า อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง สถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ เป็นต้น และส่งค่าให้กับ Network Adapter โดยอุปกรณ์ตรวจจับเหล่านี้สื่อสารกันด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น โดยใช้โพรโตคอลแบบร่างแห เพื่อทำการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับกับ Network Adapter โดยอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายประกอบด้วย

1.1.1 ไมโครคอนโทรเลอร์ MSP430F1611

1.1.2 วงจรเชื่อต่อวิทยุระยะสั้น Chipcon CC2500

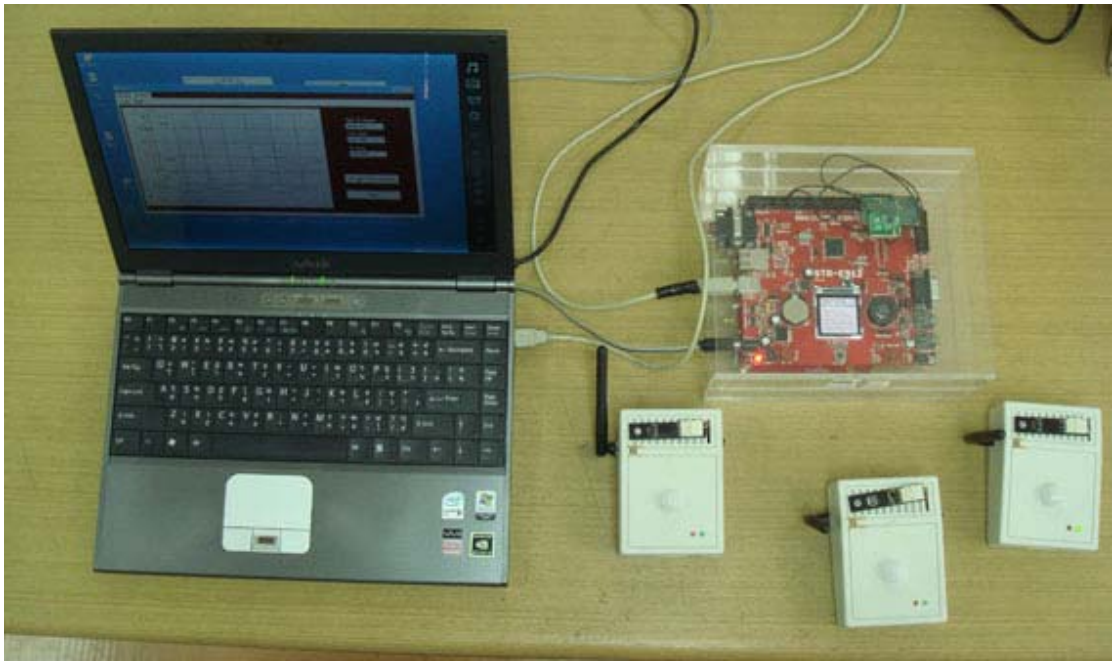
1.1.3 อุปกรณ์วัดค่าต่างๆ ได้แก่ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และความชื้น, อุปกรณ์วัดการเคลื่อนไหว, อุปกรณ์วัดความเข้มแสง, อุปกรณ์วัดความเคลื่อนไหว, อุปกรณ์วัดความเข้มแสง

1.1.4 แบตเตอรี่ขนาด AA จำนวน 2 ก้อน สำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์

1.2 Network Adapter เป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายตรวจจับไร้สายเข้ากับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทาง USB to Serial Port โดยที่ Network Adapter ประกอบไปด้วย

1.2.1 ไมโครคอนโทรเลอร์ STR912FW44

1.2.2 วงจรเชื่อมต่อวิทยุระยะสั้น Chipcon CC2500



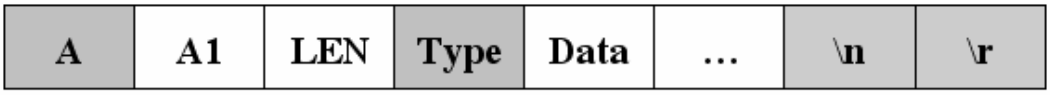
ภาพที่ 29 ฮาร์ดแวร์ระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย

โพรโตคอลการติดต่อสื่อสารทาง Serial Port ระหว่างโปรแกรมกับ Network Adapter

- Serial Communication interface
  - Serial Setting
    - baud rate = 57600 baud
    - Data bits = 8
    - Parity = None
    - Stopbit = 1
    - Flow control = None

- Serial constraint
  - ข้อมูลจะส่งแบบ ASCII
- Interfacing WSN Protocol
  - ข้อมูลเครือข่ายตรวจจับไร้สายจะมีการส่งค่ามาให้ทุก 15 นาที

- รูปแบบของเฟรมข้อมูล
  - รูปแบบเฟรมข้อมูลที่ Network Adapter ส่งมาให้ยังโปรแกรม



ภาพที่ 30 รูปแบบเฟรมข้อมูลที่ Network Adapter ส่งมายังโปรแกรม

A (Address Indicator)	มีขนาด 1 ไบต์ มีค่าเป็น A เป็นตัวเริ่มต้นของเฟรมข้อมูล เป็นตัวชี้ Address
A1 (Address)	มีขนาด 2 ไบต์ เป็น Address ของตัวตรวจจับ
LEN (Length)	มีขนาด 2 ไบต์ ใช้บอกความยาวข้อมูลที่จะส่งมาให้จากNetwork Adapter โดยนับตั้งแต่ Type จนถึง /r โดยส่งมาเป็นเลขฐาน 16
Type	มีขนาด 1 ไบต์ ใช้บอกชนิดของตัวตรวจจับ
Data	มีขนาด 4 ไบต์ เป็นข้อมูลที่ส่งมา
\n	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวบอกจุดสิ้นสุดของข้อมูล
\r	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวแสดงการขึ้นบรรทัดใหม่

โดยการส่งข้อมูลสามารถส่งข้อมูลของชนิดตัวตรวจจับมาติดต่อกันได้หลายชนิดไม่จำกัด โดยจะส่งในส่วนของ Type และ Data ชนิดอื่นในตัวตรวจจับ Address เดียวกัน

```
A5120T1024H2301L0032M1231S0001P8943\n\r
```

ภาพที่ 31 ตัวอย่างเฟรมข้อมูลที่ Network Adapter ส่งให้ยังโปรแกรม

Address Field	[A51] : Information source's address = 51
Length	[20] : จำนวนข้อมูล 32 ไบต์ 32 = 0x20
Temperature Field	[T1024] : Calculate the temperature using data as 0x1024
Humidity Field	[H2301]: Calculate the temperature using data as 0x2301
Light Field	[L3132] : Light intensity = 0x3132
Motion Field	[M0001]: Motion detected (M0001: Motion detected)
Switch Field	[S0001] : Switch status = 0x0001
Path Route Field	[P8343]: Packet pass through address 0x83, 0x43
End of Packet Field	[\n]
New Line	[\r]

- รูปแบบคำสั่งที่โปรแกรมสั่งไปยัง Network Adapter
    - o คำสั่งขอข้อมูลจาก Network Adapter

โปรแกรมจะส่งคำสั่งไปยัง Network Adapter เพื่อขอค่าข้อมูล มีรูปแบบข้อมูลดังนี้

ภาพที่ 32 รูปแบบเฟรมคำสั่งขอค่าข้อมูลจาก Network Adapter

A (Address Indicator)	มีขนาด 1 ไบต์ มีค่าเป็น A เป็นตัวเริ่มต้นของเฟรมข้อมูล เป็นตัวชี้ Address
FF (Address)	มีขนาดตัวละ 1 ไบต์ รวม 2 ไบต์ เป็นตัวแสดงคำสั่งว่าสั่งไปยังตัวตรวจจับทุกตัว
R	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวแสดงคำสั่งว่าต้องการข้อมูล
\n	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวบอกจุดสิ้นสุดของข้อมูล
\r	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวแสดงการขึ้นบรรทัดใหม่

โดยการส่งข้อมูลสามารถส่งข้อมูลของชนิดตัวตรวจจับมาติดต่อกันได้หลายชนิดไม่จำกัด โดยจะส่งในส่วนของ Type และ Data ชนิดอื่นในตัวตรวจจับ Address เดียวกัน

- คำสั่งควบคุมสวิตช์

โปรแกรมจะส่งคำสั่งควบคุมไปยัง Network Adapter โดยเฉพาะเจาะจงค่า Node Address ที่ต้องการจะควบคุมสวิตช์ มีรูปแบบดังนี้

ภาพที่ 33 รูปแบบคำสั่งควบคุมสวิตช์

A (Address Indicator)	มีขนาด 1 ไบต์ มีค่าเป็น A เป็นตัวเริ่มต้นของเฟรมข้อมูล เป็นตัวชี้ Address
XX (Address)	มีขนาดตัวละ 1 ไบต์ รวม 2 ไบต์ เป็นตัวแสดงคำสั่งว่าสั่งไปยังตัวตรวจจับ Address ตัวใด
S	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวแสดงคำสั่งว่าต้องการควบคุมสวิตช์
X	มีขนาด 1 ไบต์ มีค่า 0 เมื่อต้องการปิดสวิตช์ และ 1 เมื่อต้องการเปิดสวิตช์
\n	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวบอกจุดสิ้นสุดของข้อมูล
\r	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวแสดงการขึ้นบรรทัดใหม่

- คำสั่งตั้งค่าเวลาในการส่งข้อมูล

โปรแกรมจะส่งคำสั่งตั้งเวลาไปยัง Network Adapter มีรูปแบบดังนี้

ภาพที่ 34 รูปแบบเฟรมคำสั่งที่ใช้ในการตั้งค่าเวลาการส่งขอ้มูลจาก Network Adapter

A (Address Indicator)	มีขนาด 1 ไบต์ มีค่าเป็น A เป็นตัวเริ่มต้นของเฟรมข้อมูล เป็นตัวชี้ Address
XX (Address)	มีขนาดตัวละ 1 ไบต์ รวม 2 ไบต์ เป็นตัวแสดงคำสั่งว่าสั่งไปยังตัวตรวจจับ Address ตัวใด
P	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวแสดงคำสั่งว่าต้องการควบคุมคาบการส่งข้อมูล

X	มีขนาด 1 ไบต์ มีค่า{‘1’,…’F’} ซึ่งแทนเวลาที่ต้องการที่ต้องการตั้งค่าเป็น 5,15,45,60,… นาที
\n	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวบอกจุดสิ้นสุดของข้อมูล
\r	มีขนาด 1 ไบต์ เป็นตัวแสดงการขึ้นบรรทัดใหม่

การทำงานภายใน Network Adapter และอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

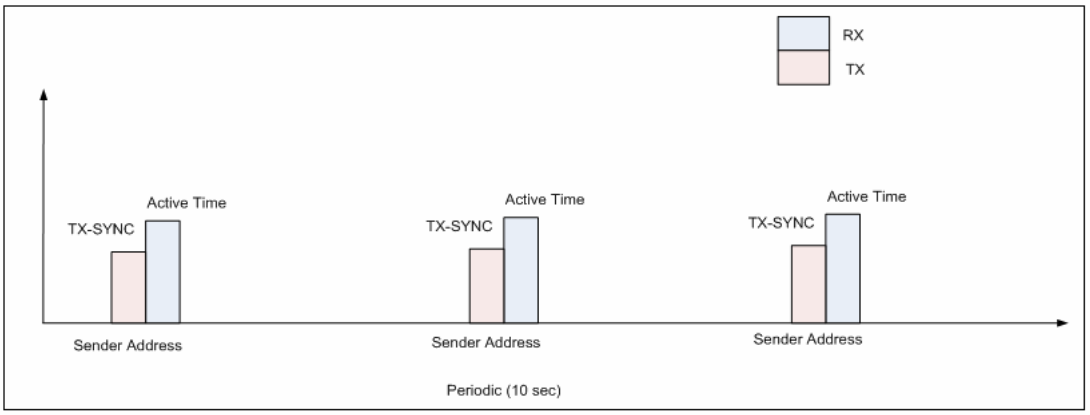
- การทำงานภายในของ Network Adapter

การทำงานของ Network Adapter แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย ส่วนการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานผ่านจอแอลซีดี และ ส่วนการเชื่อมต่อทางอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ หรือ อุปกรณ์กระจายสัญญาณแลนสาย (Wireless LAN)

- การทำงานภายในของอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสาย แบ่งสถานะออกเป็น 4 สถานะที่ทำงานต่อเนื่องกัน คือ การทำงานแรกเริ่ม (Initial State) การทำงานค้นหาระบบเครือข่าย (Finding State) การทำงานเชื่อมต่อระบบเครือข่าย (Join State) และการทำงานต่อเนื่อง (Running State)

เมื่อ Network Adapter เริ่มทำงาน จะทำการส่งข้อมูลและทำการรอรับข้อมูลซึ่งเป็นแบบรายคาบเท่ากับ 10 วินาที จากอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายทางภาคสนามที่จะส่งมายัง Network Adapter ซึ่งมีลักษณะเวลาตามกราฟ



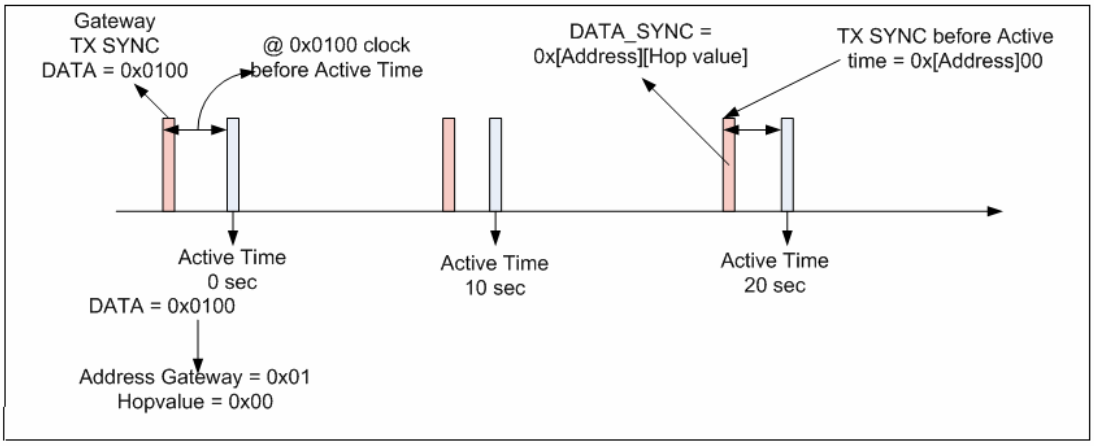
ภาพที่ 35 ลักษณะสัญญาณของ Network Adapter ที่ส่งสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายในการค้นหาเครือข่าย

