# ระบบตรวจสอบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้สูงอายุ
# Internet-based Monitoring System for Elderly People


กมลภพ บุญชม
KAMONPOP BOONCHOM
คมสันต์ แหวนวิเศษ
KOMSAN WAENWISET
ฐิติพงษ์ ธงรัตนะ
TITIPONG TONGRATTANA


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2557

# ระบบตรวจสอบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้สูงอายุ

# Internet-based Monitoring System for Elderly People


กมลภพ บุญชม

KAMONPOP BOONCHOM

คมสันต์ แหวนวิเศษ

KOMSAN WAENWISET

ฐิติพงษ์ ธงรัตนะ

TITIPONG TONGRATTANA


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Internet-based Monitoring System for Elderly People

BY

Mr. KAMONPOP BOONCHOM

Mr. KOMSAN WAENWISET

Mr. TITIPONG TONGRATTANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองปริญญานิพนธ์**

---

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | ระบบตรวจสอบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้สูงอายุ |
| **Thesis Title** | Internet-based Monitoring System for Elderly People |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายกมลภพ บุญชม รหัสนักศึกษา 54010013 |
| | นายคมสันต์ แหวนวิเศษ รหัสนักศึกษา 54010154 |
| | นายฐิติพงษ์ ธงรัตนะ รหัสนักศึกษา 54010363 |
| **ระดับปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมสารสนเทศ |
| **ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา** | 2557 |

(.....)

(ผศ.ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์)

**อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | ระบบตรวจสอบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้สูงอายุ |
| **Thesis Title** | Internet-based Monitoring System for Elderly People |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายกมลภพ บุญชม รหัสนักศึกษา 54010013 |
| | นายคมสันต์ แหวนวิเศษ รหัสนักศึกษา 54010154 |
| | นายฐิติพงษ์ ธงรัตนะ รหัสนักศึกษา 54010363 |
| **ระดับปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมสารสนเทศ |
| **ปีการศึกษา** | 2557 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์** | ผศ.ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ |


## บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการนำเอาเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดและเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการดูแล เฝ้าระวัง สังเกตการณ์ หาตำแหน่งของผู้สูงอายุที่อยู่ในห้องหรือดูสภาพแวดล้อมภายในห้อง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นจะมีรูปแบบการใช้งานได้ 2 แบบ คือแบบบังคับด้วยตัวเองและแบบทำงานอัตโนมัติ ซึ่งโครงงานนี้จะช่วยให้เราสามารถทราบถึงความเป็นอยู่ของผู้สูงอายุได้อย่างสะดวกสบาย




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **Thesis Title** | Internet-based Monitoring System for Elderly People | |
| **Student** | Mr. KAMONPOP BOONCHOM | Student ID. 54010013 |
| | Mr. KOMSAN WAENWISET | Student ID. 54010154 |
| | Mr. TITIPONG TONGRATTANA | Student ID. 50010363 |
| **Degree** | Bachelor of Engineering | |
| **Program** | Information Engineering | |
| **Academic Year** | 2557 | |
| **Thesis Advisor** | Asst.Prof.Dr. Panarat Cherntanomwong | |


## ABSTRACT

This project proposes the internet-based monitoring system for elderly people by combining of CCTV technology and wireless sensor technology on the purpose of locating and monitoring elder people in the room and overall circumstances through internet. This system has 2 modes of usage; manual and automatic modes. This project helps taking care of elderly people and making it more convenient.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นจนเป็นผลสำเร็จได้ด้วยดี เพราะความร่วมมือของคณะผู้จัดทำ และความกรุณาจาก ผศ.ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน ชี้แนวทางให้คำปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอด และขอขอบคุณอาจารย์ทุกๆท่านที่คอยอบรมสั่งสอน และให้ความรู้ หากขาดบุคคลดังกล่าวแล้วคณะผู้จัดทำคงไม่สามารถที่จะทำชิ้นงานนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังกาย กำลังใจในการทำงาน

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุด นั่นคือ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวซึ่งได้ดูแลเอาใจใส่ คอยอบรมสั่งสอน พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ ให้กำลังใจและความรักเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งที่ได้เอ่ยนาม และมิได้เอ่ยนาม สุดท้ายนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะเป็นแนวทางและเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ เพื่อเป็นการนำไปใช้หรือประยุกต์ใช้งานต่อไป

คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กมลภพ บุญชม

คมสันต์ แหวนวิเศษ

ฐิติพงษ์ ธงรัตนะ

วิศวกรรมสารสนเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... II

กิตติกรรมประกาศ ..... III

สารบัญ ..... IV

สารบัญตาราง ..... VI

สารบัญรูป ..... VII

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 3

1.3 ขอบเขตของโครงงาน ..... 3

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้ ..... 3

1.5.1 ฮาร์ดแวร์ ..... 3

1.5.2 ซอฟต์แวร์ ..... 4

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ..... 5

2.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ..... 5

2.1.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ..... 6

2.1.2 หลักการสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ..... 8

2.1.3 หลักการคำนวณองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ ..... 9

2.2 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ..... 10

2.3 องค์ประกอบเครือข่าย ..... 11

2.3.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ..... 11

2.3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ ..... 11

2.3.1.2 Network Card ..... 11

2.3.1.3 บริดจ์ (Bridge) ..... 13

2.3.1.4 สวิตช์ (Switch) ..... 13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.3.1.5 เราท์เตอร์ (Router) ....13
2.3.1.6 Gateway....14
2.3.2 ซอฟต์แวร์ (Software) ....14
2.3.3 โปรโตคอล (Protocol) ....15
2.3.4 โทโพโลยี (Topology) ....15
2.4 เครือข่ายระยะใกล้ (LAN: Local Area Network) ....17
2.5 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ระยะไกล (WAN: Wide Area Network) ....18
2.6 การเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ....18
2.6.1 หมายเลขอินเทอร์เน็ตหรือหมายเลขไอพี (IPnumber) ....18
2.6.2 ชื่ออินเทอร์เน็ต (Domain Name Server) ....18
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ....19
2.7.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ ATmega2560 ....19
2.8 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication) ....21
2.8.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) ....22
2.8.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ....22
2.9 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART ....23
2.10 เทคโนโลยีการสื่อสารระยะใกล้ ....24
2.10.1 ความเป็นมาของการสื่อสารระยะใกล้ ....24
2.10.2 ความหมายและประเภทของการสื่อสารระยะใกล้ ....24
2.11 ความหมายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย....25
2.11.1 สถาปัตยกรรมเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย....25
2.11.1.1 ลักษณะของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย....26
2.11.1.2 หน่วยร่วมเซนเซอร์....27
2.11.1.2.1 กลุ่มส่วนประกอบหลัก....27
2.11.1.2.2 กลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติม....28
2.11.1.3 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย....29
2.11.1.3.1 โปรโตคอลสแตก (Protocol Stack)....29


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.12 เทคโนโลยีซิกบี (ZigBee Technology) .....30
2.12.1 คุณสมบัติซิกบี .....30
2.12.2 ลักษณะของซิกบี .....30
2.12.3 การรับส่งข้อมูลเบื้องต้น .....30
2.12.4 โครงสร้างเครือข่าย (Network Topology) .....31
2.12.4.1 การเชื่อมต่อแบบดาว (Star Topology) .....31
2.12.4.2 การเชื่อมต่อแบบระดับเดียว (Peer-to-Peer Topology).....32
2.12.5 สถาปัตยกรรมของซิกบี .....33
2.12.6 การประยุกต์ใช้งานซิกบี .....34
2.13 โมดูลเอ็กซ์บี (XBee Module) .....35
2.13.1 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์เอ็กซ์บี .....35
2.13.1.1 การเชื่อมต่อแบบ Broadcast .....35
2.13.1.2 การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree .....36
2.13.1.3 การเชื่อมต่อแบบ Mesh .....36
2.13.2 ลักษณะเด่นของโมดูลเอ็กซ์บี .....37
2.13.2.1 กำลังส่งสายอากาศและสัญญาณรบกวนของโมดูลเอ็กซ์บี.....37
2.13.2.2 การกำหนดแอดเดรสของเอ็กซ์บี.....38
2.13.2.2.1 โหมดการทำงานของโมดูลเอ็กซ์บี.....38
2.13.2.3 Data Throughput ของโมดูลเอ็กซ์บี.....39
2.13.2.4 ระบบการทำงานของซิกบี.....40
2.13.2.5 รูปแบบเฟรมที่ใช้ในการสื่อสารในระดับชั้นเน็ตเวิร์กเลเยอร์.....40
2.13.2.6 การส่งข้อมูลในรูปแบบเอพีไอ .....41
2.13.2.6.1 รูปแบบของ API Frame .....41
2.13.2.7 AT Command.....42
2.13.2.7.1 AT Command Queue Parameter Value.....42
2.13.2.7.2 AT Command Response.....43
2.13.2.8 Tx (Transmit) Request: 64-bit address.....43


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.13.2.9 Tx (Transmit) Request: 16-bit Address....44
2.13.2.10 Tx (Transmit) Status....44
2.13.2.11 RX (Receive) Packet 64-bit address....45
2.13.2.12 RX (Receive) Packet 16-bit address....46
2.14 ประเภทของการระบุตำแหน่งเป้าหมายภายในอาคาร....46
2.15 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายภายในอาคาร....48
2.15.1 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยเวลาที่มาถึงของสัญญาณ....48
2.15.2 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยการใช้ความแตกต่างของเวลา....49
2.15.3 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้ความเข้มของสัญญาณที่รับได้....51
2.15.4 วิธีการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยการวัดมุม....52
2.15.5 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินท์....53

บทที่ 3 การออกแบบ....54
3.1 ส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์....54
3.1.1 บอร์ดควบคุม....54
3.1.2 มอเตอร์ควบคุมการหมุนของกล้อง....54
3.1.3 ส่วนการออกแบบโครงสร้างของฐานกล้อง....55
3.1.4 กล้องที่ใช้ในการตรวจสอบ....56
3.1.5 เซนเซอร์ไร้สาย....56
3.1.6 ฐานจ่ายพลังงานให้กับ Zigbee Sensor....57
3.1.7 บอร์ดควบคุมอุปกรณ์ Zigbee Sensor ตำแหน่งเป้าหมาย....57
3.1.8 การส่งข้อมูลในรูปแบบของ API....58
3.1.9 รูปแบบของ API Frame....58
3.1.10 AT Command....59
3.1.11 AT Command Queue Parameter Value....60
3.1.12 AT Command Response....60
3.1.13 Tx (Transmit) Request: 64-bit address....61
3.1.14 Tx (Transmit) Request: 16-bit address....61
3.1.15 Tx (Transmit) Status....62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


3.1.16 RX (Receive) Packet 64-bit address .....62
3.1.17 RX (Receive) Packet 16-bit address .....63
3.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ .....64
3.2.1 หน้าจอฝั่งเซิร์ฟเวอร์ .....64
3.2.2 หน้าจอเว็บแอพพลิเคชั่นฝั่งไคลเอนต์ .....66
3.3 บทสรุป .....67

บทที่ 4 ผลการทดลอง .....68
4.1 ทดสอบการควบคุมกล้องวงจรปิดแบบควบคุมโดยผู้ใช้งาน.....68
4.2 ส่วนการควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ต.....71
4.3 ทดลองทำการแสดงภาพและออนไลน์.....73
4.4 ทดสอบการสื่อสารข้อมูลผ่านทาง XBee .....75
4.5 ทดสอบการสื่อสารข้อมูลผ่านทาง XBee โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม.....77
4.6 ทดลองการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณแต่ละตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์.....80
4.7 ทดลองเรื่องการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ .....85
4.8 ทดลองหาค่าองศาในการควบคุมกล้อง .....92
4.9 ส่วนของการหมุนกล้องอัตโนมัติ .....96

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล .....100
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน .....100
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน .....100
5.2.1 ปัญหาที่พบ .....100
5.2.2 แนวทางแก้ไข .....101
5.3 สิ่งที่สามารถนำไปพัฒนาต่อในอนาคต .....101
บรรณานุกรม ..... 102
ภาคผนวก.....103



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

1.1 ภาพรวมระบบ ....2

2.1 เซอร์โวมอเตอร์ ....5

2.2 มุมในการหมุนจะจำกัดที่ 180 องศาเท่านั้น ....6

2.3 การต่อใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ ....6

2.4 แสดงความกว้างของสัญญาณที่มีผลต่อการหมุนของมอเตอร์ ....7

2.5 จำนวนสัญญาณพัลส์มีผลต่อองศาของเซอร์โวมอเตอร์ ....8

2.6 แสดงการปรับความกว้างของพัลส์ของสัญญาณที่คงที่ ....8

2.7 แสดงการปรับความกว้างของพัลส์ของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอด ....9

2.8 ทิศทางการสื่อสารข้อมูล ....10

2.9 การเชื่อมต่อแบบ Peer-to-Peer Networking ....11

2.10 การเชื่อมต่อแบบ Server-based Networking ....12

2.11 การเชื่อมต่อเครือข่ายโดยใช้ Bridge ....13

2.12 การเชื่อมเครือข่ายโดยใช้ Switch ....13

2.13 ระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่อกันโดยผ่าน Router ....14

2.14 ตำแหน่งขาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega2560 ....20

2.15 สถาปัตยกรรมภายในคอนโทรลเลอร์เบอร์ Atmega2560 ....21

2.16 ลักษณะสัญญาณของการสื่อสารแบบซิงโครนัส ....22

2.17 ลักษณะสัญญาณของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส ....23

2.18 โครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ....26

2.19 ส่วนประกอบของหน่วยร่วมเซนเซอร์ ....27

2.20 ระดับชั้นโปรโตคอลของเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย ....28

2.21 ย่านความถี่ที่ใช้งาน ....31

2.22 การเชื่อมต่อแบบดาวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ....32

2.23 การเชื่อมต่อแบบแบบระดับเดียวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ....32

2.24 สถาปัตยกรรมของซิกบี ....33

2.25 การเชื่อมต่อแบบ Broadcast ....36

2.26 การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree ....36

2.27 การเชื่อมต่อแบบ Mesh ....37

2.28 โมดูลเอ็กซ์บี ....37

2.29 สายอากาศแบบ Whip และสายอากาศแบบ Chip ....38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.30 Internal Data Flow Diagram .....39
2.31 ภาพโดยรวมของระบบการทำงานของโมดูลเอ็กซ์บี .....40
2.32 รายละเอียดของแพคเกตขนาด 8 ไบต์ .....40
2.33 รูปแบบ API Packet frame .....41
2.34 รูปแบบ API Packet frame ประเภท AT Command .....42
2.35 API Packet Frameประเภท AT Command Queue Parameter Value .....43
2.36 รูปแบบ API Packet Frame ประเภท AT Command Response .....43
2.37 รูปแบบ API Packet Frame ประเภท Tx (Transmit) Request: 64-bit Address .....44
2.38 รูปแบบ API Packet Frame ประเภท Tx (Transmit) Request: 16-bit address .....44
2.39 รูปแบบ API Packet Frame ประเภท Tx (Transmit) .....45
2.40 รูปแบบ API Packet Frame ประเภท RX (Receive) Packet 64-bit Address .....45
2.41 รูปแบบ API Packet Frame ประเภท RX (Receive) Packet 16-bit Address .....46
2.42 ประเภทของการระบุตำแหน่งเป้าหมายภายในอาคาร .....46
2.43 การระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการแบบ ToA .....48
2.44 การระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการแบบ TDoA .....49
2.45 การระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการแบบ AoA .....52
2.46 กระบวนการขั้นตอนการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินท์ .....53
3.1 Arduino Mega 2560 .....54
3.2 เซอร์โวมอเตอร์ .....55
3.3 โครงสร้างของฐานกล้อง .....55
3.4 Zigbee / 802.15.4 .....56
3.5 ฐานจ่ายพลังงานให้กับ Zigbee Sensor .....57
3.6 CP-PIC V3/877 .....57
3.7 แสดงรูปแบบของ API Packet frame .....58
3.8 แสดงรูปแบบของ API Packet frame ประเภท AT Command .....59
3.9 แสดงรูปแบบของ API Packet frameประเภท AT Command Queue Parameter Value .60
3.10 แสดงรูปแบบของ API Packet frame ประเภท AT Command Response .....60
3.11 แสดงรูปแบบของ API Packet frame ประเภท Tx (Transmit) Request: 64-bit .....61
3.12 แสดงรูปแบบของ API Packet frame ประเภท Tx (Transmit) Request: 16-bit .....62
3.13 แสดงรูปแบบของ API Packet frame ประเภท Tx (Transmit) .....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)


รูปที่ หน้า

3.14 แสดงรูปแบบของ API Packet frame ประเภท RX (Receive) Packet 64-bit .....63

3.15 แสดงรูปแบบของ API Packet frame ประเภท RX (Receive) Packet 16-bit .....63

3.16 แสดงหน้าจอโปรแกรมฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ขณะรันโปรแกรม .....64

3.17 แสดงหน้าจอโปรแกรมฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ขณะเชื่อมต่อกับกล้อง .....65

3.18 แสดงหน้าจอเว็บแอพพลิเคชั่นฝั่งไคลเอ็นท์ ขณะเชื่อมต่อกล้องกับฝั่งเซิร์ฟเวอร์ .....66

4.1 แสดงเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว .....68

4.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 2560 Mega 2560 .....69

4.3 โปรแกรม Arduino และชุดคำสั่งควบคุม Servo Morter .....69

4.4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างเข้าด้วยกัน .....70

4.5 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Visual Studio .....70

4.6 แสดงปุ่มกดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ .....71

4.7 แสดงหน้าต่างของ Internet Information Service( IIS) .....72

4.8 แสดงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต .....73

4.9 หน้าเว็บของผู้ใช้งาน twitch.tv .....74

4.10 แสดงถึงหน้าต่างของโปรแกรม xSplit .....74

4.11 แสดงการตั้งค่า Coordinator – End Device .....76

4.12 แสดงค่าความแรงของสัญญาณ .....76

4.13 แสดง XBee Module .....77

4.14 แสดงการตั้งค่า Coordinator - Router - End Device .....78

4.15 แสดงเฟรม ที่ส่ง – รับ .....79

4.16 สถานที่การทดลงตึก E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ช่วงทางเดินหน้าห้อง ชั้น 11 .....81

4.17 แสดงจุดตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ทั้งหมด 36 จุด .....82

4.18 แสดงตำแหน่งของ XBee ทั้ง 4 มุมห้อง .....82

4.19 ฐานวาง XBee ซึ่งจะวางอยู่ที่มุมห้อง .....83

4.20 Object Node จะติดอยู่ตำแหน่งเป้าหมาย .....83

4.21 ตำแหน่งของเป้าหมายทั้งหมด 10 จุด .....86

4.22 แสดงการเปรียบเทียบพิกัดตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์จริง – พิกัดที่ได้จากการทดลอง .....90

4.23 แสดงการเปรียบเทียบพิกัดตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์จริง – พิกัดที่ได้จากการทดลอง .....91

4.24 แสดงขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพ (x=0, y=5) .....92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.25 แสดงขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพ (x=0, y=5) .....93
4.26 แสดงขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพ (x=5, y=5) .....93
4.27 แสดงขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพ (x=5, y=0) .....94
4.28 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับคอมพิวเตอร์ .....97
4.29 โปรแกรม Visual Studio 2012 ซึ่งประกอบด้วยส่วนควบคุมและแสดงผลของภาพ .....98
4.30 ภาพการทดลองระบบแสดงตำแหน่งของกล้องและตำแหน่งของเป้าหมาย .....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงค่าความแรงของสัญญาณของ Reference Node ที่บรรจุในเฟรมที่รับได้ .....80

4.2 ตารางแสดงค่า RSSI .....84

4.3 ค่าความแรงของสัญญาณ .....87

4.4 แสดงค่าความผิดพลาดของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ในแต่ละตำแหน่ง .....88

4.5 แสดงมุม Azimuth และมุม Elevation ของแต่ละตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ .....95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

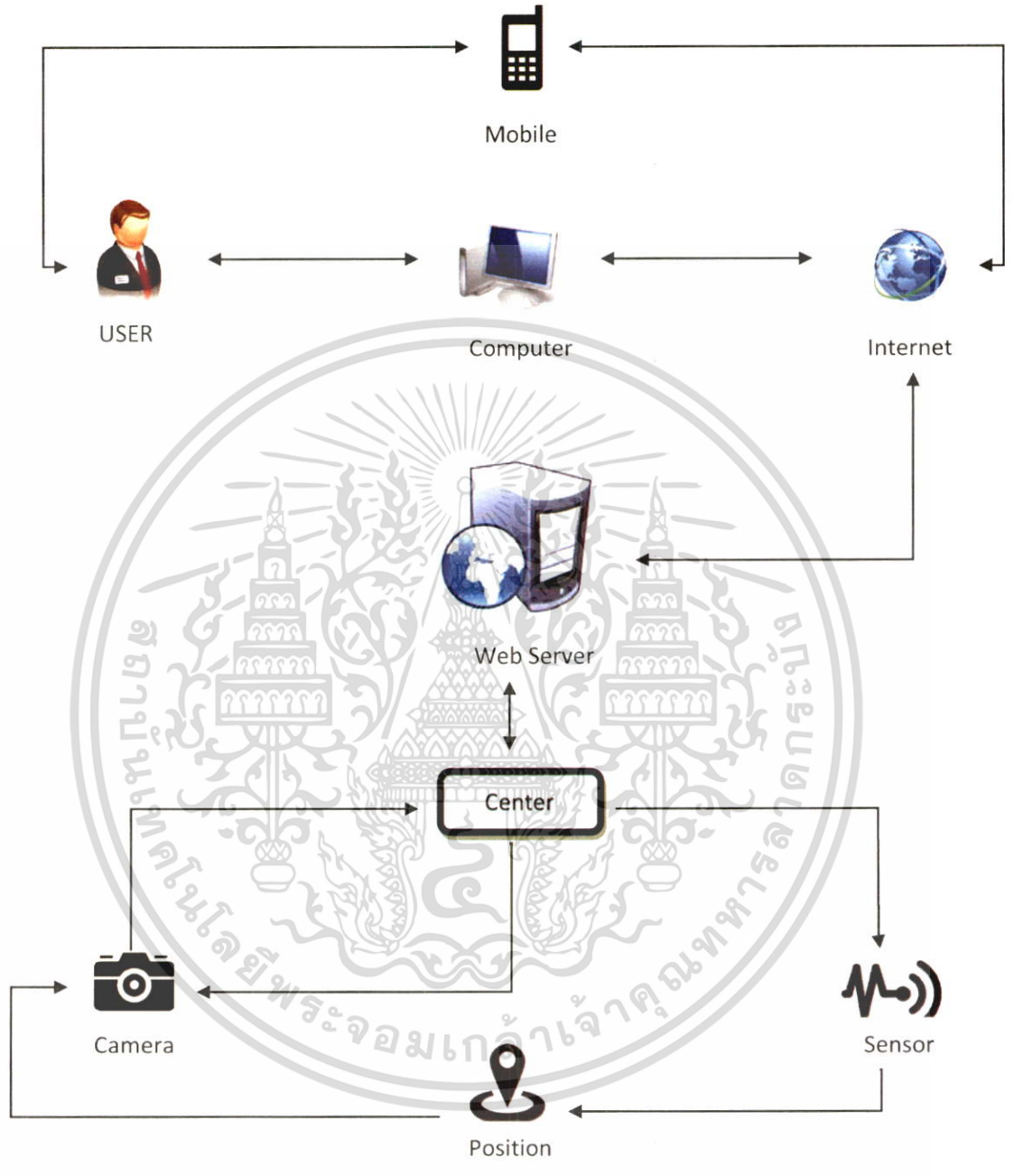
ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆได้มีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาคือเทคโนโลยีกล้องวงจรปิด (CCTV) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับการนำมาใช้ในระบบการรักษาความปลอดภัย โดยที่เทคโนโลยีนี้กล้องจะทำการส่งสัญญาณภาพจากกล้องที่ได้ทำการติดตั้งไว้ ณ จุดต่างๆ มายังจอภาพ ประโยชน์ของกล้องวงจรปิดนั้นมีไว้เพื่อเฝ้าระวังและสังเกตการณ์ ส่วนอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันนั่นก็คือเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) เนื่องจากมีขนาดที่เล็ก มีราคาถูกและสามารถนำเอาเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับตำแหน่งของวัตถุได้ โดยอาศัยการวัดความเข้มของสัญญาณวิทยุระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สายตัวหนึ่งไปยังอีกตัว

จากความสำคัญของเทคโนโลยีทั้งสองนี้ จึงนำมาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการดูแล เฝ้าระวัง สังเกตการณ์ หาตำแหน่งของผู้สูงอายุที่อยู่ในห้องหรือดูสภาพแวดล้อมภายในห้อง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากสำหรับผู้ที่มีความต้องการที่จะตรวจสอบสภาพความเป็นอยู่ของผู้สูงอายุด้วยตัวเอง แต่เนื่องจากกล้องวงจรปิดนั้นจำกัดไว้ดูแค่ในห้องควบคุมเท่านั้น ทางเราจึงจะพัฒนากล้องวงจรปิดที่สามารถดูตามสังเกตการณ์ในที่ที่ต้องการได้ทุกที่ทุกเวลาโดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อคลายความกังวลให้กับลูกหลานที่ไม่ได้อยู่กับผู้สูงอายุตลอดเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพรวมของระบบแสดงได้ดัง Block Diagram ดังรูปที่ 1.1




**รูปที่ 1.1** ภาพรวมระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดให้สามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายได้
2) เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถใช้งานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้
3) เพื่อพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยให้ดียิ่งขึ้น
4) เพื่อพัฒนาให้ระบบมีการใช้งานที่ง่ายและสะดวกสบายขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ผู้ใช้งานสามารถดูกล้องวงจรปิดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้
2) ระบบสามารถระบุตำแหน่งผู้สูงอายุจากเซ็นเซอร์ไร้สายได้
3) กล้องวงจรปิดสามารถติดตามเพื่อจับภาพที่ผู้สูงอายุได้
4) ผู้ใช้งานสามารถควบคุมกล้องวงจรปิดด้วยตัวเองได้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถที่จะนำไปใช้ได้จริงกับห้องหรือบ้านพัก
2) ระบบนี้จะช่วยให้ได้รับความสะดวกสบายมากขึ้นสำหรับการตรวจสอบสภาพความเป็นอยู่ของผู้สูงอายุ
3) ผู้ใช้งานสามารถควบคุมกล้องวงจรปิดด้วยตัวเองผ่านเครืออินเทอร์เน็ตได้

## 1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

### 1.5.1 ฮาร์ดแวร์

1. กล้องวงจรปิด (Webcam)
2. Servo Motor
3.ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega 2560 r3
4. คอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5.2 ซอฟต์แวร์

1. Visual Basic
2. โปรแกรม Arduino
3. XSplit Broadcaster

## 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

| ID | Task Name | ส.ค. 57 | ก.ย. 57 | ต.ค. 57 | พ.ย. 57 | ธ.ค. 57 | ม.ค. 58 | ก.พ. 58 | มี.ค. 58 | เม.ย. 58 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | วางแผนโครงงาน | ↔ | | | | | | | | |
| 2 | ศึกษาการทำงานของกล้องวงจรปิด | | ↔ | | | | | | | |
| 3 | ศึกษาการทำงานของ Servo Motor | | ↔ | | | | | | | |
| 4 | ศึกษาการทำงานของเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ไร้สาย | | ↔ | | | | | | | |
| 5 | จัดหาซื้ออุปกรณ์ | | | ↔ | | | | | | |
| 6 | ออกแบบโปรแกรมควบคุม Servo motor | | | | ↔ | | | | | |
| 7 | ออกแบบและทดสอบกล้องวงจรปิดให้สามารถใช้งานผ่าน Internet ได้ | | | | | ↔ | | | | |
| 8 | ออกแบบและทดสอบกล้องวงจรปิดให้สามารถหมุนตามเซ็นเซอร์เป้าหมาย(ผู้สูงอายุ) | | | | | | ↔ | ↔ | | |
| 9 | ทดสอบระบบทั้งหมดและปรับปรุงแก้ไข | | | | | | | ↔ | ↔ | |
| 10 | จัดทำเอกสารปริญญานิพนธ์ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ |



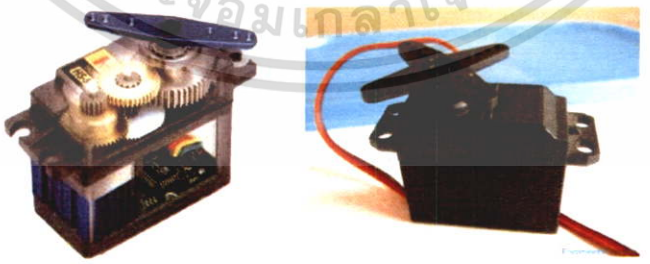
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

## 2.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์และส่วนควบคุมต่างๆไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือ ภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC,GND และ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้จากสายเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชัน (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของเซอร์โวมอเตอร์ก็คือจะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ให้แรงบิตสูง กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ (Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว เซอร์โวมอเตอร์สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือ ทิศทางองศาที่ต้องการได้โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือ บางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210 องศา แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้นเซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้



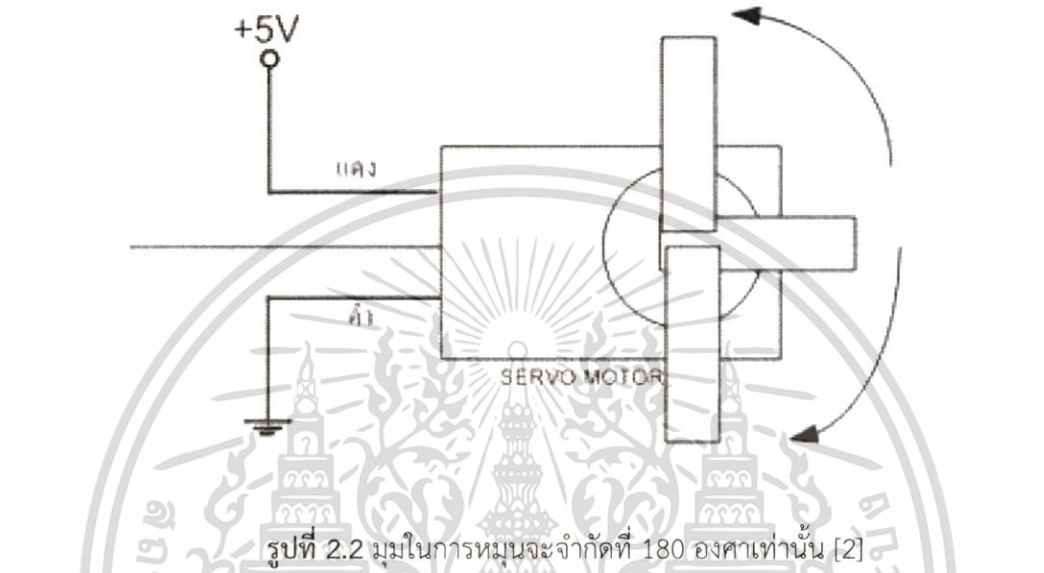
**รูปที่ 2.1** เซอร์โวมอเตอร์ [1]



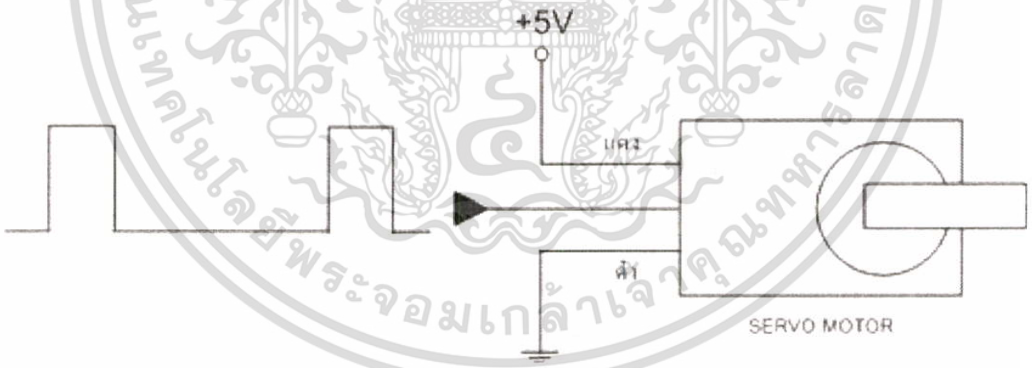
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์นั้น ทำได้โดยอาศัยความกว้างของพัลส์ที่ทำการป้อนให้เซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของเซอร์โวจะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยสัญญาณพัลส์นี้จะเป็นสัญญาณ TTL โดยระดับสูง หรือ 1 จะมีแรงดัน 5VDC ระดับ ต่ำ หรือ 0 จะมีแรงดัน 0 VDC