โดยข้อมูลที่ส่งออกจาก Network Adapter เป็นข้อมูลสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่สามารถนำไปกำหนดค่าภายในอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย โดยมีขนาด 2 ไบต์ โดยไบต์แรกเป็นรหัสประจำตัวของ Network Adapter แล้วตามด้วยไบต์จะระบุ ข้อมูลของระบบเครือข่าย ซึ่งมีความหมายตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลภายในสัญญาณที่ส่งจาก Network Adapter

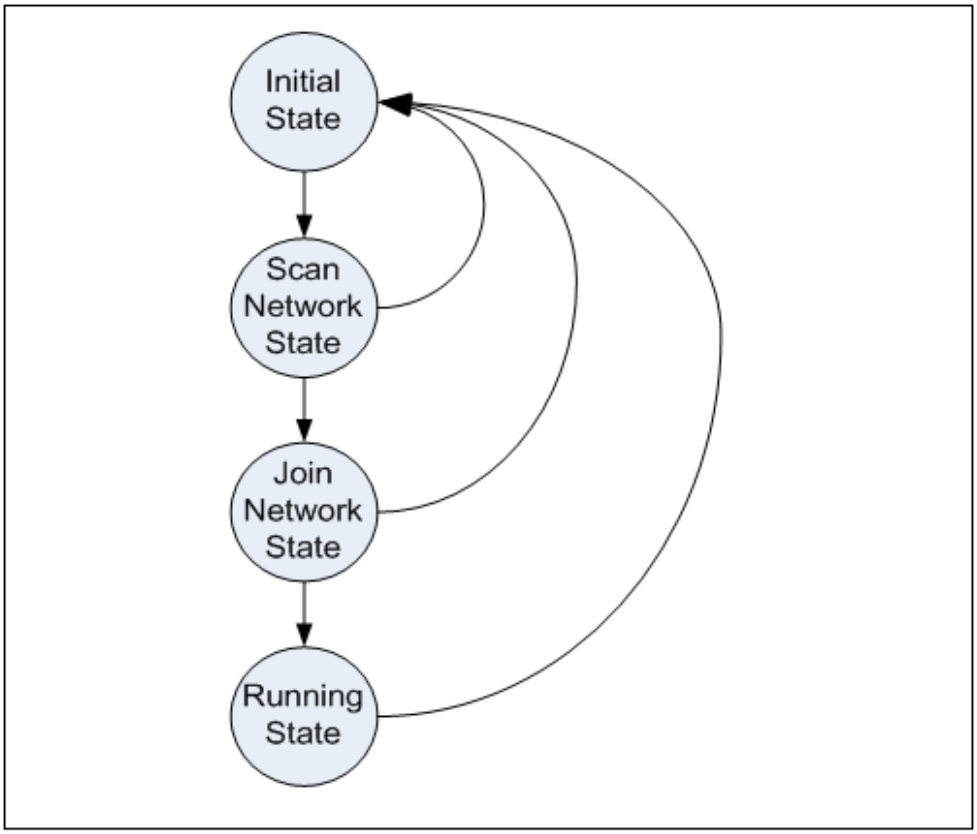
Hop value 0x00	Hop value 0x00
0x0 = 1 hop and battery = 100%	0x?0 = N/A
0x1 = 1 hop and battery = 90%	0x?1 = see Network Adapter 1 node
0x2 = 1 hop and battery = 80%	0x?2 = see Network Adapter 2 node
0x3 = 1 hop and battery = 70%	0x?3 = see Network Adapter 3 node
0x4 = 2 hop and battery = 100%	0x?4 = see Network Adapter 4 node
0x5 = 2 hop and battery = 90%	0x?5 = N/A
0x6 = 2 hop and battery = 80%	0x?6 = N/A
0x7 = 2 hop and battery = 70%	0x?7 = N/A
0x8 = 3 hop and battery = 100%	0x?8 = N/A
0x9 = 3 hop and battery = 90%	0x?9 = N/A
0xA = 3 hop and battery = 80%	0x?A = N/A
0xB = 3 hop and battery = 70%	0x?B = N/A
0xC = 4 hop and battery = 100%	0x?C = N/A
0xD = 4 hop and battery = 90%	0x?D = N/A
0xE = 4 hop and battery = 80%	0x?E = N/A
0xF = Can't Find Network Adapter	0x?F = Can't Find Network Adapter

หมายเหตุ โดยจังหวะในการรับและส่งมีช่วงเวลาที่ห่างกัน 0x0100 หน่วยของเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.8 มิลลิวินาที



ภาพที่ 36 ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างการส่งข้อมูลและรับ Network Adapter

เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับไร้สายเริ่มทำงานอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายจะเข้าสู่สถานะการทำงาน 4 สถานะตามลำดับ



ภาพที่ 37 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

Initial State เป็นสถานะการทำงานหลังจากการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายให้ทำงานโดยจะ กำหนดตัวแปรที่สำคัญในการทำงาน และกำหนดรีจิตเตอร์ภาคการสื่อสารไร้สาย อุปกรณ์ประมวลผล และอุปกรณ์ตรวจจับทั้งหมดที่ติดตั้งภายในอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

ในกรณีที่ไม่สามารถกำหนดรีจิตเตอร์ภายในภาคสื่อสารได้นั้น อุปกรณ์ตรวจจับไร้สายจะกระพิบไฟสีแดงเพื่อบอกถึงการทำงานที่ไม่สมบรูณ์ของภาคสื่อสารไร้สาย โดยสามารถแก้ไขได้โดยตรวจเช็คอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายส่วนภาคการสื่อสารซึ่งสามารถทำให้ผู้ติดตั้งใช้งานทราบได้ถึงปัญหาของอุปกรณ์ได้ทันที

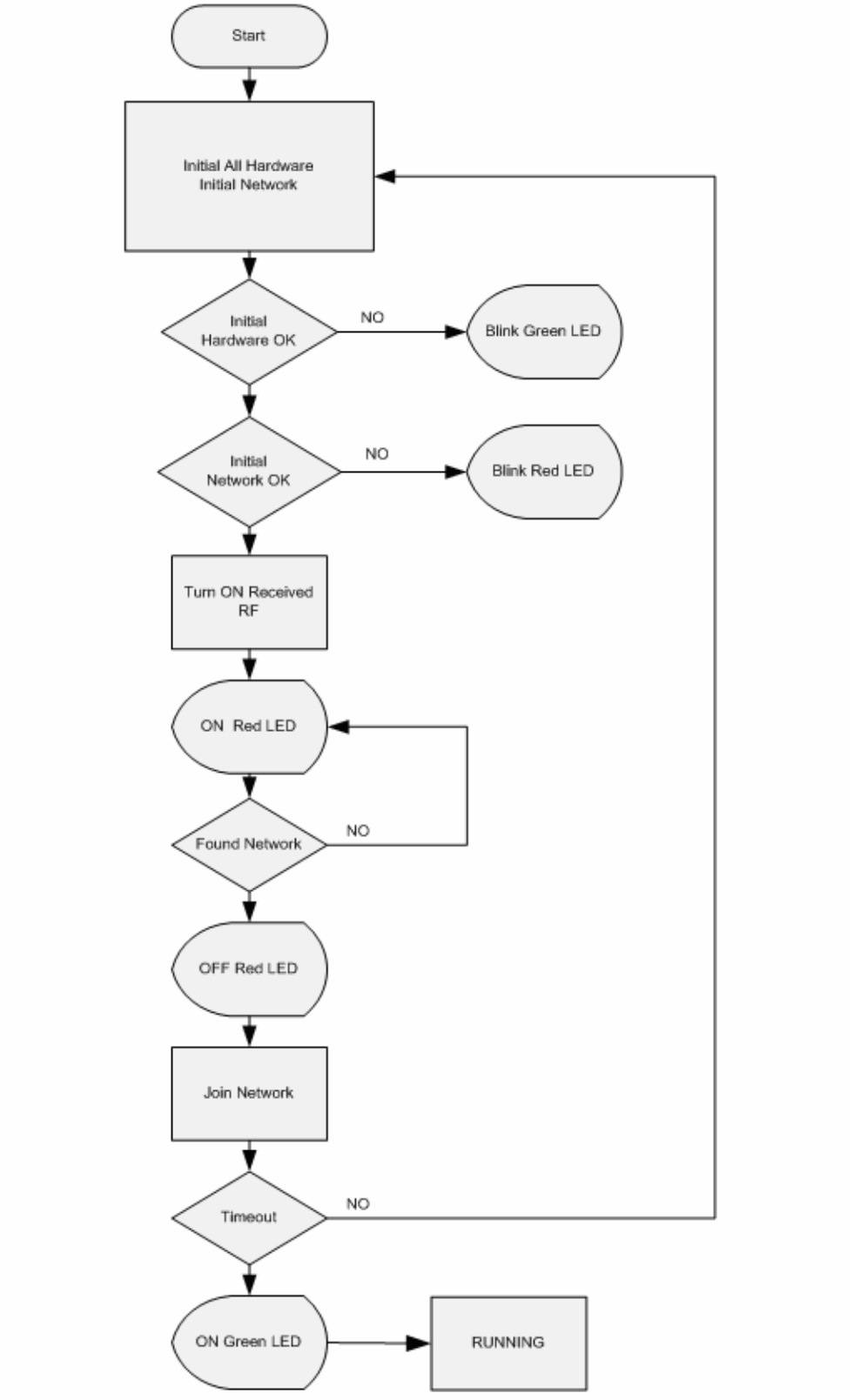
ในกรณีที่ไม่สามารถอ่านค่าสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับได้นั้น อุปกรณ์จะทำการกระพิบไฟสีเขียวเพื่อบอกถึงการทำงานที่ไม่สมบูรณ์ของอุปกรณ์ตรวจจับ โดยสามารถแก้ไขได้โดยตรวจเช็คอุปกรณ์ตรวจจับที่ติดตั้งภายในอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายได้อย่างรวดเร็ว

Scan Network State เป็นสถานะการทำงานของการค้นหาระบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับที่ถูกพัฒนาขึ้นตามโปรโตคอล ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายจะอยู่ในสถานะดักฟังการสนทนาของอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายข้างเคียง และ Network Adapter เพื่อทำการกำหนดตัวแปรภายในอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายเพื่อทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายที่มีอยู่ได้ทันที

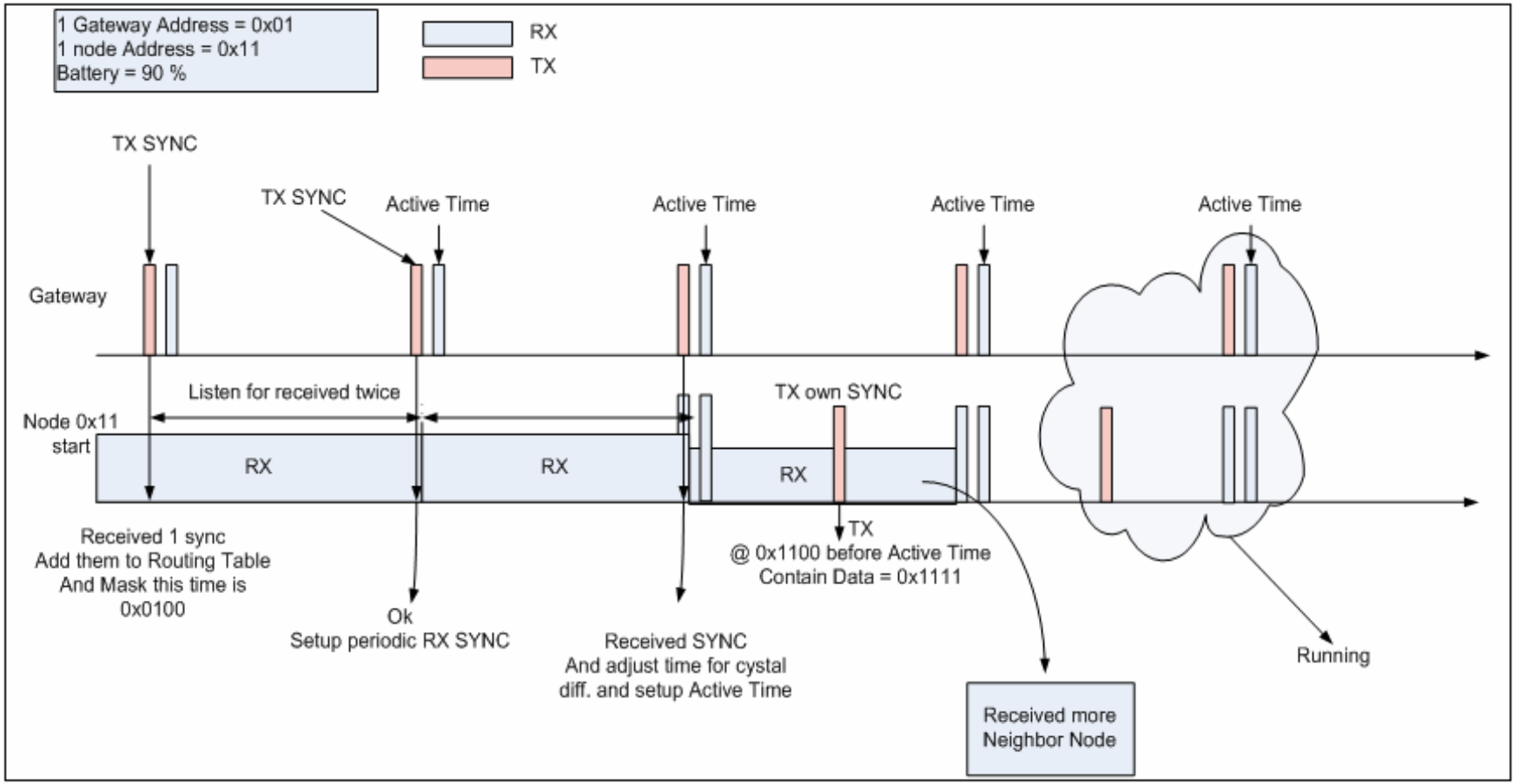
ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณของ Network Adapter อุปกรณ์จะทำการรอจนกระทั่ง Network Adapter ถูกติดตั้งภายในระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ด้วยความสามารถในการรอสัญญาณของ Network Adapter ระบบจะสามารถทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายก่อน Network Adapter หรือติดตั้ง Network Adapter ก่อนอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายได้