**รูปที่ 2.2** มุมในการหมุนจะจำกัดที่ 180 องศาเท่านั้น [2]

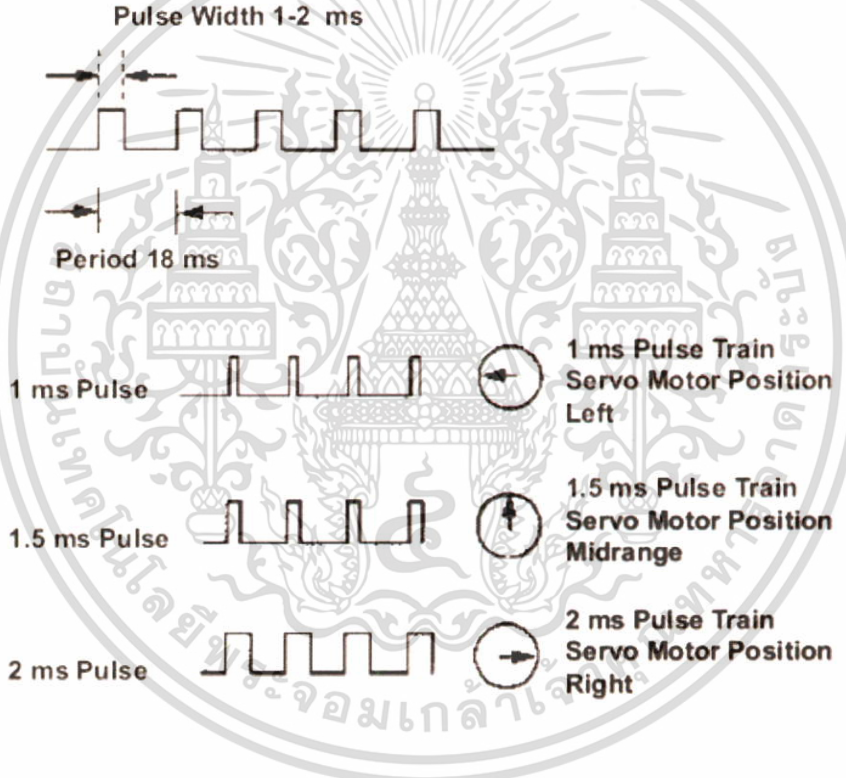



**รูปที่ 2.3** การต่อใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ [2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางขวา หรือ ตามเข็มนาฬิกา จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ ขนาด 1 ms เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางขวาสุดแล้วมอเตอร์จะหยุดหมุนเอง ถ้าป้อนพัลส์เข้าไปอีกจะเซอร์โวมอเตอร์จะไม่ทำงาน
- เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้าย หรือ ทวนเข็มนาฬิกา จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ ขนาด 2 ms เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้ายสุดแล้วมอเตอร์จะหยุดหมุนเอง ถ้าป้อนพัลส์เข้าไปอีกจะเซอร์โวมอเตอร์จะไม่ทำงาน
- เซอร์โวมอเตอร์ไปตำแหน่งกึ่งกลาง หากต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หนุนไปทางซ้าย หรือ ทวนเข็มนาฬิกา จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ ขนาด 1.5 ms

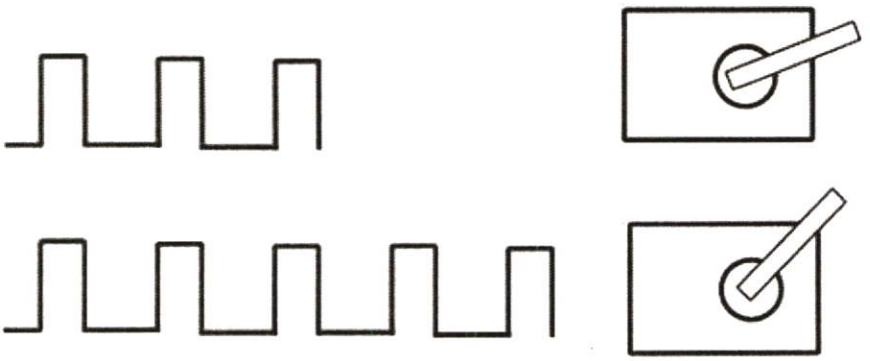



รูปที่ 2.4 ความกว้างของสัญญาณที่มีผลต่อการหมุนของมอเตอร์ [2]

เซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวจะมีการทำงานของความกว้างของพัลส์ไม่เท่ากัน ค่าดังกล่าวเป็นค่าประมาณเท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการค่าที่ถูกต้อง ต้องดูที่คู่มือด้วยทุกครั้ง และจำนวนลูกสัญญาณพัลส์จะมีผลต่อองศาในการหมุนด้วยเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



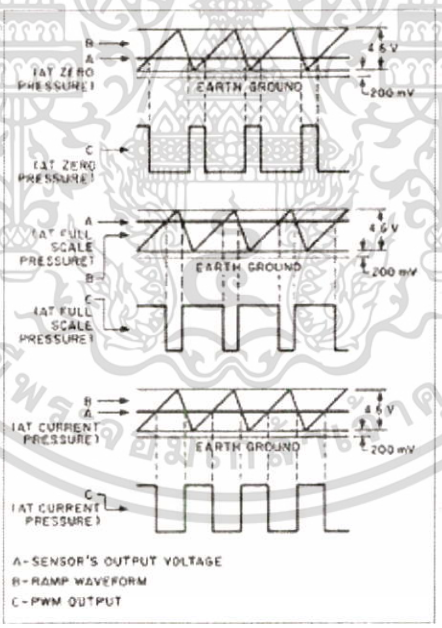
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.5** จำนวนสัญญาณพัลส์มีผลต่อองศาของเซอร์โวมอเตอร์ [2]

### 2.1.2 หลักการสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation ก็คือ การปรับความกว้างของพัลส์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกันและสองสัญญาณที่ว่านี้ก็คือสัญญาณ "สามเหลี่ยม" กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเรานำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม เราก็จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างคงที่นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

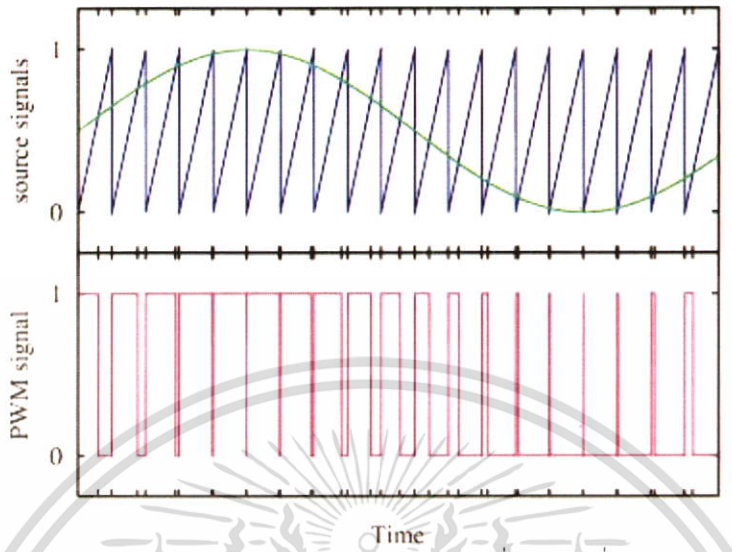



**รูปที่ 2.6** การปรับความกว้างของพัลส์ของสัญญาณที่คงที่ [2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่ใช่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง แต่เป็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ความกว้างของพัลส์ก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7




**รูปที่ 2.7** การปรับความกว้างของพัลส์ของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอด [2]

### 2.1.3 หลักการคำนวณองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

หากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 1 ms ตัว เซอร์โวมอเตอร์ จะหมุนไปทางด้ายซ้ายจนสุด ในทางกลับกันหากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 2 ms ตัว เซอร์โวมอเตอร์ จะหมุนไปยังตำแหน่งขวาสุด แต่หากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 1.5 ms ตัว เซอร์โวมอเตอร์ ก็จะหมุนมาอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางพอดี ดังนั้น ถ้าต้องการหาขนาดสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ต้องป้อนให้กับเซอร์โวมอเตอร์ให้เพิ่มขึ้นหรือลดทีละ X องศา จะคำนวณโดยนำค่า 1ms คูณด้วย X แล้วทำการหารด้วย 180 องศา เช่น ถ้าต้องการเพิ่มหรือลดทีละ 1 องศา จะคำนวณได้ดังนี้ (1 ms x 1 องศา) หารด้วย 180 เท่ากับ 0.005 ms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

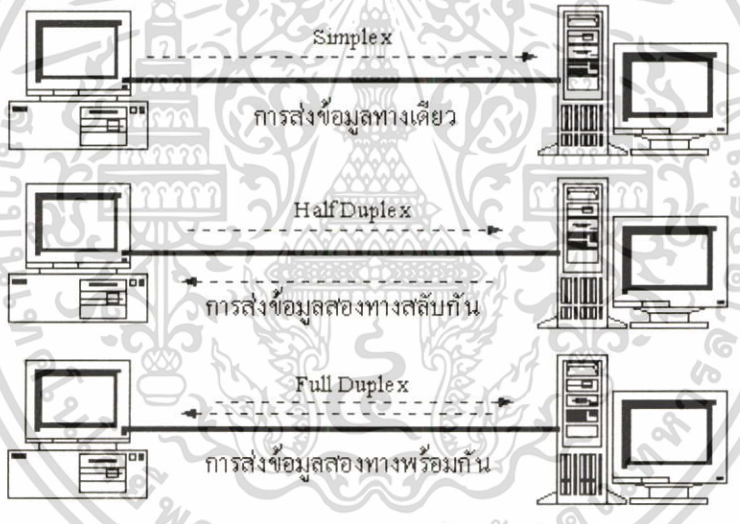
## 2.2 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ คือ คอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยอุปกรณ์สื่อสาร สามารถรับ-ส่งข้อมูลไปมาหากันได้ เรียกว่า "เครือข่ายคอมพิวเตอร์" (Network Computer) ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์สามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ เครือข่ายท้องถิ่น ( LAN : Local Area Network) และเครือข่ายระยะไกล (WAN : Wide Area Network) ทิศทางของการสื่อสารข้อมูลมี 3 แบบ

1.การส่งข้อมูลทางเดียว (Simplex) ผู้ส่งจะทำหน้าที่ส่งอย่างเดียว ส่วนผู้รับจะทำหน้าที่รับอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น วิทยุ โทรทัศน์ เคเบิ้ลทีวี ฯลฯ

2.การส่งข้อมูลสองทางสลับกัน (Half Duplex) เมื่อฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งเป็นผู้ส่งอีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นผู้รับ ตัวอย่างเช่น วิทยุสื่อสาร (วิทยุมือถือ) โทรสาร โทรเลข ฯลฯ

3.การส่งข้อมูลสองทางพร้อมกัน (Full Duplex) ทั้งสองฝ่ายสามารถเป็นได้ทั้งผู้ส่งและผู้รับในเวลาเดียวกัน เนื่องมีช่องทางสื่อสารแยกกัน ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์บ้าน โทรศัพท์มือถือ ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 2.8




**รูปที่ 2.8** ทิศทางการสื่อสารข้อมูล [4]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 องค์ประกอบของเครือข่าย

- ฮาร์ดแวร์ (Hardware)
- ซอฟต์แวร์ (Software)
- โปรโตคอล (Protocol)
- โทโพโลยี (Topology)

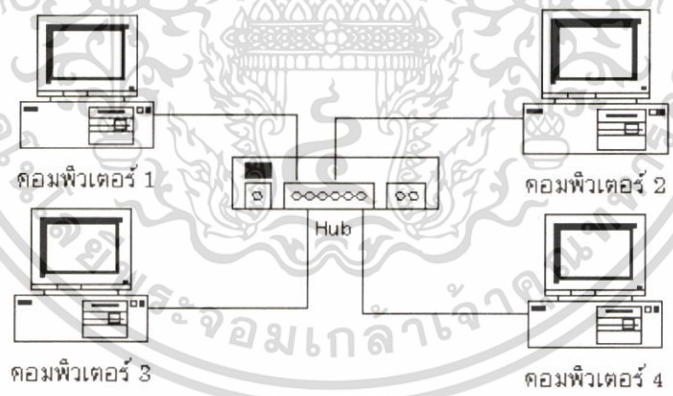
### 2.3.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย

#### 2.3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกัน ในระบบเครือข่ายจะมี 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

แบบที่ 1 Peer-to-Peer Networking หมายถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง ในเครือข่ายมีสถานะเท่าเทียมกันทั้งหมดแต่ละเครื่องจะยอมให้เครื่องอื่น ๆ ในระบบเข้ามาใช้ข้อมูลหรืออุปกรณ์ของตนได้ โดยเสมอภาคกันดังแสดงในรูปที่ 2.9




**รูปที่ 2.9** การเชื่อมต่อแบบ Peer-to-Peer Networking [4]

แบบที่ 2 Server-based Networking หมายถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่เชื่อมต่อกันในระบบเครือข่าย หรือเรียกว่า workstation จะถูกควบคุมหรือถูกกำหนดสิทธิต่าง ๆ ภายใต้เครื่องที่ให้บริการ(Server)เครื่องที่ให้บริการ อาจจะควบคุม เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายทั้งหมด เช่น ระบบเครือข่ายที่ใช้ Netware บนระบบปฏิบัติการ Dos หรือควบคุมบางส่วนก็ได้ เช่น ระบบเครือข่ายที่ใช้



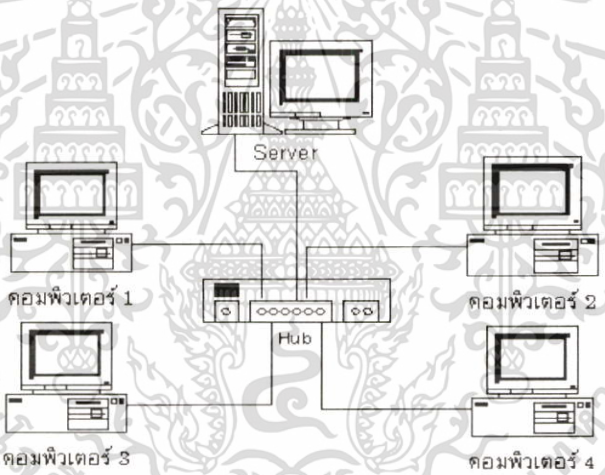
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Netware, Windows NT บนระบบปฏิบัติการ Windows เนื่องจาก ระบบปฏิบัติการ Windows เป็นการเชื่อมต่อแบบกลุ่มงาน (workgroup) หรือต่อแบบ Peer-to-Peer Networking

ในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องให้บริการ(Server) หลายเครื่องในระบบเครือข่ายเดียวกัน เพื่อแบ่งเบาภาระงาน ไม่ให้หนัก ที่เครื่องใดเครื่องหนึ่ง โดยอาจจะแบ่งเป็น

| | |
|---|---|
| -เครื่องที่ให้บริการไฟล์ข้อมูล | เรียกว่า File Server |
| -เครื่องพิมพ์ที่ให้บริการพิมพ์ข้อมูล | เรียกว่า Print Server |
| -เครื่องที่ให้บริการข้อมูล | เรียกว่า Database Server |
| -เครื่องที่ให้บริการรับ-ส่ง จดหมาย อิเล็กทรอนิกส์ | เรียกว่า Mail Server |
| -เครื่องที่ให้บริการข้อมูลมัลติมีเดียบนระบบ internet | เรียกว่า Web Server |
| -เครื่องที่ให้บริการพักเก็บข้อมูลบนระบบ internet | เรียกว่า Proxy Server |
| -เครื่องที่ให้บริการถ่ายโอนไฟล์บนระบบ internet | เรียกว่า FTP Server |

เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10




**รูปที่ 2.10** การเชื่อมต่อแบบ Server-based Networking [4]

### 2.3.1.2 Network Card

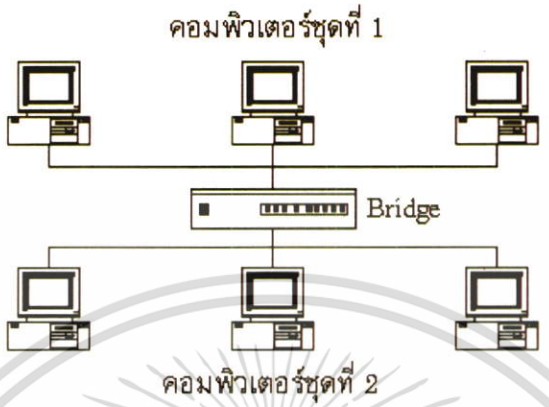
Network Card คือ แผงวงจรเชื่อมต่อเครือข่าย จะเป็นแผงวงจรแยกต่าง ๆ หรือจะประกอบมาพร้อมกับ แผงวงจรหลัก คอมพิวเตอร์ (Mainboard) ก็ได้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณคอมพิวเตอร์แล้วส่งออกไปยังสายสื่อสารและรับข้อมูลจากสายสื่อสารเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปจะมีขั้วต่ออยู่ 3 แบบ คือ RJ-45, BNC, D-Type ที่นิยมใช้ในปัจจุบันนี้คือ RJ-45 นอกจากนี้แล้ว Network Card รุ่นใหม่สามารถเชื่อมต่อกับสาย Fiber Optic ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.3 บริดจ์ (Bridge)

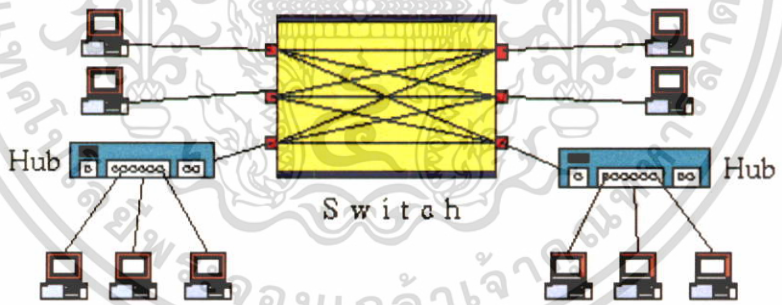
บริดจ์ (Bridge) ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ เชื่อมโยงระหว่างระบบเครือข่ายต่างชุดกันให้สามารถเชื่อมถึงกันได้ โดยสามารถ รับ-ส่งข้อมูลไปมาได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11




**รูปที่ 2.11** การเชื่อมต่อเครือข่ายโดยใช้ Bridge [4]

### 2.3.1.4 สวิตช์ (Switch)

สวิตช์ (Switch) ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่ายหลาย ๆ เครือข่ายเข้าด้วยกัน โดยมีหลายช่องทางเชื่อมต่อ ทำให้การรับ-ส่งข้อมูลทำได้รวดเร็วกว่า Bridge ดังแสดงในรูปที่ 2.12



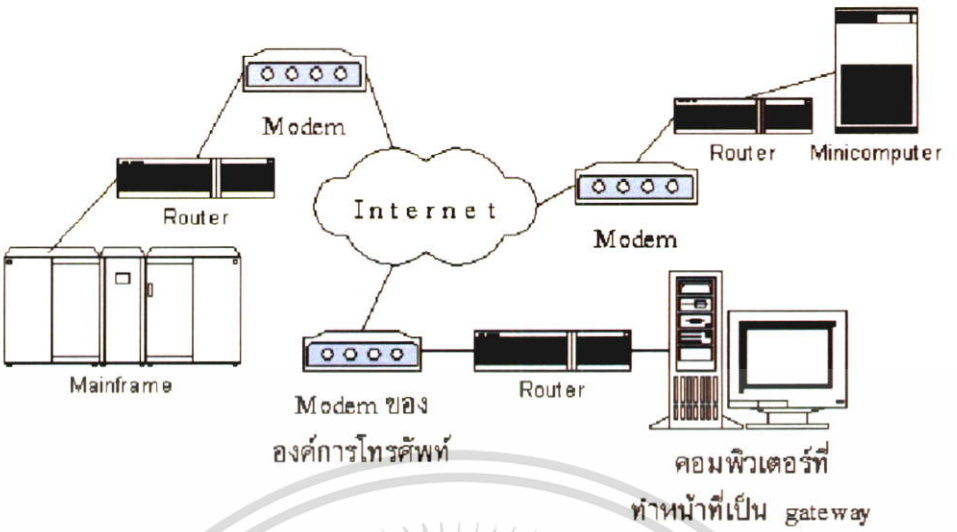

**รูปที่ 2.12** การเชื่อมเครือข่ายโดยใช้ Switch [4]

### 2.3.1.5 เราท์เตอร์ (Router)

เราท์เตอร์ (Router) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่ายที่ใช้โปรโตคอลเดียวกันหรือต่างกันก็ได้และยังทำหน้าที่หาเส้นทางการส่งข้อมูลที่ดีที่สุดให้อัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 2.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.13 ระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่อกันโดยผ่าน Router [4]

2.3.1.6 Gateway

Gateway คือเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อและรับส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายภายในและภายนอก เปรียบเสมือนประตูทางเข้าออกของข้อมูล เมื่อมีข้อมูลเข้ามาจากภายนอกก็จะกระจายไปยังลูกข่ายภายในในทางกลับกันเมื่อมีลูกข่ายตัวเดียวหรือหลายตัวต้องการส่งข้อมูลออกไปยังเครือข่ายภายนอกก็จะรวบรวมและจัดสรรการส่งออกอย่างเป็นระบบโดยไม่ต้องรอให้ลูกข่ายใดส่งข้อมูลเสร็จก่อนแล้วจึงให้ลูกข่ายอื่นส่งได้โดยทั่วไปใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงทำเป็น Gateway ซึ่งจะต้องมี Software มาติดตั้งเข้าไปด้วย

2.3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

ซอฟต์แวร์ (Software) สำหรับเครือข่าย แบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1.ระบบปฏิบัติการเครือข่าย (Network Operating System) คือโปรแกรมที่ทำหน้าที่ ในการบริหารและจัดการระบบเครือข่ายทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์หลาย ๆ เครื่องทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งมีให้เลือกหลากหลาย เช่น Netware ของบริษัท Novell, Window NT ของบริษัท Microsoft เป็นต้น

2.โปรแกรมทำงานบนระบบเครือข่าย (Application for Network) คือโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถทำงานบนระบบเครือข่ายได้สามารถติดตั้งบนเครื่องใดเครื่องหนึ่งแต่ให้เครื่องเรียกใช้ได้ หรือจะการเป็นการใช้ฐานข้อมูลร่วมกันก็ได้ เช่น โปรแกรม Browser ต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 โปรโตคอล (Protocol)

โปรโตคอล (Protocol)หมายถึงข้อตกลงร่วมกันในการควบคุมการสื่อสารและวิธีการสื่อสารข้อมูลอย่างมีหลักการ เช่น

-TCP/IP ย่อมาจากคำว่า Transmission Control Protocol/Internet Protocol ใช้ได้กับทุกระบบเครือข่าย LAN, WAN เช่นใช้ในระบบ Internet เป็นต้น

-NetBEUI ของ Microsoft เป็นเครือข่ายระยะใกล้ (LAN) ใช้ในระบบปฏิบัติการ Windows 95/98/NT/2000

-IPX/SPX ของ Novell เป็นเครือข่ายระยะใกล้ (LAN) ใช้ในระบบปฏิบัติการ Netware มีสถาบันกำหนดมาตรฐานสิ่งต่าง ๆ มากมาย แต่มีรู้จักกันมากมี 2 สถาบันดังนี้

1. Institute for Electrical and Electronic Engineers มีชื่อย่อว่า IEEE

เป็นสถาบันที่กำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ขึ้นมาใช้ร่วมกันทั่วโลก เช่น ระบบเครือข่าย Ethernet โดยจะมีหมายเลขตามหลังชื่อสถาบันด้วย เช่น IEEE 802.3 เป็นต้น

2. The International Standard Organization มีชื่อย่อว่า ISO

เป็นสถาบันที่กำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ขึ้นมาใช้ร่วมกันทั่วโลก เช่น กำหนดชั้นการสื่อสารระหว่างกันในระบบเครือข่ายไว้ 7 ชั้น (7 layers)

1.ระดับชั้นฟิสิคัล (Physical layer)
2.ระดับชั้นดาต้าลิงก์ (Data link layer)
3.ระดับชั้นเน็ตเวิร์ก (Network layer)
4.ระดับชั้นทรานสปอร์ต (Transport layer)
5.ระดับชั้นเซสชัน (Session layer)
6.ระดับชั้นพรีเซนเตชัน (Presentation layer)
7.ระดับชั้นแอพพลิเคชัน (Application layer)

โดยตั้งชื่อว่ามาตรฐาน OSI ซึ่งย่อมาจากคำว่า Open System Interconnection เป็นต้น

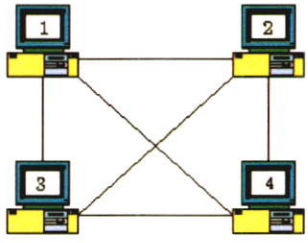
### 2.3.4 โทโพโลยี (Topology)

โทโพโลยี ( Topology ) หมายถึงรูปแบบการเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อ-พ่วงต่าง ๆประกอบกันเป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มีรูปแบบที่สำคัญดังนี้

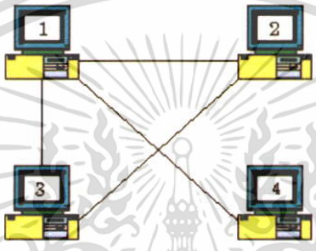


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

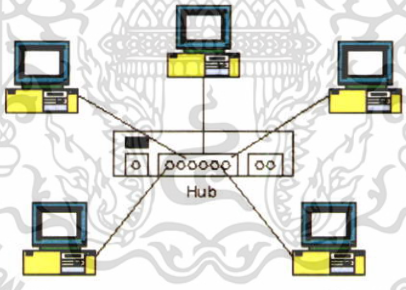
1.การเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Complete Interconnect)



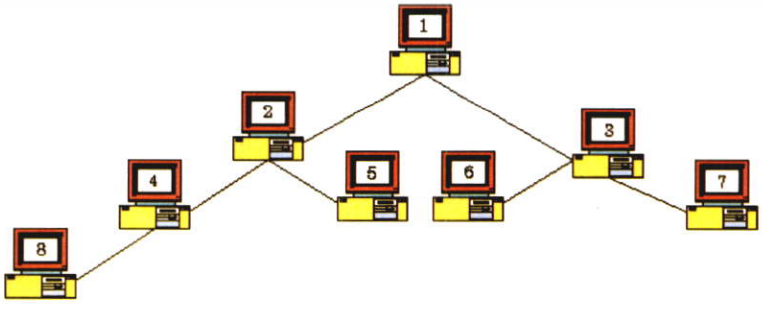

2.โทโพโลยีแบบตาข่าย (Net Topology)




3.โทโพโลยีแบบดาว (Star Topology)



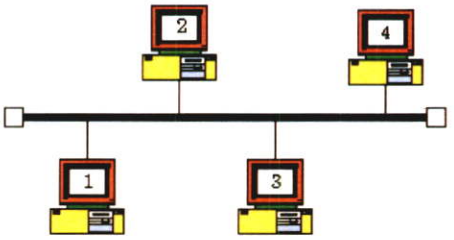

4.โทโพโลยีแบบต้นไม้ (Tree Topology)



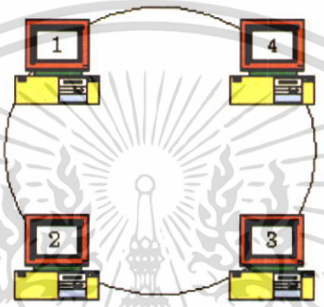



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.โทโพโลยีแบบบัส (Bus Topology)




6.โทโพโลยีแบบวงแหวน (Ring Topology)




## 2.4 เครือข่ายระยะใกล้ (LAN: Local Area Network)

เครือข่ายระยะใกล้ ( LAN ) หมายถึง ระบบคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกันระยะใกล้สามารถรับ-ส่งข้อมูลไปมาจากเครื่องหนึ่งไปอีกเครื่องหนึ่งได้ ภายในพื้นที่เดียวกัน ระบบเครือข่ายแลนเป็นรูปแบบการทำงานของระบบเครือข่ายแบบหนึ่งที่ช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องพิมพ์และอุปกรณ์ใช้งานทางคอมพิวเตอร์ต่างๆสามารถเชื่อมโยงสื่อสารส่งข้อมูลติดต่อใช้งานร่วมกันได้ การติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์จะอยู่ในพื้นที่เดียวกันโดยทั่วไปจะมีระยะไม่เกิน 10 กิโลเมตร เช่น ภายในอาคารสำนักงานเชื่อมโยงด้วยสายสื่อสารจึงทำให้มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วสูงมากและมีความผิดพลาดของข้อมูลต่ำ

ประโยชน์ที่ได้เมื่อใช้งานในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระยะใกล้

1.การประมวลผลแบบกระจายงาน แบ่งหน้าที่กันทำงานได้ง่าย

2.มีความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสาร

3.เก็บข้อมูลไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อให้บริการข้อมูลแก่เครื่องอื่นๆ ได้ง่าย

4.สามารถแบ่งการใช้ทรัพยากรร่วมกัน เช่น ใช้เครื่องพิมพ์ร่วมกัน เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ระยะไกล (WAN: Wide Area Network)

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ระยะไกล ( WAN ) หมายถึงระบบคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกันเป็นระยะทางไกลๆ สามารถรับ-ส่งข้อมูลไปมาจากเครื่องหนึ่งไปอีกเครื่องหนึ่งได้ ทั้งภายในพื้นที่เดียวกันและต่างพื้นที่กัน โดยผ่านอุปกรณ์สื่อสารหลากหลายประเภท เช่น ดาวเทียม ไมโครเวฟ สายใยแก้วนำแสง และอุปกรณ์ต่อพ่วงอีกมากมาย ระบบเครือข่ายระยะไกล หรือ Wide Area Network เป็นระบบเครือข่ายที่ติดตั้งเพื่อรับ-ส่งข้อมูลให้ใช้งานได้ในบริเวณไกลๆ โดยมีการส่งข้อมูลในลักษณะเป็นแพ็กเก็ต ( Packet ) ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ต้นทางเป็นผู้ส่งข้อมูลออกไปถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทาง แพ็กเก็ตนี้ถูกส่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งโดยมีสายสื่อสารหรืออุปกรณ์สื่อสารอื่นในการเชื่อมต่อถึงกันในลักษณะเป็นลูกโซ่อาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ระหว่างทางแต่ละตัวจะรับข้อความนั้นเก็บจำเอาไว้และส่งต่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์ถัดไปในเส้นทางที่สะดวก รูปแบบของเครือข่ายที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณเส้นทางในการส่งแพ็กเก็ต โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบดาตาแกรม ( Datagram ) และแบบเวอร์ชวลเซอร์กิต ( Virtual Circuit ) หรือแบบวงจรเสมือน

## 2.6 การเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

การเชื่อมต่อเข้าระบบอินเทอร์เน็ต กระทำได้ 2 ลักษณะ คือ 1. การเชื่อมต่อโดยตรง 2.การเชื่อมต่อผ่านทางผู้ให้บริการ (ISP) ซึ่งยังแบ่งออกเป็น การเชื่อมต่อแบบองค์การและการเชื่อมต่อส่วนบุคคล

### 2.6.1 หมายเลขอินเทอร์เน็ต (Internet Number) หรือหมายเลขไอพี (IP number)

หมายเลขไอพี ( IP number ) คือเป็นเลขรหัสประจำตัวของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้าสู่อินเทอร์เน็ต ประกอบด้วยเลขทั้งหมด 4 จำนวน โดยแต่ละจำนวนมีค่า 0 - 255 แต่ละจำนวนถูกคั่นด้วยเครื่องหมายจุด ตัวอย่างเช่น
203.150.182.20

### 2.6.2 ชื่ออินเทอร์เน็ต (Domain Name Server)

เนื่องจากหมายเลขไอพีเป็นเลขที่จำได้ยาก จึงเกิดระบบชื่อคอมพิวเตอร์ที่เป็นมาตรฐาน ที่เรียกว่า DNS ( Domain Name Server ) หรือระบบชื่อโดเมนขึ้นมา โดยที่ DNS จะทำการแปลจากชื่อเป็นหมายเลขอินเทอร์เน็ตนั่นเอง เช่น WWW.RIP.AC.TH WWW.SANOOK.COM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC ( Reduced Instruction Set Computer) โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง โดยจะประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลชโปรแกรมข้อมูลได้แบบ In-System Programmable และในบางเบอร์ยังสามารถมีการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่สร้างเป็นบูตโหลดเดอร์ (เขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือไอซีตัวอื่นๆ และยังสามารถโปรแกรมให้กับตัวเองได้) มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัว คุณสมบัติของไอซีเบอร์ Atmega2560 มีดังต่อไปนี้

### 2.7.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ ATmega2560

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตมีประสิทธิภาพสูง ใช้พลังงานต่ำ

- มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในแบบ Advance RISC

  - มีคำสั่งควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ 130 คำสั่ง ส่วนมากจะทำสำเร็จในรอบสัญญาณนาฬิกาเดี่ยว

  - มีจำนวนรีจิสเตอร์ทั่วไปขนาด 32 x 8

- เขียน/ลบ ได้ถึง 10,000 ครั้ง สำหรับหน่วยความจำแบบ Flash และ 100,000 ครั้ง สำหรับ หน่วยความจำแบบ EEPROM

- คุณสมบัติอุปกรณ์ต่อพ่วง

  - Timer/Counters ขนาด 8-บิต 2 ตัว และมี Separate Prescaler โหมด Compare อีก 1 ตัว

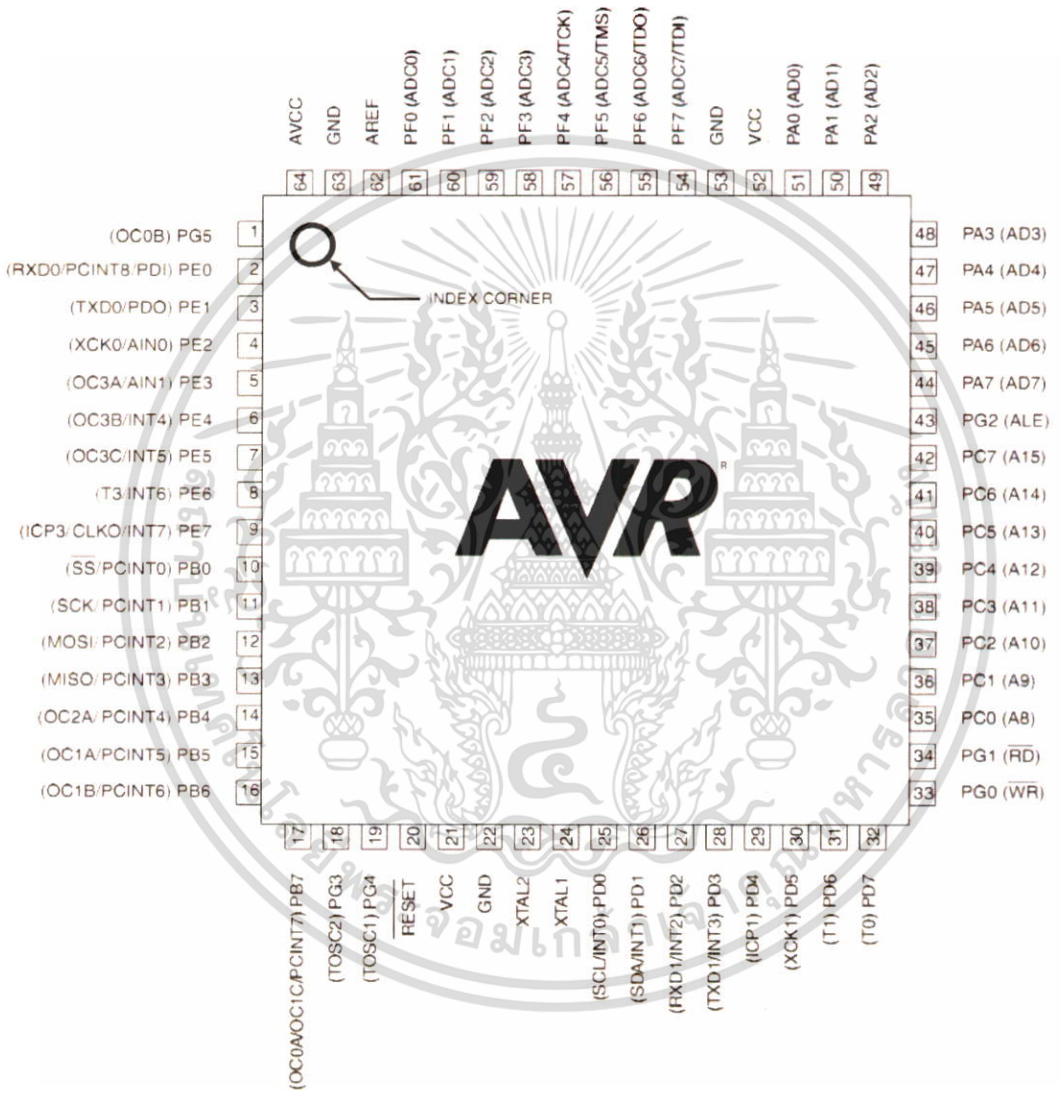
  - Timer/Counters ขนาด 16-บิต 1 ตัว with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture

- ใช้งาน RC Oscillator ภายในไอซี และภายนอกไอซีได้
- Data retention: 20 years at 85°C / 100 years at 25°C
- ระดับอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ -40 °C ถึง 85 °C
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบ Flash ขนาด 32 K bytes มีการโปรแกรมได้แบบ In-System Self-Programmable
- สามารถตรวจสอบการขัดจังหวะการทำงานจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุต เอาท์พุต
- มีการติดต่อแบบ Master/Slave SPI Serial Interface
- ใช้งาน RC Oscillator ภายในไอซี และภายนอกไอซีได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

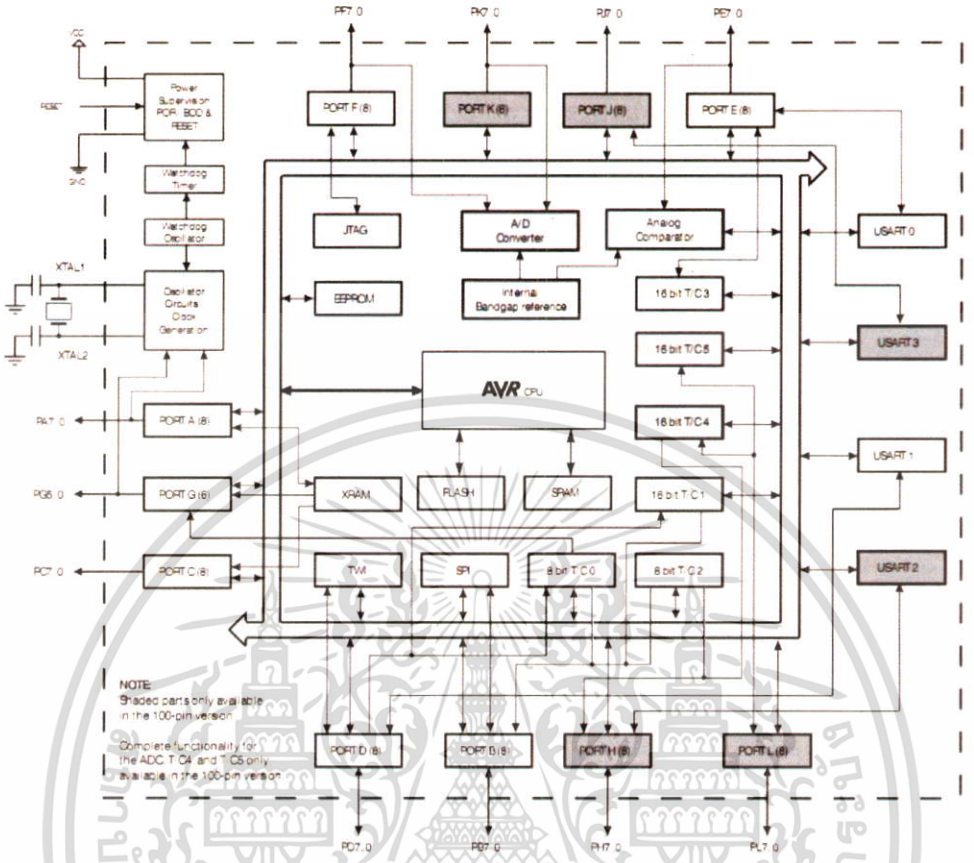
- การทำงานที่พลังงานต่ำ ความถี่ 1 MHz ที่ 1.8 V
  - การทำงาน Active Mode ใช้กระแสไฟ 1MHz, 1.8V: 500μA
  - การทำงาน Power-down Mode ใช้กระแสไฟ 0.1μA at 1.8V




**รูปที่ 2.14** ตำแหน่งขาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega2560 **[3]**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.15** สถาปัตยกรรมภายในคอนโทรลเลอร์เบอร์ Atmega2560 [3]

## 2.8 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication)

จากการเรียนรู้ที่ผ่านมาการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตจะเป็นการสื่อสารแบบขนาน เพราะเวลาส่งข้อมูลขนาด 1 ไบต์ต้องใช้ขาสัญญาณในการส่งเท่ากับจำนวนบิตทั้งหมดคือ 8 ขาเพื่อที่จะลดจำนวนขาในการสื่อสาร จึงต้องมีการสื่อสารแบบอนุกรมเข้ามาช่วย ถึงแม้ว่าการสื่อสารแบบอนุกรมจะใช้ขาสัญญาณที่น้อยกว่าและ สามารถส่งได้ไกลกว่า การสื่อสารแบบอนุกรมก็ยังมีข้อด้อยเรื่องความเร็วในการสื่อสารที่น้อยกว่าแบบขนาน และการเพิ่มเติมวงจรเพื่อแปลงการสื่อสารแบบอนุกรมให้เป็นแบบขนาน

รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรมจะมีอยู่ 3 แบบคือ

- การสื่อสารแบบทิศทางเดียว (Simplex) ซึ่งสามารถรับหรือส่งได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น
- การสื่อสารแบบสองทางครึ่งอัตรา (Half-Duplex) ซึ่งสามารถรับและส่งได้แต่ไม่พร้อมกัน



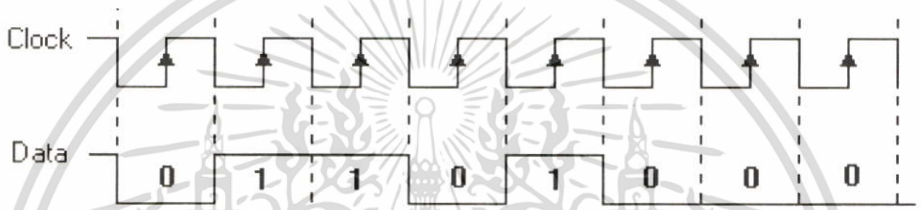
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสื่อสารแบบสองทางเต็มอัตรา (Full-Duplex) ซึ่งสามารถรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของการสื่อสารแบบอนุกรมตามลักษณะสัญญาณการส่งได้อีก 2 แบบ

### 2.8.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการรับส่งสัญญาณ เช่น สายคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นสายของข้อมูล (และมักมีสายกราวด์ด้วย)




**รูปที่ 2.16** ลักษณะสัญญาณของการสื่อสารแบบซิงโครนัส [5]

สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้เหมาะกับการทำงานในระยะใกล้ ข้อมูลที่จะส่งมีไม่มากนัก เพราะถ้าระยะทางไกลขึ้นจะทำให้สัญญาณนาฬิกามีปัญหา อีกทั้งต้องมีสายหลายเส้นทำให้สิ้นเปลืองมากขึ้น

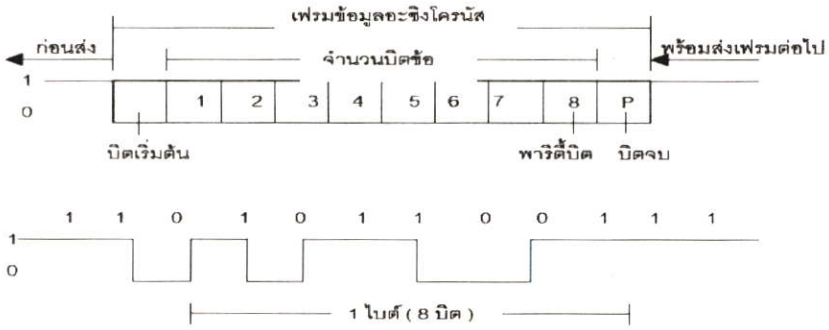
### 2.8.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

สำหรับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้นจะใช้สายข้อมูลเพียงตัวเดียว แต่จะใช้รูปแบบการส่งข้อมูลหรือ Bit Patten เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นส่วนตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูลโดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่ากันทั้งภาคส่งและภาครับ ซึ่งจะมีอุปกรณ์พิเศษที่ชื่อว่า UART หรือ Universal Asynchronous Receiver / Transmitter คอยควบคุมการรับและส่งข้อมูล

แต่สำหรับมาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมอีกแบบ ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันโดยใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งการสื่อสารและการควบคุมทางอุตสาหกรรมนั้นก็คือมาตรฐาน RS-232



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.17** ลักษณะสัญญาณของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส [5]

## 2.9 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยการใช้โมดูล USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter) เพื่อสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ทั้งแบบซิงโครนัส (ข้อมูลมีความต่อเนื่อง มีการกำหนดสัญญาณมาตรฐานที่เหมือนกันทั้งทางด้านรับและด้านส่ง เพื่อให้การรับส่งมีความสัมพันธ์กัน)และอะซิงโครนัส (ข้อมูลไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องมีบิตเริ่มต้น (Start bit) บิตข้อมูล (Data bit) และบิตหยุด (Stop bit) มีบิตพาริตี้ (Parity bit) หรือไม่มีก็ได้) โดยเราจะกำหนดขาพอร์ตอนุกรมของไว้ที่ขาพอร์ต PD0 (RXD) ใช้ในการรับข้อมูลอนุกรมและขาพอร์ต PD1 (TXD) ใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรม บล็อกไดอะแกรมของโมดูล USARTจะเห็นว่าโมดูล USART แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ 1.ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราบิตในการรับส่งข้อมูลโดยสามารถกำหนดได้ทั้งภายในและภายนอก ผ่านทางขา XCK (Transfer Clock) 2. ส่วนส่งข้อมูลอนุกรม (Transmitter) โดยส่งข้อมูลออกทางขาพอร์ต TxD 3. ส่วนรับข้อมูลอนุกรม (Receiver) โดยการรับข้อมูลจากขาพอร์ต RxD

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงาน 3 ตัว ประกอบไปด้วย UCSRA, UCSRB และ UCSRC การส่งข้อมูลอนุกรมในรูปแบบอะซิงโครนัสจะเป็นการส่งข้อมูลเป็นเฟรม ลักษณะของเฟรมข้อมูลอนุกรมนี้ประกอบไปด้วย บิตเริ่มข้อมูล (Start bit) บิตข้อมูล (Data bit) พาริตี้บิต (Parity bit) บิตหยุดข้อมูล (Stop bit)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 เทคโนโลยีการสื่อสารระยะใกล้

### 2.10.1 ความเป็นมาของการสื่อสารระยะใกล้

การสื่อสารระยะใกล้พัฒนามาจากการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 เป็นต้นมา การสื่อสารแบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (WLAN) ทำให้การสื่อสารข้อมูลแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากช่วยทำให้การสื่อสารข้อมูลเป็นไปด้วยความสะดวก การติดตั้งระบบสามารถทำได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ จึงก่อให้เกิดการขยายตัวของผู้ใช้อินเทอร์เน็ตมากขึ้น โดยการสื่อสารไร้สายมีจุดประสงค์เพื่อเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเข้าเครือข่ายท้องถิ่นขององค์กร หรือบริษัท เพื่อให้ใช้งานได้สะดวก และนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบดิจิตอลเข้ามาช่วยในการจัดการข้อมูล เช่น การนำ Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance (CSMA/CA) มาใช้เพื่อช่วยให้คอมพิวเตอร์หลายๆ เครื่องสามารถสื่อสารพร้อมๆ กันได้ หรือเป็นการสื่อสารในลักษณะแบ่งกันใช้ และได้มีการนำเทคโนโลยี การผสมสัญญาณ (Modulation) แบบดิจิตอล Complementary Code Keying (CCK) มาใช้ในการสื่อสารเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารภายในอาคาร การนำเทคโนโลยี Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) มาใช้เพื่อช่วยในการลดการรบกวนของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นมาก สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ดังนั้นการสื่อสารแบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่นเป็นการสื่อสารไร้สายแบบแรกที่สามารถใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูล ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.10.2 ความหมายและประเภทของการสื่อสารระยะใกล้

การสื่อสารระยะใกล้เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคารที่มีรัศมีการสื่อสารไม่เกิน 50 เมตร การสื่อสารระยะใกล้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สื่อสารได้หลายรูปแบบโดยเฉพาะการเน้นกลุ่มเป้าหมายการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้การสื่อสารดังกล่าวเป็นมาตรฐานจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานสากล สำหรับการสื่อสารระยะใกล้ หรือการสื่อสารสำหรับ เครือข่ายพื้นที่ส่วนตัว (Personal Area Network) คือ มาตรฐาน IEEE 802.15 ซึ่งในมาตรฐานนี้ได้แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย 4 กลุ่มสำหรับการสื่อสารระยะใกล้แบบต่าง ๆ ได้แก่

กลุ่มที่ 1 (Task Group 1) เป็นการสื่อสารสำหรับบุคคลระยะใกล้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานสำหรับการสื่อสารแบบบลูทูธ (Bluetooth)

กลุ่มที่ 2 (Task Group 2) เป็นการสื่อสารที่เน้นการสื่อสารร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802.11

กลุ่มที่ 3 (Task Group 3) เป็นการสื่อสารแบบระยะใกล้แบบความเร็วสูง (ประมาณไม่เกิน 20 เมกะบิตต่อวินาที)

กลุ่มที่ 4 (Task Group 4) เป็นการสื่อสารระยะใกล้ ที่เน้นการสื่อสารแบบใช้พลังงานต่ำ การรับส่งข้อมูลต่ำ และมีความซับซ้อนน้อยเพื่อให้อุปกรณ์มีราคาถูก ซึ่งมาตรฐานนี้ได้นำมาใช้สำหรับการสื่อสารสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 ความหมายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

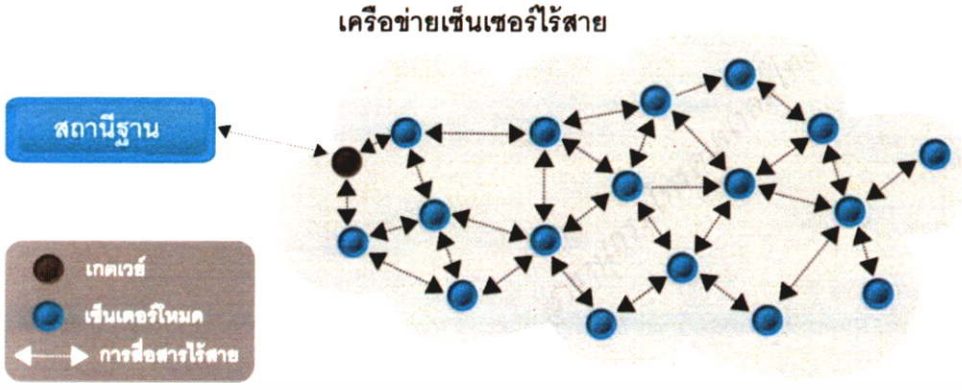
เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายคือ การใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์เล็กๆ จำนวนมากเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจและประมวลผลข้อมูลเหล่านั้นเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวเราหรือตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเกิดขึ้นจากการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวและการสื่อสารไร้สายที่ส่งผ่านข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์โหนดด้วยรูปแบบเครือข่ายแบบ ad-hoc จุดเด่นของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่อาศัยโปรโตคอลแบบ ad-hoc คือ ไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์พื้นฐานสำหรับเครือข่ายเช่นเดียวกับเครือข่ายแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network) หรือระบบโทรศัพท์จีเอสเอ็ม (GSM) นอกจากนี้การออกแบบเซ็นเซอร์โหนดให้มีขนาดที่เล็กและใช้พลังงานน้อยทำให้สามารถติดตั้งได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

### 2.11.1 สถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

สถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ เกตเวย์ และ สถานีฐาน (Base Station) ดังรูปที่ 2.1 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ข้างเคียงซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ควบคุมและจัดการงานของตัวเอง (Self-organize) ทุกๆ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่ติดต่อถึงกันทำงานร่วมกัน (Collaboration) เป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ แม้ว่าหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ปลายทางไม่สามารถติดต่อกับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ต้นทางได้โดยตรง โดยให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อๆ กันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอพ (Multi-hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูล ระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ ทีมีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ในเครือข่าย เซ็นเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่น ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.18 โครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [7]

เนื่องจากเป็นการทำงานแบบไร้สาย ทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ใช้แหล่งพลังงานภายในหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ หรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงาน เพื่อให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์อาจหยุดทำงานเพราะพลังงานหมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่ายที่มีหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้ การเปลี่ยนแปลงของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์นั้นมีผลต่อโครงสร้าง (Topology) ของเครือข่าย และส่งผลถึงเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลในแต่ละโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทาง (Routing algorithm) ซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่ายจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่ายนั้น ๆ

**2.11.1.1 ลักษณะของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย**

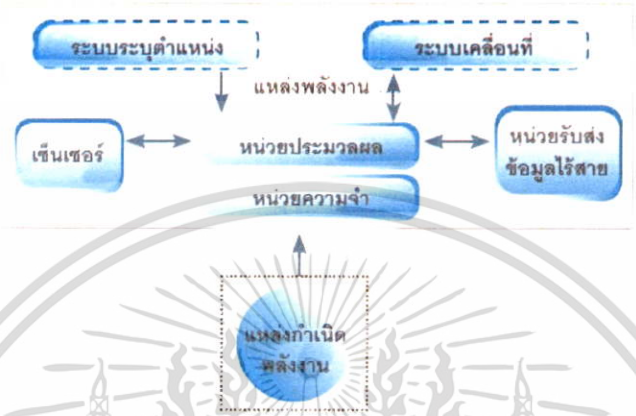
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีราคาต่ำเพื่อการสร้างเครือข่ายที่ต้องใช้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมาก และเหมาะสำหรับการนำไปใช้ครั้งเดียว
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีขนาดเล็กเพื่อฝังตัวในสภาพแวดล้อม
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีแหล่งพลังงานและความสามารถในการประมวลผลจำกัด
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถจัดการตัวเองได้ โดยไม่ต้องมีมนุษย์เข้าไปควบคุมหรือช่วยเหลือ
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมาก กระจายตัวครอบคลุมบริเวณทำการของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเก็บข้อมูล
- เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทนทานต่อความเสียหายเมื่อหน่วยร่วมเซ็นเซอร์บางส่วนทำงานไม่ได้
- โครงสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นโครงสร้างที่ไม่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.1.2 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์

การทำงานของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์คือ การวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อม นำข้อมูลไปประมวลผลเพื่อสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.19




**รูปที่ 2.19** ส่วนประกอบของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ [7]

ส่วนประกอบของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์แบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มส่วนประกอบหลักที่จำเป็นเพื่อให้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำงานได้ โดยในรูปที่ 2.19 จะเป็นส่วนประกอบที่มีเส้นรอบรูปเป็นเส้นทึบและกลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ โดยในรูปที่ 2.19 จะเป็นส่วนประกอบที่มีเส้นรอบรูปเป็นเส้นประ

#### 2.11.1.2.1 กลุ่มส่วนประกอบหลัก

1. เซ็นเซอร์ (Sensor) ทำหน้าที่วัดค่าต่างๆ จากสภาพแวดล้อมตามชนิดของเซ็นเซอร์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ควัน ความเร่ง แรงสั่นสะเทือน ความเคลื่อนไหว ความลึก ความเป็น กรดหรือด่าง เป็นต้น

2. หน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย (Transceiver Unit) ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่าน ความถี่สาธารณะ (ISM Band) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ข้างเคียง

3. หน่วยประมวลผล (Processing Unit) ติดต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อสั่งงานหรือรับข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูลและจัดเก็บลงในหน่วยความจำรอการร้องขอข้อมูลหรืออาจส่งข้อมูลทันทีผ่านทางหน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย หน่วยประมวลผลกลางอาจรับข้อมูลจากระบบระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการประมวลผลต่าง ๆ หรือหน่วยประมวลผลกลางอาจทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ผ่านทางระบบเคลื่อนที่ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกลางยังทำหน้าที่ประมวลผลเครือข่ายและหาเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พลังงาน (Power Unit) เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

**2.11.1.2.2 กลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติม**

1. ระบบระบุตำแหน่งเป้าหมาย (Positioning unit) เป็นหน่วยระบุตำแหน่งของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์โดยใช้ GPS เพื่อนำข้อมูลตำแหน่งไปใช้ประมวลผล เช่น หาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูล หาตำแหน่งสำหรับการเคลื่อนที่ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ เป็นต้น

2. ระบบเคลื่อนที่ (Mobilizing unit) ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายตำแหน่งของเซ็นเซอร์ เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น จัดรูปแบบโครงสร้างเครือข่าย ติดตามวัตถุ เคลื่อนที่หาสัญญาณสื่อสาร เป็นต้น

3. แหล่งกำเนิดพลังงาน (Power generator unit) ทำหน้าที่กำเนิดพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานลม ความร้อน ปฏิกิริยาเคมี การสั่นสะเทือน เป็นต้น ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บสะสมและใช้ต่อไปเพื่อชดเชยพลังงานที่ถูกใช้ไปทำให้ตัวเซ็นเซอร์ไร้สายทำงานได้เป็นเวลานาน

**2.11.1.3 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย**

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นระบบเครือข่ายที่มีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ระบบเตือนภัย ระบบเครือข่ายต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูลและจะส่งข้อมูลเมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้นเท่านั้นเพื่อประหยัดพลังงาน ระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบเครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูลแต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลาโดยอาจมีการรวมข้อมูล (Data Fusion) ในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูลเพื่อลดจำนวนครั้งของการสื่อสารและประหยัดพลังงาน ดังนั้นการเลือกชนิดและออกแบบเครือข่ายจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งาน

**รูปที่ 2.20** ระดับชั้นโปรโตคอลของเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย [7]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.11.1.3.1 โปรโตคอลสแตก (Protocol Stack)**

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้ความสำคัญกับพลังงานมาก เพราะเซ็นเซอร์ไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัด ทำให้พลังงานมีผลต่อเซ็นเซอร์ไร้สายและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลสแตกของแบบจำลองโอเอสไอ (Open Systems Interconnection model : OSI Model) โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบดังรูปที่ 2.20 แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเอง คอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเอง ส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุกๆ ชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบนั้นๆ อย่างไรก็ตามการใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลสแตกที่แตกต่างกัน

1. ชั้นกายภาพ (Physical Layer) รับผิดชอบการรับ-ส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่น ช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต (Modulation) การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ (Channel Coding) ชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้ช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด

2. ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) รับผิดชอบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Control: MAC) การควบคุมข้อ ผิดพลาด (Error Control) ของข้อมูล เพื่อให้การสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน (Random Access) ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วยหน่วย ร่วมเซ็นเซอร์อยู่เป็นจำนวนมากและไม่มีโครง สร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบ รวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

3. ชั้นเครือข่าย (Network Layer) รับผิดชอบการรับ-ส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอพเพื่อส่งข้อมูลจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ไปยังสถานีฐาน การคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ระนาบพลังงาน (Power Plane) รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่าง ๆ ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้มีประสิทธิภาพ โดยอาจประสานงานข้ามชั้น (Cross Layer) เช่น หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เหลือพลังงานน้อย อาจจะลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพ โดยประสานงานกับชั้นเครือข่าย เพื่อเลือกเส้นทางที่ควรจะส่งข้อมูลในกรณีที่ระยะส่งข้อมูลลดลงเนื่องการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

## 2.12 เทคโนโลยีซิกบี (ZigBee Technology)

เทคโนโลยีซิกบีเป็นการสื่อสารที่ถูกออกแบบตามการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานการรับ-ส่งข้อมูลแบบมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำและมีราคาถูกสำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์เป็นการสื่อสารแบบไร้สายทำให้ลดความยุ่งยากซับซ้อนในการติดตั้ง

### 2.12.1 คุณสมบัติซิกบี

คุณสมบัติซิกบีแบบการสื่อสารระยะใกล้ มีดังนี้

- การเชื่อมต่อมีความซับซ้อนเพื่อรองรับการเชื่อมต่อสำหรับเครือข่ายขนาดใหญ่
- การใช้งานแบบประหยัดพลังงานเพื่อการใช้งานได้ยาวนานจากพลังงานแบตเตอรี่
- การสื่อสารระยะใกล้ในระยะ 10–100 เมตร
- เหมาะกับงานการเฝ้าระวัง (Monitor) และการควบคุม (Control) งานอุตสาหกรรม งานสิ่งแวดล้อม งานก่อสร้างและงานทางการแพทย์
- การสื่อสารข้อมูลมีความเร็วประมาณ 125 – 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps)

### 2.12.2 ลักษณะของซิกบี

ลักษณะของซิกบีมุ่งเน้นการใช้งานภายใต้เครือข่าย IEEE 802.15.4 มาตรฐานซิกบีรวมถึงคุณสมบัติของการใช้พลังงานต่ำที่จำเป็นสำหรับใช้งานใน 2 โหมดหลัก (Tx / Rx หรือ Sleep) ความหนาแน่นของโหนดสูงต่อระบบมีต้นทุนต่ำและการใช้งานง่าย

### 2.12.3 การรับส่งข้อมูลเบื้องต้น

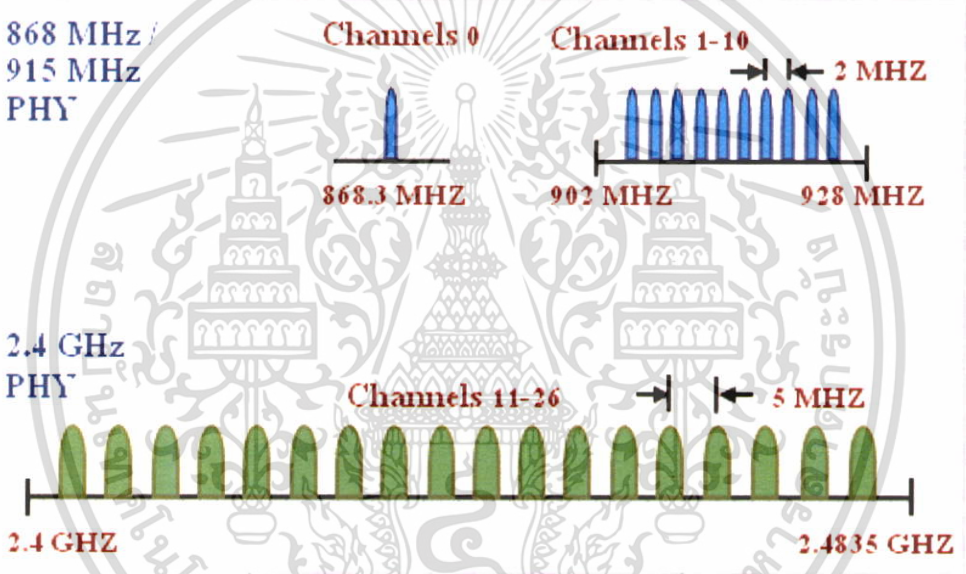
มาตรฐาน IEEE 802.15.4 กำหนดขึ้นสำหรับการรับส่งข้อมูลเบื้องต้นในวงจรเครื่องรับส่งวิทยุ (Physical Layer) และการควบคุมการรับส่ง (Link Layer) ดังต่อไปนี้ การสื่อสารใช้คลื่นวิทยุความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) แบ่งออกเป็น 16 ช่องสัญญาณๆ ละ 5 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) สำหรับความถี่ 900 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) แบ่งออกเป็น 10 ช่องสัญญาณๆ ละ 2 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ใช้การผสมสัญญาณ (Modulation) แบบ Offset Quadrature Phase Shift Keying (Offset-QPSK) และใช้การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ที่มีอัตราการสเปดดิ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Spreading) 2 ล้านชิพต่อวินาที ควบคุมการรับส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอลแบบ Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA) และเพื่อให้การสื่อสารเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงกำหนดมาตรฐานเพิ่มสำหรับการเชื่อมต่อเป็นเครือข่าย (Network Layer) และการนำไปใช้งาน (Application Layer) ร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานใหม่ที่กำหนดโดยองค์กร ZigBee Alliance

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าซิกบี กำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ย่าน 915 เมกกะเฮิรตซ์ และย่าน 868 เมกกะเฮิรตซ์ โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ส่วนอัตราการรับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250, 40 และ 20 กิโลบิตต่อวินาที ตามลำดับ




รูปที่ 2.21 ย่านความถี่ที่ใช้งาน [8]

### 2.12.4 โครงสร้างเครือข่าย (Network Topology)

การเชื่อมต่อของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยมาตรฐานซิกบีถูกกำหนดอยู่สองรูปแบบ ได้แก่ แบบดาว (Star Topology) และแบบระดับเดียว (Peer-to-Peer Topology)

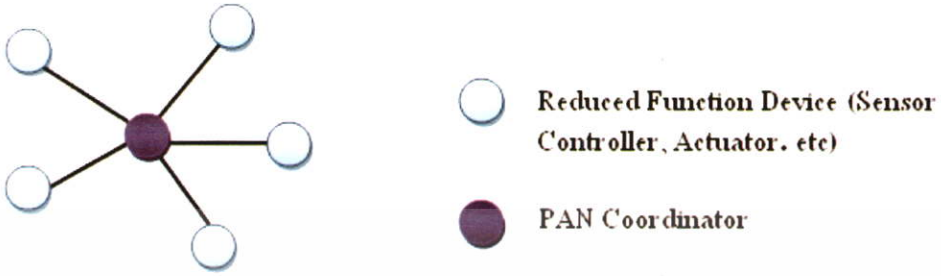
#### 2.12.4.1 การเชื่อมต่อแบบดาว (Star Topology)

การเชื่อมต่อแบบดาวเหมือนการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายจิ๋ว (Piconet) ดังแสดงในรูปที่ 2.22 การสื่อสารเป็นที่ยอมรับกันระหว่างอุปกรณ์และการควบคุมส่วนกลางเดี่ยว (Single Central Controller) ที่เรียกว่า PAN Coordinator ที่เป็นตัวขับเคลื่อนหลักหลังจาก FFD Active สำหรับช่วงเวลาแรกมันอาจ จะสร้างเครือข่ายของมันเองและกลายมาเป็น PAN Coordinator ในแต่ละ Star



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network จะเลือก PAN ID ซึ่งปัจจุบันไม่ได้ถูกใช้โดยเครือข่ายอื่น ๆ ภายใน Radio Sphere นี้จะยอมให้แต่ละ Star Network ทำงานอย่างอิสระ




**รูปที่** 2.22 การเชื่อมต่อแบบดาวในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [8]

### 2.12.4.2 การเชื่อมต่อแบบระดับเดียว (Peer-to-Peer Topology)

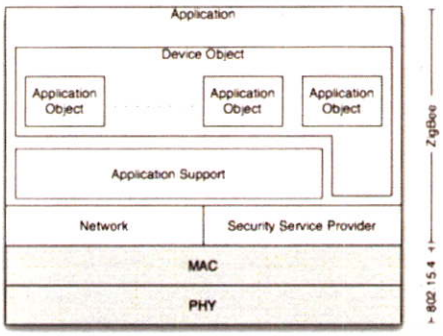
การเชื่อมต่อแบบระดับเดียวเป็นการเชื่อมต่อเพื่อขยายโครงข่ายให้กว้างออก ไปดัง แสดงในรูปที่ 2.23 โดยในการเชื่อมต่อนั้นจะต้องมี PAN Coordinator ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์ เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม (Full-Function Device) ในการหาเส้นทาง (Routing) และอุปกรณ์ เซ็นเซอร์แบบที่มีความสามารถลดลง (Reduced-Function Device) จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มี ความสามารถเต็มอีกทีหนึ่ง ซึ่งอุปกรณ์ที่มีความสามารถเต็มเทียบเท่าได้กับอุปกรณ์บลูทูธแบบมาสเตอร์ (Master) ที่มีหน้าที่เชื่อมต่อกับมาสเตอร์ตัวอื่น ๆ เพื่อขยายเครือข่ายให้กว้างขึ้น