Join Network State เป็นสถานะการทำงานของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจจับไร้สายเข้ากับระบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย โดยจะทำการส่งข้อมูลเฉพาะส่วนตัวเข้าไปยังเครือข่ายซึ่งทำให้อุปกรณ์ตัวอื่นๆ เฉพาะที่ต้องการทราบเท่านั้น ทราบถึงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

Running State เป็นสถานะการทำงานการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยปกติ โดยอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายจะเริ่มต้นการทำงานตามขั้นตอนตามลำดับ ตามผังงานดังรูป



ภาพที่ 38 ผังงานการทำงานแรกเริ่มของอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย



ภาพที่ 39 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเกตเวย์และอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย

2. ซอฟต์แวร์

โปรแกรมที่เขียนขึ้นประกอบด้วยการทำงานหลัก 2 รูปแบบ รูปแบบแรกคือ Monitoring ทำหน้าที่วิเคราะห์เฟรมที่รับมาจาก Network Adapter และแสดงข้อมูลในรูปแบบรายละเอียด และแบบกราฟ และรูปแบบที่สองคือ Management เป็นส่วนที่จัดการผู้ใช้โปรแกรม กำหนดชนิดของตัวตรวจจับในระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สาย และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์บางอุปกรณ์ในเครือข่ายตรวจจับไร้สาย

2.1 MONITORING

การ Monitoring แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก เป็นการ Monitoring โดยรับข้อมูลโดยตรงจาก Network Adapter และนำมาแสดง ในส่วนที่สอง เป็นการ Monitoring โดยนำข้อมูลจาก database มาแสดงผล

2.1.1 Monitoring จาก Network Adapter

ก่อนการทำงานในรูปแบบ Monitoring จาก Network Adapter ผู้ใช้จำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อกับNetwork Adapterก่อน โดยผ่านทางพอร์ต USB การเปิดพอร์ตเพื่อทำการอ่านและเขียนข้อมูล หรือจะเป็นการปิดพอร์ตเพื่อคืนพอร์ตให้แก่ระบบ

ก. การเริ่ม/หยุดการเชื่อมต่อพอร์ต

ขั้นแรกในการทำการเชื่อมต่อกับพอร์ต คือ เลือกพอร์ตที่เราต้องการ (พอร์ตที่ต่ออยู่กับNetwork Adapter) และอัตราการส่งข้อมูลจากใน combobox แล้วกดปุ่ม Connect เพื่อเริ่มทำการเชื่อมต่อ โปรแกรมจะรับข้อมูลทันทีที่มีข้อมูลส่งมาจากNetwork Adapter

เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Connect จะเป็นการเรียกโพรซีเยอร์ Sub Con_Click ซึ่งเป็นการเปิดพอร์ตเพื่อใช้รับส่งข้อมูล

```
Private Sub Con_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Con.Click

    Timer1.Enabled = True
```

```
    Timer1.Interval = 20000
    Timer2.Enabled = True
    Timer2.Interval = 10

    If (SerialPort1.IsOpen) Then
      SerialPort1.Close()
      Timer1.Enabled = False
      SerialPort1.Open()
      Timer1.Enabled = True
    Else
      SerialPort1.PortName = cmbPortName.Text
      SerialPort1.BaudRate = cmbBaudrate.Text
      ' Open the port
      SerialPort1.Open()
    End If
  End Sub
```

เมื่อโปรแกรมเรียกโพรซีเยอร์ Sub Con_Click ภายในโพรซีเยอร์ Sub Con_Click จะเรียกโพรซีเยอร์ Sub Timer1_Tick เพื่อสำหรับอ่านค่าจากพอร์ต ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

เมื่อเราต้องการหยุดการรับส่งข้อมูล ก็ทำการกดปุ่ม Disconnect เพื่อทำการปิดพอร์ตที่ใช้งานอยู่ โดยการกดปุ่ม Disconnect จะเป็นการเรียกโพรซีเยอร์ Sub DisCon_Click ดังนี้

```
Private Sub DisCon_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles DisCon.Click
    If (SerialPort1.IsOpen) Then
      SerialPort1.Close()
```

```
        Timer1.Enabled = False
    Else
        SerialPort1.Close()
        Timer1.Enabled = False
    End If
End Sub
```

ข. ขั้นตอนการทำงานในรูปแบบ Monitoring

การรับข้อมูล

เมื่อผู้ใช้เลือกรูปแบบการทำงานแบบ Monitoring และกดปุ่ม Connect แล้ว โปรแกรมจะรับข้อมูลที่ส่งมาจากNetwork Adapterโดยมีรูปแบบของคำสั่งดังนี้

หลังจากกดปุ่ม Connect เพื่อเปิดพอร์ตแล้ว โพรซีเยอร์ Sub Con_Click จะเรียกการทำงานในส่วนของ Sub Timer1_Tick เพื่ออ่านค่าที่มีการส่งมาจากNetwork Adapter และเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาไว้ใน BRx(i)

```
Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Timer1.Tick
    Dim i As Integer
    inNo = SerialPort1.BytesToRead
    If inNo = 0 Then Exit Sub
    frmData.txtSent.Text = frmData.txtSent.Text & inNo & "/"
    frmData.txtInfo.Text = ""
    For i = 1 To inNo
        BRx(i) = SerialPort1.ReadByte
        frmData.txtInfo.Text = frmData.txtInfo.Text & (BRx(i)) & "/"
    Next i
    Call CheckCommand()
End Sub
```

ข้อมูลที่ได้ใช้โพรซีเยอร์ Sub CheckCommand เพื่อทำการวิเคราะห์ และทำการคำนวณข้อมูลที่ส่งเข้ามา และนำข้อมูลไปจัดเก็บลงในฐานข้อมูลต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล และจัดเก็บลงฐานข้อมูล

โปรแกรมจะนำค่าใน BRx(i) ที่เก็บข้อมูลที่รับจากNetwork Adapterมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโพรซีเยอร์ Sub CheckCommand โดยจะเชื่อมต่อข้อมูลกับฐานข้อมูลก่อน และทำการวนลูป เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยการคำนวณมีขั้นตอนดังนี้

1) อ่านค่าในไบต์ 0 ถึง ไบต์ 2 ไว้ใน frmData.txtAdd.Text ซึ่งเป็นค่าของ Address ของจุดตรวจจับ

2) อ่านค่าในไบต์ที่ 3 และไบต์ที่ 4 และเก็บค่าของความยาวของจำนวนข้อมูลไว้ในตัวแปร A3 และ A4 ตามลำดับ นำค่าในตัวแปร A3 และ A4 มาแปลงค่าจาก ASCII ให้มาอยู่ในรูปของ Integer โดยเรียกโพรซีเยอร์ Function OneChartoInt() และนำค่าที่แปลงเป็น Integer แล้วมาเก็บไว้ที่ตัวแปร A3_1 และ A4_1 ตามลำดับ จากนั้นนำค่า A3_1 และ A4_1 มาคำนวณ และเก็บค่าในตัวแปร Count เพื่อแสดงจำนวนข้อมูลที่รับเข้ามาในเฟรมนี้

3) วนลูปเพื่ออ่านค่าชนิดของตัวตรวจจับ และเพื่ออ่านค่าข้อมูลของตัวตรวจจับแต่ละชนิดในไบต์ที่ 5 ถึงไบต์ที่ 9 โดยอ่านค่าชนิดของตัวตรวจจับเก็บไว้ที่ A5 และข้อมูลของตัวตรวจจับจะเก็บไว้ใน A6 ถึง A9 ตามลำดับ และนำค่า A6 ถึง A9 มาแปลงเป็น interger โดยเรียกโพรซีเยอร์ Function OneChartoInt() และนำค่าที่แปลงเป็น Interger แล้วมาเก็บไว้ที่ตัวแปร A6_1 ถึง A9_1 ตามลำดับ แล้วจึงนำค่า A6_1 ถึง A9_1 มาคำนวณตามเงื่อนไขที่ตกลงไว้กับทางNetwork Adapter แล้วจึงนำค่าที่คำนวณได้เก็บลงฐานข้อมูล

```
Public Sub CheckCommand()
    Dim i, xnew, xold, n, t, A3, A3_1, A4, A4_1, Count, A5, A6, A6_1, A7, A7_1, A8, A8_1,
A9, A9_1, w As Integer
    Dim Temp, Humidity As Double
    Dim OO, INS, C As String
     xold = 0
```

```
        With cn
            If .State = ConnectionState.Open Then .Close()
            .ConnectionString = strConnection
            .Open()
        End With

        For i = 0 To inNo
            If BRx(i) = 13 Then
                If BRx(i - 1) = 10 Then
                    xnew = i
                     n = ((xnew - 2) - (xold + 2)) / 5
                    frmData.txtBRx0.Text = frmData.txtBRx0.Text & Chr(BRx(xold))
                    frmData.txtBRx1.Text = frmData.txtBRx1.Text & Chr(BRx(xold + 1))
                    frmData.txtBRx2.Text = frmData.txtBRx2.Text & Chr(BRx(xold + 2))
                    frmData.txtAdd.Text = frmData.txtBRx0.Text & frmData.txtBRx1.Text &
frmData.txtBRx2.Text

                    A3 = xold + 3
                    z = A3
                    OneChartoInt()
                    A3_1 = retVal

                    A4 = xold + 4
                    z = A4
                    OneChartoInt()
                    A4_1 = retVal

                    Count = (A3_1 * 16) + A4_1
```

```
For w = xold To xnew
    frmData.txtData.Text = frmData.txtData.Text & Chr(BRx(w))
Next
frmMonitor.txtReceived.Items.Add(frmData.txtData.Text & vbCrLf)
frmData.txtData.Text = ""

For t = 1 To n
    A5 = ((5 * (t - 1)) + (xold + 5))
    frmData.txtBRx3.Text = Chr(BRx(A5))

    A6 = ((5 * (t - 1)) + (xold + 6))
    frmData.txtBRx4.Text = Chr(BRx(A6))
    z = A6
    OneChartoInt()
    A6_1 = retVal

    A7 = ((5 * (t - 1)) + (xold + 7))
    frmData.txtBRx5.Text = Chr(BRx(A7))
    z = A7
    OneChartoInt()
    A7_1 = retVal

    A8 = ((5 * (t - 1)) + (xold + 8))
    frmData.txtBRx6.Text = Chr(BRx(A8))
    z = A8
    OneChartoInt()
    A8_1 = retVal

    A9 = ((5 * (t - 1)) + (xold + 9))
```

```
                frmData.txtBRx7.Text = Chr(BRx(A9))
                z = A9
                OneChartoInt()
                A9_1 = retVal

                If xnew - xold - 4 = Count Then
                   sqladd = "SELECT * FROM Node WHERE Node = '" & frmData.txtAdd.Text
& "' "
                   Dim objCmd = New OleDbCommand(sqladd, cn)
                   Dim dtReader = objCmd.ExecuteReader()

                   If dtReader.HasRows Then
                   Else
                      sqladd = "insert into Node(Node) values ('" & frmData.txtAdd.Text & "')"
                      insDataBase()
                   End If

                   If BRx(A5) = 84 Then
                      temp_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                      calTemp()
                      Temp = t_C
                      frmData.txtBRx10.Text = frmData.txtBRx10.Text & Temp & "/"

                      sqladd = "insert into T(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Temp & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "', '" & frmData.lblDT.Text & "' )"
                      insDataBase()

                   ElseIf BRx(A5) = 72 Then
                      hum_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
```

```
                    calHum()
                    frmData.txtBRx19.Text = frmData.txtBRx19.Text & "/" & hum
                    frmData.txtBRx20.Text = frmData.txtBRx20.Text & "/" & t_C
                    Humidity = hum

                    sqladd = "insert into H(Command, IDSensor, Data,Temp, Dd, Tt, DT)
values ('" & frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Humidity & "' , '"
& t_C & "', '" & frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" &
frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                ElseIf BRx(A5) = 76 Then
                    Light_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                    frmData.txtL.Text = Light_i
                    sqladd = "insert into L(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Light_i & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "', '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" & frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                ElseIf BRx(A5) = 77 Then
                    Motion_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                    frmData.txtM.Text = Motion_i
                    frmData.txtBRx18.Text = BRx(A6) & BRx(A7) & BRx(A8) & BRx(A9)
                    sqladd = "insert into M(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('"
& frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Motion_i & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" & frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                ElseIf BRx(A5) = 83 Then
                    Switch_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
```

```
                    frmData.txtS.Text = Switch_i
                    sqladd = "insert into S(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Switch_i & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "', '" & frmData.lblTime.Text & "', '" & frmData.lblDT.Text & "' )"
                    insDataBase()

                ElseIf BRx(A5) = 80 Then
                    frmData.txtP.Text = frmData.txtBRx4.Text & frmData.txtBRx5.Text &
frmData.txtBRx6.Text & frmData.txtBRx7.Text
                    sqladd = "insert into P(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & frmData.txtP.Text & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "', '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" & frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                Else
                    O = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                    OO = Chr(BRx(A5))
                    INS = "insert into" & " " & OO & " "
                    sqladd = INS & " " & "(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('"
& frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & O & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "', '" & frmData.lblDT.Text & "' )"
                    insDataBase()
                End If
            End If
        Next t
    End If
    xold = xnew + 1
    index = 0
    End If
Next i
```

```
    frmMonitor.Timer1.Enabled = False
    Call delay(10000)
    frmMonitor.Timer1.Enabled = True
    cn.Close()
End Sub
```