**รูปที่ 2.23** การเชื่อมต่อแบบแบบระดับเดียวในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [8]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.12.5 สถาปัตยกรรมของซิกบี




**รูปที่ 2.24** สถาปัตยกรรมของซิกบี [8]

ซิกบีถูกออกแบบตามโครงสร้างเลเยอร์ Physical และเลเยอร์ MAC ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานในเลเยอร์ (Layer) ที่ต่ำกว่า เช่น ระดับกำลังสัญญาณ การวัดระดับคุณภาพ การเข้าถึงการควบคุม (Access Control) ความปลอดภัย และเลเยอร์ระดับแอพพลิเคชัน (Application Layers) ซึ่งสถาปัตยกรรมของซิกบีแสดงดังรูปที่ 2.24

ลักษณะของซิกบีคือ มีทางเข้าช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access ด้วย Collision Avoidance (CSMA-CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลาย ๆ ช่องสัญญาณ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันชนิดอุปกรณ์ของซิกบีมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบ Physical Device และ Logical Device และแบบ Physical Device สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. Full Function Device: FFD เป็นเราเตอร์ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ใช้พลังงานจาก Power Line ทำงานได้ในทุกโครงข่ายและสามารถทำเป็นจุด เชื่อมต่อกันได้ โดย FFD สามารถที่จะทำงานได้สามโหมดคือ PAN coordinator, Coordinator หรือ Device ซึ่งในเครือข่ายของซิกบี ต้องมี FFD อย่างน้อยหนึ่งตัวซึ่งจะทำหน้าที่เป็น PAN coordinator โดย FFD สามารถที่จะติดต่อได้ทั้ง FFD และ RFD แต่ RFD จะสามารถติดต่อได้เพียง FFD เท่านั้น

2. Reduced Function Device: RFD เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่ายในพลังงาน จากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆได้ ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบดาว แบบ Logical Device มี 3 ประเภทคือ ZigBee Coordinators เป็นจุดที่ประสานเชื่อมต่อ ZigBee End Device ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลในเครือข่าย ZigBee Routers ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายใน โครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใด ๆ ซิกบีและ Devices เป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งานโดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD

ดังนั้นซิกบีแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบคือ

1. Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนดที่อยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Address) ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในวงเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการการค้นหาเส้นทาง (Routing) ซึ่งเทียบได้กับ FFD

2. End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้

3. Router มีหน้าที่รับ-ส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD

ส่วนสำคัญสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายคือ กลไกการประหยัดพลังงานซึ่งตัวอุปกรณ์เซ็นเซอร์สามารถกำหนดระยะเวลาในการเข้าสู่การหลับหรือพักการทำงาน (Sleep Mode) โดยตัวอุปกรณ์จะทำหน้าที่ลดการใช้พลังงานให้เหลือน้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน การกำหนดการหลับนี้ทำได้โดยการร้องขอไปที่อุปกรณ์ Full Function Device เพื่อบอกระยะเวลาที่จะทำการหลับ และเมื่อมีการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตัวอื่นมายังอุปกรณ์ที่หลับอยู่ อุปกรณ์ Full Function Device จะเก็บข้อมูลไว้ให้ชั่วคราว และถามหาอุปกรณ์ตัวนั้นเป็นระยะเมื่ออุปกรณ์ตัวนั้นตื่นหรือพร้อมทำงานต่อจะได้รับการถามหา อุปกรณ์ตัวนั้นจึงส่งการร้องขอข้อมูลที่ได้เก็บไว้ให้ และจึงทำการรับ-ส่งข้อมูลจนได้รับข้อมูลครบสมบูรณ์ต่อไป

### 2.12.6 การประยุกต์ใช้งานซิกบี

ซิกบีสามารถประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวัน ถ้านำมาตรฐานเครือข่ายแบบไร้สาย IEEE 802.15.4 มาประยุกต์ใช้แบบยูบิควิตัส โดยเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ หรือ อุปกรณ์กับมนุษย์ ที่ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับมีดังนี้

1. ระบบการควบคุมอัตโนมัติ ที่บ้าน โรงงาน และโกดังเก็บสินค้า เป็นต้น
2. ระบบการติดตามสำหรับความปลอดภัย ชีวะอนามัย และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
3. การตรวจหาตำแหน่งที่นำไปใช้ในการปฏิบัติการทางทหาร การทำงานของนักผจญเพลิง
4. ด้านความบันเทิง เช่น เกมฝึกทักษะ และของเล่นแบบอินเตอร์แรคทีฟ (Interactive)

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 หรือซิกบี ถ้ามีการใช้งานเกิดขึ้นจริงนั้นจะมีผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันอย่างมาก เช่น ในทางชีวะอนามัย นอกจากนี้ซิกบีจะช่วยเตือนภัยจากสิ่งแวดล้อม รวมถึงอุบัติภัยต่างๆ เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม แผ่นดินไหว เป็นต้น ทั้งนี้ระบบเตือนภัยในปัจจุบันไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย และตัวอุปกรณ์มีช่วงการใช้งานจากแบตเตอรี่สั้น นอกจากนี้ยังมีราคาสูง แต่ในซิกบีสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พื้นฐานเช่น เซ็นเซอร์ และ หัวขับ (Actuators) ที่มีราคาต่ำ ทำให้สามารถติดตามเหตุการณ์ต่างๆ และอุปกรณ์จะทำงานอย่างอัตโนมัติ

สำหรับการประยุกต์ซิกบีมาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิต สื่อสารระหว่างกันเป็นระบบเครือข่ายได้ เช่น เมื่อมีสายโทรศัพท์เข้ามา โทรทัศน์จะลดเสียงลงอัตโนมัติ ทั้งนี้ไม่จำเป็นไม่ต้องเซตค่าต่างๆ ให้กับอุปกรณ์ แต่อุปกรณ์เองจะเรียนรู้เองจาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของเราภายในบ้าน โดยแต่ละอุปกรณ์จะตรวจจับค่าต่างๆ เช่น ความเข้มแสงหลอดไฟ อุณหภูมิ เป็นต้น โดยแต่ละอุปกรณ์จะเรียนรู้พฤติกรรมของแต่ละคนและบันทึกไว้

นอกจากนี้ยังสามารถนำซิกบีมาประยุกต์ใช้ในการคมนาคม กับอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆ ที่อยู่ตามท้องถนนทางด่วน และที่อื่น ๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ต่างๆจะสื่อสารกันเองเป็นระบบเครือข่าย ในระหว่างการเดินทางของรถบนท้องถนน อุปกรณ์ที่อยู่ข้างทางจะส่งข้อมูลที่จำเป็นในการเดินทางสำหรับถนนที่รถวิ่งอยู่ เช่น ความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้ เส้นทางเป็นรถเดินทางเดียวหรือสองทาง สภาพการจราจร ข้อมูลอุบัติเหตุ เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ข้างถนนจะมีการทำงานแบบอัตโนมัติด้วยเช่น ไฟส่องทางจะลดความเข้มลงเมื่อไม่มีรถวิ่งผ่านมา และระบบควบคุมการจราจร เป็นต้น

## 2.13 โมดูลเอ็กซ์บี (XBee Module)

เอ็กซ์บี เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ รับส่งข้อมูลแบบไร้สาย และสามารถสร้างระบบเครือข่ายขึ้นมาได้ โดยซิกบีได้อ้างอิง ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยสามารถแบ่ง หน้าที่การทำงานของเอ็กซ์บี ตามรูปแบบการสื่อสารในลักษณะต่าง ๆ ได้ อาทิเช่น โคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator), เราเตอร์ (Router) หรือ อุปกรณ์ปลายทาง (End Device)

เอ็กซ์บี เป็นอุปกรณ์ที่มีไมโครคอนโทรเลอร์ และภายในประกอบด้วยวงจรการสื่อสาร ซึ่งทำหน้าที่เป็น อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ (Transceiver) เป็นการสื่อสารแบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มีอินเตอร์เฟส (Interface) ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับเอ็กซ์บี เป็น UART (TTL) ซึ่งสำหรับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถนำขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของเอ็กซ์บีต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย

### 2.13.1 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์เอ็กซ์บี

การสร้างโครงข่ายไร้สายของซิกบีนั้นจะต้องประกอบด้วยโหนดจำนวนอย่างน้อยที่สุด 2 ชนิด คือ โหนดแม่เครือข่าย (Coordinator Node) และโหนดลูกข่ายชนิดใดชนิดหนึ่ง (Router/End Device) จึงจะสามารถสื่อสารและทำงานในรูปแบบของ PAN (Personal Area Network) ได้โดยซิกบีสามารถแบ่งรูปแบบ เครือข่ายได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

#### 2.13.1.1 การเชื่อมต่อแบบ Broadcast

การเชื่อมต่อแบบ Broadcast หรือแบบดาว เป็นการรับส่งข้อมูลแบบไม่เฉพาะเจาะจงจุดหมายปลายทาง หรือ เอ็กซ์บีทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกัน สามารถรับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว

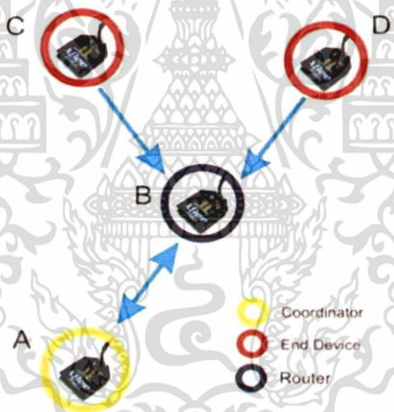


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.25** การเชื่อมต่อแบบ Broadcast [9]

### 2.13.1.2 การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree

การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree เป็นการรับส่งข้อมูลแบบส่งผ่าน เช่น A ต้องการติดต่อกับ C แต่ C อยู่ไกลจาก A จน A ไม่สามารถติดต่อกับ C ได้ แต่พอดีมี B ที่อยู่ระหว่าง A กับ C ดังนั้น Cluster Tree จะใช้ B ทำหน้าที่เหมือนตัวกลางเชื่อมการติดต่อ (Repeater) ระหว่าง A กับ C



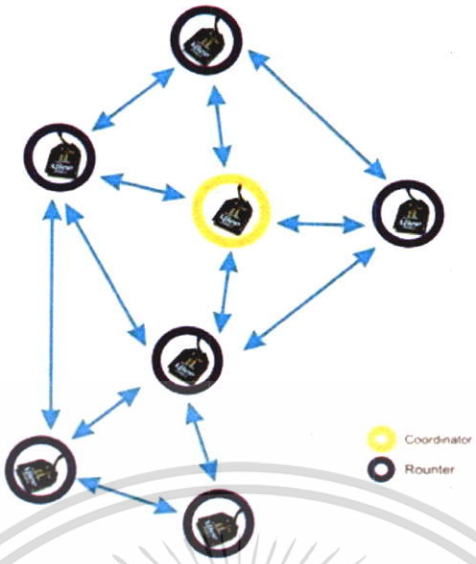

**รูปที่ 2.26** การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree [9]

### 2.13.1.3 การเชื่อมต่อแบบ Mesh

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Mesh หรือแบบตาข่าย เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจาก ข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายทาง ทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้ ถ้าเกิดความเสียหายในบางส่วนของระบบก็ตาม (ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบของผู้ใช้ด้วย) ระบบนี้จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก



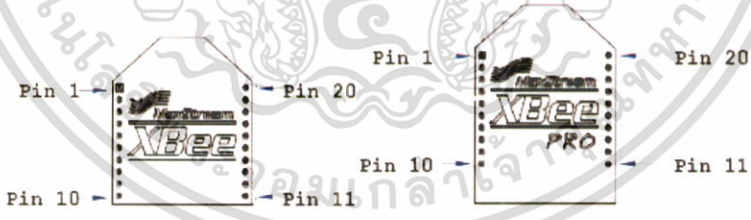
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.27 การเชื่อมต่อแบบ Mesh [9]

2.13.2 ลักษณะเด่นของโมดูลเอ็กซ์บี

- ย่านความถี่ที่ใช้งานคือ ย่านความถี่ ISM Band 2.4 กิกะเฮิรตซ์
- มีสายอากาศให้เลือกใช้หลายแบบคือ แบบ Chip, Whip, UFL และ RPSMA
- พลังงานที่ใช้งาน 2.8-3.4 โวลต์
- อัตราเร็วในการส่งข้อมูล 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps)
- เป็น Spread Spectrum ชนิด DSSS (Direct Sequence)




รูปที่ 2.28 โมดูลเอ็กซ์บี [10]

2.13.2.1 กำลังส่งสายอากาศและสัญญาณรบกวนของโมดูลเอ็กซ์บี

โมดูลเอ็กซ์บีนั้นใช้งานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรซ์ ซึ่งเป็นย่านเดียวกับบลูทูธ (Bluetooth) หรือเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) ซึ่งอาจเกิดการบกวนสัญญาณกัน

ช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรซ์ นี้เรียกว่าเป็นย่านไมโครเวฟ หลักการสำคัญของย่านไมโครเวฟอย่างหนึ่งคือ การวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณนั้นต้องตั้งแบบเส้นตรง (Line of Sight) ถึงจะได้กำลังส่งสูงสุดสำหรับกำลังส่งของโมดูลเอ็กซ์บีรุ่นโปร จะใช้ 50-60 มิลลิวัตต์ ซึ่งจากเอกสาร

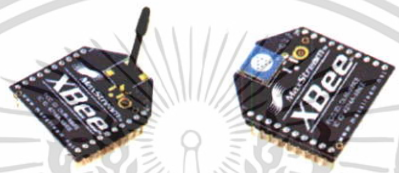


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบ (Datasheet) สามารถรับส่งข้อมูลในระยะทาง 1.5 กิโลเมตร (เป็นลักษณะของเส้นตรง) หากไม่ใช่เงื่อนไขนี้ ระยะทางของการรับส่งสัญญาณจะลดลง

สายอากาศของเอ็กซ์บี เป็นแบบสำเร็จรูปพร้อมใช้ไม่ต้องหาสายอากาศมาต่อเพิ่มคือ สายอากาศแบบ Chip และ Whip

สายอากาศแบบ Chip นั้น ก็มีข้อดีคือมีขนาดเล็กแต่อัตราการขยายน้อยกว่าเสาอากาศแบบ Whip สายอากาศแบบ Chip จึงมีระยะทางในการรับส่งข้อมูลที่ลดลง ยกตัวอย่างเช่น โมดูลเอ็กซ์บีรุ่นโปร สามารถส่งได้ไกลสูงสุด 1.5 กิโลเมตร ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณแบบเส้นตรง แต่ถ้าสายอากาศแบบ Chip จะได้ระยะสูงสุดประมาณ 500 เมตร




**รูปที่ 2.29** สายอากาศแบบ Whip และสายอากาศแบบ Chip [10]

**2.13.2.2 การกำหนดแอดเดรสของเอ็กซ์บี**

เอ็กซ์บีจะสามารถกำหนดค่าประจำตัวอ้างอิง (Address) ได้ 2 แบบคือ แบบ 16 บิต และ 64 บิต โดยทั่วไป เอ็กซ์บีทุกตัวจะถูกกำหนดค่ามาจากโรงงานเป็น 64 บิต ซึ่งจะสามารถอ่านค่าได้จากพารามิเตอร์ SH+SL การใช้งาน 64 บิต สามารถทำได้โดยกำหนดพารามิเตอร์ MY ให้มีค่า 0xFFFF หรืออ่านค่าได้จากโรงงานเป็น 0xFFFE ส่วนการกำหนด 16 บิตนั้นทำได้โดยกำหนดพารามิเตอร์ MY ให้มีค่าน้อยกว่า 0xFFFE โดยจะเรียกเป็นโหมดการทำงาน 2 ประเภท คือ

1. Unicast Mode คือ การรับส่งข้อมูลโดยอาศัยหลักการการตอบรับ เมื่อทางด้านส่งนั้นส่งข้อมูลไป แต่ไม่ได้รับการตอบรับจากตัวรับ ก็จะทำการส่งข้อมูลใหม่
2. Broadcast Mode คือ การส่งข้อมูลไปยังปลายทางให้ได้รับข้อมูลทุกตัว

**2.13.2.2.1 โหมดการทำงานของโมดูลเอ็กซ์บี**

โหมดการทำงานของโมดูลเอ็กซ์บีสามารถแบ่งช่วงการทำงานได้เป็น 5 แบบ คือ

1. Idle Mode โหมดนี้จะเป็นโหมดที่ไม่ได้รับส่งข้อมูลเอ็กซ์บีเตรียมที่จะทำงานในโหมดอื่น ๆ ต่อไปทันที หากมีเงื่อนไขบางอย่าง

2. Transmit / Receive Mode คือ ช่วงที่เอ็กซ์บีมีการรับหรือส่งข้อมูล โดยจะแบ่งลักษณะการทำงานย่อยออกเป็นแบบ direct กับแบบ indirect การกำหนดแอดเดรสต้นทางและปลายทางและการตอบรับ (Acknowledgement)

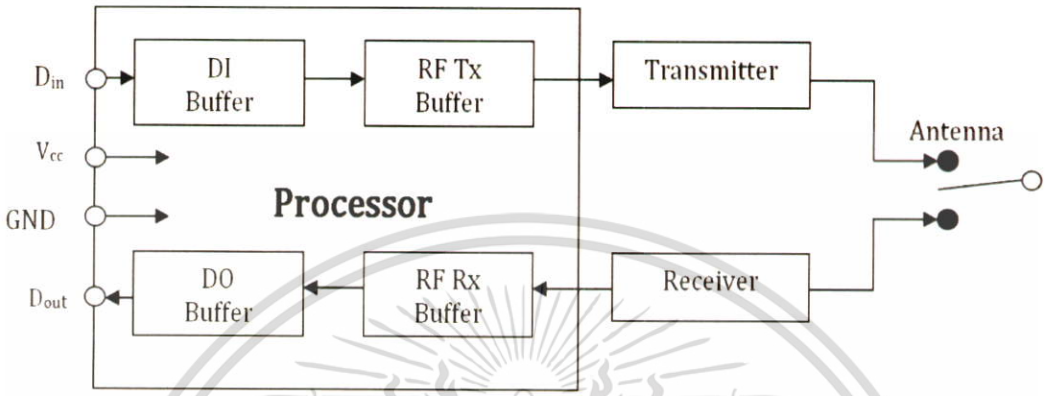
3. Sleep Mode คือ ช่วงที่เอ็กซ์บีอยู่ในสถานการณ์ทำงานพลังงานต่ำที่สุดเมื่อไม่มีการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Command Mode คือ เป็นส่วนการปรับพารามิเตอร์ของเอ็กซ์บี ซึ่งจะมีการกำหนด 2 แบบ คือ แบบ AT command กับแบบ API command

### 2.13.2.3 Data Throughput ของโมดูลเอ็กซ์บี




**รูปที่ 2.30** Internal Data Flow Diagram [10]

โดยทั่วไปการใช้งาน RF Module ควรจะกำหนดให้บัฟเฟอร์ (Buffer) ด้วย เพื่อการปรับอัตรารับส่งข้อมูลระหว่างตอนที่รับส่งทางอากาศ กับตอนที่รับส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลที่รับส่งระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูลเอ็กซ์บี จะมีข้อจำกัดเรื่องแพ็คเกตอาจถูกตัดทิ้งได้เนื่องมาจาก Data Overflow สำหรับด้านการส่งข้อมูลไปที่โมดูลเอ็กซ์บีเพื่อออกอากาศนั้น ที่ขา DI จะมีบัฟเฟอร์อยู่ประมาณ 202 ไบต์ หากส่งเกินบัฟเฟอร์จะเกิดการตัดแพ็คเกตทิ้ง ซึ่งทางฝั่งรับข้อมูลที่ขา DO ก็มีบัฟเฟอร์อยู่เช่นกัน โดยจะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ Data Throughput คือ RO และ BD

ค่า RO คือ ค่า Packetization Timeout ซึ่งเป็นการดีเลย์ของข้อมูลที่อยู่ใน DI Buffer ก่อนที่จะถูกจัดข้อมูลเป็นแพ็คเกต (Encapsulate) แล้วไปที่ส่วนการส่งคลื่นวิทยุเพื่อส่งข้อมูลผ่านอากาศ หากตั้ง RO = 0 ข้อมูลที่รับเข้ามาจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกโมดูลเอ็กซ์จัดเป็นแพ็คเกตส่งออกอากาศทันที ดังนั้นจะมีพารามิเตอร์ RO และ BD ที่จะช่วยในการปรับข้อมูลรับส่งให้สามารถรับส่งกันได้ทัน ไม่ให้มีการตัดแพ็คเกตทิ้งได้ ในกรณีที่ส่งข้อมูลเกิน 200 ไบต์

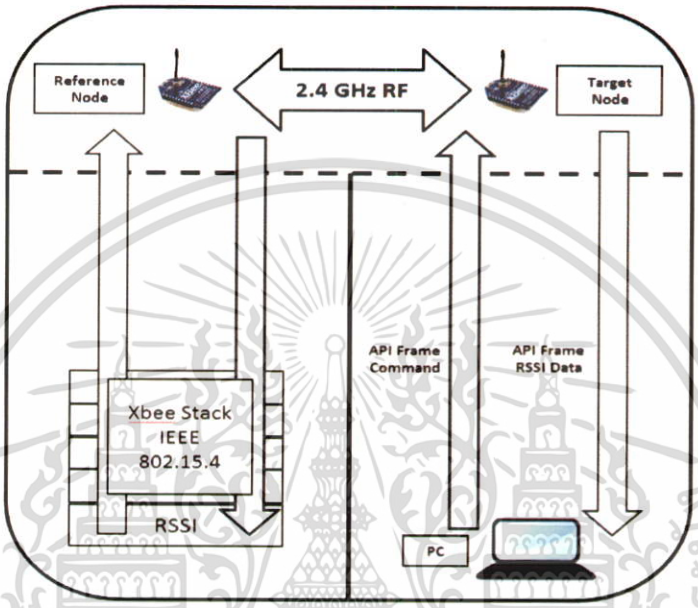
นอกจากนี้ยังมีขา CTS (ขา12) และ RTS (ขา16) จะช่วยเตือนเวลาที่บัฟเฟอร์ภายในใกล้จะเต็ม โดยในฝั่งส่ง DI Buffer จะส่งสัญญาณมาทาง CTS เมื่อ DI Buffer เหลือพื้นที่จัดเก็บอยู่อีก 17 ไบต์ และส่ง Clear Signal ที่ CTS เมื่อ DI Buffer เหลือพื้นที่จัดเก็บมากกว่า 34 ไบต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.2.4 ระบบการทำงานของซิกบี

โมดูลเอ็กซ์บี (XBee) เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ผลิตโดยบริษัท ZigBee Alliance มีโครงข่ายเครือข่ายหลากหลายและการตั้งค่าอุปกรณ์สามารถทำได้ง่ายสะดวกต่อการใช้งาน จากรูปที่ 2.14 เป็นการแสดงภาพโดยรวมของระบบการทำงานของโมดูลเอ็กซ์บี




**รูปที่ 2.31** ภาพโดยรวมของระบบการทำงานของโมดูลเอ็กซ์บี [10]

ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรินต์ ถูกสร้างโดยการวัดระดับความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงโดยส่งผ่านโมดูลเพื่อส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์และข้อมูลที่ได้รับมาจะเป็นชุดข้อมูลรูปแบบเฟรมข้อมูลซึ่งจะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

### 2.13.2.5 รูปแบบเฟรมที่ใช้ในการสื่อสารในระดับชั้นเน็ตเวิร์กเลเยอร์

| Header | Frame Length | Frame ID | Data | Checksum |
|---|---|---|---|---|
| 1 Bytes | 2 Bytes | 1 Bytes | Depend on Frame type | 1 Bytes |

**รูปที่ 2.32** รายละเอียดของแพ็คเกตขนาด 8 ไบต์ [11]

ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1. Header ใช้สำหรับการทำ Byte Stuffing
2. Frame Length ใช้สำหรับระบุขนาดของเฟรม
3. Frame Type ใช้สำหรับระบุประเภทของเฟรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Frame ID ระบุหมายเลขของเฟรม

5. Data ขึ้นอยู่กับประเภทของเฟรม

6. Checksum เป็นข้อมูลของการ Checksum ตั้งแต่ไบต์ที่ 4

ประเภทของเฟรมที่ใช้ประกอบไปด้วย

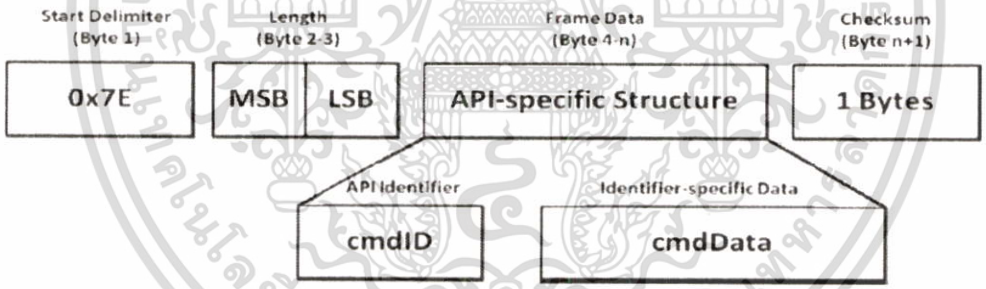
1. Remote AT Command Request (0x17)
2. Explicit Addressing ZigBee Command Frame (0x11)
3. ZigBee Transmit Request (0x10)

### 2.13.2.6 การส่งข้อมูลในรูปแบบเอพีไอ (API: Application Programing Interface)

การส่งข้อมูลในรูปแบบเอพีไอคือ การจัดเก็บข้อมูลที่ต้องการจะติดต่อสื่อสารกับโหมดอื่นๆในรูปแบบโครงสร้างที่แน่นอน โดยจัดเก็บเป็นเฟรมแพ็คเกต (Frame Packet) ซึ่งสามารถบอกได้ว่า แพ็คเกต ที่ส่งไปนั้นมีคำสั่งอะไร การส่งข้อมูลถูกต้องหรือไม่ และมีสถานะของการส่งและการรับของแพ็คเกตนั้นๆด้วย ซึ่งข้อมูลที่ส่งไปจะอยู่ในรูปแบบของเลขฐานสิบหก

#### 2.13.2.6.1 รูปแบบของ API Frame

รูปแบบของ API Frame แสดงได้ดังรูปที่ 2.32




**รูปที่ 2.33** รูปแบบ API Packet frame [11]

รูปแบบเฟรมที่ใช้ในการสื่อสารมีรายละเอียดดังนี้

1. Header ขนาด 1 ไบต์ ใช้สำหรับการทำ Byte Stuffing
2. Frame Length ขนาด 2 ไบต์ ใช้สำหรับระบุขนาดของเฟรม
3. MSB ( Most Significant Byte) คือ ไบต์ที่มีค่าประจำหลักมากที่สุด
4. LSB (Last Significant Byte) คือ ไบต์ที่มีค่าประจำหลักน้อยที่สุด
5. cmdID (API Identifier) คือ ไบต์ที่เป็นตัวกำหนดรูปแบบของ API ว่าอยู่ในประเภทใด เช่น อยู่ในรูปแบบของ AT command การรับข้อมูล หรือการส่งข้อมูล เป็นต้น ข้อมูลขึ้นอยู่กับประเภทของเฟรม



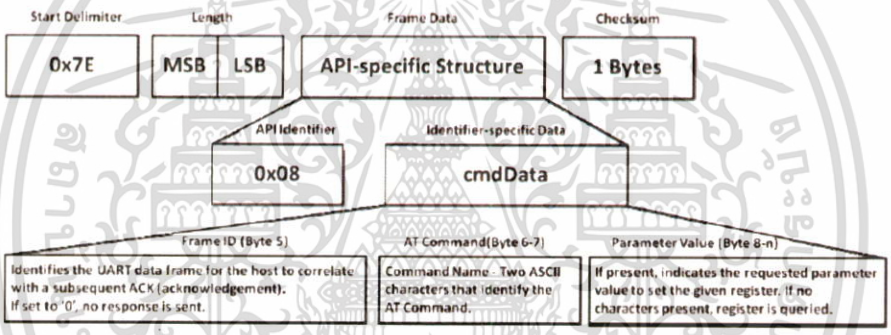
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. cmdData (Identifier-Specific Data) คือ รูปแบบของข้อมูลที่ต่างๆ ที่ถูกกำหนดโดย cmdID

7. Checksum ขนาด 1 ไบต์ เป็นข้อมูลของผล Checksum ตั้งแต่ ไบต์ที่ 4 โดยจะเป็นไบต์ที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับหรือส่ง สามารถคำนวณหาค่า Checksum ได้โดยบวก Frame Data ทุกไบต์ในลักษณะของเลขฐานสิบหก หลังจากนั้นนำไบต์สุดท้ายไปลบออกจาก 0xFF ก็จะได้ค่า Checksum ที่ถูกต้อง

### 2.13.2.7 AT Command

API Frame ประเภท AT command เป็นแพ็คเกตที่สามารถใช้เขียนหรืออ่านค่าพารามิเตอร์ของโมดูลซิกบีได้ ซึ่งใช้คำสั่ง AT Command ในรูปแบบนี้ไม่จำเป็นต้องอยู่ในโหมด AT command ค่าต่างๆสามารถอ่านหรือแก้ไขได้ทันที โดยจะมีค่า API Identifier เป็น 0x08




**รูปที่ 2.34** รูปแบบ API Packet frame ประเภท AT Command [11]

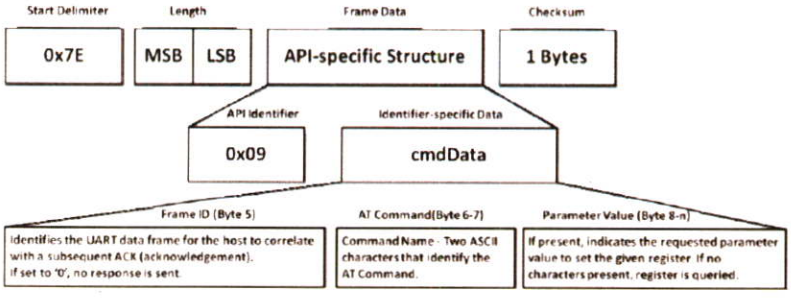
- Frame ID คือ ค่า ID ของเฟรมที่ส่งไป ถ้าถูกตั้งค่าเป็น 0 สัญญาณตอบกลับจะไม่ถูกส่งกลับมา
- AT Command คือ ชื่อของ AT Command ประกอบด้วยตัวอักษร 2 ตัว
- Parameter Value คือ ค่าพารามิเตอร์ของ AT Command นั้น ๆ ที่ต้องการตั้งค่า

#### 2.13.2.7.1 AT Command Queue Parameter Value

API Frame ประเภทนี้จะเหมือนกับ API frame AT Command ซึ่งสามารถใช้เขียนหรืออ่านค่าพารามิเตอร์ของโมดูลซิกบี ได้โดยใช้ AT Command แต่ API Frame ประเภทนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อ AT Command (API Identifier = 0x08) ทำงานเสร็จ ซึ่ง AT Command Queue Parameter Value มีค่า API Identifier เป็น 0x09 โครงสร้างของ API Frame ประเภทนี้เป็นดังนี้



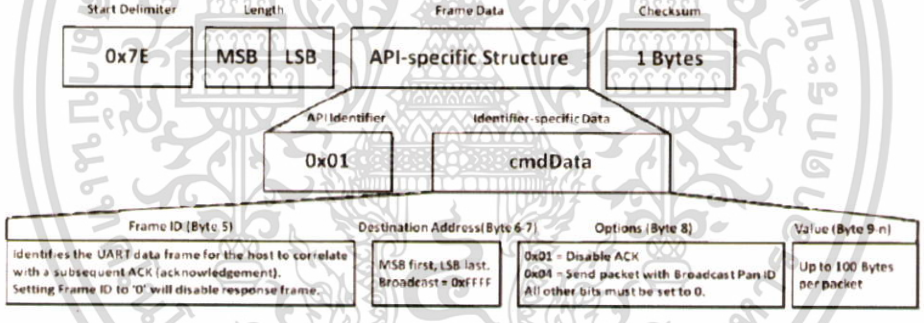
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.35** API Packet Frameประเภท AT Command Queue Parameter Value [11]

### 2.13.2.7.2 AT Command Response

API Frame ประเภทนี้เป็นผลจากการใช้ API frame AT Command ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ของข้อความ AT Command ที่ส่งไป บางคำสั่งเช่น ND (Node Discovery) จะส่งผลลัพธ์กลับมาหลายๆ frame ซึ่ง frame สุดท้ายจะบอกสถานะของการส่ง API frame AT Command Response มีค่า API Identifier เป็น 0x01 โครงสร้างของ API frame ประเภทนี้เป็นดังนี้