ข้อมูลที่ส่งเข้ามาเป็น ASCII ดังที่กล่าวมาแล้ว จึงต้องนำข้อมูลที่ได้รับมาแปลงค่าเป็นตัวเลข โดยเรียกโพรซีเยอร์ Function OneChartoInt() แล้วนำค่าที่แปลงเป็นตัวเลขแล้วส่งกลับมายังตัวแปล retVal เพื่อนำค่ามาคำนวณต่อไป

```
Public Function OneChartoInt()
    retVal = 0
    Select Case Chr(BRx(z))
      Case "0"
        retVal = 0
      Case "1"
        retVal = 1
      Case "2"
        retVal = 2
      Case "3"
        retVal = 3
      Case "4"
        retVal = 4
      Case "5"
        retVal = 5
      Case "6"
        retVal = 6
      Case "7"
        retVal = 7
      Case "8"
```

```
            retVal = 8
        Case "9"
            retVal = 9
        Case "A"
            retVal = 10
        Case "B"
            retVal = 11
        Case "C"
            retVal = 12
        Case "D"
            retVal = 13
        Case "E"
            retVal = 14
        Case "F"
            retVal = 15
        Case "a"
            retVal = 10
        Case "b"
            retVal = 11
        Case "c"
            retVal = 12
        Case "d"
            retVal = 13
        Case "e"
            retVal = 14
        Case "f"
            retVal = 15
    End Select
    Return retVal
End Function
```

การเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลจะใช้คำสั่ง sql โดยจะมีการวนลูปเพื่อรับค่า และต้องตรวจสอบคำสั่งของชนิดตัวตรวจจับ สำหรับชนิดตัวตรวจจับบางชนิด จำเป็นต้องนำค่าไปคำนวณก่อน แต่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ จะนำค่าไปเก็บในฐานข้อมูลโดยไม่ต้องคำนวณก่อน โดยมี Code ดังนี้

```
                If xnew - xold - 4 = Count Then
                    sqladd = "SELECT * FROM Node WHERE Node = '" & frmData.txtAdd.Text
& "' "
                    Dim objCmd = New OleDbCommand(sqladd, cn)
                    Dim dtReader = objCmd.ExecuteReader()

                    If dtReader.HasRows Then
                    Else
                        sqladd = "insert into Node(Node) values ('" & frmData.txtAdd.Text & "')"
                        insDataBase()
                    End If

                    If BRx(A5) = 84 Then
                        temp_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                        calTemp()
                        Temp = t_C
                        frmData.txtBRx10.Text = frmData.txtBRx10.Text & Temp & "/"

                        sqladd = "insert into T(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Temp & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "', '" & frmData.lblDT.Text & "' )"
                        insDataBase()

                    ElseIf BRx(A5) = 72 Then
                        hum_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
```

```
                    calHum()
                    frmData.txtBRx19.Text = frmData.txtBRx19.Text & "/" & hum
                    frmData.txtBRx20.Text = frmData.txtBRx20.Text & "/" & t_C
                    Humidity = hum

                    sqladd = "insert into H(Command, IDSensor, Data,Temp, Dd, Tt, DT)
values ('" & frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Humidity & "' , '"
& t_C & "', '" & frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" &
frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                ElseIf BRx(A5) = 76 Then
                    Light_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                    frmData.txtL.Text = Light_i
                    sqladd = "insert into L(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Light_i & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "', '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" & frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                ElseIf BRx(A5) = 77 Then
                    Motion_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                    frmData.txtM.Text = Motion_i
                    frmData.txtBRx18.Text = BRx(A6) & BRx(A7) & BRx(A8) & BRx(A9)
                    sqladd = "insert into M(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('"
& frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Motion_i & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" & frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                ElseIf BRx(A5) = 83 Then
                    Switch_i = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
```

```
                    frmData.txtS.Text = Switch_i
                    sqladd = "insert into S(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & Switch_i & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "', '" & frmData.lblTime.Text & "', '" & frmData.lblDT.Text & "' )"
                    insDataBase()
                ElseIf BRx(A5) = 80 Then
                    frmData.txtP.Text = frmData.txtBRx4.Text & frmData.txtBRx5.Text &
frmData.txtBRx6.Text & frmData.txtBRx7.Text
                    sqladd = "insert into P(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('" &
frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & frmData.txtP.Text & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "', '" & frmData.lblTime.Text & "' , '" & frmData.lblDT.Text & "')"
                    insDataBase()

                Else
                    O = ((16 ^ 3) * A6_1) + ((16 ^ 2) * A7_1) + ((16) * A8_1) + A9_1
                    OO = Chr(BRx(A5))
                    INS = "insert into" & " " & OO & " "
                    sqladd = INS & " " & "(Command, IDSensor, Data, Dd, Tt, DT) values ('"
& frmData.txtBRx3.Text & "', '" & frmData.txtAdd.Text & "', '" & O & "' , '" &
frmData.lblClock.Text & "' , '" & frmData.lblTime.Text & "', '" & frmData.lblDT.Text & "' )"
                    insDataBase()
                End If
            End If
```

ซึ่งในการจะเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลนั้น จะมีการเรียกโพรซีเยอร์ `Sub insDataBase()`

```
Public Sub insDataBase()
    Dim cominsert As New OleDbCommand
    On Error GoTo errhandler
```

```
        With cominsert
            .CommandType = CommandType.Text
            .CommandText = sqladd
            .Connection = cn
            .ExecuteNonQuery()
        End With
errhandler:
        If Err.Number = -2147217865 Then
            MsgBox("There are not some database table of sensor")
        ElseIf Err.Number <> 0 Then
            MsgBox("Err " & Err.Description & "; operation not complete")
        End If
    End Sub
```

2.1.2 Monitoring จากฐานข้อมูล

แบ่งเป็นการ Monitor แบบรายละเอียด และ แบบกราฟ

ก. การ Monitoring แบบรายละเอียด

การ Monitoring แบบรายละเอียดนี้ ก็แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 เป็นการดูรายละเอียดโดยแบ่งจากชนิดของตัวตรวจจับ และรูปแบบที่ 2 เป็นการดูรายละเอียดโดยการแบ่งจาก Address ของจุดตรวจจับ

1) ชนิดของตัวตรวจจับ

เป็นการดูรายละเอียดโดยแบ่งจากชนิดของตัวตรวจจับ โดยเลือกชนิดของตัวตรวจจับที่เราต้องการดูข้อมูล และกดปุ่ม Get Data From Database ซึ่งจะมีการทำงานตาม code ดังนี้

```
Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button1.Click
    Dim da, daS As New OleDbDataAdapter
    Dim bs, bsS As New BindingSource
    Dim ds, dsS As New DataSet
```

```
        Dim dsS As New DataSet

        txtData.Items.Clear()

        With cn
            If .State = ConnectionState.Open Then .Close()
            .ConnectionString = strConnection
            .Open()
        End With

        Dim Data As String
        Dim Comm As String

        Data = cmbType.Text
        Dim strSQLS As String = "SELECT Command FROM Sensors WHERE Type = '" & Data
& "'"
       daS.SelectCommand = New OleDbCommand(strSQLS, cn)
        Try
            daS.Fill(dsS, "Sensors")
        Catch ex As OleDbException
            MsgBox(ex.Message)
            Exit Sub
        End Try
        For Each row As DataRow In dsS.Tables("Sensors").Rows
            frmData.txtComm.Text = (row("Command").ToString)
        Next
        Comm = frmData.txtComm.Text
        Dim strSQL4 As String = "SELECT * FROM " & Comm
        da.SelectCommand = New OleDbCommand(strSQL4, cn)
        Try
```

```
        da.Fill(ds, Data)
      Catch ex As OleDbException
        MsgBox(ex.Message)
        Exit Sub
      End Try
      txtData.Items.Clear()
      txtData.Items.Add("IDSensor" & ControlChars.Tab & "Command" & ControlChars.Tab &
"Data" & ControlChars.Tab & "Date And Time")
      For Each row As DataRow In ds.Tables(Data).Rows
        txtData.Items.Add(row("IDSENSOR").ToString & ControlChars.Tab &
row("COMMAND").ToString & ControlChars.Tab & row("DATA").ToString &
ControlChars.Tab & row("Dt"))
      Next
      cn.Close()
      ds.Clear()
  End Sub
```

2) Address ของจุดตรวจจับ

เป็นการดูรายละเอียดโดยการแบ่งจาก Address ของจุดตรวจจับ โดยเลือกAddress และชนิดของตัวตรวจจับที่เราต้องการดูข้อมูล และกดปุ่ม Get Data From Database ซึ่งจะมีการทำงานตาม code ดังนี้

```
Private Sub Button9_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button9.Click
      Dim da, daS As New OleDbDataAdapter
      Dim bs, bsS As New BindingSource
      Dim ds, dsS As New DataSet
       txtAdd.Items.Clear()
      With cn
        If .State = ConnectionState.Open Then .Close()
```

```
        .ConnectionString = strConnection
        .Open()
    End With
    Dim D, Data, Comm As String
    D = ComboBox2.Text
    Data = ComboBox3.Text
    Dim strSQLS As String = "SELECT Command FROM Sensors WHERE Type = '" & Data
& "'"
    daS.SelectCommand = New OleDbCommand(strSQLS, cn)

    Try
        daS.Fill(dsS, "Sensors")
    Catch ex As OleDbException
        MsgBox(ex.Message)
        Exit Sub
    End Try

    For Each row As DataRow In dsS.Tables("Sensors").Rows
        frmData.txtComm.Text = (row("Command").ToString)
    Next

    Comm = frmData.txtComm.Text
    Dim strSQL As String = "SELECT * FROM " & Comm & " WHERE  IDSENSOR = '" &
D & "' "
    da.SelectCommand = New OleDbCommand(strSQL, cn)

    Try
        da.Fill(ds, Comm)
    Catch ex As OleDbException
        MsgBox(ex.Message)
```

```
        Exit Sub
    End Try

    txtAdd.Items.Clear()
    txtAdd.Items.Add("IDSensor" & ControlChars.Tab & "Command" & ControlChars.Tab &
"Data" & ControlChars.Tab & "Date And Time")

    For Each row As DataRow In ds.Tables(Comm).Rows
        txtAdd.Items.Add(row("IDSENSOR").ToString & ControlChars.Tab &
row("COMMAND").ToString & ControlChars.Tab & row("DATA").ToString &
ControlChars.Tab & row("Dt"))
    Next
    cn.Close()
    ds.Clear()
End Sub
```

ข. การ Monitoring แบบกราฟ

การ Monitoring แบบกราฟ โดยเลือกชนิดของตัวตรวจจับ แล้วกดปุ่ม Get Data From Database

```
Private Sub Button7_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button7.Click
    Dim da, daS As New OleDbDataAdapter
    Dim bs, bsS As New BindingSource
    Dim ds, dsS As New DataSet
    Dim Data, Comm As String

    With cn
        If .State = ConnectionState.Open Then .Close()
```

```
        .ConnectionString = strConnection
        .Open()
    End With
    Data = ComboBox1.Text
    Dim strSQLS As String = "SELECT Command FROM Sensors WHERE Type = '" & Data
& "'"
    daS.SelectCommand = New OleDbCommand(strSQLS, cn)

    Try
        daS.Fill(dsS, "Sensors")
    Catch ex As OleDbException
        MsgBox(ex.Message)
        Exit Sub
    End Try

    For Each row As DataRow In dsS.Tables("Sensors").Rows
        frmData.txtComm.Text = (row("Command").ToString)
    Next
    Comm = frmData.txtComm.Text
    Dim mySelectQuery As String = "SELECT  * FROM " & Comm & " WHERE (Dd
BETWEEN # " & cmbDatei.Text & "# AND #" & cmbDatef.Text & "#) ORDER BY Dt
DESC"
    Dim myCommand As New OleDbCommand(mySelectQuery, cn)
    Dim myReader As OleDbDataReader =
myCommand.ExecuteReader(CommandBehavior.CloseConnection)

    Chart1.Series.Clear()
    Chart1.DataBindCrossTab(myReader, "IDSensor", "Dt", "Data", "Label=Data")

    Dim N As String
```

```
    da.SelectCommand = New OleDbCommand(mySelectQuery, cn)

    Try
       da.Fill(ds, Data)
    Catch ex As OleDbException
       MsgBox(ex.Message)
       Exit Sub
    End Try

    For Each row As DataRow In ds.Tables(Data).Rows
       Chart1.ChartAreas("Default").AxisY.Minimum = [Double].NaN
       Chart1.ChartAreas("Default").AxisY.Maximum = [Double].NaN
       frmData.TextBox1.Text = (row("IDSENSOR").ToString)
       N = frmData.TextBox1.Text
       Chart1.Series(N).Type = SeriesChartType.Line
    Next

    cn.Close()
    myReader.Close()
End Sub
```

2.2 Management

การจัดการระบบนั้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก จะเป็นการจัดการระบบ และส่วนที่สอง จะเป็นการจัดการอุปกรณ์ในเครือข่าย ซึ่งในที่นี้เป็นการควบคุมไฟแสงสว่าง

2.2.1 การจัดการเครือข่าย

การจัดการเครือข่ายในที่นี้แบ่งเป็น การเพิ่มชื่อผู้ใช้ระบบ , เพิ่มชนิดของตัวตรวจจับ และการจัดการตั้งค่าเวลาในการรับข้อมูล

ก. การเพิ่มชื่อผู้ใช้ระบบ

การเพิ่มชื่อผู้ใช้ระบบ จะทำการโดยต้องให้ผู้มีสิทธิ์ในการจัดการระบบกรอกข้อมูลผู้ใช้ใหม่ แล้วกดปุ่ม OK ข้อมูลก็จะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูล และเมื่อทำการจัดเก็บเรียบร้อยแล้วจะมีข้อความแจ้งว่าสำเร็จแล้ว โดยมี Code ดังนี้

```
Private Sub btnOK_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles btnOK.Click
    With cn
      If .State = ConnectionState.Open Then .Close()
      .ConnectionString = strConnection
      .Open()
    End With
        If txtNewPass.Text = txtNewRePass.Text Then
          Dim sqladd As String
      sqladd = "insert into UserName(FirstName,LastName,uUser,pPass) values ('" &
txtName.Text & "', '" & txtLastName.Text & "', '" & txtNewUser.Text & "', '" &
txtNewPass.Text & "')"
          Dim cominsert As New OleDbCommand
          With cominsert
            .CommandType = CommandType.Text
            .CommandText = sqladd
            .Connection = cn
            .ExecuteNonQuery()
          End With
          MessageBox.Show("เพิ่มข้อมูลเรียบร้อย", "ผลการทำงาน",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
    End If
        Me.Close()
    Form1.Show()
  End Sub
```

ข. การเพิ่มชนิดของตัวตรวจจับ

การเพิ่มชื่อชนิดของตัวตรวจจับ จะทำการโดยต้องให้ผู้มีสิทธิ์ในการจัดการระบบกรอกชนิดของตัวตรวจจับที่ต้องการเพิ่ม แล้วกดปุ่ม OK ข้อมูลก็จะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูล และเมื่อทำการจัดเก็บเรียบร้อยแล้วจะมีข้อความแจ้งว่าสำเร็จแล้ว โดยมี Code ดังนี้

```
Private Sub btnOK_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles btnOK.Click
    Dim sqladd As String
    Dim s, s1, rvalue As String

    With cn
      If .State = ConnectionState.Open Then .Close()
      .ConnectionString = strConnection
      .Open()
    End With

    rvalue = txtCommand.Text

    On Error GoTo errhandler
    Dim conn1 As OleDb.OleDbConnection = New OleDb.OleDbConnection
    conn1.ConnectionString = strConnection
    conn1.Open()

    s = "CREATE TABLE " & rvalue & "( IDSENSOR TEXT(10), COMMAND TEXT(10),
DATA Decimal(20,2), Dd Date, Tt Time, DT Date)" ' ,COMMAND TEXT(5) ,Data long ,Time
Date)"

    Dim cmda As New OleDb.OleDbCommand(s, conn1)
    cmda.ExecuteNonQuery()
    s1 = "insert into Sensors(Type,Command) values ( '" & txtType.Text & "', '" &
```

```
txtCommand.Text & "' )"
        Dim cmda1 As New OleDb.OleDbCommand(s1, conn1)
        cmda1.ExecuteNonQuery()
        MessageBox.Show("เพิ่มข้อมูลเรียบร้อย", "ผลการทำงาน", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Information)

errhandler:
        If Err.Number = -2147217900 Then
            MsgBox("Database already exists")
        ElseIf Err.Number <> 0 Then
            MsgBox("Err " & Err.Description & "; operation not complete")
        End If
    End Sub
```

ค. การจัดการตั้งค่าเวลาในการรับข้อมูล

การจัดการตั้งค่าเวลาในการรับข้อมูลจาก Network Adapter ซึ่งธรรมดาจะมีการตั้งค่าในการรับข้อมูลไว้อยู่แล้วที่ทุก 15 นาที แต่ถ้าต้องการตั้งค่าเวลาการรับข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดเดิม ผู้ใช้ต้องเลือกเวลาที่ต้องการรับข้อมูล และเมื่อกดปุ่ม OK โปรแกรมจะมีการส่งคำสั่งไปยัง Network Adapter ตาม code ดังนี้

```
Private Sub btnOK_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles btnOk.Click

        InttoChr()
        BTx(0) = "80"                       'P
        BTx(1) = Asc(Periodic)               'X
        BTx(2) = "10"                       '/n
        BTx(3) = "13"                       '/r

        Me.Close()
```

```
    frmMonitor.Show()


End Sub
```

2.2.2 การจัดการเปิด/ปิด ไฟแสงสว่าง

การจัดการเปิด/ปิด ไฟแสงสว่าง จะมีการตรวจสอบสถานะของไฟแสงสว่าง ณ จุดตรวจจับก่อนว่าขณะนั้น สถานะเป็นอย่างไรอยู่ก่อน โดยการเลือก Address ของจุดตรวจจับที่ต้องการ กดปุ่ม Status เพื่อตรวจสอบสถานะของไฟแสงสว่าง โดยจะเรียกโพรซีเยอร์ Sub Status() ดัง Code ต่อไปนี้

```
Public Sub Status()


    Dim da As New OleDbDataAdapter
    Dim bs As New BindingSource
    Dim ds As New DataSet
    Dim d As String
    Dim Data As String
    Dim g As Graphics = frmManage.TabPage2.CreateGraphics
    Dim RedBrush As New SolidBrush(Color.Red)
    Dim GreenBrush As New SolidBrush(Color.Green)
    Dim GrayBrush As New SolidBrush(Color.Gray)
    With cn
      If .State = ConnectionState.Open Then .Close()
      .ConnectionString = strConnection
      .Open()
    End With
     Data = frmManage.ComboBox1.Text
      Dim strSQL6 As String = "SELECT TOP 1 DATA FROM S WHERE IDSENSOR = '" &
Data & "' ORDER BY Dt DESC"
    da.SelectCommand = New OleDbCommand(strSQL6, cn)
```

```
    Try
        da.Fill(ds, "S")
    Catch ex As OleDbException
        MsgBox(ex.Message)
        Exit Sub
    End Try

    For Each row As DataRow In ds.Tables("S").Rows
        d = (row("DATA").ToString)
        frmData.txtStatus.Text = d
    Next

   If frmData.txtStatus.Text = "0.00" Then
        g.FillEllipse(RedBrush, 110, 110, 70, 70)
    ElseIf frmData.txtStatus.Text = "1.00" Then
        g.FillEllipse(GreenBrush, 110, 110, 70, 70)
    Else
        g.FillEllipse(GrayBrush, 110, 110, 70, 70)
    End If
    cn.Close()
    ds.Clear()
    frmDataManage.TextBox1.Text = frmManage.ComboBox1.Text
    frmDataManage.TextBox2.Text = frmDataManage.TextBox1.Text.Substring(0, 1)
    frmDataManage.TextBox3.Text = frmDataManage.TextBox1.Text.Substring(1, 1)
    frmDataManage.TextBox4.Text = frmDataManage.TextBox1.Text.Substring(2, 1)

    cn.Close()
End Sub
```

เมื่อทำการตรวจสอบสถานะแล้ว และต้องการจะส่งคำสั่งเปิด หรือ ปิดไฟแสงสว่าง ต้องทำการเชื่อมต่อกับNetwork Adapterก่อน โดยเลือกพอร์ต และอัตราการส่งข้อมูล แล้วกดปุ่ม Connect โดยปุ่ม Connect นี้ จะทำงานเรียกโพรซีเยอร์ Sub Con_Click ซึ่งจะเหมือนกับในส่วนของการ Monitoring ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงไม่กล่าวถึง Code ส่วนนี้ซ้ำอีก หลังจากกดปุ่ม Connect แล้ว ก็เลือก Address ที่ต้องการจะส่งคำสั่งเปิด หรือปิดไฟแสงสว่าง หากต้องการเปิดไฟแสงสว่าง ให้กดปุ่ม Turn On ซึ่งจะมีการส่งคำสั่งเพื่อเปิดไฟแสงสว่างให้กับทางNetwork Adapter จะมีการเรียกโพรซีเยอร์ Sub btnOn_Click ดัง Code ต่อไปนี้

```
Private Sub btnOn_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles btnOn.Click
    ReDim BTx(6)
    frmDataManage.TextBox1.Text = ComboBox1.Text
    frmDataManage.TextBox2.Text = frmDataManage.TextBox1.Text.Substring(0, 1)
    frmDataManage.TextBox3.Text = frmDataManage.TextBox1.Text.Substring(1, 1)
    frmDataManage.TextBox4.Text = frmDataManage.TextBox1.Text.Substring(2, 1)
    BTx(0) = Asc(frmDataManage.TextBox2.Text)        'A
    BTx(1) = Asc(frmDataManage.TextBox3.Text)        'X
    BTx(2) = Asc(frmDataManage.TextBox4.Text)        'X
    BTx(3) = Asc("S")                                'S
    BTx(4) = Asc("1")                                '1
    BTx(5) = "10"                                    '/n
    BTx(6) = "13"                                    '/r
    Call SendTx()
    Call delay(100000)
    Call Status()
End Sub
```

ในโพรซีเยอร์ Sub btnOn_Click จะมีการเรียกโพรซีเยอร์ Sub SendTx() เพื่อทำการส่งคำสั่งที่กำหนดไว้ให้กับทางNetwork Adapter

```
Public Sub SendTx()
    Dim i As Integer
    frmMonitor.SerialPort1.Write(BTx, 0, UBound(BTx) + 1)
    For i = 0 To UBound(BTx)
        frmData.txtSent.Text = frmData.txtSent.Text & "/" & Chr(BTx(i))
        Call delay(30000)
    Next i
End Sub
```

หลังจากทำการส่งข้อมูลแล้ว โปรแกรมจะทำการตรวจสอบสถานะของไฟแสงสว่างที่ได้รับคำสั่งไปอีกครั้ง โดยจะเรียกโพรซีเยอร์ Sub Status() ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

การใช้งานโปรแกรม

เมื่อผู้ใช้ทำการรันโปรแกรม จะพบกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้หลัก ดังรูป

ภาพที่ 40 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้หลัก

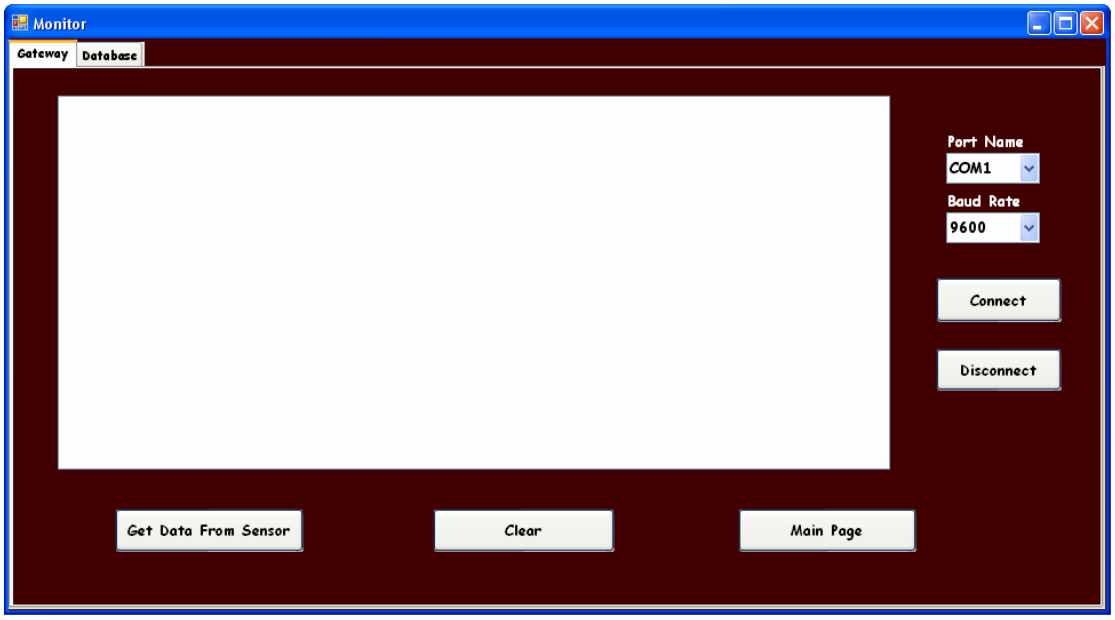
ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการทำงาน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบแรก การ Monitoring Network และรูปแบบที่สอง การ Manage Network

1. Monitoring Network

เมื่อต้องการ Monitoring ระบบ ให้กดปุ่ม Monitoring โปรแกรมจะแสดงส่วนการลงชื่อเข้าใช้ระบบ ดังรูป

ภาพที่ 41 ส่วนการลงชื่อเข้าใช้ระบบ

เมื่อส่วนการลงชื่อเข้าใช้ระบบปรากฏ ถ้าหากผู้ใช้กดปุ่ม Cancel จะกลับไปยังหน้าส่วนติดต่อกับผู้ใช้ แต่หากตต้องการเข้าไปส่วน Monitor ต่อไป ผู้ใช้ต้องใส่ชื่อในการเข้าใช้ระบบ และรหัสผ่านตามที่ได้ลงทะเบียนไว้ แล้วจึงกดปุ่ม Login ก็จะเข้าไปในส่วน Monitor ดังรูป



ภาพที่ 42 ส่วน Monitor

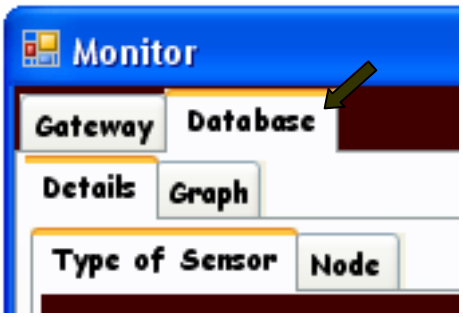
เมื่อส่วน Monitor ปรากฏ จะมี Tab ด้านบน ให้ผู้ใช้เลือกว่าจะทำงานรูปแบบใด ระหว่างการรับข้อมูลจากNetwork Adapter หรือดูข้อมูลจากฐานข้อมูล

Monitor จาก Network Adapter

เมื่อผู้ใช้เข้ามาในส่วน Monitor จะแสดงอยู่ที่หน้าNetwork Adapterอยู่ก่อนแล้ว ผู้ใช้ต้องเลือกพอร์ต และอัตราการส่งข้อมูลและกดปุ่ม Connect ทางNetwork Adapterจะส่งข้อมูลมาเรื่อยๆ โดยผู้ใช้ไม่ต้องกดรับข้อมูลอีก ยกเว้น ผู้ใช้ต้องการดูข้อมูลโดยไม่ต้องการรอให้Network Adapter ส่งมาเอง ให้ผู้ใช้กดที่ปุ่ม Get Data From Sensor ก็จะได้รับข้อมูลจากทางNetwork Adapterทันที

Monitor จากฐานข้อมูล

หากผู้ใช้ต้องการจะให้โปรแกรมแสดงในส่วนของฐานข้อมูล ผู้ใช้ต้องเลือก Tab Database ด้านบน ดังรูป



ภาพที่ 43 การเลือก Tab Database

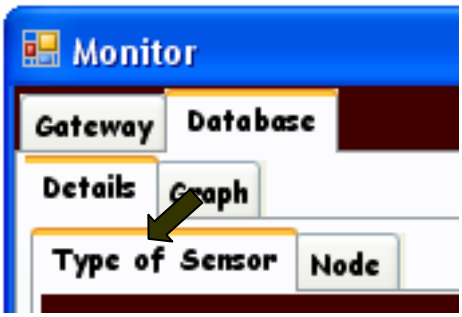
เมื่อกดที่ Tab Database แล้วจะได้ดังรูป

ภาพที่ 44 Monitor จากฐานข้อมูล

ในส่วนการ Monitor จากฐานข้อมูล จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการแสดงเป็นรายละเอียด และอีกส่วนคือส่วนการแสดงเป็นกราฟ

ก. Monitor แบบรายละเอียด

การแสดงแบบรายละเอียด ก็แบ่งออกเป็น การแสดงโดยเลือกจากชนิดของตัวตรวจจับ และการแสดงโดยเลือกจาก Address ของตัวตรวจจับ โดยเลือกจาก Tab ที่สองดังรูป