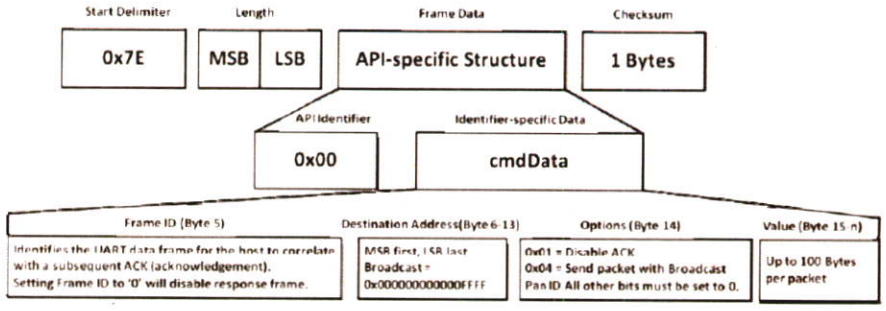

**รูปที่ 2.36** รูปแบบ API Packet Frame ประเภท AT Command Response [11]

### 2.13.2.8 Tx (Transmit) Request: 64-bit address

API frame ประเภทนี้จะส่งข้อมูลในรูปแบบของ packet ไปยังโมดูลปลายทาง โดยใช้ที่อยู่แบบ 64 บิต และมี API Identifier เป็น 0x00 โครงสร้างของ API frame ประเภทนี้เป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

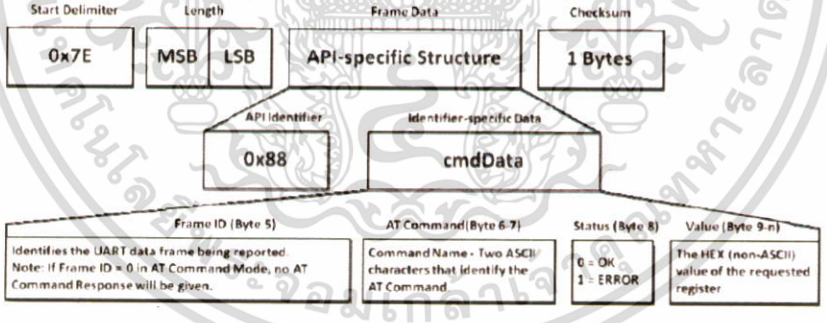



**รูปที่ 2.37** รูปแบบ API Packet Frame ประเภท Tx (Transmit) Request : 64-bit Address [11]

- Destination Address คือ ที่อยู่ของโมดูลปลายทางเมื่อถูกตั้งค่าเป็น0x0000000 00000FFFF ข้อมูลจะถูกส่งแบบ Broadcast
- Option Byte คือ ตัวเลือกของการส่ง เมื่อถูกตั้งค่าเป็น 0x01 จะยกเลิกการส่ง ACK เมื่อตั้งค่าเป็น 0x04 จะส่งแพ็คเกตไปยังทุกโมดูลที่อยู่ Pan ID เดียวกัน
- RF Data คือ ข้อมูลที่ต้องการส่ง

### 2.13.2.9 Tx (Transmit) Request: 16-bit Address

API frame ประเภทนี้จะส่งข้อมูลในรูปแบบของแพ็คเกตไปยังโมดูลปลายทาง โดยใช้ที่อยู่แบบ 16 บิต และมี API Identifier เป็น 0x01 โครงสร้างของ API Frame ประเภทนี้เป็นดังนี้



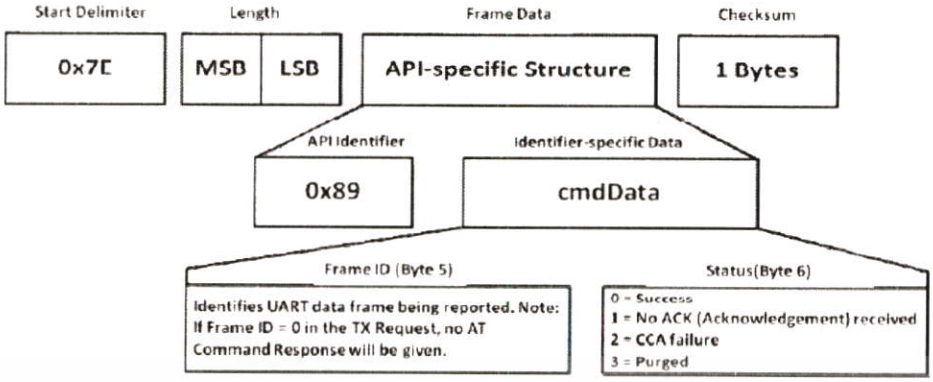

**รูปที่ 2.38** รูปแบบ API Packet Frame ประเภท Tx (Transmit) Request : 16-bit address [11]

### 2.13.2.10 Tx (Transmit) Status

เมื่อการส่งข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ โมดูลที่ได้รับข้อมูลจะส่งสถานะของการส่งกลับมายังโมดูลที่ส่งข้อมูล API Frame ประเภทนี้เป็นสถานะของการส่งข้อมูลว่าสำเร็จหรือไม่ มี API Identifier เป็น 0x89โครงสร้างของ API Frame ประเภทนี้เป็นดังนี้



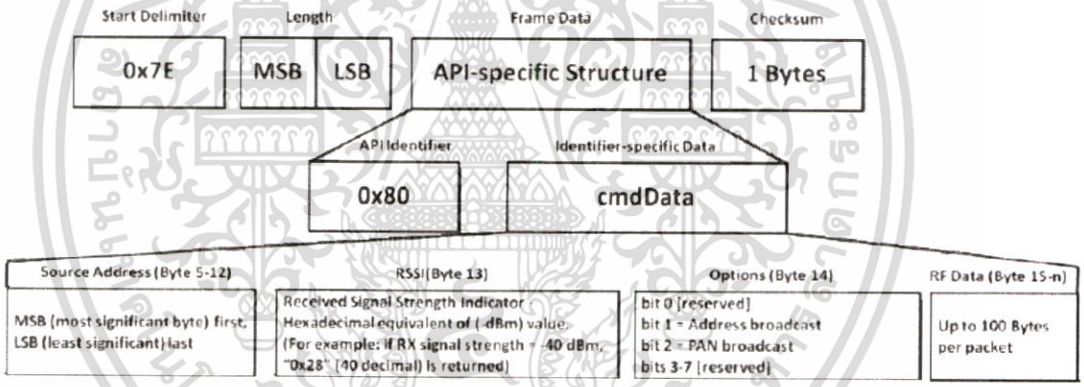
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.39** รูปแบบ API Packet Frame ประเภท Tx (Transmit) [11]

2.13.2.11 RX (Receive) Packet 64-bit address

API Frame ประเภทนี้มี API Identifier เป็น 0x80 เมื่อโมดูลได้รับข้อมูลจากการส่งแบบที่อยู่ 64 บิต แล้ว แพ็คเกตที่ได้รับจะมีโครงสร้างดังนี้




**รูปที่ 2.40** รูปแบบ API Packet Frame ประเภท RX (Receive) Packet 64-bit Address [11]

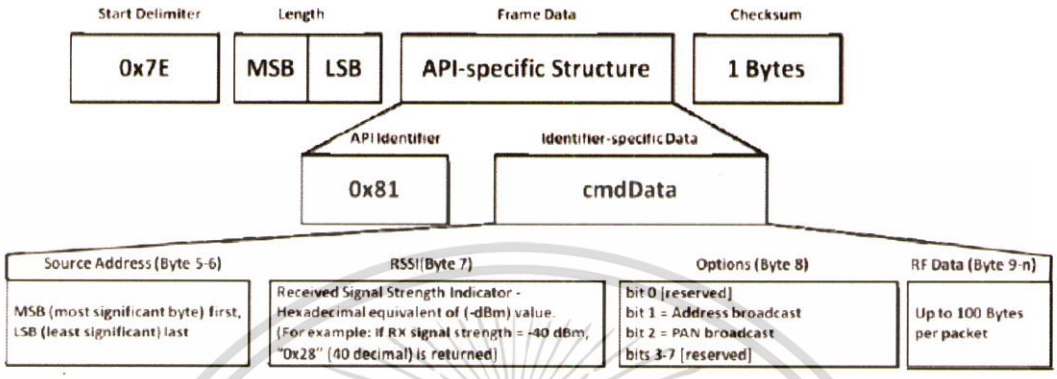
- Source Address คือ ที่อยู่ของโมดูลที่ส่งข้อมูลมายังตัวรับ
- RSSI คือ ความแรงของสัญญาณ
- Option Byte คือ รูปแบบของการส่ง ถ้าเป็น 0x01 จะเป็นการส่งแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ถ้าเป็น 0x02 จะเป็นการส่งแบบ PAN broadcast
- RF Data คือ ข้อมูลที่ได้รับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.2.12 RX (Receive) Packet 16-bit address

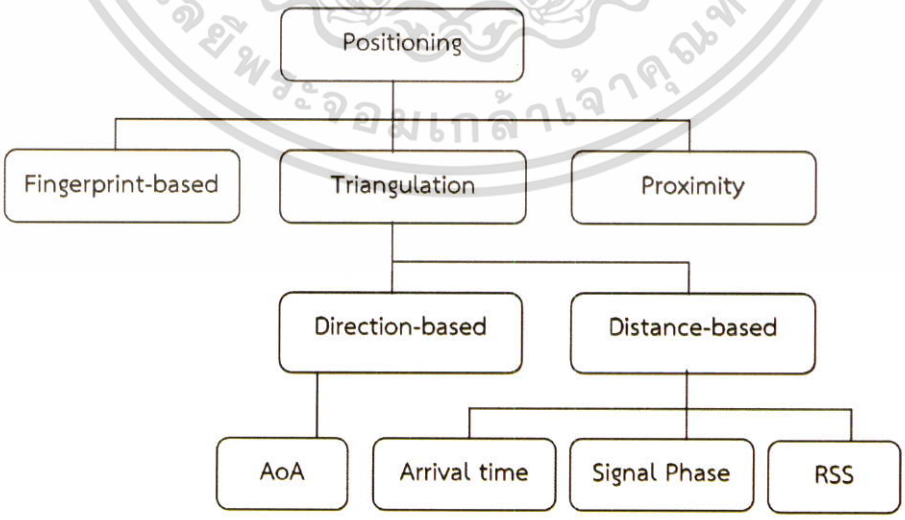
API frame ประเภทนี้มี API Identifier เป็น 0x81 เมื่อโมดูลได้รับข้อมูลจากการส่งแบบที่อยู่ 16 บิต แล้ว แพ็คเกตเฟรมที่ได้รับจะมีโครงสร้างดังนี้




**รูปที่ 2.41** รูปแบบ API Packet Frame ประเภท RX (Receive) Packet 16-bit Address [11]

## 2.14 ประเภทของการระบุตำแหน่งเป้าหมายภายในอาคาร

ประเภทของการระบุตำแหน่งเป้าหมายภายในอาคารสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1. เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้พื้นฐานทางเรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยม (Triangulation) 2. เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยอิงอ้างจากตำแหน่งใกล้เคียง (Proximity) 3. เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินต์ (Fingerprint-based) แสดงดังรูปที่ 2.42




**รูปที่ 2.42** ประเภทของการระบุตำแหน่งเป้าหมายภายในอาคาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1. เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้พื้นฐานทางเรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยม (Triangulation)** เป็นการใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยมเพื่อคำนวณพิกัดตำแหน่งวัตถุเป้าหมาย ซึ่งสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นการใช้ระยะทางเพื่อระบุพิกัดตำแหน่งวัตถุ (Distance-based) และ การคำนวณเชิงมุมเพื่อระบุพิกัดตำแหน่งวัตถุ (Direction-based) สำหรับการใช้ระยะทางในการระบุพิกัดตำแหน่ง โดยการคำนวณระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ซึ่งระยะทางสามารถคำนวณได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ค่าระดับความเข้มของสัญญาณ เวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (ToA และ TDoA)

**2. เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินต์ (Fingerprint-based)** เป็นการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะทำการเก็บพารามิเตอร์ต่าง ๆ ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ลงในฐานข้อมูลซึ่งเรียกว่า ฟิงเกอร์ปรินต์ และขั้นตอนที่สองจะเป็นขั้นตอนการระบุพิกัดตำแหน่งวัตถุเป้าหมายโดยการวัดระดับสัญญาณ แล้วนำรูปแบบระดับสัญญาณมาทำการเปรียบเทียบรูปแบบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ ดังนั้นตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายได้จากการวิเคราะห์ผลของรูปแบบสัญญาณ

**3. เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยอิงอ้างจากตำแหน่งใกล้เคียง (Proximity)** เป็นการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยการอ้างอิงตำแหน่งสายอากาศที่ใกล้เคียงที่สุด เมื่อวัตถุเป้าหมายตรวจพบสัญญาณที่มาจากสายอากาศเพียงหนึ่งต้น ตำแหน่งของวัตถุจะถูกอ้างอิงจากตำแหน่งของสายอากาศต้นนั้น ถ้าตรวจพบสัญญาณที่มาจากสายอากาศหลาย ๆ ต้น ตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายจะถูกอ้างอิงจากตำแหน่งของสายอากาศที่มีระดับความแรงของสัญญาณสูงที่สุด



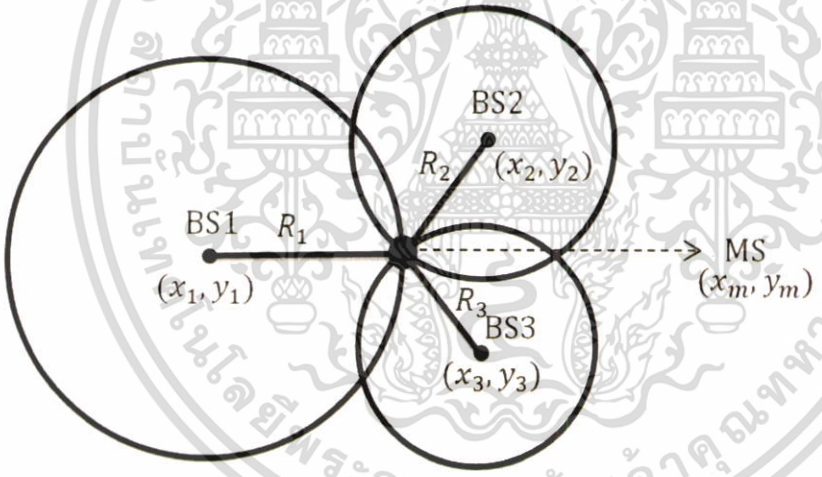
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.15 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายภายในอาคาร

### 2.15.1 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยเวลาที่มาถึงของสัญญาณ (Time of Arrival: ToA)

เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยเวลาที่มาถึงของสัญญาณ เป็นการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยการอ้างอิงจากเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ จะต้องพิจารณาสัญญาณจากสถานีฐานอย่างน้อย 3 จุด ตามรูปที่ 2.40 และจับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณทางเดียว (One Way) เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างสถานีเคลื่อนที่ (Mobile Station) กับแต่ละสถานีฐาน (Base Station) โดยทั่วไปวิธี ToA จะพบปัญหา 2 ข้อคือ

1. เครื่องส่งและรับสัญญาณในระบบจะต้องทำให้พร้อมกัน เป็นจังหวะเดียวกัน (Synchronize)
2. ไทม์สแตมป์ (Timestamp) จะถูกติดไว้ที่สัญญาณที่ถูกส่งออกมา เพื่อหาระยะทางที่สัญญาณเดินทาง




**รูปที่ 2.43** การระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการแบบ ToA

วิธีการคำนวณตำแหน่งวัตถุเป้าหมายแบบวิธีการอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง คือ การหาระยะทางระหว่างสถานีเคลื่อนที่และสถานีฐาน โดยการคำนวณหาระยะทาง ( $R_i$ ) ซึ่งเป็นระยะทางระหว่างสถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานที่ $i$ ได้จากสมการ (2.1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_i = ct_i \tag{2.1}$$

เมื่อ $c$ คือ ค่าความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ $3\times10^8$ เมตรต่อวินาที

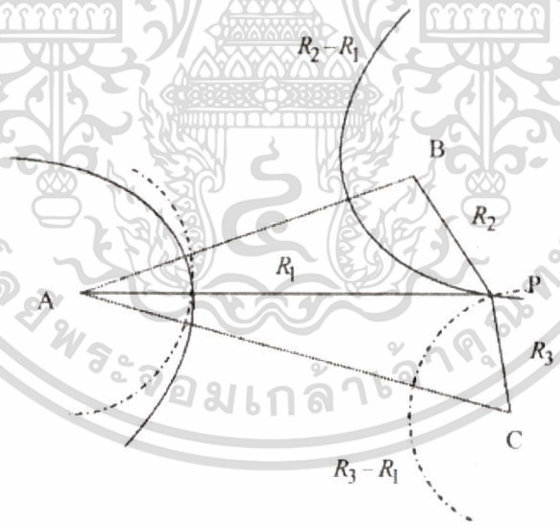
$t_i$ คือ ระยะเวลาในการเดินทางสัญญาณ (ToA) ระหว่างสถานีเคลื่อนที่ไปสถานีฐานที่ $i$

ด้วยวิธีการนี้ต้องมีวงจรในการสร้างความสอดคล้องของสัญญาณนาฬิการะหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน จึงจะทำให้สามารถวัดค่า $t_i$ ได้ พิจารณาจากสมการ (2.2) เป็นสมการมาตรฐานของวงกลมที่รัศมี $R$ เพื่อใช้ในการคำนวณพิกัดตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ต่อไป

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \text{ โดย } i = 1,2,3,\ldots,n \tag{2.2}$$

เมื่อ $(X_i, Y_i)$ เป็นพิกัดของสถานีฐานที่ $i$ และ $(x, y)$ เป็นพิกัดของตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่

**2.15.2 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยการใช้ความแตกต่างของเวลา (Time Difference of Arrival: TDoA)**




**รูปที่ 2.44** การระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการแบบ TDoA

เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยการใช้ความแตกต่างของเวลา เป็นการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง (TDoA) ได้แนวคิดมาใช้เพื่อแก้ปัญหาด้านความถูกต้องของความสอดคล้องของสัญญาณนาฬิการะหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ โดยเนื่องจากสัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสงทำให้พบว่าในกรณีที่วัดเวลาผิดพลาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ไมโครวินาทีทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัดระยะทางถึง 300 เมตร ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเรื่องของการสอดคล้องของสัญญาณนาฬิกา ทำให้เกิดแนวคิดแทนที่จะทำการนับเวลาที่มาถึง เป็นการใช้เวลาที่แตกต่างกันที่รับได้จากสถานีฐานจำนวน 2 คู่เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณด้วยสมการไฮเปอร์โบลิก เพื่อหาตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ โดยพิจารณาการหาค่าตำแหน่งของสถานีฐาน ได้โดยใช้หลักการของการนับเวลา เวลาที่แตกต่างกันที่นับได้จากคู่ของสัญญาณจากวัตถุไปที่สถานีฐานตำแหน่งที่ $i$ และตำแหน่งที่ $j$ เพื่อสร้างของสมการไฮเปอร์โบลิกพิจารณาความสัมพันธ์ของผลต่างของระยะทางระหว่างสถานีฐาน ตำแหน่งที่ $i$ และตำแหน่งที่ $j$ ดังสมการ (2.3)

$$R_{i,j} = ct_{i,j} = R_i - R_j \tag{2.3}$$

โดยที่ $R_{i,j}$ เป็นผลต่างของระยะทางระหว่างสถานีฐานตำแหน่งที่ $i$ และตำแหน่งที่ $j$ และ $t_{i,j}$ เป็นความแตกต่างของเวลาของสัญญาณจากสถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานตำแหน่งที่ $i$ และตำแหน่งที่ $j$ และ $c$ คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ $3\times10^8$ เมตรต่อวินาทีและ $R_i$ คือ ระยะห่างระหว่างสถานีฐานตำแหน่งที่ $i$ ซึ่งมีพิกัด $(x,y)$ กับวัตถุซึ่งมีพิกัดเป็น $(X_i,Y_i)$ ดังสมการ (2.4) นี้

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2} \tag{2.4}$$

และสามารถหาความสัมพันธ์ของผลต่างของระยะทางได้จากสถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานที่ $i, j$ โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการ (2.5)

$$R_{i,j} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2} \tag{2.5}$$

โดยที่ $R_{i,j}$ เป็นผลต่างของระยะทางระหว่างสถานีเคลื่อนตำแหน่งที่ $i$ และตำแหน่งที่ $j$ และ$(X_i,Y_i)$และ $(X_j,Y_j)$เป็นพิกัดของสถานีฐานที่ $i$ และ $j$ และ $(x,y)$ เป็นตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.15.3 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้ระดับความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength Indication: RSSI)

เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้ระดับความเข้มของสัญญาณที่รับได้เป็นเทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้การวัดระดับความเข้มของสัญญาณที่รับได้ โดยกำหนดตำแหน่งของโหนดอ้างอิงซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทราบแน่นอน และใช้งานโดยการวัดความแรงของระดับสัญญาณระหว่างโหนดอ้างอิงกับเป้าหมาย โดยใช้พื้นฐานของ 2 เทคนิคที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น

เทคนิคการใช้ระดับความเข้มของสัญญาณที่รับได้หรือ RSSI เป็นวิธีการวัดความเข้มของสัญญาณในการส่งสัญญาณวิทยุตามความเป็นจริงของสัญญาณ โดยทั่วไปเมื่อระยะทางไกลออกไปสัญญาณก็จะลดลง ดังนั้นค่า RSSI นั้นก็จำเป็นต่อการส่งสัญญาณเช่นกัน เพราะจะทำให้ทราบว่าเครื่องรับสัญญาณที่ใช้งานอยู่นั้นจะมีประสิทธิภาพที่ระยะทางเท่าใด หรือกำลังในการส่งเท่าใดจึงจะเหมาะสม โดยค่า RSSI มีหน่วยเป็น เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm)

การวัดความเข้มของสัญญาณที่แปลงค่าความเข้มสัญญาณมาเป็นแรงดันไฟฟ้านั้นมักไม่ใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากมีความแปรปรวนของสัญญาณตามสภาพแวดล้อมสูงเพราะแต่ละสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกัน การจะทำให้ RSSI มีความน่าเชื่อถือ คือ จะต้องเก็บข้อมูลไว้หลาย ๆ ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ภายหลัง จะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะมีสาเหตุมาจากต่าง ๆ ดังนี้

1. Nonline of Sight (NLOS) คือ การสื่อสารแบบไม่เป็นเส้นตรง ทำให้การวัดมุมในระยะทางที่ไกลจะก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

2. Multiple Access Interference คือ ปัญหาที่มักเกิดในระบบ CDMA ซึ่งเกิดจากเครื่องส่งที่มีกำลังส่งสูงกว่าส่งสัญญาณไปรบกวนเครื่องส่งที่มีกำลังส่งต่ำกว่า

3. Fluctuation in Signal Propagation Speeds เกิดกับคลื่นวิทยุที่การแพร่กระจายถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น แรงลม อุณหภูมิ และค่าความชื้นในอากาศ ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อระยะทางมากขึ้น

$$RSSI[dBm] = A - [\mathbf{10} \cdot n \cdot \log_{10}(d / d_0)] \qquad (2.6)$$

เมื่อ RSSI คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ ในระยะทาง d เมตร
มีหน่วยเป็น เดซิเบลมิลลิวัตต์ (*dBm*)

N คือ ค่าคงที่การกระจายสัญญาณของสถานที่นั้น ๆ

d คือ ระยะทางระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สาย (เมตร)

$d_0$ คือ ระยะทางอ้างอิง (1 เมตร)

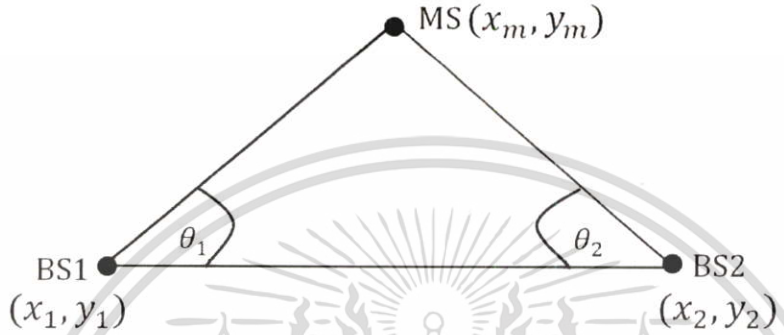
A คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ใน 1 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้น เมื่อค่าระยะทาง ( $d$ ) เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า $RSSI$ ลดลง ซึ่งบอกค่าความแรงของสัญญาณ สามารถนำผลนี้ไปใช้เพื่อหาระยะทางและคำนวณพิกัดตำแหน่งวัตถุเป้าหมายในขั้นตอนต่อไป

### 2.15.4 วิธีการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยการวัดมุม (Angle of Arrival: AOA)




**รูปที่ 2.45** การระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการแบบ AoA

วิธีการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยการวัดมุม (Angle of Arrival: AoA) เป็นเทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมาย โดยใช้ค่ามุมของสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีเคลื่อนที่ โดยสามารถระบุตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้จากค่ามุมที่ได้รับที่สถานีฐานจำนวน 2 มุมในแต่ละสถานีฐาน ดังรูปที่ 2.45 และนำข้อมูลที่ได้รับมาสร้างสมการเส้นตรงหาตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้ดังสมการ (2.7) และสมการ (2.8)

$$(y_m - y_i) = \tan(\theta_i)(x - x_i) \tag{2.7}$$

$$(y_m - y_j) = \tan(\theta_j)(x - x_j) \tag{2.8}$$

โดยที่

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{|y_i - y_m|}{|x_i - x_m|}\right) \tag{2.9}$$

และ

$$\theta_j = \tan^{-1}\left(\frac{|y_j - y_m|}{|x_j - x_m|}\right) \tag{2.10}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $(x_m, y_m)$ เป็นพิกัดที่ต้องการทราบของสถานีเคลื่อนที่

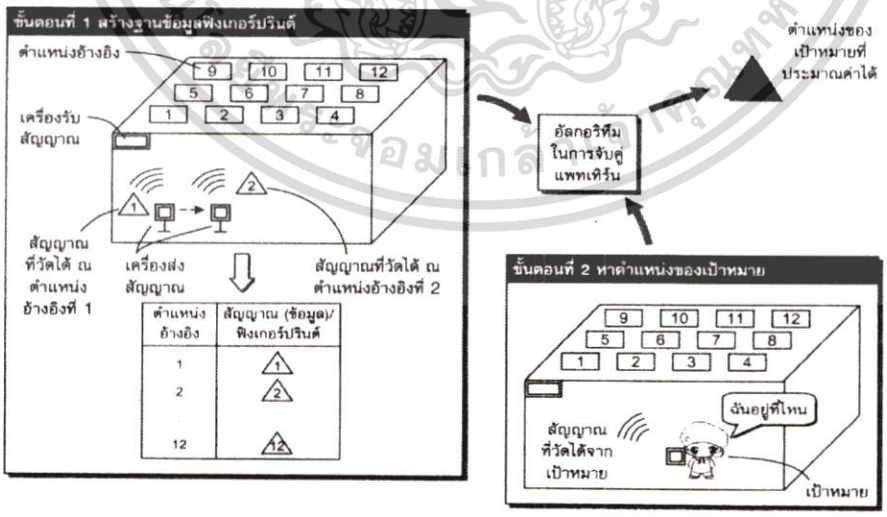
$(x_i, y_i)$ เป็นพิกัดสถานีฐานตำแหน่งที่ $i$ ตามแนวแกน $x$ และ $y$

$(x_j, y_j)$ เป็นพิกัดสถานีฐานตำแหน่งที่ $j$ ตามแนวแกน $x$ และ $y$

วิธีการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการวัดมุมจากทิศทางของสัญญาณต้องการจำนวนสถานีฐานเพียง 2 สถานีฐานเพื่อการคำนวณตำแหน่งซึ่งน้อยกว่าวิธีการระบุตำแหน่งเป้าหมายด้วยวิธีการอ้างอิงจากเวลาของการมาถึงและวิธีการอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง จะต้องมีจำนวนสถานีฐานอย่างน้อย 3 สถานีฐานขึ้นไป

### 2.15.5 เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินต์ (Location Fingerprint Technique)

เทคนิคการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินต์ เป็นหนึ่งในเทคนิคการระบุตำแหน่งวัตถุที่มีความแม่นยำสูง แต่มีกระบวนการในการวิเคราะห์และประมวลผลที่ซับซ้อนและใช้เวลามาก โดยเทคนิคนี้เป็นการระบุตำแหน่งเป้าหมายอาศัยการเปรียบเทียบรูปแบบโดยจะต้องเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลก่อน ซึ่งกระบวนการจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเตรียมการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งที่กำหนดลงในฐานข้อมูล ซึ่งการเก็บข้อมูลนั้นจะเป็นการวัดคาระดับความเข้มของสัญญาณ (RSSI) และขั้นตอนต่อมาจะทำการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณที่วัดได้จากเป้าหมายกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ก่อน แล้วตำแหน่งของเป้าหมายอ้างอิงจากตำแหน่งในฐานข้อมูลที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณแล้วคล้ายคลึงกันมากที่สุด ตามแผนภาพการแสดงขั้นตอนการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินต์ รูปที่ 2.46




**รูปที่ 2.46** กระบวนการขั้นตอนการระบุตำแหน่งเป้าหมายแบบฟิงเกอร์ปรินต์ [12]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

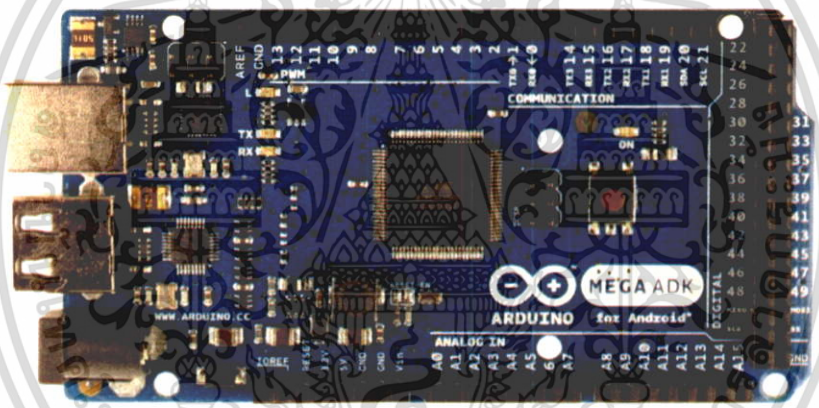
# บทที่ 3

# การออกแบบ

## 3.1 ส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

### 3.1.1 บอร์ดควบคุม

บอร์ดควบคุมในส่วนนี้มีไว้เพื่อควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ เป็นตัวที่คอยสร้างสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้ในการควบคุมโดยเลือกบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ดถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายดังแสดงในรูปที่ 3.1



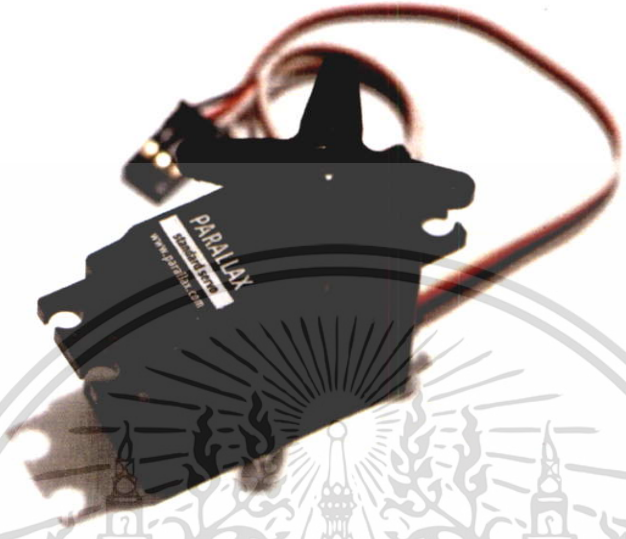

**รูปที่ 3.1** Arduino Mega 2560

### 3.1.2 มอเตอร์ควบคุมการหมุนของกล้อง

มอเตอร์ที่ใช้เป็นเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR) ที่ถูกประกอบร่วมด้วยชุดเกียร์และส่วนควบคุมต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน โดยจะมีสัญญาณใช้งาน 1 เส้น และ 2 เส้น เป็น VCC และ GND เท่านั้น ซึ่งสามารถควบคุมให้ตัวเซอร์โวมอเตอร์ หมุนซ้าย หรือ ขวาได้ +90 องศา - 90 องศา (180 องศา) โดยสามารถสั่งงานในการหมุนให้หมุนไปได้ตามตำแหน่งหรือองศาต่างๆ ที่ต้องการได้ด้วยตัวเซอร์โวมอเตอร์เองข้อดีของการเลือกใช้มอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา กินพลังงานน้อย ต่อสัญญาณลอจิกที่เป็น TTL Level ได้โดยตรงไม่ต้องมีการต่อวงจรไดร์ฟ (Drive) ดังแสดงในรูปที่ 3.2




**รูปที่ 3.2** เซอร์โวมอเตอร์

### 3.1.3 ส่วนการออกแบบโครงสร้างของฐานกล้อง

**รูปที่ 3.3** โครงสร้างของฐานกล้อง

จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงการออกแบบโครงสร้างฐานกล้องโดยโครงสร้างฐานกล้องประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ในส่วนที่ 1 เป็นส่วนของเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งในโครงสร้างนี้ใช้เซอร์โวมอเตอร์จำนวน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวโดยเซอร์โวมอเตอร์ตัวบนนั้นทำหน้าที่ในการหมุนกล้องเว็บแคมในทิศทางขึ้น-ลง และเซอร์โวมอเตอร์ตัวล่างนั้นทำหน้าที่ในการหมุนกล้องในทิศทาง ซ้าย-ขวา และในส่วนที่ 2 คือส่วนของฐานที่ทำหน้าที่รองรับกล้องและเซอร์โวมอเตอร์

### 3.1.4 กล้องที่ใช้ในการตรวจสอบ

กล้องที่ใช้ในการตรวจสอบนั้นเป็นกล้องเว็บแคมซึ่งเป็นอุปกรณ์อินพุตที่สามารถจับภาพเคลื่อนไหวของวัตถุหรือสิ่งต่างๆ ไปปรากฏในหน้าจอมอนิเตอร์และสามารถส่งภาพเคลื่อนไหวนี้ผ่านระบบเครือข่ายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ข้อดีของกล้องเว็บแคมคือ กล้องสามารถถ่ายในที่มือได้ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูกและสามารถใช้งานได้ง่าย

### 3.1.5 เซนเซอร์ไร้สาย

**รูปที่ 3.4** Zigbee / 802.15.4

ZigBee มาตรฐานสากลกำหนดโดย ZigBee Alliance เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้จะสามารถทำงานในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝนและอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่าน AA 3 ก้อน) นานเป็นเดือนเป็นปีเหมาะสมใช้งานกับพวก monitoring ต่าง ๆ

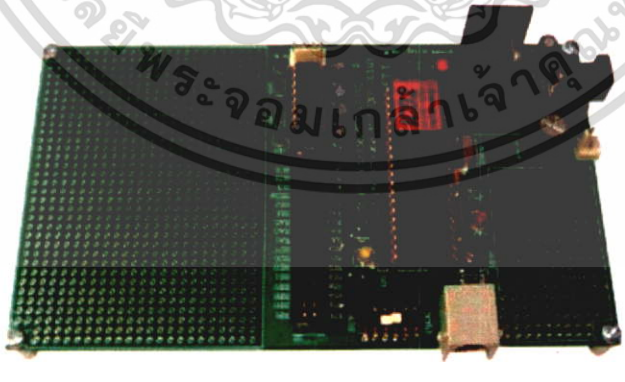
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 ฐานจ่ายพลังงานให้กับ Zigbee Sensor

**รูปที่ 3.5** ฐานจ่ายพลังงานให้กับ Zigbee Sensor

ฐานจ่ายพลังงานให้กับ Zigbee Sensor ทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับ Zigbee Sensor ซึ่งจะประกอบไปด้วยถาดใส่ถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน และฐานที่เสียบ Zigbee Sensor

### 3.1.7 บอร์ดควบคุมอุปกรณ์ Zigbee Sensor ตำแหน่งเป้าหมาย



**รูปที่ 3.6** CP-PIC V3/877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

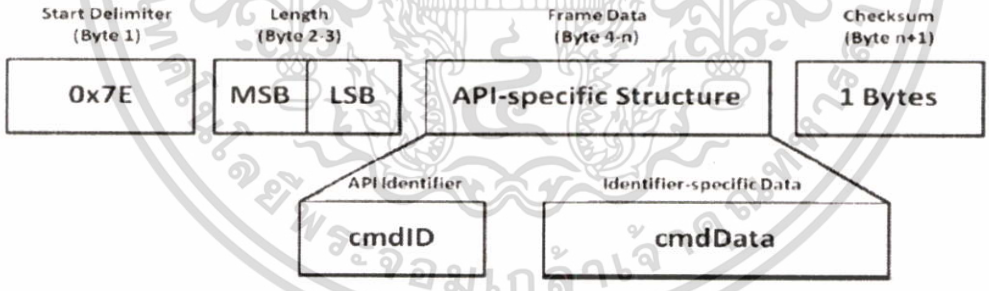
CP-PIC V3.0 EXPANSION (ICD2) จะมีลักษณะเดียวกันกับบอรด CP-PIC V3.0 (ICD2) แต่จะมีแผง Photo Board สำหรับให้ผู้ใช้ต่อทดลองวงจร I/O อย่างง่ายๆได้เอง เหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการศึกษาเรียนรูและต้องการทดลองวงจร I/O ต่างๆ ร่วมกับ CPU อย่างง่ายๆ

### 3.1.8 การส่งข้อมูลในรูปแบบของ API

การส่งข้อมูลในรูปแบบ API (Application Programing Interface) คือการจัดเก็บข้อมูลที่ต้องการจะติดต่อสื่อสารกับโมดูลอื่นๆในรูปแบบโครงสร้างที่แน่นอน โดยจัดเก็บเป็น frame packet ซึ่งสามารถบอกได้ว่าแพ็คเกตที่ส่งไปนั้นมีคำสั่งอะไรการส่งข้อมูลถูกต้องหรือไม่และมีสถานะของการส่งและการรับของแพ็คเกตนั้นๆด้วยซึ่งข้อมูลทีส่งไปจะอยู่ในรูปแบบของเลขฐานสิบหก

### 3.1.9 รูปแบบของ API Frame

รูปแบบของ API Frame แสดงได้ดังรูปที่ 3.7




**รูปที่ 3.7** รูปแบบของ API Packet frame [11]

รูปแบบเฟรมที่ใช้ในการสื่อสารมีรายละเอียดดังนี้

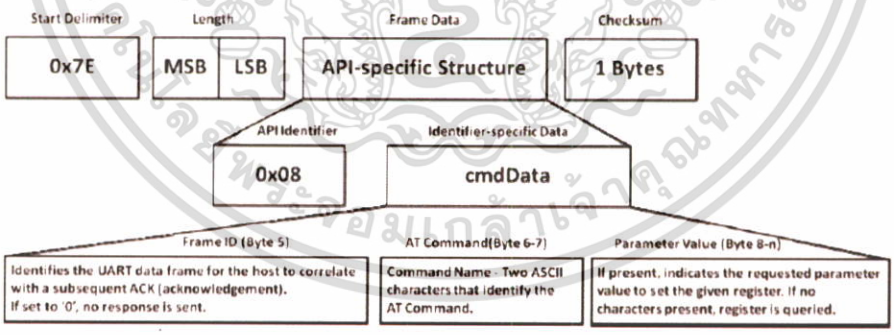
- Header ขนาด 1 Byte ใช้สำหรับการทำ Byte Stuffing
- Frame length ขนาด 2 Byte ใช้สำหรับระบุขนาดของเฟรม
- MSB = Most Significant Byte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- LSB = Last Significant Byte
- cmdID (API Identifier) คือ ไบต์ที่เป็นตัวกำหนดรูปแบบของ API ว่าอยู่ในประเภทใด เช่น อยู่ในรูปแบบของ AT command การรับข้อมูล หรือการส่งข้อมูลเป็นต้น DATA ขึ้นอยู่กับประเภทของเฟรม
- cmdData (Identifier-specific Data) คือ รูปแบบของข้อมูลที่ต่างๆ ที่ถูกกำหนดโดย cmdID
- Checksum ขนาด 1 Byte เป็นข้อมูลของผล Checksum ตั้งแต่ Byte ที่ 4 โดยจะเป็นไบต์ที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับหรือส่ง สามารถคำนวณหาค่า checksum ได้โดยบวก Frame Data ทุกไบต์ในลักษณะของเลขฐานสิบหก หลังจากนั้นนำไบต์สุดท้ายไปลบออกจาก 0xFF ก็จะได้ค่า checksum ที่ถูกต้อง

### 3.1.10 AT Command

API frame ประเภท AT command เป็นแพ็คเกตที่สามารถใช้เขียนหรืออ่านค่าพารามิเตอร์ของโมดูล ZigBee ได้ซึ่งใช้คำสั่ง AT Command ในรูปแบบนี้ไม่จำเป็นต้องอยู่ในโหมด AT command ค่าต่างๆสามารถอ่านหรือแก้ไขได้ทันที โดยจะมีค่า API Identifier เป็น 0x08



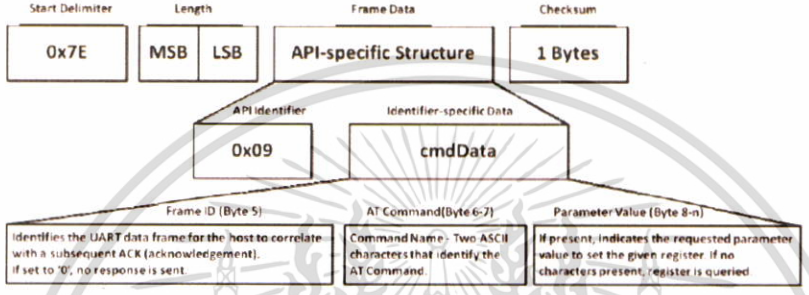

**รูปที่ 3.8** รูปแบบของ API Packet frame ประเภท AT Command [11]

- Frame ID คือ ค่า ID ของ frame ที่ส่งไป ถ้าถูกตั้งค่าเป็น 0 ACK จะไม่ถูกส่งกลับมา
- AT Command คือ ชื่อของ AT Command ประกอบด้วยตัวอักษร 2 ตัว
- Parameter Value คือ ค่าพารามิเตอร์ของ AT Command นั้นๆที่ต้องการตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.11 AT Command Queue Parameter Value

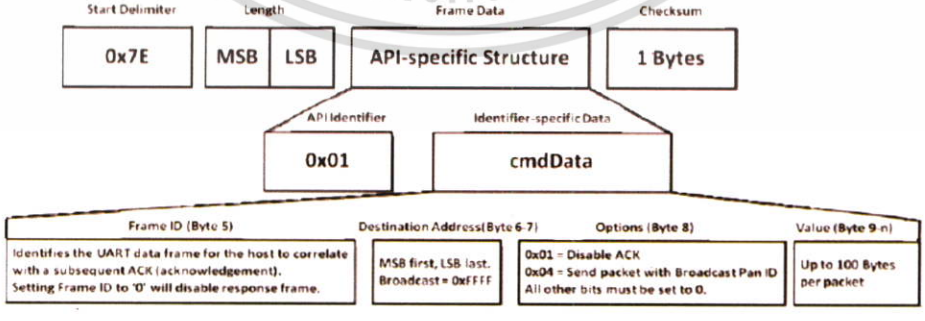
API frame ประเภทนี้จะเหมือนกับ API frame AT Command ซึ่งสามารถใช้เขียนหรืออ่านค่าพารามิเตอร์ของโมดูล ZigBee ได้โดยใช้ AT Command แต่ API frame ประเภทนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อ AT Command (API Identifier = 0x08) ทำงานเสร็จ ซึ่ง AT Command Queue Parameter Value มีค่า API Identifier เป็น 0x09 โครงสร้างของ API frame ประเภทนี้เป็นดังนี้




**รูปที่ 3.9** รูปแบบของ API Packet frameประเภท AT Command Queue Parameter Value [11]

### 3.1.12 AT Command Response

API frame ประเภทนี้เป็นผลจากการใช้ API frame AT Command ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ของข้อความ AT Command ที่ส่งไป บางคำสั่งเช่น ND (Node Discovery) จะส่งผลลัพธ์กลับมาหลายๆ frame ซึ่ง frame สุดท้ายจะบอกสถานะของการส่ง API frame AT Command Response มีค่า API Identifier เป็น 0x88 โครงสร้างของ API frame ประเภทนี้เป็นดังนี้



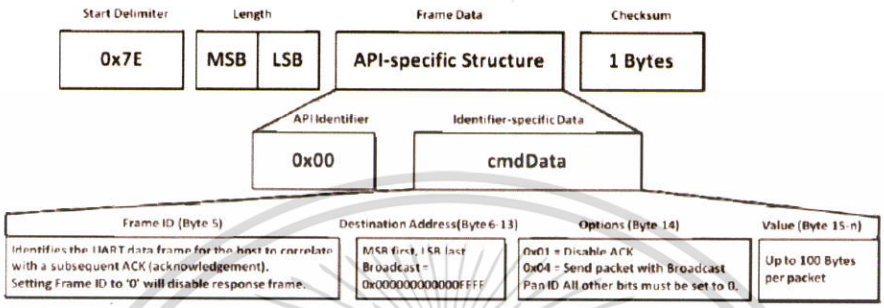

**รูปที่ 3.10** รูปแบบของ API Packet frame ประเภท AT Command Response [11]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.13 Tx (Transmit) Request: 64-bit address

API frame ประเภทนี้จะส่งข้อมูลในรูปแบบของ packet ไปยังโมดูลปลายทางโดยใช้ที่อยู่แบบ 64 bit และมี API Identifier เป็น 0x00 โครงสร้างของ API frame ประเภทนี้เป็นดังนี้



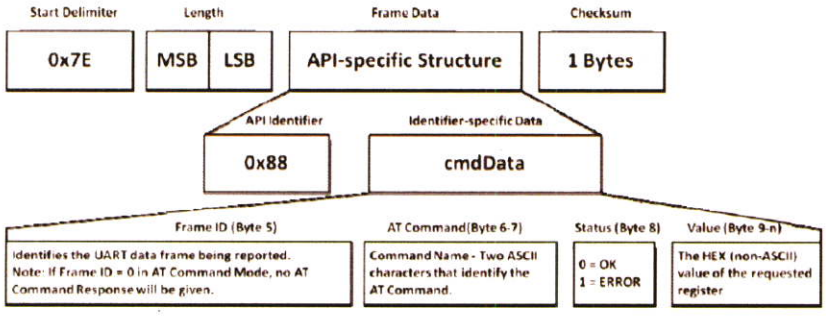

**รูปที่ 3.11** รูปแบบของ API Packet frame ประเภท Tx (Transmit) Request : 64-bit address [11]

- Destination Address คือที่อยู่ของโมดูลปลายทางเมื่อถูกตั้งค่าเป็น 0x000000000000FFFF ข้อมูลจะถูกส่งแบบ broadcast
- Option Byte คือ ตัวเลือกของการส่ง เมื่อถูกตั้งค่าเป็น 0x01 จะยกเลิกการส่ง ACK เมื่อตั้งค่าเป็น 0x04 จะส่ง packet ไปยังทุกโมดูลที่อยู่ Pan ID เดียวกัน
- RF Data คือ ข้อมูลที่ต้องการส่ง

### 3.1.14 Tx (Transmit) Request: 16-bit address

API frame ประเภทนี้จะส่งข้อมูลในรูปแบบของ packet ไปยังโมดูลปลายทาง โดยใช้ที่อยู่แบบ 16 bit และมี API Identifier เป็น 0x01 โครงสร้างของ API frame ประเภทนี้เป็นดังนี้

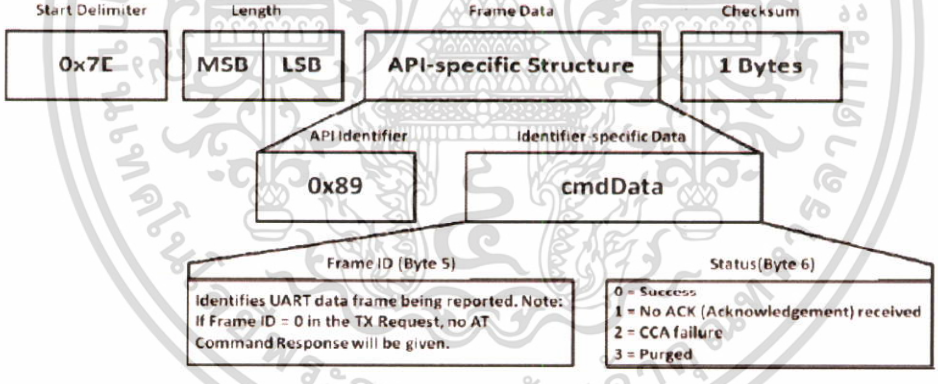
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.12** รูปแบบของ API Packet frame ประเภท Tx (Transmit) Request : 16-bit address [11]

### 3.1.15 Tx (Transmit) Status

เมื่อการส่งข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ โมดูลที่ได้รับข้อมูลจะส่งสถานะของการส่งกลับมายังโมดูลที่ส่งข้อมูล API frame ประเภทนี้เป็นสถานะของการส่งข้อมูลว่าสำเร็จหรือไม่ มี API Identifier เป็น 0x89โครงสร้างของ API frame ประเภทนี้เป็นดังนี้

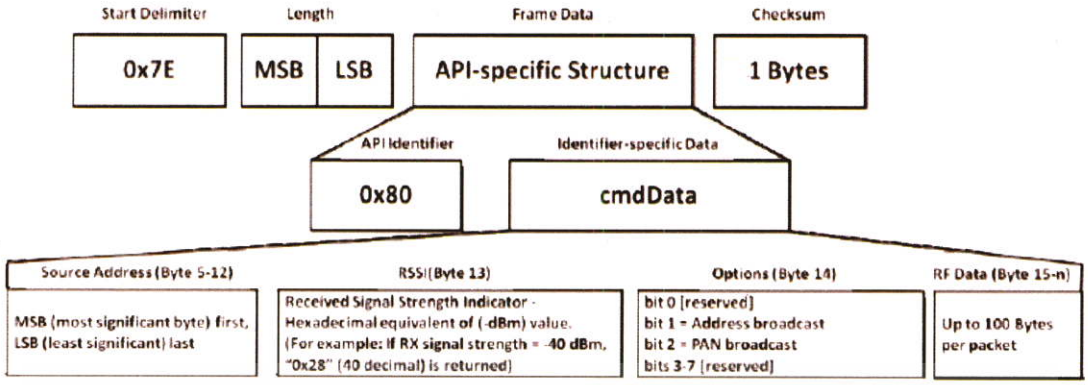



**รูปที่ 3.13** รูปแบบของ API Packet frame ประเภท Tx (Transmit) [11]

### 3.1.16 RX (Receive) Packet 64-bit address

API frame ประเภทนี้มี API Identifier เป็น 0x80 เมื่อโมดูลได้รับข้อมูลจากการส่งแบบที่อยู่ 64 bit แล้ว frame packet ที่ได้รับจะมีโครงสร้างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

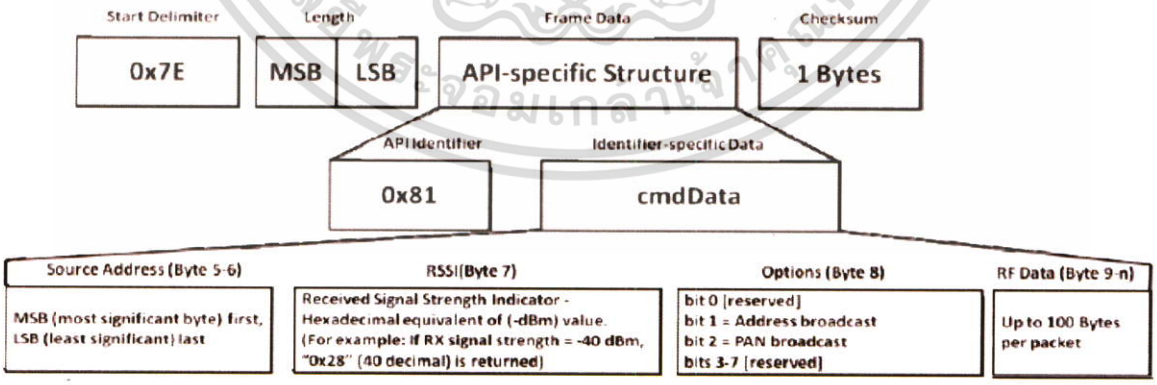



**รูปที่ 3.14** รูปแบบของ API Packet frame ประเภท RX (Receive) Packet 64-bit address [11]

- Source Address คือ ที่อยู่ของโมดูลที่ส่งข้อมูลมายังตัวรับ
- RSSI คือ ความแรงของสัญญาณ
- Option Byte คือ รูปแบบของการส่ง ถ้าเป็น 0x01 จะเป็นการส่งแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ถ้าเป็น 0x02 จะเป็นการส่งแบบ PAN broadcast
- RF Data คือ ข้อมูลที่ได้รับ

### 3.1.17 RX (Receive) Packet 16-bit address

API frame ประเภทนี้มี API Identifier เป็น 0x81 เมื่อโมดูลได้รับข้อมูลจากการส่งแบบที่อยู่ 16 bit แล้ว frame packet ที่ได้รับจะมีโครงสร้างดังนี้

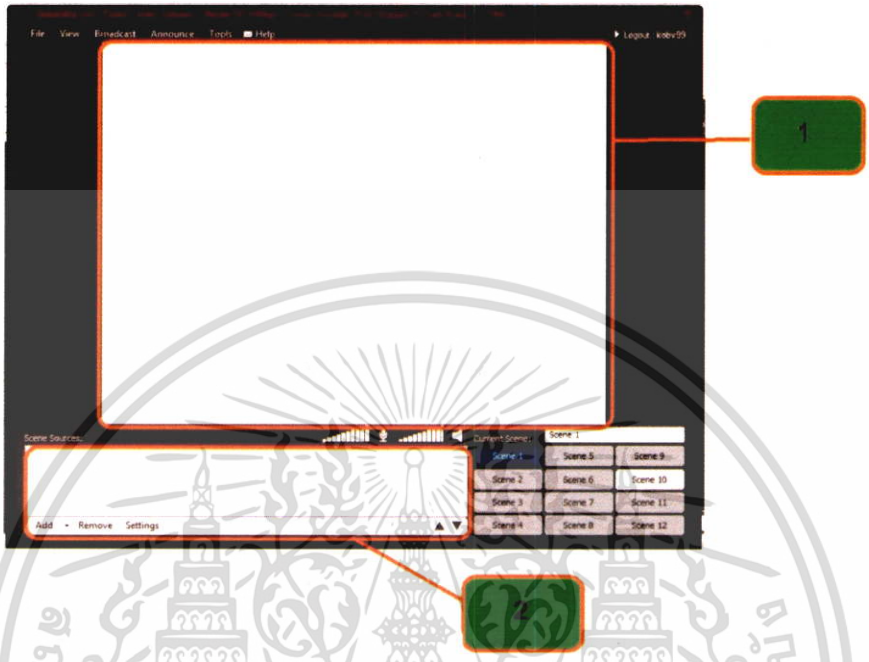



**รูปที่ 3.15** รูปแบบของ API Packet frame ประเภท RX (Receive) Packet 16-bit address [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ส่วนของซอฟต์แวร์

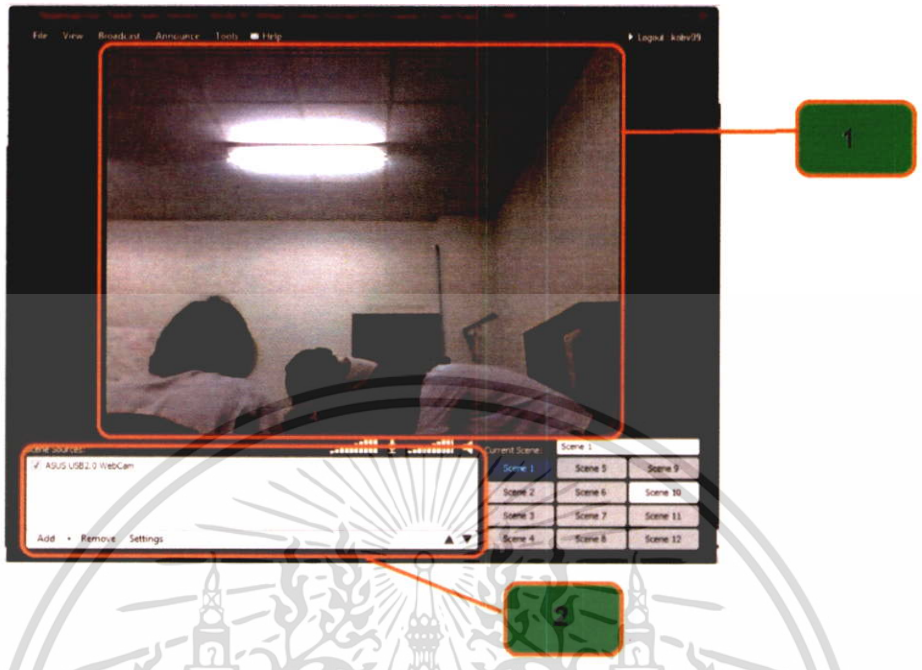
### 3.2.1 หน้าจอฝั่งเซิร์ฟเวอร์




**รูปที่ 3.16** หน้าจอโปรแกรมฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ขณะรันโปรแกรม

จากรูปที่ 3.16 แสดงหน้าจอโปรแกรม XSplit Broadcaster ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในฝั่ง เซิร์ฟเวอร์เพื่อที่จะแสดงภาพขึ้นมา โดยในหมายเลข 1 ส่วนนี้จะทำหน้าที่ติดต่อและรับภาพจากกล้องเว็บแคมและในหมายเลข 2 จะเป็นส่วนที่จะเลือกว่าจะใช้กล้องตัวไหนและใช้กี่ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

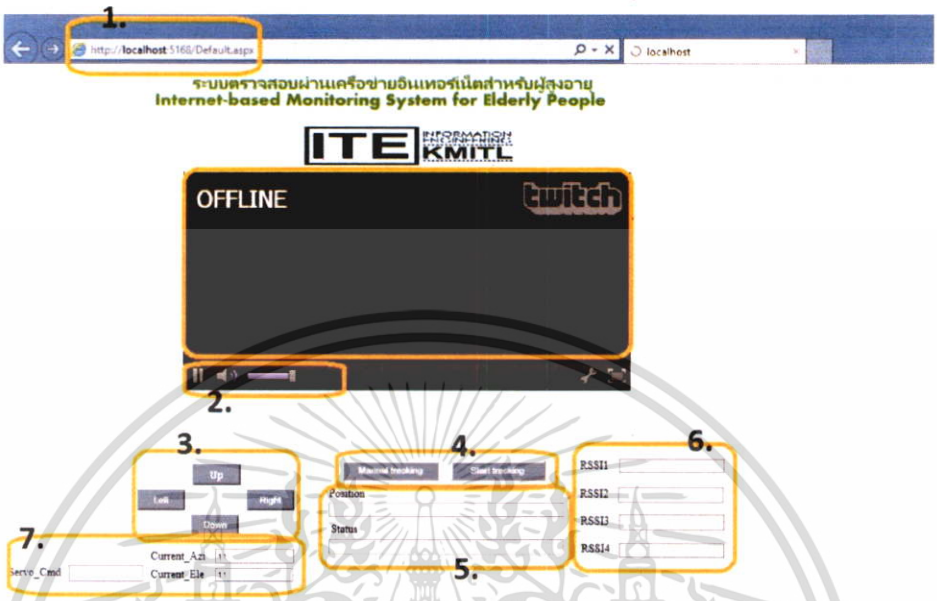



**รูปที่ 3.17** หน้าจอโปรแกรมฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ขณะเชื่อมต่อกับกล้อง

จากรูปที่ 3.17 แสดงหน้าจอโปรแกรม XSplit Broadcaster ที่เชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคม ขณะรันโปรแกรมเพื่อที่จะแสดงภาพขึ้นมา โดยในหมายเลข 1 โปรแกรมทำการรับภาพเข้าจากกล้องเว็บแคมและทำการออนไลน์ไปยังฝั่งของไคล์เอนต์และในหมายเลข 2 ก็ทำการเลือกใช้กล้องเว็บแคมตัวที่ต้องการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 หน้าจอเว็บแอพพลิเคชั่นฝั่งไคลเอนต์




**รูปที่ 3.18** หน้าจอเว็บแอพพลิเคชั่นฝั่งไคลเอ็นต์ ขณะเชื่อมต่อกล้องกับฝั่งเซิร์ฟเวอร์

จากรูปที่ 3.18 ผู้ควบคุมสามารถเชื่อมต่อกับฝั่งเซิร์ฟเวอร์เพื่อติดต่อกับกล้องเว็บแคม พร้อมทั้งควบคุมกล้อง โดยการระบุ Domain name ในช่องหมายเลข 1 และผู้ควบคุมยังสามารถที่จะเพิ่มลดเสียงจากปุ่มในส่วนหมายเลข 2 ได้อีกด้วย ผู้ควบคุมสามารถที่จะควบคุมกล้องให้หมุนตามทิศทางที่ต้องการได้โดยกดปุ่มที่ส่วนหมายเลข 3 และหน้าเว็บแอพพลิเคชั่นฝั่งไคลเอ็นต์ จะสามารถเห็นภาพจากกล้องเว็บแคมได้และในส่วนของโหมดควบคุมกล้องอัตโนมัติจะประกอบไปด้วย 2 ปุ่มด้วยกัน นั่นคือ Manual tracking และ Start tracking โดย Manual tracking จะเป็นโหมดของการให้กล้องนั้นหมุนไปที่ตำแหน่งนั้นในเวลานั้นเท่านั้นและในโหมด Start tracking กล้องจะทำการหมุนไปหาตำแหน่งและทำการติดตามตำแหน่งนั้นตลอดเวลา ซึ่งอยู่ในส่วนหมายเลข 4 และในส่วนหมายเลข 5 และ 6 เป็นส่วนของการแสดงค่าต่างๆที่เซ็นเซอร์ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ตัวของแต่ละมุมห้องนั้นเอง และในส่วนสุดท้ายส่วนหมายเลข 7 จะแสดงค่าและตำแหน่งที่กล้องจะหมุนไปตำแหน่งนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนต่างๆของระบบ ได้แก่ ส่วนของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ซึ่งประกอบไปด้วย บอร์ดควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ เซอร์โวมอเตอร์ ส่วนของฐานกล้อง อุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สายและรูปแบบของการส่งของมูลของอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายเป็นต้น ส่วนถัดไปคือส่วนของซอฟต์แวร์ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยโปรแกรมในฝั่งเซิร์ฟเวอร์และหน้าเว็บแอพพลิเคชั่นในฝั่งไคลเอนต์ ซึ่งจะแสดงการทำงานในส่วนควบคุมต่างๆบนหน้าเว็บแอพพลิเคชั่น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

## 4.1 ทดสอบการควบคุมกล้องวงจรปิดแบบควบคุมโดยผู้ใช้งาน

**จุดประสงค์**

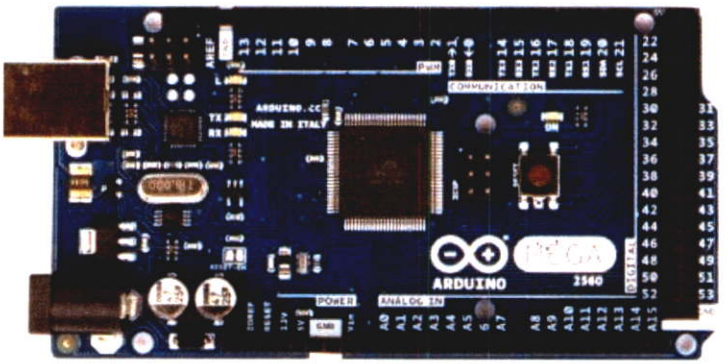
เพื่อศึกษาและทดสอบชุดคำสั่งที่ใช้ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

**อุปกรณ์**

- เซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว (ดังแสดงในรูป 4.1)
  - ทำหน้าที่หันขวาและซ้าย 1 ตัว
  - ทำหน้าที่หันขึ้นและลง 1 ตัว
- บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 2560 r3 (ดังแสดงในรูป 4.2)
- คอมพิวเตอร์
- โปรแกรม Arduino
- โปรแกรม Visual Studio 2012

**รูปที่ 4.1** แสดงเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว ซึ่งตัวบนทำหน้าที่หมุนขึ้นและลง ตัวด้านล่างทำหน้าที่หมุนซ้ายและขวา

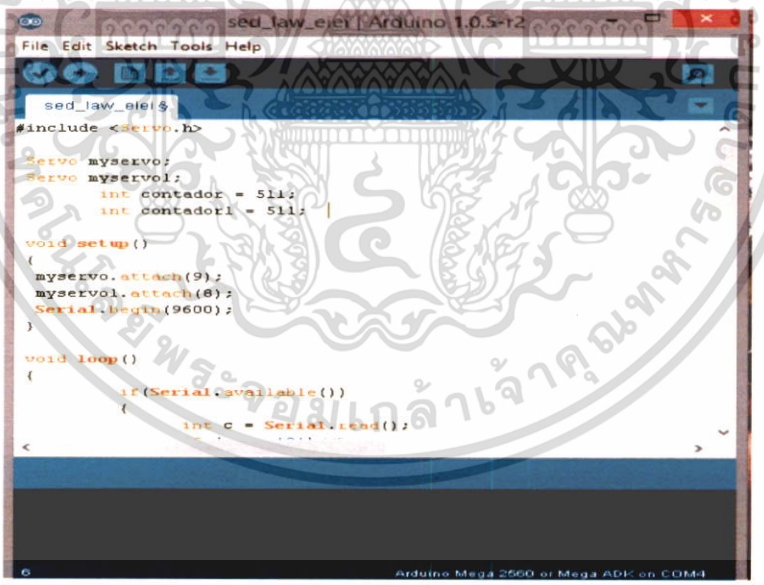
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.2** บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 2560 Mega 2560

**วิธีทำการทดลอง**

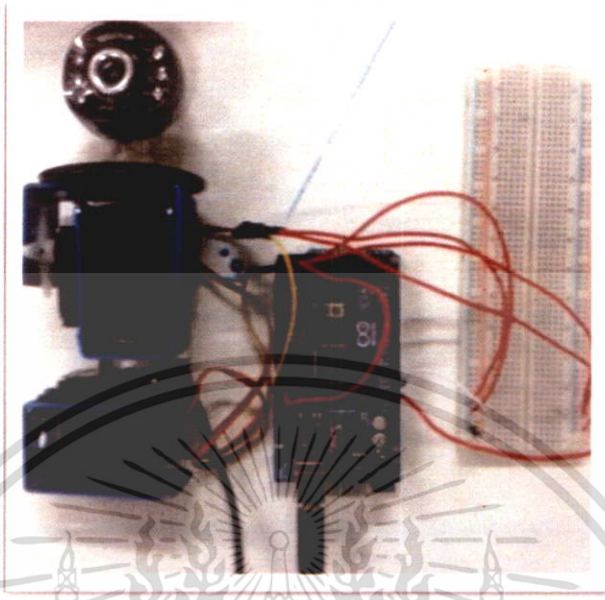
- ทำการเขียนโปรแกรมที่เป็นชุดคำสั่งควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งชุดคำสั่งที่เขียนนั้นใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนชุดคำสั่ง โดยภาษาที่ใช้เขียนคือภาษาซี (ดังแสดงในรูป 4.3)