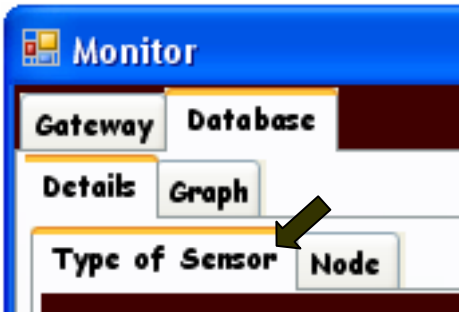


ภาพที่ 45 การเลือก Tab Details

ซึ่งโดยปกติ ถ้าเลือก Tab Database มักจะแสดงหน้า Tab Details อยู่แล้ว และใน Tab Details นี้ จะมีให้เลือกดูข้อมูลได้ 2 แบบ คือ แบบแรกเลือกดูข้อมูลจากชนิดของตัวตรวจจับ และแบบที่สองเลือกดูข้อมูลจาก Address ของจุดตรวจจับ

1) การเลือกดูข้อมูลจากชนิดของตัวตรวจจับ

การเลือกดูข้อมูลจากชนิดของตัวตรวจจับ เลือกโดยเลือกที่ Tab ที่ 3 ดังรูป

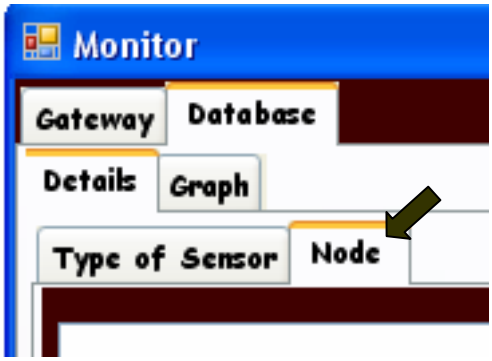


ภาพที่ 46 การเลือก Tab Type of Sensor

เมื่อเลือก Tab Type of Sensor ดังรูปแล้วจะได้ดังรูปที่ 46 ด้านบน ผู้ใช้ต้องเลือกชนิดของตัวตรวจจับที่ต้องการดูข้อมูล ที่ Type of Sensor แล้วกดปุ่ม Get Data From Sensor เมื่อกดปุ่มนี้แล้ว รายละเอียดของข้อมูลตามชนิดข้อมูลที่เลือกก็จะปรากฏขึ้นใน Textbox ด้านล่าง

2) การเลือกดูข้อมูลจาก Address ของจุดตรวจจับ

การเลือกดูข้อมูลจาก Address ของจุดตรวจจับ เลือกโดยที่ Tab Node ดังรูป



ภาพที่ 47 การเลือก Tab Node

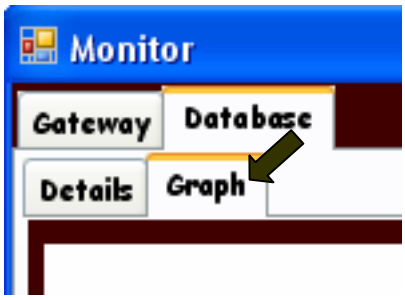
เมื่อเลือก Tab Node แล้วจะได้ดังรูป

ภาพที่ 48 การเลือกดูข้อมูลจาก Address ของจุดตรวจจับ

เมื่อต้องการเรียกดูข้อมูลจาก Address ของจุดตรวจจับ ผู้ใช้ต้องเลือก Node Id และ Type of Sensor แล้วจึงกดปุ่ม Get Data From Database

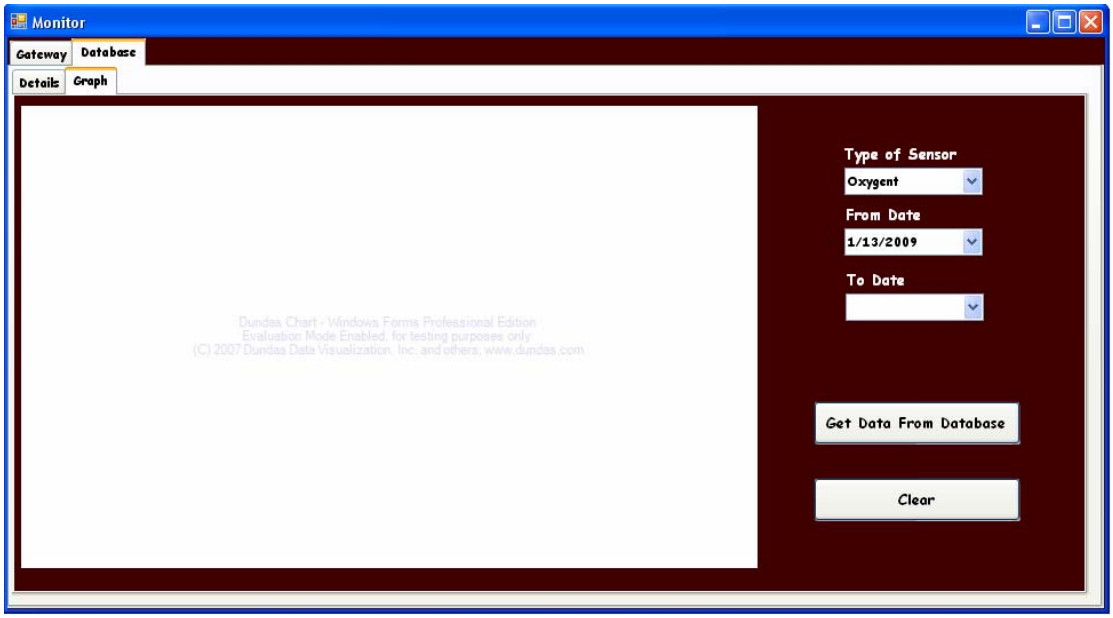
ข. Monitor แบบกราฟ

การแสดงข้อมูลแบบกราฟ ต้องเลือก Tab Graph ดังรูป



ภาพที่ 49 การเลือก Tab Graph

เมื่อเลือก Tab Graph แล้ว จะเข้าสู่ส่วนแสดงข้อมูลแบบกราฟ ดังรูป



ภาพที่ 50 ส่วนแสดงข้อมูลแบบกราฟ

เมื่อเข้าสู่ส่วนแสดงข้อมูลแบบกราฟ ผู้ใช้ต้องเลือก Type of Sensor และเลือกวันที่ต้องการดูข้อมูล แล้วกดปุ่ม Get Data From Database

2. Management Network

ในส่วน Management Network จะแบ่งการจัดการออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรก คือ Management Network และส่วนที่สองคือ Control Switch

2.1 Management Network

การ Management Network แบ่งออกอีกเป็น 3 ส่วน คือ Add New User, Add New Sensor และส่วนสุดท้ายคือ Set Periodic

2.1.1 Add New User

เมื่อผู้ใช้ต้องการเพิ่มผู้มีสิทธิ์ในการเข้าใช้ระบบ เมื่อเข้าหน้า Manage Network กดปุ่ม Add New User ก็จะเข้าสู่หน้า Add New User เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลผู้ใช้ใหม่ที่ต้องการเพิ่ม แล้วกดปุ่ม OK

2.1.2 Add New Sensor

เมื่อผู้ใช้ต้องการเพิ่มชนิดของตัวตรวจจับใหม่ เมื่อเข้าหน้า Manage Netwrok กดปุ่ม Add Type of Sensor ก็จะเข้าสู่หน้า Add New Sensor เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลชนิดของตัวตรวจจับใหม่ แล้วกดปุ่ม OK

2.1.3 Set Periodic

เมื่อผู้ใช้ต้องการตั้งค่าเวลาในการส่งข้อมูลของตัว Network Adapter เมื่อเข้าหน้า Manage Network กดปุ่ม Set Pericdic ก็จะเข้าสู่หน้า Periodic Set ผู้ใช้ต้องกำหนดพอร์ต และอัตราการส่งข้อมูลแล้วกดปุ่ม Connect จากนั้น ให้ผู้ใช้เลือกค่าเวลาที่ต้องการให้มีการส่งค่าข้อมูลจาก Network Adapter โดยที่เวลามีหน่วนเป็นนาที แล้วกดปุ่ม OK

2.2 Control Switch

เมื่อผู้ใช้ต้องการควบคุมสวิตช์ ผู้ใช้ต้องเลือกพอร์ต และอัตราการส่งขอ้มูล แล้วกดปุ่ม Connect และเมื่อผู้ใช้ต้องการจะตรวจสอบสถานะล่าสุดของสวิตช์ ผู้ใช้ต้องเลือก Node Address

และกดปุ่ม Status เมื่อต้องการเปิดสวิตช์ ให้ผู้ใช้กดปุ่ม Turn On และเมื่อผู้ใช้ต้องการปิดสวิตช์ ให้ผู้ใช้กดปุ่ม Turn Off

ผลและวิจารณ์

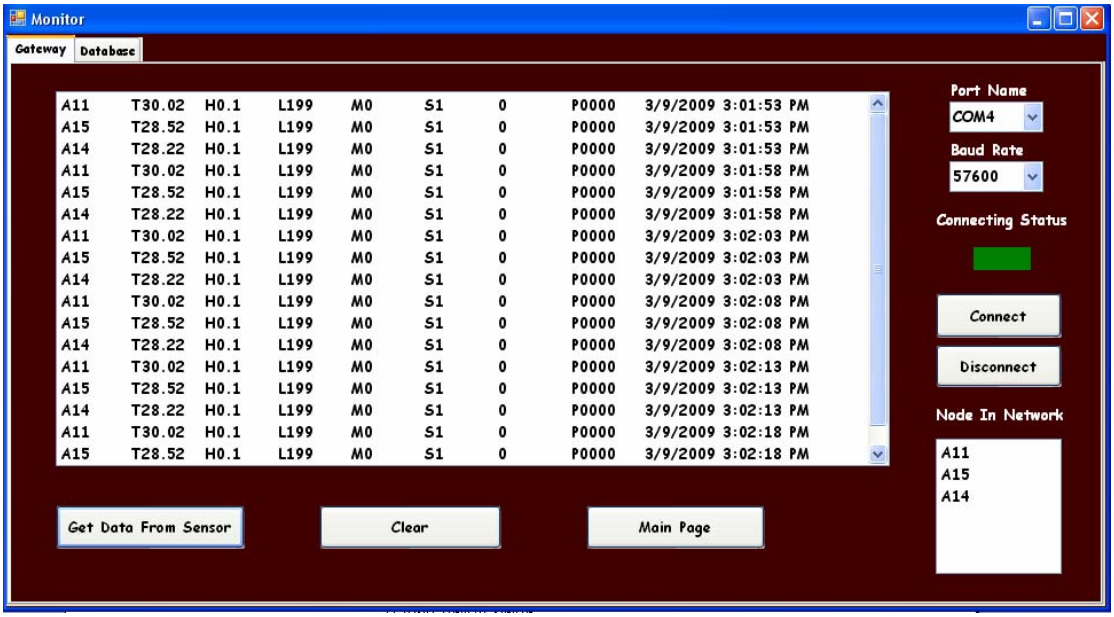
ผล

การทดลองระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย ให้ทำงานได้ครบตามฟังก์ชั่นที่กำหนดไว้ และออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลอง Monitoring และการทดลอง Management

1. การทดลอง Monitoring

1.1 การ Monitoring จาก Network Adapter

ผู้ใช้ทำการลงชื่อเข้าใช้ระบบ Monitoring และเข้าสู่ส่วน Monitoring ผู้ใช้ทำการเลือกพอร์ต และอัตราการส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรม และNetwork Adapter และทำการกดปุ่ม Connect เมื่อNetwork Adapterส่งข้อมูลมาจะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 51 ผลการ Monitoring จาก Network Adapter

1.2 การ Monitoring จาก Database

การ Monitoring จาก Database แบ่งเป็นการดูข้อมูลแบบ Details และแบบกราฟ

1.2.1 การเลือกดูข้อมูลแบบ Details

ก. เลือกข้อมูลจาก Type of Sensor

มีขั้นตอนดังนี้

1) เลือก Tab Database

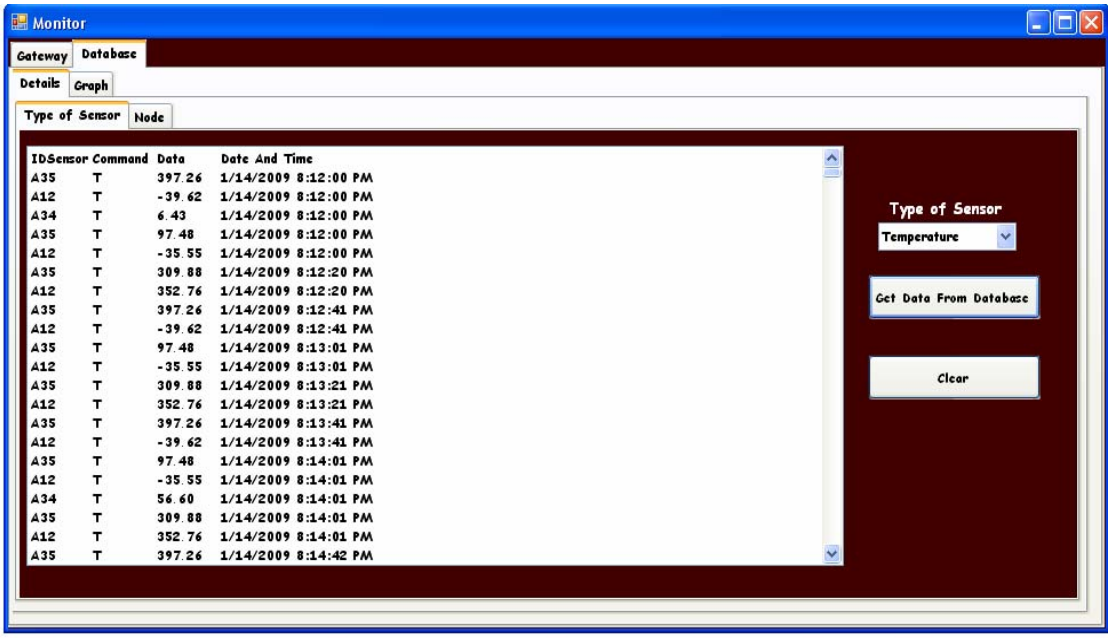
2) เลือก Tab Details

3) เลือก Tab Type of Sensor

4) เลือก Type of Sensor

5) กดปุ่ม Get Data From Database

จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 52 ผลจากการเลือกดูข้อมูลแบบ Type of Sensor

ข. เลือกข้อมูลจาก Address of Node

มีขั้นตอนดังนี้

1) เลือก Tab Database

2) เลือก Tab Details

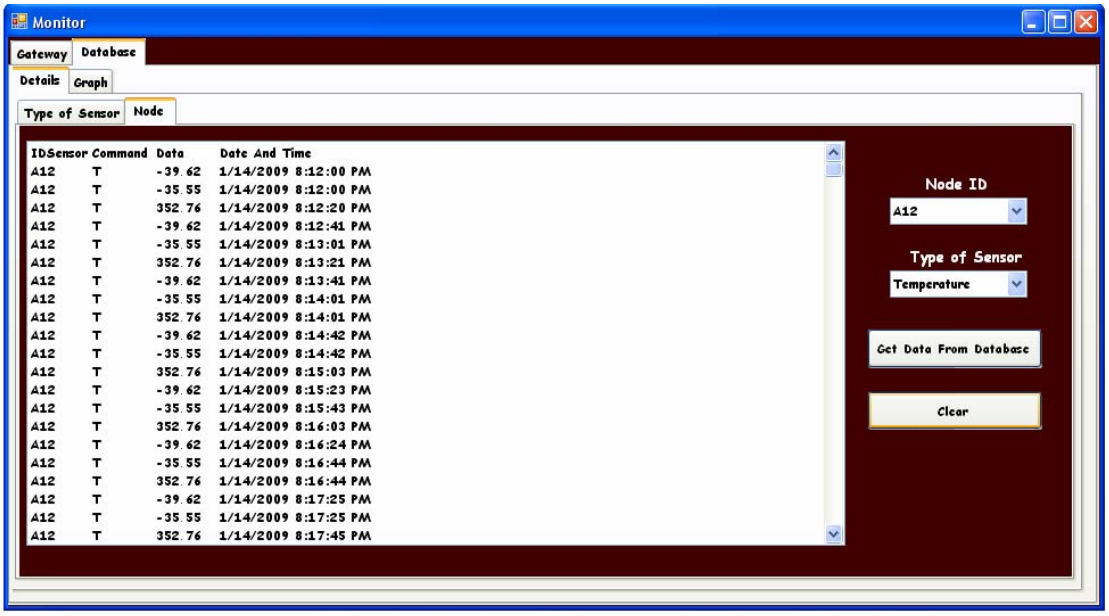
3) เลือก Tab Node

4) เลือก Node ID

5) เลือก Type of Sensor

6) กดปุ่ม Get Data From Database

จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 53 ผลจากการเลือกดูข้อมูลแบบ Address of Node

1.2.2 การเลือกดูข้อมูลแบบ Graph

การเลือกดูข้อมูลแบบ Graph มีขั้นตอนดังนี้

1) เลือก Tab Graph

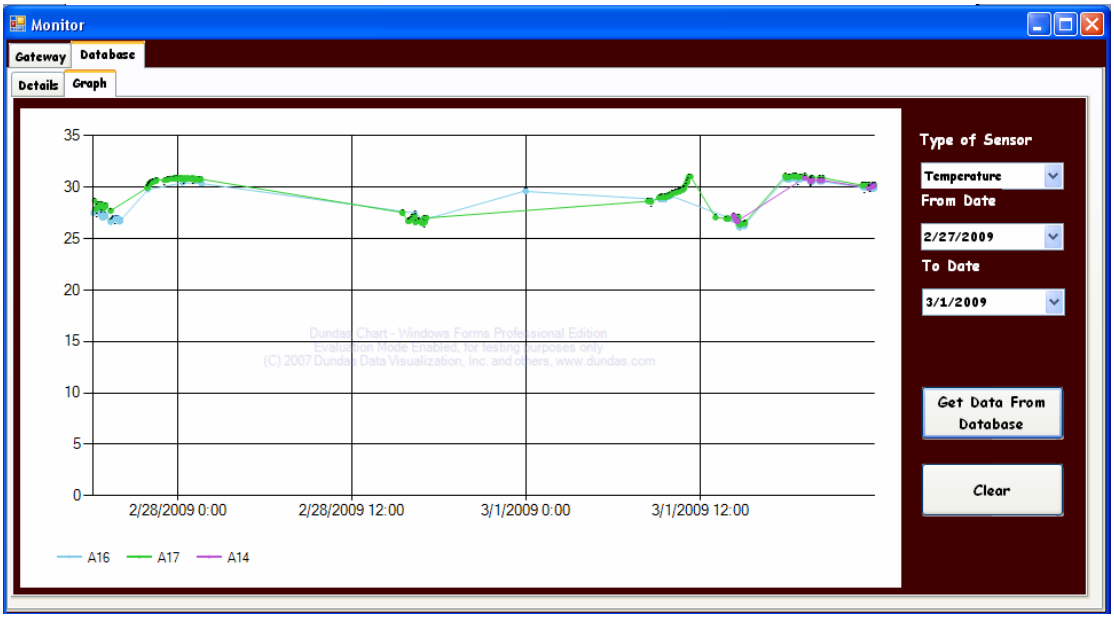
2) เลือก Type of Sensor

3) เลือกวันที่ต้องการเริ่มดูข้อมูลที่ From Date

4) เลือกวันที่ต้องการสิ้นสุดการดูข้อมูลที่ To Date

5) กดปุ่ม Get Data From Database

จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 54 ผลการเลือกดูข้อมูลแบบ Graph

2. การทดลอง Management

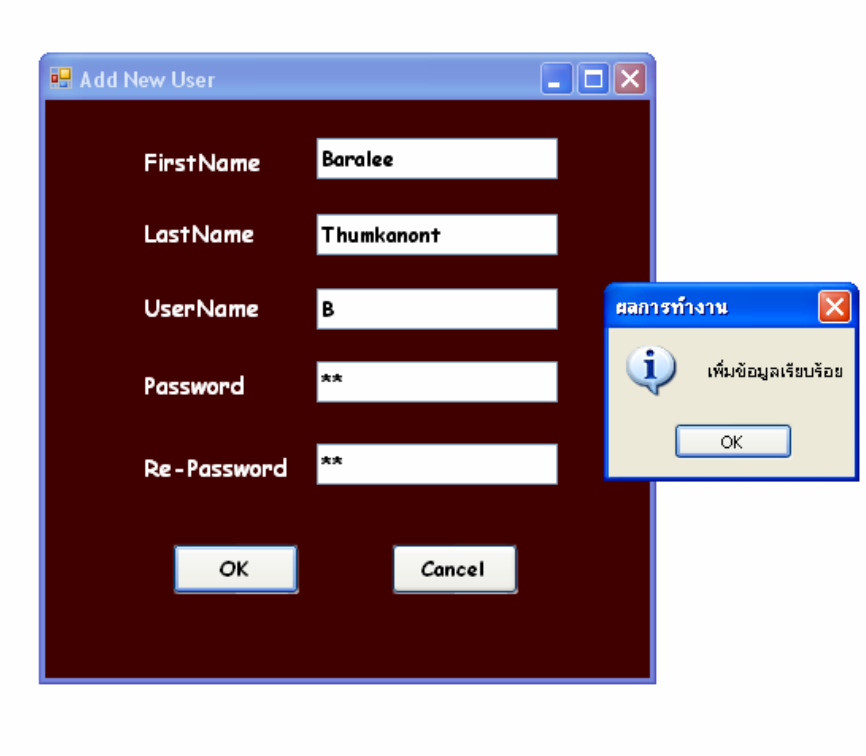
2.1 Manage Network

ผู้ใช้ทำการลงชื่อเข้าใช้ระบบ Management และเข้าสู่ส่วน Management ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Manage Network และ Control Switch

2.1.1 Manage Network

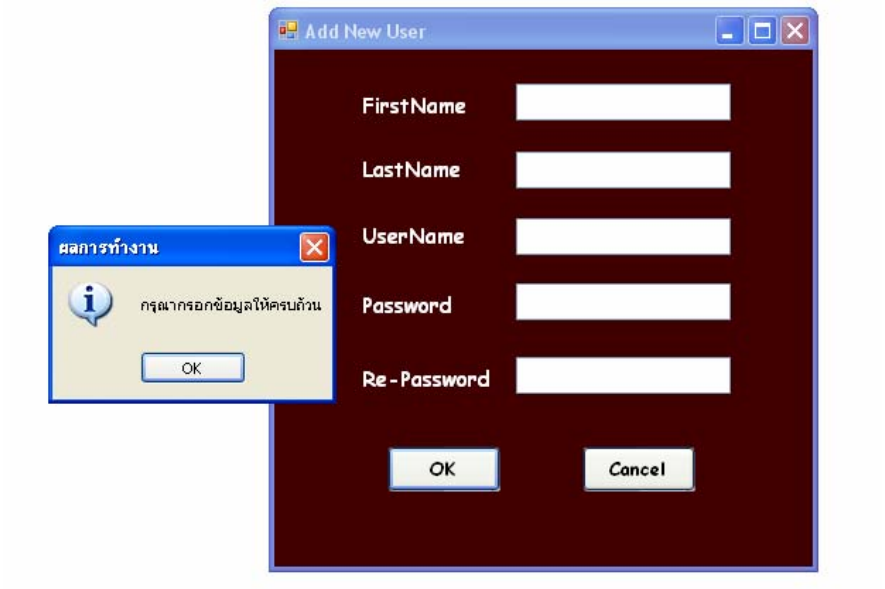
1) Add New User

เมื่อกดปุ่ม Add New User จะปรากฏหน้าจอเพื่อกรอกข้อมูล เมื่อผู้ใช้ได้ทำกรอกข้อมูลเสร็จ และ ทำการกดปุ่ม OK ถ้าการ Add New User สำเร็จจะได้ผลดังนี้



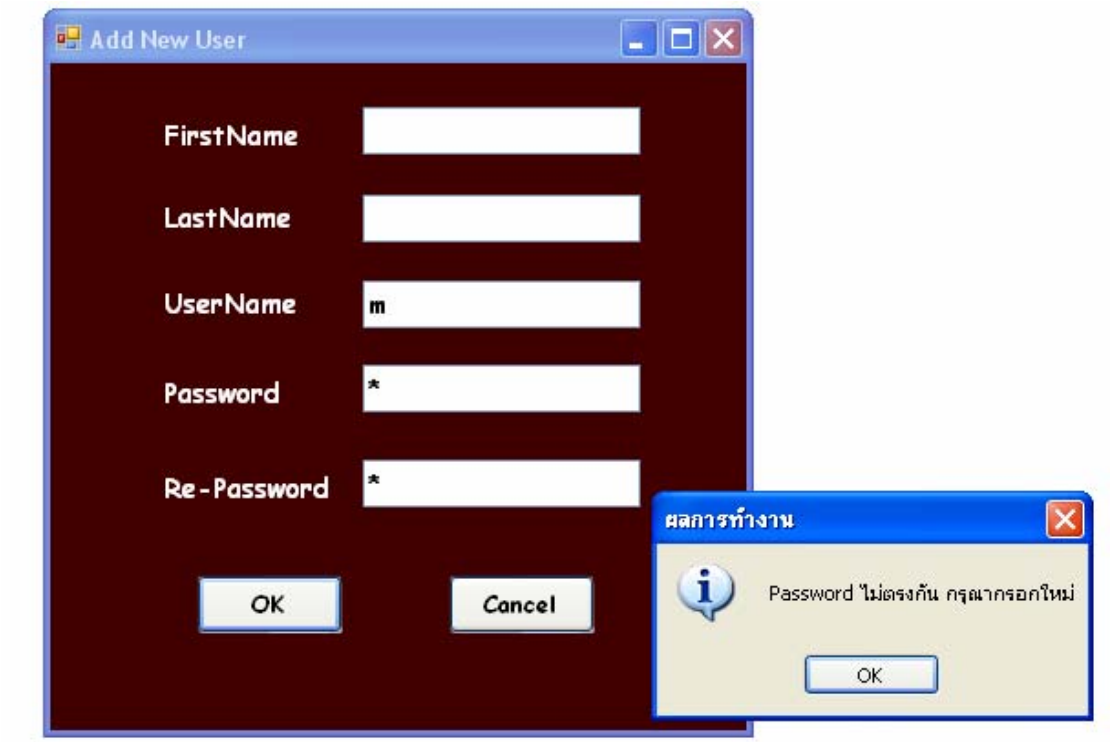
ภาพที่ 55 ผลการ Add New User เมื่อสำเร็จ

แต่หากผู้ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบ เมื่อกดปุ่ม OK จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 56 ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบ

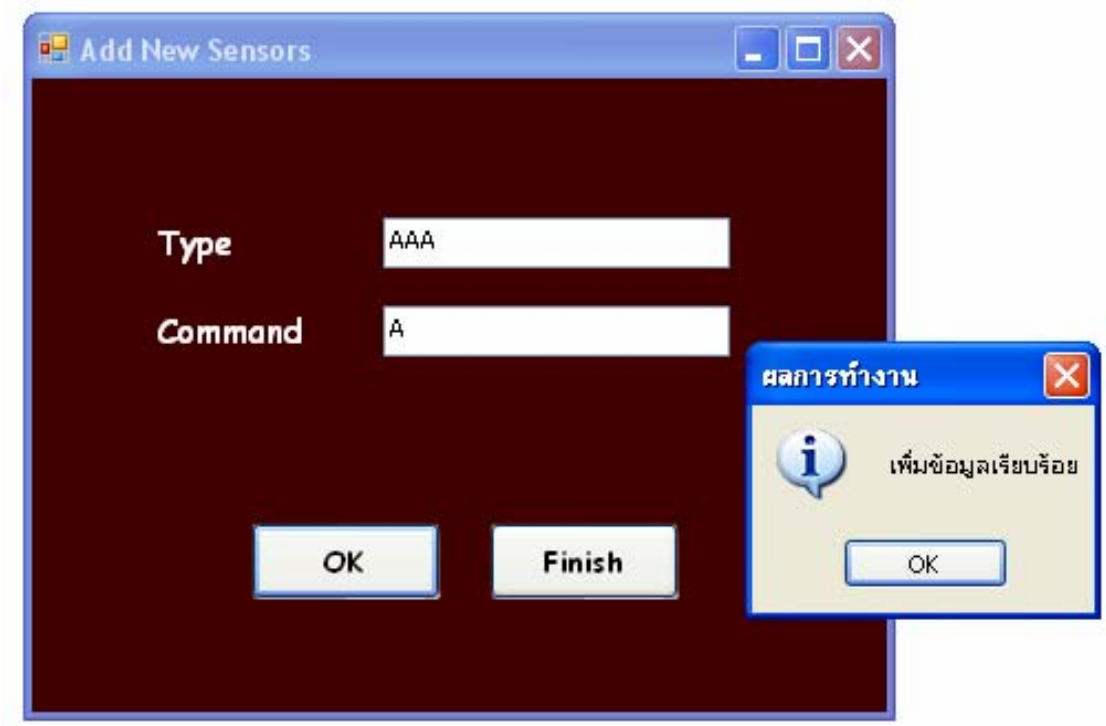
และหากผู้ใช้กรอกข้อมูล Password และ Re-Password ไม่ตรงกัน เมื่อกดปุ่ม OK จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 57 ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูล Password และ Re-Password ไม่ตรงกัน