**รูปที่ 4.3** โปรแกรม Arduino และชุดคำสั่งควบคุม Servo Mortor

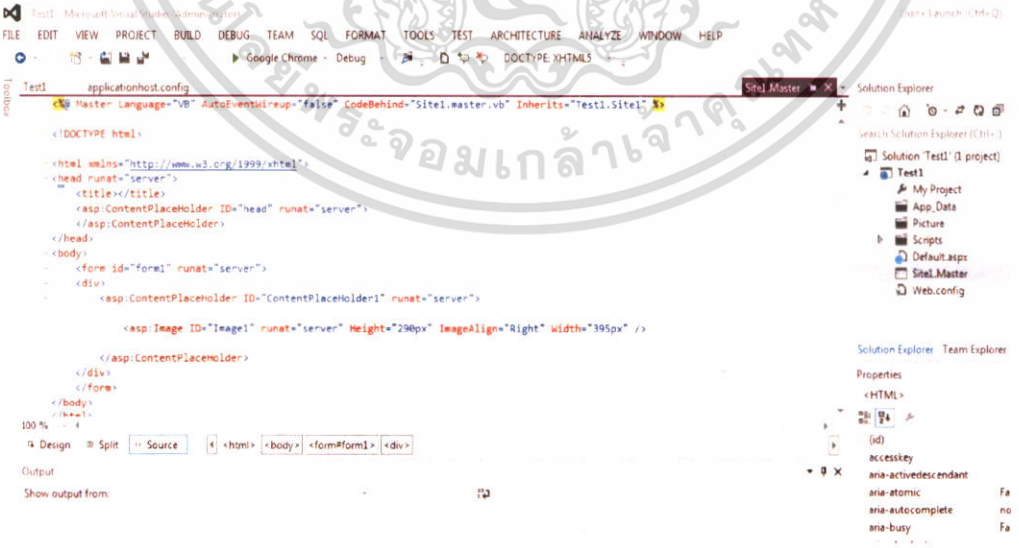
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการติดตั้งและตั้งค่าอุปกรณ์ต่าง (ดังแสดงในรูป 4.4)



**รูปที่ 4.4** การติดตั้งอุปกรณ์ต่างเข้าด้วยกัน

- ทำการนำชุดคำสั่งควบคุมเซอร์โวมอเตอร์อัพโหลดเข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino2560r3
- ทำการเขียนโปรแกรมสร้างหน้าจอของปุ่มใช้สำหรับควบคุมกล้องวงจรปิดด้วยโปรแกรม Visual Studio 2012 (ดังแสดงในรูปที่ 4.5)

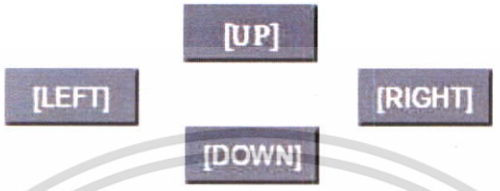



**รูปที่ 4.5** แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Visual Studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง**

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สามารถแบ่งการทำงานหลักๆได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนที่เป็นเซอร์โวมอเตอร์และส่วนที่เป็นหน้าจอควบคุมกล้องจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งหน้าจอจะประกอบด้วยปุ่มบน ล่าง ซ้ายและขวา (ดังแสดงในรูป 4.6)




**รูปที่ 4.6** ปุ่มกดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

**สรุปผลการทดลอง**

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการกดปุ่มใน Interface ซึ่งแต่ละปุ่มจะประกอบด้วยชุดคำสั่งควบคุม เซอร์โวมอเตอร์จะหันตามเมื่อกดชุดคำสั่งนั้นทันที แต่สามารถควบคุมได้แค่คอมพิวเตอร์ที่เป็นตัวเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น

## 4.2 ส่วนการควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

**จุดประสงค์**

- เพื่อศึกษาและทดสอบการควบคุมกล้องผ่านอินเทอร์เน็ตได้

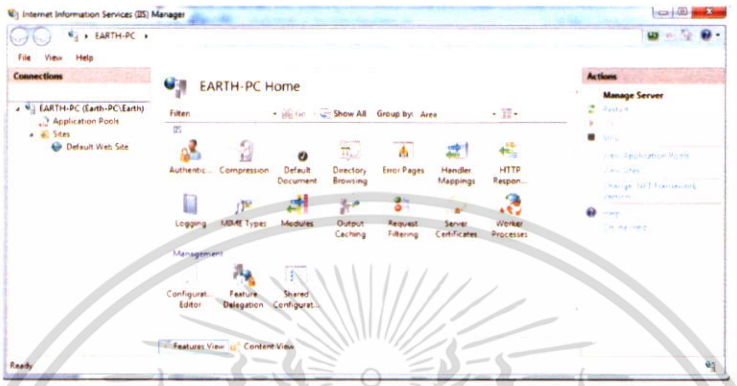
**อุปกรณ์**

- โปรแกรมจำลองเซิร์ฟเวอร์ Internet Information Service( IIS)
- ชุดคำสั่งที่สร้างจาก 4.1.1 ด้วยโปรแกรม Visual Studio 2012
- คอมพิวเตอร์
- อินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วิธีทำการทดลอง**

- ทำการติดตั้งและตั้งค่าโปรแกรมจำลองเซิร์ฟเวอร์ Internet Information Service( IIS) (ดังแสดงในรูป 4.7)



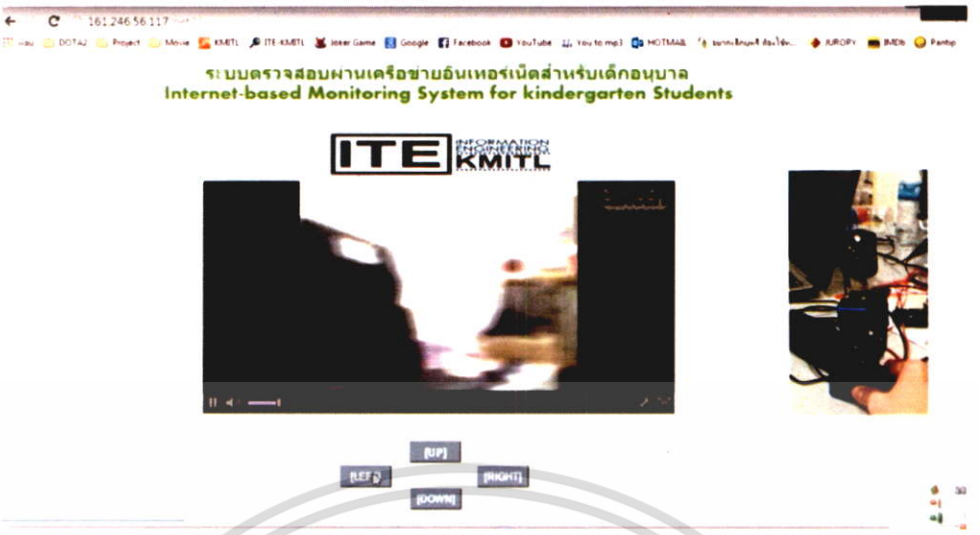

**รูปที่ 4.7** หน้าต่างของ Internet Information Service( IIS)

- นำชุดคำสั่งที่สร้างจาก 4.1.1 ด้วยโปรแกรม Visual Studio 2012 เพิ่มในฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองเซิร์ฟเวอร์ Internet Information Service( IIS)
- ทำการต่ออินเทอร์เน็ต Computer เครื่องที่เป็นเซิร์ฟเวอร์
- ทำการเซต IP เครื่องและ Forward Port เครื่องเซิร์ฟเวอร์

**ผลการทดลอง**

จากการทดลองพบว่าสามารถควบคุมกล้องวงจากระยะไกลได้ ไม่ว่าจะควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ตัวอื่นๆหรือควบคุมผ่านอุปกรณ์พกพาผ่านเว็บบราวเซอร์ได้ (ดังแสดงในรูป 4.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.8** การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

**สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสามารถควบคุมกล้องผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นตัวเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น แต่เมื่อทำการเพิ่มการทดลองที่ 4.2 เข้าไป ทำให้สามารถควบคุมกล้องจากที่อื่นที่ไม่ใช่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ได้จากระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ต

## 4.3 ทดลองทำการแสดงภาพและออนไลน์

**จุดประสงค์**

- เพื่อทำการแสดงภาพจากกล้องผ่านทางออนไลน์

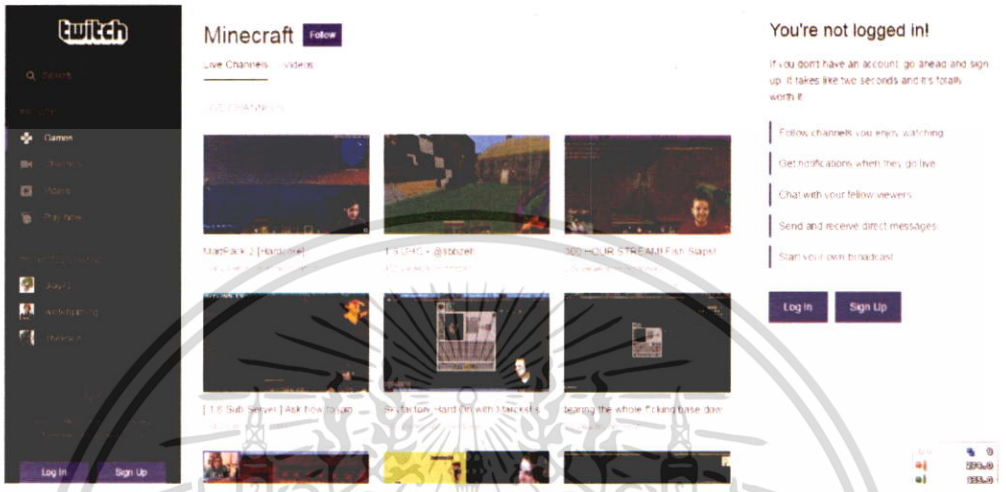
**อุปกรณ์**

- Computer
- โปรแกรม Web Browser
- www.twitch.tv
- โปรแกรม xSplit
- กล้องที่ทำการต่อกับเซอร์โวมอเตอร์
- โปรแกรม Visual Studio 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

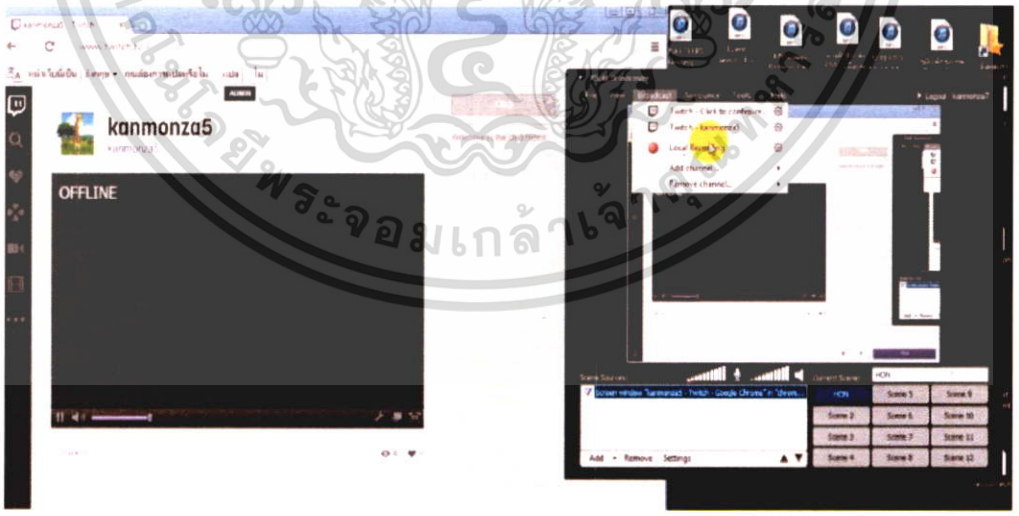
**วิธีทำการทดลอง**

- ทำการลงทะเบียนการใช้งานเป็นผู้ใช้งาน twitch.tv เพื่อจะได้ช่องของต้องเอง ใช้ในการถ่ายทอดสดเป็นการแสดงภาพแบบตลอดเวลา




**รูปที่ 4.9** หน้าเว็บของผู้ใช้งาน twitch.tv

- ทำการเปิดโปรแกรม xSplit และตั้งค่าโปรแกรม โดยทำการเพิ่มช่องของตนเองลงไปในโปรแกรม




**รูปที่ 4.10** แสดงถึงหน้าต่างของโปรแกรม xSplit

- ทำการตั้งค่าใน twitch.tv ทำให้ Chanel ของตนเองเปิดเป็นออนไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง**

จากการทดลองสามารถแสดงภาพจากกล้องวงจรปิดผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

**สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองสามารถแสดงภาพจากกล้องวงจรปิดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

## 4.4 ทดสอบการสื่อสารข้อมูลผ่านทาง XBee

**จุดประสงค์**

- เพื่อศึกษาและทดสอบการส่งข้อมูลเฟรม แบบ API Command

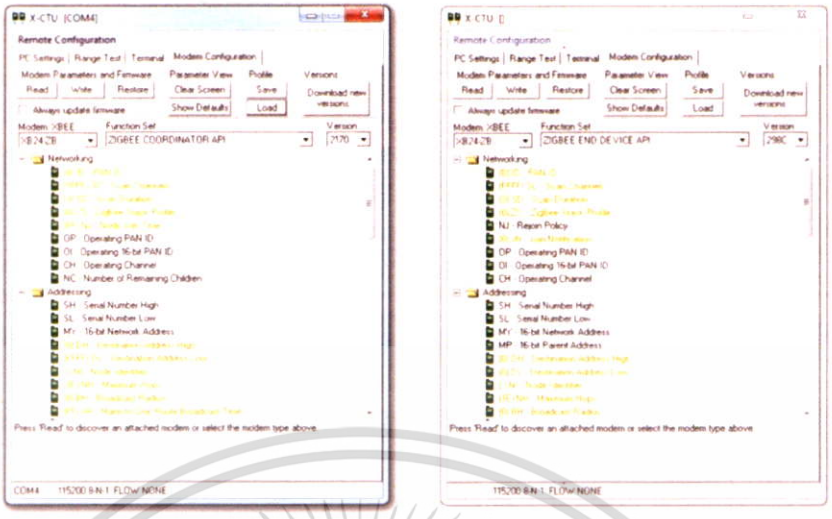
**อุปกรณ์**

- XBee Module 5 ตัว
  - Coordinator 1 ตัว
  - End Device 4 ตัว
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- โปรแกรม XCTU

**วิธีการทดลอง**

- ทำการตั้งคา XBee โดย Coordinator 1 ตัว และที่เหลืออีก 4 ตัวใหเปน End Device กำหนด Firmware ของ Modem XBee ใหเปน XB24-ZB
- ตัว Coordinator จะกำหนดให้ Function Set เปน ZigBee Coordinator API
- ตัว End Device หรือ Reference Node จะกำหนดให้ Function Set เป็น ZigBee End Device API

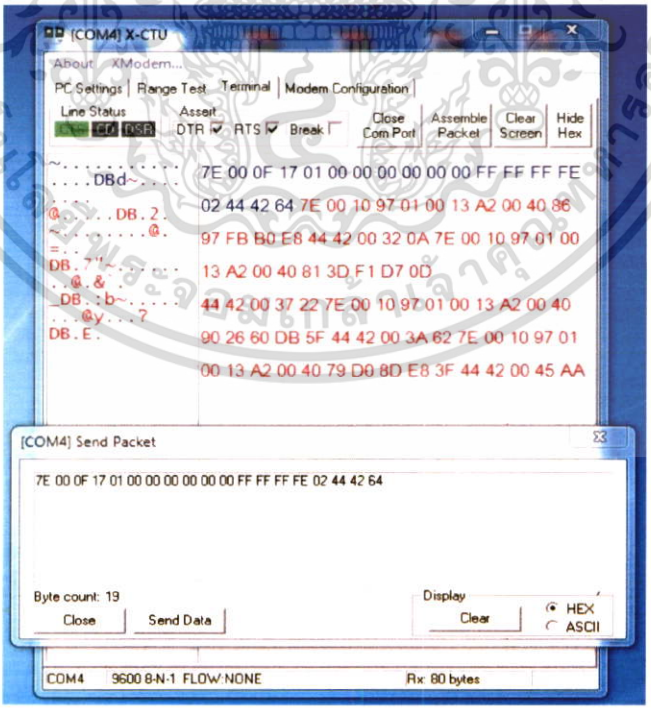
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.11** การตั้งค่า Coordinator – End Device

- ตั้งค่าเฟรมที่ส่งเป็น 7E 00 0F 17 00 00 00 00 00 00 FF FF FF FE 02 44 42 64 ทำการส่งเฟรม

**ผลการทดลอง**




**รูปที่ 4.12** ค่าความแรงของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อทำการส่งเฟรมเพื่อร้องขอค่าความแรงของสัญญาณไปก็จะได้รับเฟรมที่มีบรรจุค่าความแรงของสัญญาณกลับมาดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยเฟรม ที่ตอบรับกลับมาจะมาจาก Reference Node ทั้ง 4 ตัว ดังนั้นจะมีเฟรมทั้งหมด 4 เฟรม โดยจุดเริ่มต้นของแต่ละเฟรม คือ 7E

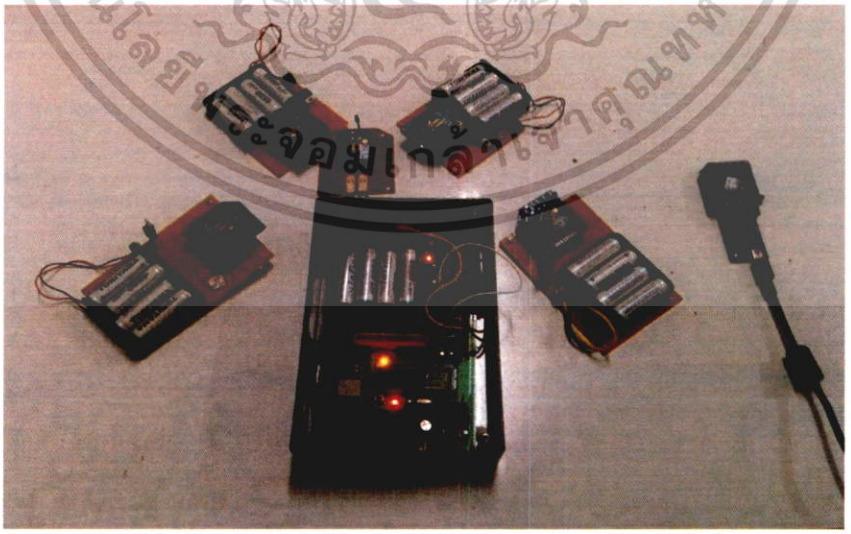
## 4.5 ทดสอบการสื่อสารข้อมูลผ่านทาง XBee โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

**จุดประสงค์**

- เพื่อศึกษา และทดสอบการส่งข้อมูลของ XBee แบบมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

**อุปกรณ์**

- XBee Module 6 ตัว (ดังแสดงในรูปที่ 4.12)
  - Coordinator 1 ตัว
  - Router 1 ตัว
  - End Device 4 ตัว
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- โปรแกรม XCTU



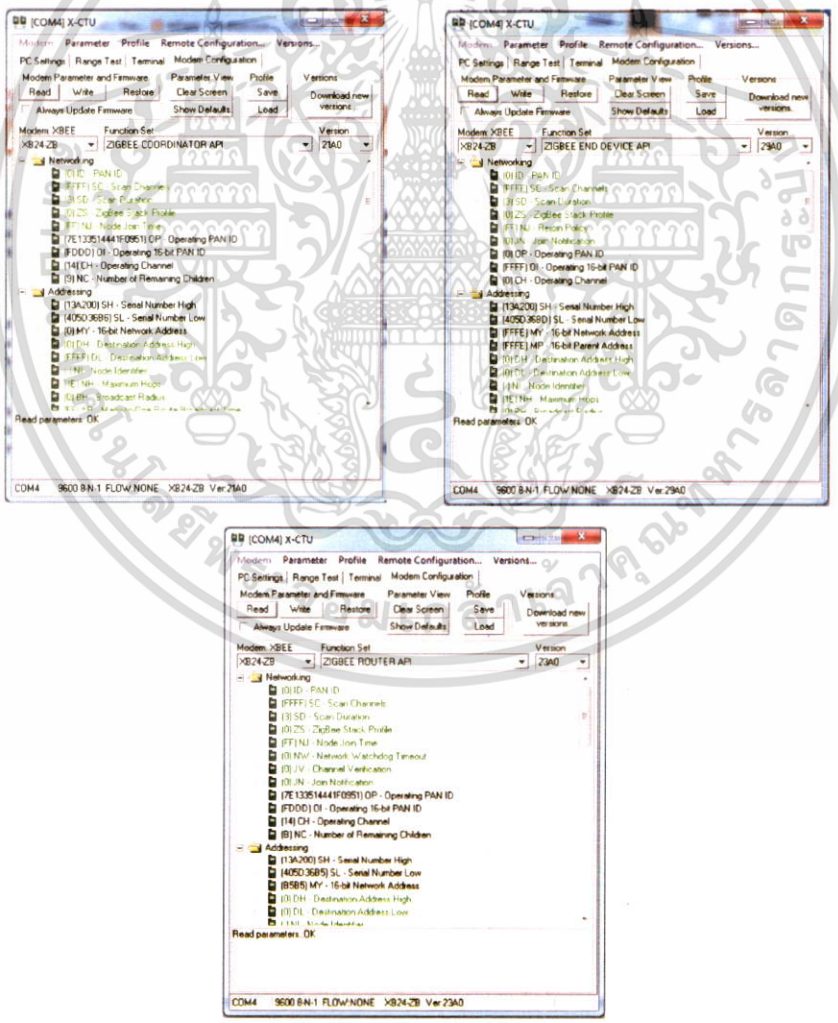
**รูปที่ 4.13** XBee Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วิธีการทดลอง**

1. ทำการตั้งค่า XBee โดยให้เป็น Coordinator 1 ตัว Router 1 ตัว และที่เหลืออีก 4 ตัวให้เป็น End Device ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยกำหนด Firmware ของ Modem XBee ให้เป็น XB24-ZB (ซึ่งจะแตกต่างกันตามรุ่นของ XBee)

- ตัว Coordinator หรือMonitor Node จะกำหนดให้ Function Set เป็น ZigBee Coordinator API
- ตัว Router หรือ Object Node จะกำหนดให้ Function Set เป็น ZigBee Router API
- ตัว End Device หรือ Reference Node จะกำหนดให้ Function Set เป็น ZigBee End Device API

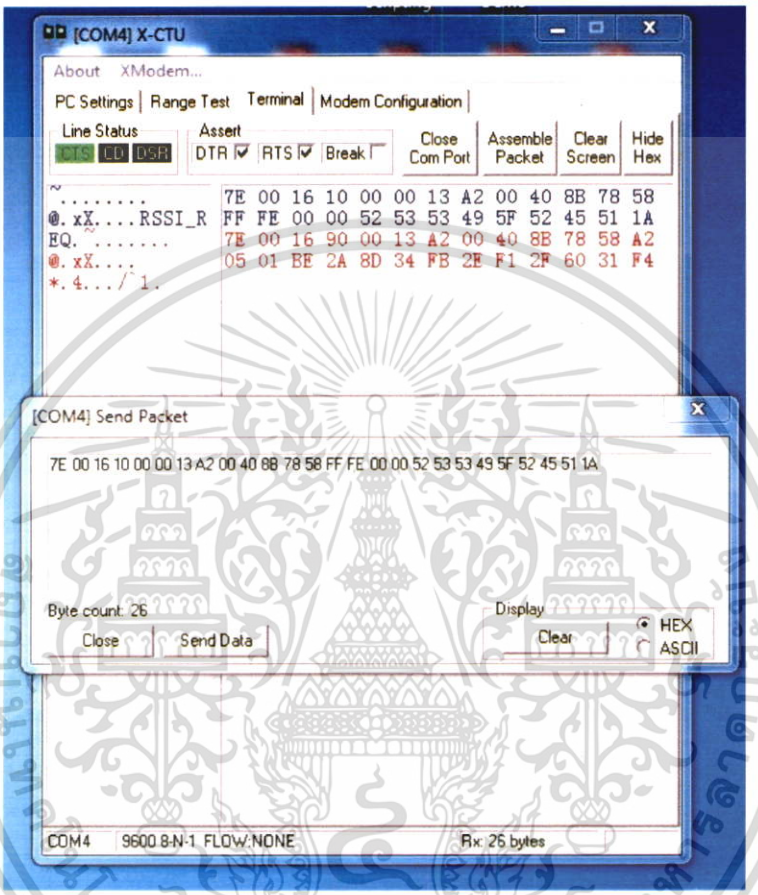



**รูปที่ 4.14** การตั้งค่า Coordinator - Router - End Device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตั้งค่าเฟรมที่ส่งเป็น 7E 00 16 10 00 00 13 A2 00 40 8B 78 58 FF FE 00 00 52 53 53 49 5F 52 45 51 1A แล้วทำการส่งเฟรมดังกล่าวออกไป

**ผลการทดลอง**




**รูปที่ 4.15** เฟรม ที่ส่ง – รับ

จากรูปที่ 4.14 เฟรมสีน้ำเงินที่ถูกส่งออกไป ผ่านตัว Monitor Node จะเป็นเฟรมที่สั่งการให้ตัว Object Node ทำการร้องขอค่าความแรงของสัญญาณจาก Reference Node ทั้ง 4 ตัวและเฟรมสีแดงที่ได้รับเข้ามาจะเป็นค่าความแรงของสัญญาณของ Reference Node ทั้ง 4 ที่ Object Node ร้องขอมาและทำการบรรจุใส่เฟรมใหม่ก่อนส่งกลับมายัง Monitor Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** แสดงค่าความแรงของสัญญาณ ของ Reference Node ที่บรรจุในเฟรม ที่รับได้

| Reference Node | ค่า RSSI (dBm) |
|---|---|
| Node 1 | 52 |
| Node 2 | 49 |
| Node 3 | 47 |
| Node 4 | 46 |

**สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองเมื่อตัว Monitor Node ทำการส่งเฟรมออกไปสั่งการให้ตัว Object Node ร้องขอค่าความแรงของสัญญาณจากตัว Reference Node ทั้ง 4 ตัว Reference Node แต่ละตัว ก็จะทำการส่งเฟรมตอบกลับมายังตัว Object Node และตัว Object Node ก็จะทำการดึงค่าความแรงของสัญญาณจากเฟรมที่ได้รับมาทั้งหมดแล้วนำมาบรรจุใส่เฟรมใหม่ก่อนจะนำส่งให้ Monitor Node โดย ไบต์ ที่ 18, 20, 22, 24 จะเป็นตัวบอก SL (Serial Number Low) ของ Reference Node แต่ละตัว และ ไบต์ ที่ 19, 21, 23, 25 จะเป็นส่วนที่บอกค่าความแรงของสัญญาณ

## 4.6 ทดลองการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณแต่ละตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์

**จุดประสงค์**

- เพื่อเก็บค่าระดับความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ เพื่อนำมาคำนวณ หาตำแหน่งวัตถุเป้าหมาย จากนั้นค่าระดับความเข้มของสัญญาณ

**อุปกรณ์**

- Computer
- โปรแกรม Visual Studio 2012
- XBee จำนวน 6 ตัว
  - Coordinator 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Router 1 ตัว
- End Device 4 ตัว

**สภาพแวดล้อม**

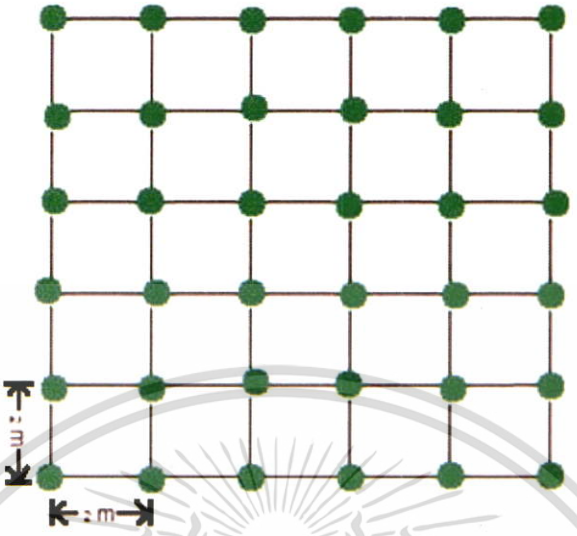
- อาคาร E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ บริเวณโถงหน้าลิฟต์ ชั้น 11 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**รูปที่ 4.16** สถานที่การทดลองตึก E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์บริเวณโถงหน้าลิฟต์ ชั้น 11

**วิธีทำการทดลอง**

- ทำการระบุตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ ซึ่งในที่นี้จะมีตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ทั้งหมด 36 จุด ซึ่งในแต่ละจุดจะห่างกันจุดละ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



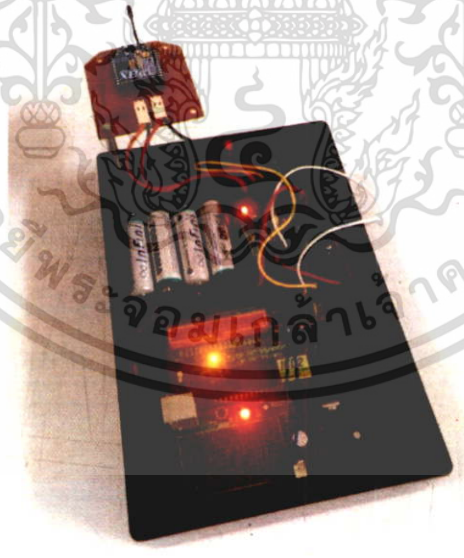

รูปที่ 4.17 จุดตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ทั้งหมด 36 จุด (จุดสีเขียว)

- ทำการวาง XBee ทั้ง 4 ตัวของมุมห้อง

**รูปที่ 4.18** ตำแหน่งของ XBee ทั้ง 4 มุมห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 4.19** ฐานวาง XBee ซึ่งจะวางอยู่ที่มุมห้อง



**รูปที่ 4.20** Object Node จะติดอยู่ตำแหน่งเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาค่าความเข้มของสัญญาณจากโปรแกรมที่ได้เตรียมไว้ เก็บค่าค่าความเข้มของสัญญาณทั้งหมด 5 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ย และบันทึกผลค่าที่ได้

**ผลการทดลอง**

สามารถเก็บค่าความแรงของสัญญาณแต่ละตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินได้ทั้งหมด 36 จุดดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ตารางแสดงค่า RSSI

| ตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ | | ระดับความเข้มสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิง (dBm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| x | y | Ref_1 | Ref_2 | Ref_3 | Ref_4 |
| 0 | 0 | 27.67 | 52.67 | 60.67 | 57.67 |
| 1 | 0 | 56.67 | 57 | 56 | 57 |
| 2 | 0 | 58 | 56 | 64.33 | 55 |
| 3 | 0 | 73 | 61.67 | 59 | 51 |
| 4 | 0 | 64 | 63.33 | 62.67 | 46.33 |
| 5 | 0 | 55.33 | 58.33 | 59.67 | 28 |
| 0 | 1 | 38.67 | 54.33 | 56.33 | 53.67 |
| 1 | 1 | 52 | 50 | 52.67 | 52.33 |
| 2 | 1 | 59 | 60.67 | 63.33 | 54.67 |
| 3 | 1 | 60 | 58 | 53 | 49 |
| 4 | 1 | 62 | 65.25 | 61.5 | 49 |
| 5 | 1 | 56.67 | 57 | 56 | 40 |
| 0 | 2 | 42.33 | 50 | 57.67 | 55.33 |
| 1 | 2 | 49.67 | 47.33 | 51 | 56.67 |
| 2 | 2 | 57 | 56.67 | 52.33 | 55.33 |
| 3 | 2 | 59.33 | 55 | 57 | 51.67 |
| 4 | 2 | 60 | 59 | 57 | 50 |
| 5 | 2 | 63.75 | 69.5 | 53.25 | 49.75 |
| 0 | 3 | 51.67 | 52.33 | 56.67 | 57.67 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ | | ระดับความเข้มสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิง (dBm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| x | y | Ref_1 | Ref_2 | Ref_3 | Ref_4 |
| 1 | 3 | 53 | 56.67 | 47.67 | 53.33 |
| 2 | 3 | 52.33 | 52.33 | 45.33 | 58.33 |
| 3 | 3 | 59.67 | 58 | 45.33 | 51.67 |
| 4 | 3 | 59.33 | 58.67 | 50.67 | 51 |
| 5 | 3 | 65.75 | 67.25 | 50.25 | 53.25 |
| 0 | 4 | 57 | 51.67 | 55 | 68.67 |
| 1 | 4 | 55.33 | 45 | 62 | 54.67 |
| 2 | 4 | 59.67 | 55.33 | 48.67 | 58.33 |
| 3 | 4 | 59 | 60 | 50.33 | 59 |
| 4 | 4 | 64.67 | 60.33 | 44.33 | 55.67 |
| 5 | 4 | 64.67 | 61 | 40.67 | 52.33 |
| 0 | 5 | 55.67 | 27 | 58.33 | 62 |
| 1 | 5 | 58 | 54 | 45.67 | 64.67 |
| 2 | 5 | 66.33 | 55.33 | 42.67 | 64.67 |
| 3 | 5 | 68.67 | 62 | 43.33 | 55 |
| 4 | 5 | 68.67 | 65.33 | 41.33 | 50.33 |
| 5 | 5 | 71.67 | 52.33 | 26.67 | 63.67 |