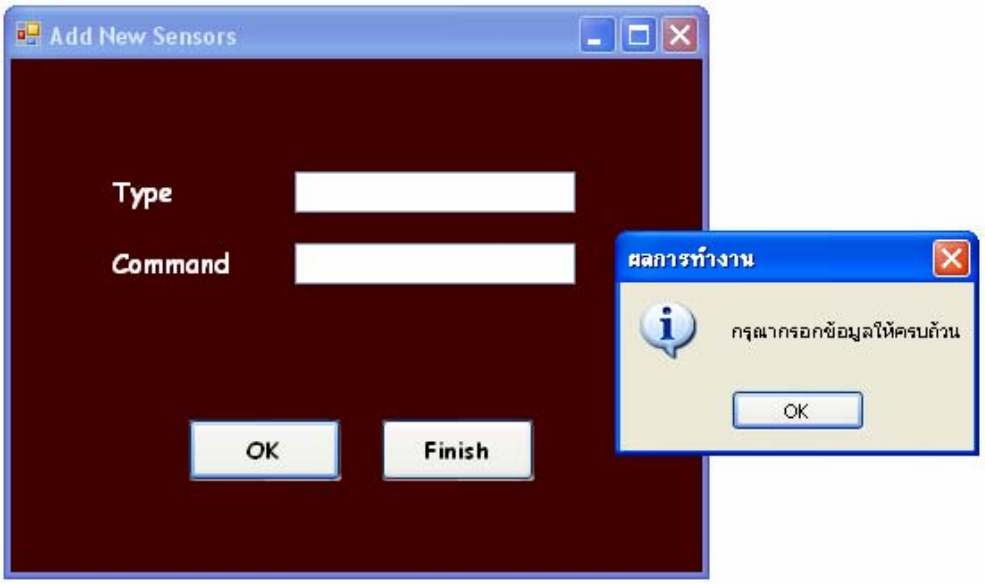
2) Add Type of Sensor

เมื่อกดปุ่ม Add Type of Sensor จะเข้าสู่หน้าการกรอกข้อมูล เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูล และกดปุ่ม OK จะได้ผลดังนี้



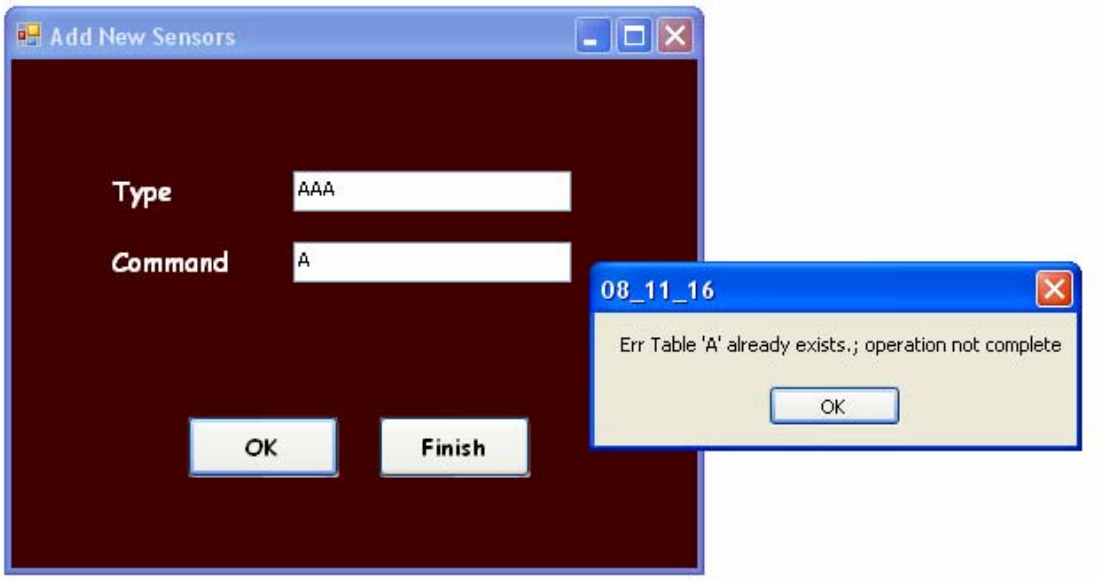
ภาพที่ 58 ผลเมื่อ Add Type of Sensor สำเร็จ

แต่หากผู้ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบ แล้วกดปุ่ม OK จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 59 ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบ

แต่หากผู้ใช้กรอกข้อมูลซ้ำ แล้วกดปุ่ม OK จะได้ผลดังนี้

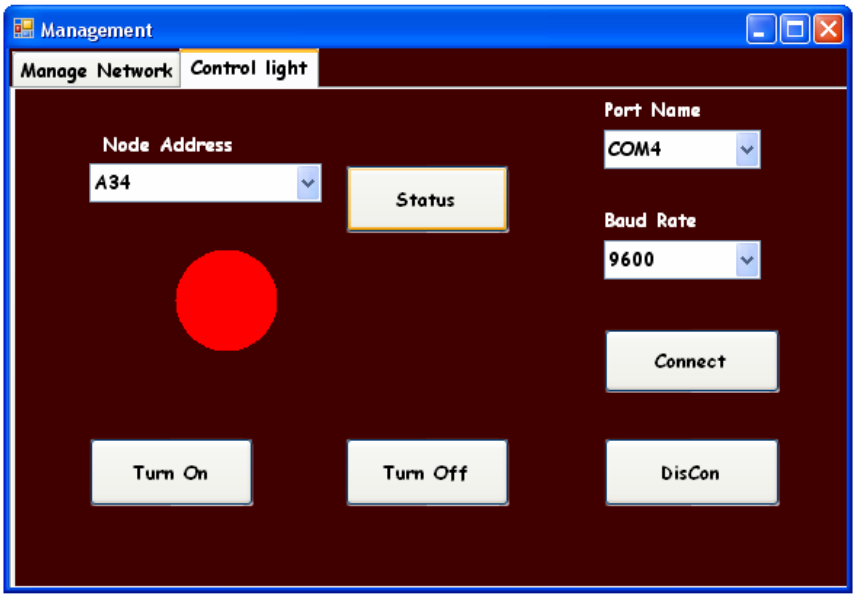


ภาพที่ 60 ผลเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลซ้ำ

2.1.2 Control Switch

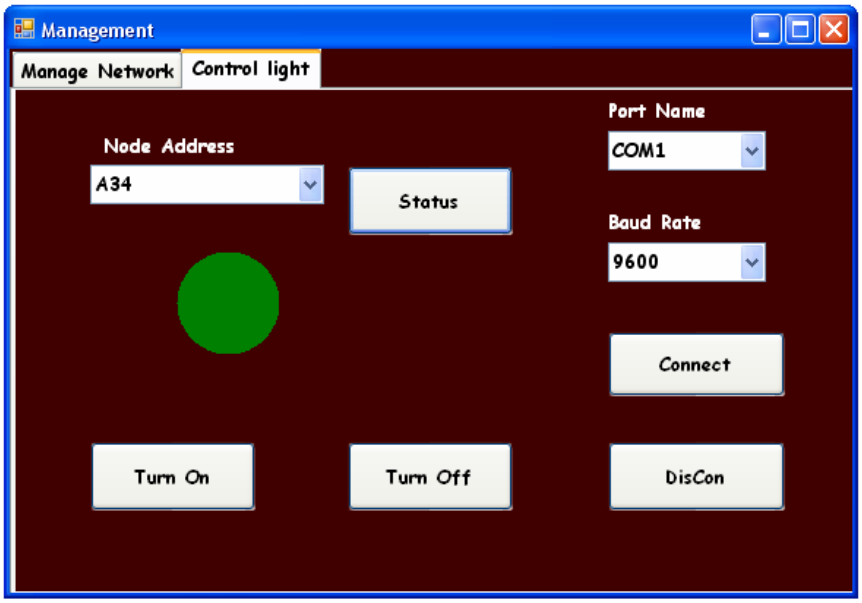
ก. การตรวจสอบสถานะสวิตช์

เลือก Node Address และกดปุ่ม Status ถ้าสวิตช์ที่ Node Address ที่เลือกนั้นมีสถานะเปิดอยู่ จะได้ผลดังนี้



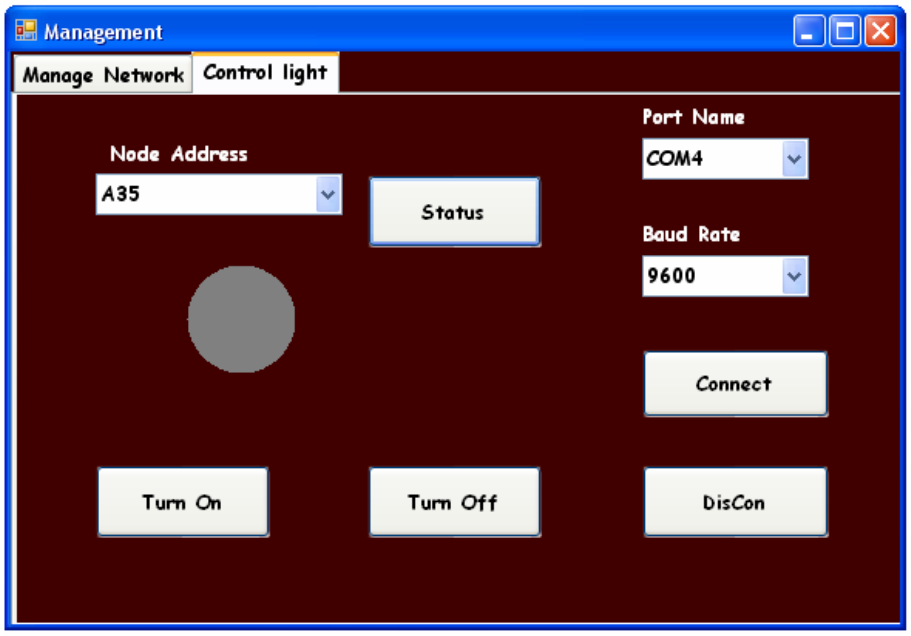
ภาพที่ 61 ผลการตรวจสอบสถานะของสวิตช์เมื่อเปิดอยู่

ถ้าสวิตช์ที่ Node Address ที่เลือกนั้นมีสถานะปิดอยู่ จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 62 ผลการตรวจสอบสถานะของสวิตช์เมื่อปิดอยู่

ถ้าที่ Node Address ที่เลือกนั้นไม่มีอุปกรณ์สวิตช์ จะได้ผลดังนี้



ภาพที่ 63 ผลการตรวจสอบสถานะของ Node ที่ไม่มีสวิตช์

ข. การเปิด/ปิด สวิตช์

ขั้นตอนการทำการทดลองดังนี้

1) ทำการเลือกพอร์ต และอัตราการส่งข้อมูล และกดปุ่ม Connect

2) เลือก Node Address และกดปุ่ม Status เพื่อตรวจสอบสถานะก่อน

3) ถ้าสถานะเป็น ปิด และผู้ใช้ต้องการเปิด ก็ให้กดปุ่ม Turn On แต่ถ้าสถานะเป็นเปิด และผู้ใช้ต้องการปิด ก็ให้กดปุ่ม Turn Off สถานะของไฟแสงสว่างจะเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ และจะแสดงผลดังตัวอย่างด้านบน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

โปรแกรมระบบตรวจวัด และบริหารจัดการระบบเครือข่ายตรวจจับแบบไร้สาย สามารถใช้ได้จริง ต้องตรวจวัด และบริหารจัดการตามที่ได้มีการตกลงไว้ ยังไม่สามารถจัดการคำสั่งในการทำงานภายในโปรแกรมได้ จึงยังไม่สามารถตรวจวัดในรูปแบบของเฟรมข้อมูลที่แตกต่างออกไป รวมทั้งยังไม่สามารถจัดการอุปกรณ์ทุกตัวในระบบได้ทั้งหมด

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาการทำงานของโปรแกรมที่ใช้เขียนเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะสามารถเพิ่มความสามารถของโปรแกรมให้สามารถที่จะจัดการคำสั่งในการทำงานภายในโปรแกรมได้ เพื่อจะสามารถตรวจวัดในรูปแบบของเฟรมข้อมูลที่ต้องการ โดยไม่ต้องเป็นเพียงตามข้อกำหนดที่ตกลงไว้ได้ และเพื่อจะสามารถจัดการอุปกรณ์ทุกตัวในระบบได้ทั้งหมด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Bae, Ji-Hye, Yoon-Young Park and Kyung-Oh Lee. 2006. MONETA: An Embedded Monitoring System for Ubiquitous Network Environments, pp. Vol. 52, No. 2,414-419. *In* **IEEE Transactions on Consumer Electronics** .

Callaway, Edgar H., 2003. **Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols.** Auerbach Publications,

Römer, Kay and Friedemann Mattern. 2004. The Design Space of Wireless Sensor Networks, pp. 54-61. *In* **IEEE Wireless Communications 11. ed.**

Hadim, Salem and Nader Mohamed. 2006. Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks, *In* **IEEE Distributed Systems Online 7. ed.**

Santini, Silvia and Andrea Vitaletti. 2007. Wireless Sensor Networks for Environmental Noise Monitoring, *In* **IEEE** .

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวบราลี ทุมกานนท์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 6 ธันวาคม 2520
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	