**สรุปผลการทดลอง**

สามารถทำการเก็บค่าความแรงสัญญาณแต่ละตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ได้ แต่ค่าในแต่ละตำแหน่งมีการรบกวนที่สูงจึงทำให้ต้องทำการเก็บค่าหลายๆครั้งเพื่อนำมาเฉลี่ยทำให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.7 ทดลองเรื่องการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์

**จุดประสงค์**

- เพื่อทำการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ว่ามีความถูกต้องตรงตามกับตำแหน่งที่ทำการเปรียบเทียบหรือไม่

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2}$$

$(X_i, Y_i)$ คือ พิกัดของสถานีฐานที่ $i$ และ

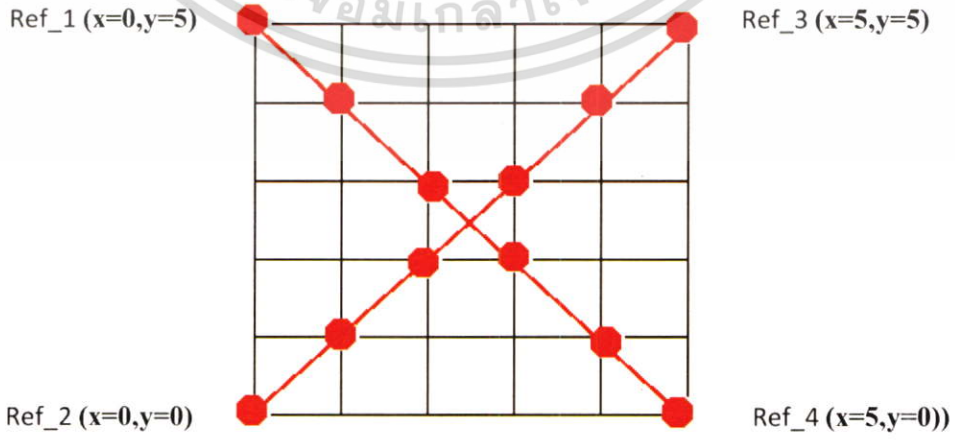
$(x, y)$ คือ พิกัดของตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่

**อุปกรณ์**

- Computer
- โปรแกรม Visual Studio 2012
- XBee จำนวน 6 ตัว
  - Coordinator 1 ตัว
  - Router 1 ตัว
  - End Device 4 ตัว

**วิธีการทดลอง**

- ทำการระบุตำแหน่งเป้าหมาย ซึ่งในที่นี้จะมีตำแหน่งของเป้าหมายทั้งหมด 10 จุด ที่ทำการกำหนดขึ้นดังรูปที่ 4.20




**รูปที่ 4.21** ตำแหน่งของเป้าหมายทั้งหมด 10 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาค่าความเข้มของสัญญาณจากโปรแกรมที่ได้เตรียมไว้ เก็บค่าค่าความเข้มของสัญญาณ
- นำค่าความเข้มของสัญญาณของแต่ละตำแหน่งเป้าหมายที่ทำการกำหนดไว้มาคำนวณ หาค่าความผิดพลาด

**ผลการทดลอง**

- ค่าความแรงของสัญญาณแต่ละตำแหน่งที่ระบุไว้ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ค่าความแรงของสัญญาณ

| ตำแหน่งเป้าหมายที่ระบุไว้ | | ระดับความเข้มสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิง(dBm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| x | y | Ref_1 | Ref_2 | Ref_3 | Ref_4 |
| 0 | 0 | 27 | 54 | 61 | 58 |
| 1 | 1 | 52 | 48 | 54 | 54 |
| 2 | 2 | 57 | 57 | 50 | 55 |
| 3 | 3 | 60 | 56 | 45 | 50 |
| 4 | 4 | 66 | 62 | 44 | 55 |
| 5 | 5 | 79 | 52 | 27 | 60 |
| 5 | 0 | 57 | 58 | 58 | 27 |
| 4 | 1 | 60 | 60 | 57 | 54 |
| 3 | 2 | 62 | 55 | 57 | 52 |
| 2 | 3 | 52 | 53 | 47 | 58 |
| 1 | 4 | 61 | 46 | 62 | 55 |
| 0 | 5 | 55 | 28 | 59 | 61 |

- นำค่าความเข้มสัญญาณแต่ละตำแหน่งมาทำการเทียบหาตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด

**ยกตัวอย่าง** ในจุดที่ x=0 และ y=0 มีค่าความเข้มของสัญญาณ XBee แต่ละโหนด คือ 24 dBm, 54 dBm, 61 dBm, 58 dBm นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความผิดพลาดของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ในแต่ละตำแหน่งแล้วนำค่าความผิดพลาดที่ได้มาทั้งหมดนั้นมาหาค่าความผิดพลาดที่มีค่าน้อยที่สุดมาเป็นตำแหน่ง Object Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** แสดงค่าความผิดพลาดของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ในแต่ละตำแหน่ง

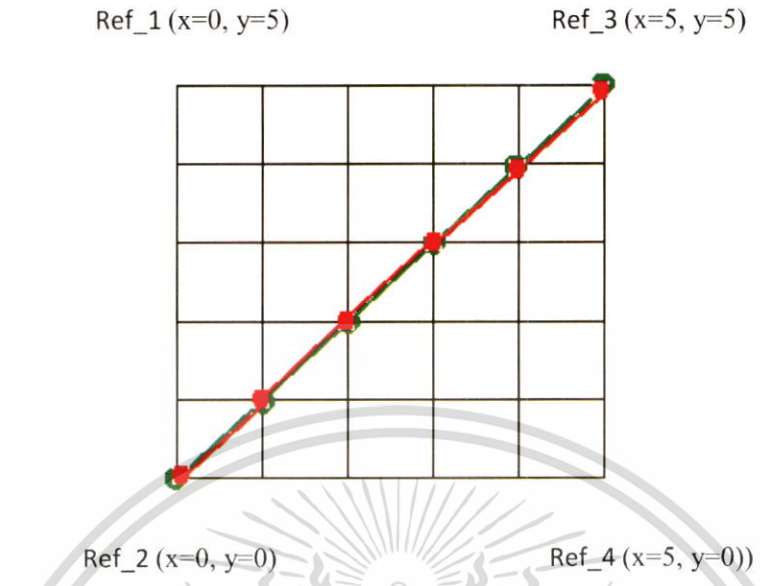
| ตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ | | ค่าความผิดพลาดของอัลกอริทึม Fingerprint |
|---|---|---|
| x | y | |
| 0 | 0 | 1.563472 |
| 1 | 0 | 30.2508 |
| 2 | 0 | 31.38648 |
| 3 | 0 | 47.19934 |
| 4 | 0 | 39.93745 |
| 5 | 0 | 41.51305 |
| 0 | 1 | 13.29578 |
| 1 | 1 | 27.24987 |
| 2 | 1 | 32.93934 |
| 3 | 1 | 35.35534 |
| 4 | 1 | 37.85251 |
| 5 | 1 | 35.1868 |
| 0 | 2 | 16.41138 |
| 1 | 2 | 25.69047 |
| 2 | 2 | 31.45367 |
| 3 | 2 | 33.20475 |
| 4 | 2 | 34.55431 |
| 5 | 2 | 41.46007 |
| 0 | 3 | 25.10201 |
| 1 | 3 | 29.70971 |
| 2 | 3 | 29.83473 |
| 3 | 3 | 36.9955 |
| 4 | 3 | 34.97142 |
| 5 | 3 | 42.60575 |
| 0 | 4 | 32.48418 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์ | | ค่าความผิดพลาดของอัลกอริทึม Fingerprint |
|---|---|---|
| x | y | |
| 1 | 4 | 29.9314 |
| 2 | 4 | 34.9444 |
| 4 | 4 | 41.7386 |
| 5 | 4 | 43.74167 |
| 0 | 5 | 39.67227 |
| 1 | 5 | 35.22152 |
| 2 | 5 | 43.92544 |
| 3 | 5 | 46.05673 |
| 4 | 5 | 48.06362 |
| 5 | 5 | 56.64607 |

- จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์แต่ละตำแหน่งจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยเราจะทำการเลือกค่าความผิดพลาดที่มีค่าน้อยที่สุดในแต่ละตำแหน่งเป้าหมาย โดยจากตัวอย่างค่าความผิดพลาดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 1.563472 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดจากการคำนวณ ดังนั้นเราจะได้ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ x=0, y=0 ตรงกับตำแหน่งของเป้าหมายนั้นก็คือ x'=0,y'=0 เช่นกัน

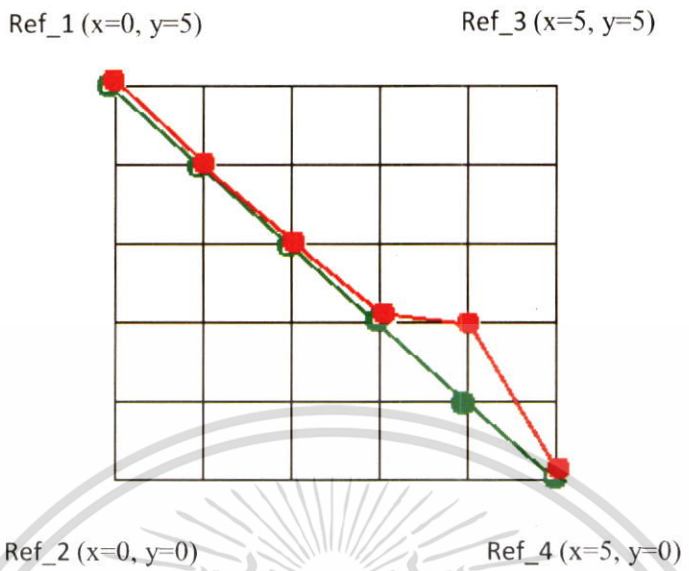
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.22** การเปรียบเทียบพิกัดตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์จริง – พิกัดที่ได้จากการทดลองของตำแหนงเป้าหมายที่ระบุไว้ (จากตำแหน่ง x=0,y=0 ไป x=5,y=5)

- จากรูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์จริงกับตำแหน่งเป้าหมายว่ามีความถูกต้องทุกตำแหน่ง เนื่องจากจุดแต่ละจุดตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.23** การเปรียบเทียบพิกัดตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์จริง – พิกัดที่ได้จากการทดลองของตำแหน่งเป้าหมายที่ระบุไว้ (จากตำแหน่ง x=0,y=5 ไป x=5,y=0)

- จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ x=4,y=1 ที่มีค่าค่าความผิดพลาดของอัลกอริทึมมากเกินไป จึงทำให้ได้ตำแหน่งของ x=4,y=1 ไปเป็นตำแหน่ง x=4,y=2

**สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของอัลกอริทึม Fingerprint ในแต่ละตำแหน่ง จะต้องมีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุดจึงจะทำให้ตำแหน่งเป้าหมายมีค่าตรงกับตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรินท์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.8 ทดลองหาค่าองศาในการควบคุมกล้อง

**จุดประสงค์**

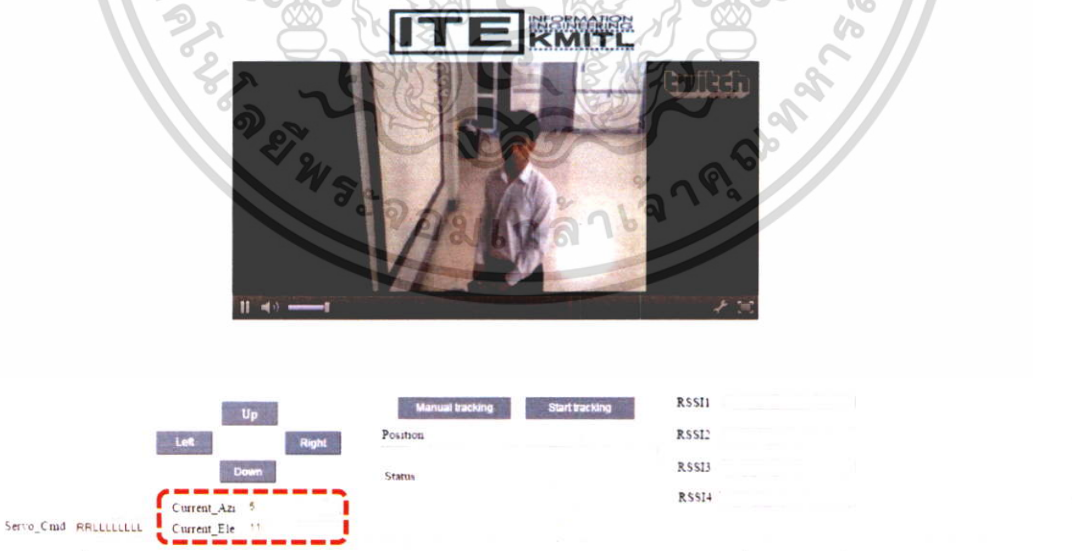
- เพื่อคำนวณให้ได้ค่ามุม Azimuth และมุม Elevation ในการควบคุมการหันของกล้อง
- กล้องเว็บแคม 1 ตัว
- คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- Servo Motor

**วิธีการทดลอง**

- ทำการติดตั้งกล้องเว็บแคมไว้บนแท่นวาง
- ทำการกำหนดค่า Current Azimuth และ Current Elevation ในแต่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์ที่ได้ทำการกำหนดไว้ข้างต้น
- นำค่าที่ได้มาคำนวณหาองศา

**ผลการทดลอง**

- **ตำแหน่งพิกัด (x=0,y=0)**




**รูปที่ 4.24** ขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพที่ตำแหน่งพิกัด (x=0,y=0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตำแหน่งพิกัด (x=0,y=5)

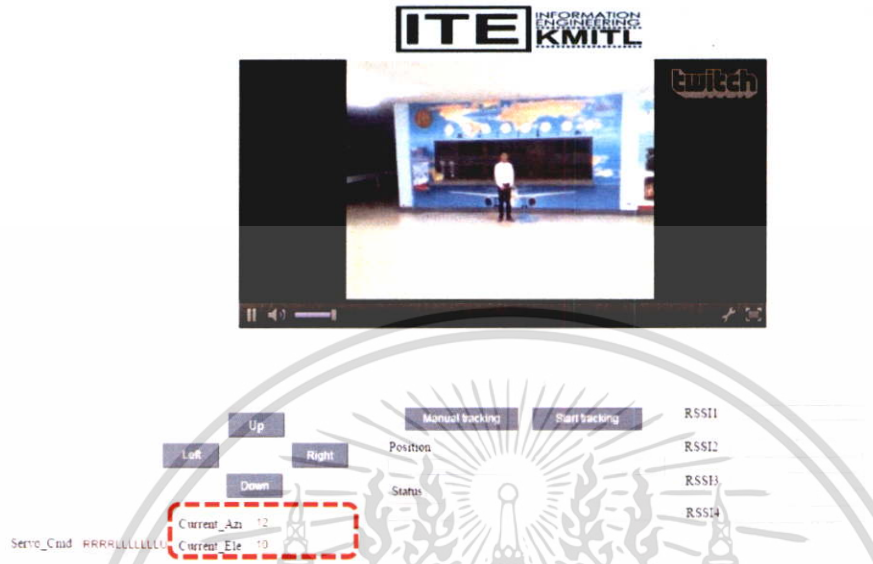
**รูปที่ 4.25** ขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพที่ตำแหน่งพิกัด (x=0,y=5)

- ตำแหน่งพิกัด (x=5,y=5)

**รูปที่ 4.26** ขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพที่ตำแหน่งพิกัด (x=5,y=5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตำแหน่งพิกัด (x=5,y=0)




**รูปที่ 4.27** ขนาดของมุม Azimuth และมุม Elevation ของกล้องที่จับภาพที่ตำแหน่งพิกัด (x=5,y=0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** แสดงมุม Azimuth และมุม Elevation ของแต่ละตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินท์

| x | y | Azimuth (องศา) | Elevation (องศา) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 45 | 99 |
| 1 | 0 | 72 | 99 |
| 2 | 0 | 90 | 90 |
| 3 | 0 | 99 | 90 |
| 4 | 0 | 108 | 90 |
| 5 | 0 | 108 | 90 |
| 0 | 1 | 45 | 90 |
| 1 | 1 | 63 | 90 |
| 2 | 1 | 72 | 90 |
| 3 | 1 | 81 | 90 |
| 4 | 1 | 90 | 90 |
| 5 | 1 | 99 | 90 |
| 0 | 2 | 108 | 90 |
| 1 | 2 | 108 | 90 |
| 2 | 2 | 45 | 90 |
| 3 | 2 | 63 | 90 |
| 4 | 2 | 81 | 90 |
| 5 | 2 | 90 | 90 |
| 0 | 3 | 99 | 81 |
| 1 | 3 | 45 | 90 |
| 2 | 3 | 54 | 81 |
| 3 | 3 | 72 | 81 |
| 4 | 3 | 81 | 81 |
| 5 | 3 | 81 | 81 |
| 0 | 4 | 90 | 81 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองที่ผ่านมานั้น จะเห็นได้ว่าค่า Current Azimuth จะมีค่ามากสุดที่ 20 และ Current Elevation มากสุดที่ 20 ค่า การคำนวณองศานั้นจะทำโดยการนำค่า Current Azimuth และ Current Elevation ที่หาได้มาคูณกับ 9 จะได้จึงจะได้องศา

## 4.9 ส่วนของการหมุนกล้องอัตโนมัติ

**จุดประสงค์**

- เพื่อทำการตรวจสอบระบบว่ามีความถูกต้องหรือไม่

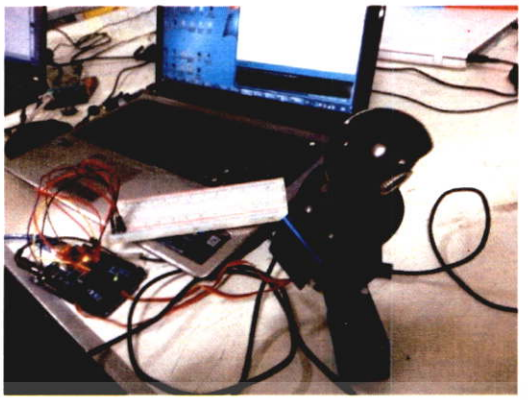
**อุปกรณ์**

- Computer
- โปรแกรม Visual Studio 2012
- XBee จำนวน 6 ตัว
  - Coordinator 1 ตัว
  - Router 1 ตัว
  - End Device 4 ตัว
- กล้อง
- Servo Mortor
- บอร์ดควบคุมอุปกรณ์ XBee

**วิธีการทดลอง**

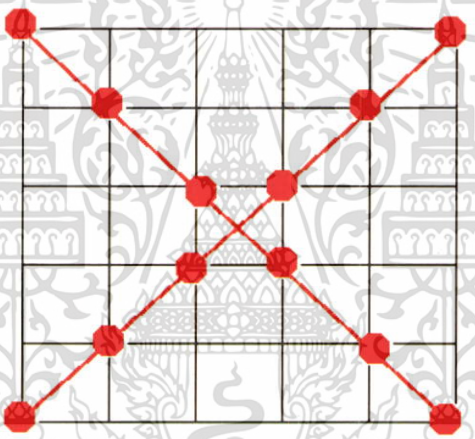
- ทำการติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์และทำการติดตั้งและตั่งค่า XBee แต่ละตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



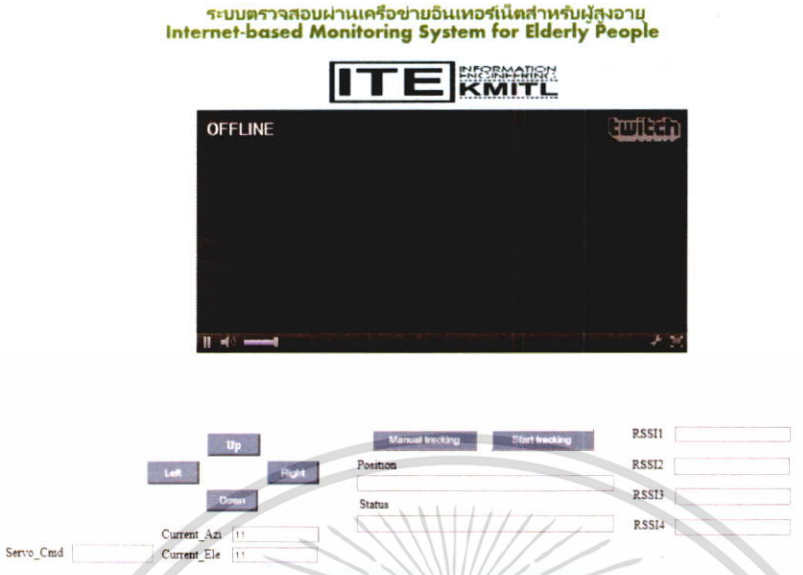
**รูปที่ 4.28** แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับคอมพิวเตอร์

- เส้นทางที่ใช้ในการทดลอง



- ทำการเปิดโปรแกรม Visual Studio 2012 ซึ่งเป็นส่วนของหน้าต่างและปุ่มควบคุมกล้องวงจรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



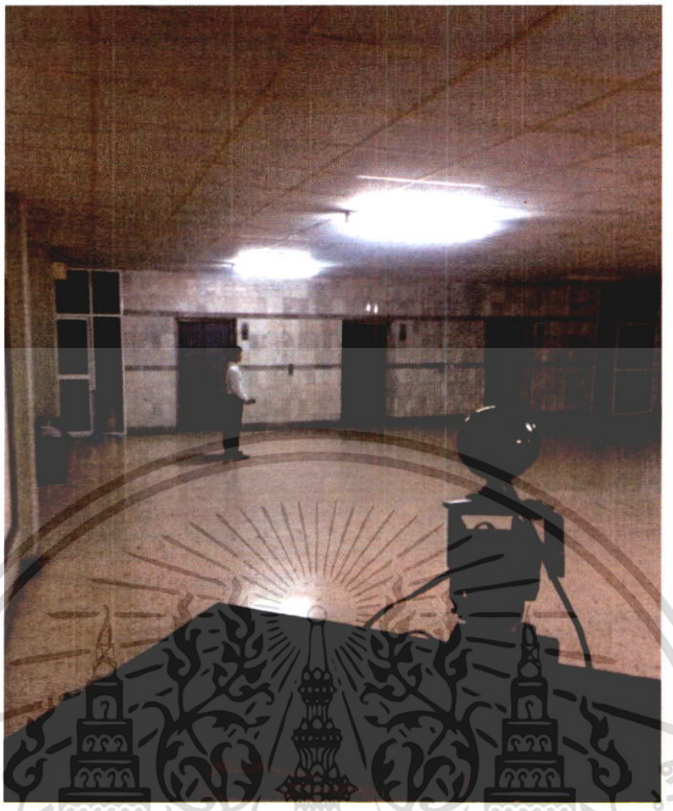

**รูปที่** 4.29 โปรแกรม Visual Studio 2012 ซึ่งประกอบด้วยส่วนควบคุมและแสดงผลของภาพ

- ทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเข้ากับคอมพิวเตอร์หรือเซิฟเวอร์
- เริ่มทำการควบคุมกล้องได้

**ผลการทดลอง**

สามารถทำการควบคุมกล้องได้ไม่ว่าจะเป็นโหมดควบคุมด้วยตนเองและควบคุมแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.30** ภาพการทดลองระบบแสดงตำแหน่งของกล้องและตำแหน่งของเป้าหมาย

**สรุปผลการทดลอง**

กล้องสามารถหมุนตามที่ผู้ควบคุมสั่งการได้ ไม่ว่าจะเป็นโหมดควบคุมด้วยตนเองและโหมดควบคุมแบบอัตโนมัติแต่ก็ยังเกิดข้อผิดพลาดอยู่เล็กน้อยเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ทำการทดลองยังมี Multipath อยู่ทำให้กล้องนั้นหมุนไปผิดตำแหน่งบ้างเป็นบางครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทวิจารณ์และสรุปผล

## 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้เกี่ยวกับระบบตรวจสอบที่อยู่ในห้องซึ่งสามารถตรวจสอบความเป็นอยู่ของผู้สูงอายุที่ไม่ได้อยู่กับเราตลอดเวลาซึ่งระบบนี้มีไว้เพื่อให้ผู้ที่อยากรู้ว่าผู้สูงอายุทำอะไรอยู่ขณะที่ตนเองไปทำงานหรือไม่ว่างที่จะดูแล โดยการตรวจสอบจะตรวจสอบผ่านคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น แท็บเล็ต มือถือ เป็นต้น และทำการติดตั้งกล้องไว้ที่ห้องหรือบ้านพักที่ต้องการตรวจสอบ จึงทำให้สามารถเข้าตรวจสอบสถานที่นั้นได้ ตลอดเวลา สำหรับโปรเจคนี้จะสามารถควบคุมกล้องได้ด้วยตัวเองและให้กล้องสามารถที่จะหมุนโดยอัตโนมัติตามตำแหน่งของผู้สูงอายุ

การควบคุมกล้องนั้นไว้เพื่อให้สามารถเลือนดูภาพได้ซึ่งในการควบคุมฐานกล้องนั้นจะ ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อให้บอร์ดส่งค่าให้กับเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมฐานกล้องโดยตรงและเราจะใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ไร้สายมาระบุตำแหน่งเพื่อให้กล้องสามารถหมุนไปยังเซ็นเซอร์ได้โดยอัตโนมัติโดยใช้ทฤษฎีฟังเกอร์ปรินต์ในการหาตำแหน่งและจะมีหน้าเว็บแอปพลิเคชั่นซึ่งหน้าเว็บแอปพลิเคชั่นนั้นจะเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์และจะมีปุ่มคำสั่งสำหรับส่งคำสั่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้บอร์ดไปสั่งงานเซอร์โวมอเตอร์ผ่านยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

### 5.2.1 ปัญหาที่พบ

- ด้านการเขียนโปรแกรมติดต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ปัญหาหลักๆนั้นจะเป็นปัญหาเกี่ยวกับความไม่ชำนาญในด้านคำสั่งที่ใช้เขียน และส่วนของเว็บแอปพลิเคชั่นที่พัฒนาขึ้นมานั้นให้สามารถติดต่อควบคุมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ก็พบว่าปัญญาที่เกิดขึ้นในการทำก็คือ ไม่มีความรู้และความชำนาญในการทำเนื่องด้วยโครงงานประกอบไปด้วยงานหลายส่วนพร้อมทั้งเรื่องของระยะเวลา แต่โครงงานชิ้นนี้ก็สำเร็จลุล่วงไปได้แต่ก็ยังสามารถนำไปดำเนินการพัฒนาต่อให้สมบูรณ์ในอนาคตข้างหน้าต่อไปได้

- ปัญหาด้านอุปกรณ์ชิกบีปัญหาที่เกิดขึ้นเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ทำการทดลองมีมัลติพาทเป็นจำนวนมากซึ่งมีผลต่อการส่งสัญญาณเพื่อขอความเข้มของสัญญาณ ณ เวลานั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 แนวทางแก้ไข

- ทำการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือแล้วนำคำตอบที่ได้จากการอ่านไปแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น
- ถ้าหากปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือได้ทั้งหมด เราก็จะทำการปรึกษาผู้ที่เชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ
- เนื่องด้วยเราได้ทำการแบ่งงานออกเป็นส่วนๆ แล้วแบ่งกันรับผิดชอบในแต่ละส่วน เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่ง งานส่วนอื่นก็ยังดำเนินต่อไปได้
- หาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง

## 5.3 สิ่งที่สามารถนำไปพัฒนาต่อในอนาคต

โครงงานนี้ยังมีข้อด้อยในหลายประการด้วยกันซึ่งควรจะนำไปศึกษาและพัฒนาต่อ เช่น การปรับหน้าเว็บแอปพลิเคชั่นให้ดูสวยงามและน่าใช้งานเพิ่มขึ้นและในเรื่องของการประมวลผลภาพซึ่งโครงงานนี้ใช้โปรแกรมเสริมมาช่วยในการถ่ายทอด ทำให้ภาพที่ได้มีการดีเลย์เกิดขึ้นและการพัฒนาหน้าเว็บแอปพลิเคชั่นเพื่อให้รองรับเว็บเบราว์เซอร์อื่นๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


[1] วัชรินทร์ เคารพ, คู่มือการใช้ servo motor, กรุงเทพฯ: อีทีที จำกัด, 2546

[2] บทความ "ตัวอย่างการควบคุม RC Servo Motor ด้วย Arduino [Online].Available: http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/บทความตัวอย่างการควบคุม-rc-servo-motor-ด้วย-arduino.html

[3] เริ่มต้น AVR Microcontroller [Online].Available: http://www.technicnan.ac.th/nan_ntc/adisak51/avr2.html

[4] ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ [Online].Available: http://comnpw.bth.cc/webboard/topic-view-166236

[5] http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Referrence/RS232.html [Online]

[6] การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART [Online].Available: http://www.epro.co.th/index.php?lite=article&qid=42039091

[7] สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์. "เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network)." [Online]. Available: http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach /Wireless_Sensor_Network/index.php. 2011.

[8] ThaiEasyElec.com. "ZigBee and XBee BASIC ตอน ZigBee คืออะไร." [Online]. Available:http://thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/what-is-zigbee.html. 2011.

[9] ThaiEasyElec.com. "Xbee Basic Configuration In Network Application." [Online]. Available: http://thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/xbee-basic-configuration-in-network-application.html. 2011.

[10] ThaiEasyElec.com. "ZigBee and XBee BASIC ตอน XBee คืออะไร." [Online]. Available: http://www.thaieasyelec.com/Embedded-Electronics-Application/ what-is-XBee.html. 2011.

[11] Digi International Cooperation. "The XBee/Xbee-Pro/S2B Manual." [Online]. Available: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_S.pdf. 2010.

[12] พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ "เทคโนโลยี RFID กับเทคนิคการหาตำแหน่งของเป้าหมาย", วารสาร EC, ปีที่ ๑๐, ฉบับที่ ๕๘, พฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๔, หน้า ๕๑ – ๕๘.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบตรวจสอบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้สูงอายุ

Internet-based Monitoring System for Elderly People

1.นายกมลภพ บุญชม 2.นายคมสันต์ แหวนวิเศษ 3.นายฐิติพงษ์ ธงรัตนะ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์

หลักสูตรวิศวกรรมสารสนเทศ

## บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการนำเอาเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดและเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการดูแล เฝ้าระวัง สังเกตการณ์ หาตำแหน่งของผู้สูงอายุที่อยู่ในห้องหรือดูสภาพแวดล้อมภายในห้อง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นจะมีรูปแบบการใช้งานได้ 2 แบบ คือแบบบังคับด้วยตัวเองและแบบทำงานอัตโนมัติ ซึ่งโครงงานนี้จะช่วยให้เราสามารถทราบถึงความเป็นอยู่ของผู้สูงอายุได้อย่างสะดวกสบาย

## วัตถุประสงค์ของโครงงาน

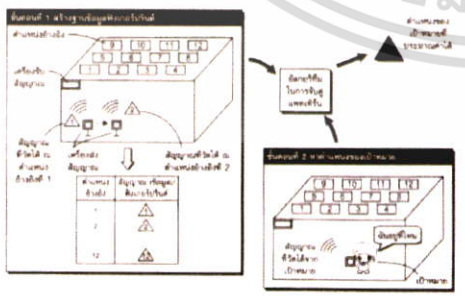
- เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดให้สามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายได้
- เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถใช้งานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้
- เพื่อพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยให้ดียิ่งขึ้น

## การใช้งานของระบบ

- ผู้ใช้งานทำงานการเข้าเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้งานผ่านเว็บบราวเซอร์
- ผู้ใช้งานจะเห็นหน้าเว็บแอปพลิเคชันดังภาพด้านบน
- ผู้ใช้งานสามารถที่จะเลือกใช้งานได้ 2 รูปแบบโดยจะแบ่งเป็นโหมดการทำงานโดยควบคุมกล้องด้วยตัวเองและโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ
- สำหรับโหมดการทำงานด้วยตัวเองนั้นจะมีปุ่มเพื่อควบคุมกล้องทั้งหมด 4 ปุ่มคือ ปุ่มบน ปุ่มล่าง ปุ่มซ้าย ปุ่มขวา
- สำหรับโหมดการทำงานแบบอัตโนมัตินั้นผู้ใช้งานเพียงแค่ปุ่ม start tracking กล้องก็จะทำการหมุนตามวัตถุที่ต้องการและมีหน้าต่างแสดงข้อความเพื่อบอกสถานะของระบบ ตำแหน่งของวัตถุและค่า RSSI

## การทำงานของโครงงาน

*RSSI : Received Signal Strength Indicator



## การระบุตำแหน่งโดยฟิงเกอร์ปริ้นต์

ขั้นตอนแรก : สร้างข้อมูลฟิงเกอร์ปริ้นต์

- ทำการวัดสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ต้องการเพื่อเก็บค่าไว้อ้างอิง
- เก็บค่าสัญญาณที่วัดได้เก็บไปไว้ในฐานข้อมูล
- ทำการวัดสัญญาณใหม่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ณ ทุกตำแหน่งที่ต้องการเก็บค่าอ้างอิง

ขั้นตอนที่สอง : หาตำแหน่งของเป้าหมาย

- นำสัญญาณที่วัดได้จากเป้าหมายมาจับคู่แพทเทิร์นเพื่อเปรียบเทียบค่า
- ตำแหน่งที่มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณที่วัดได้จากเป้าหมายมากที่สุดจะเป็นตำแหน่งของเป้าหมายที่ประมาณค่าได้

## สรุปผลของโครงงาน

- ระบบสามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ตได้
- ระบบสามารถดูภาพจากกล้องเว็บแคมแบบ Real time จากทางฝั่งผู้ควบคุมกล้องวงจรปิดได้
- กล้องเว็บแคมสามารถหมุนตามตำแหน่งของเป้าหมายได้
- ระบบสามารถใช้งานระบบแบบอัตโนมัติได้

ARDUINO IIS7 Visual Studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้