สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย

WIRELESS MOVABILITY OF CAR CONTROLLER

T119153

โดย

นายศรัณย์ ใฝ่ฝัน

นายศราวุธ เจริญมิตร

นายศราวุธ เพชะกร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119153
วัน,เดือน,ปี - 6 ส.ค. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย

WIRELESS MOVABILITY OF CAR CONTROLLER

โดย

นายศรัณย์ ใฝ่ฝัน 50011530

นายศราวุธ เจริญมิตร 50011535

นายศราวุธ เพชะกร 50011537

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิภา แสงพิสิทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

ตรวจสอบแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ตรวจสอบแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแสวงหาผลประโยชน์ หรือการอื่นใดที่ขัดต่อกฎหมาย ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย

WIRELESS MOVABILITY OF CAR CONTROLLER

ผู้จัดทำ

1.	นายศรัญย์	ใฝ่ฝัน	50011530
2.	นายศราวุธ	เจริญมิตร	50011535
3.	นายศราวุธ	เพชะกร	50011537

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิภา แสงพิสิทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้โดยได้รับคำแนะนำ และความรู้ในเรื่องต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการทำงาน การบริหารเวลา รวมไปถึงเรื่องคุณธรรมจริยธรรมเป็นอย่างดี จากอาจารย์วิภา แสงพิสิทธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการจัดทำ รวมทั้งรุ่นพี่ที่ช่วยสอนเรื่องการใช้เครื่องมือต่างๆในการจัดทำโครงงานนี้

จึงขอขอบคุณอาจารย์วิภา แสงพิสิทธ์และรุ่นพี่มา ณ ที่นี้ด้วย

นายศรัณย์ ใฝ่ฝัน

นายศราวุธ เจริญมิตร

นายศราวุธ เพตะกร

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย

WIRELESS MOVABILITY OF CAR CONTROLLER

โดย	นายศรัณย์	ใฝ่ฝัน	50011530
	นายศราวุธ	เจริญมิตร	50011535
	นายศราวุธ	เพตะกร	50011537

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิภา แสงพิสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ โดยสัญญาณควบคุมจะส่งออกทางพอร์ตอนุกรมผ่านชุดส่งไร้สาย ส่งออกทางสายอากาศ ทางด้านรับประกอบด้วยชุดรับสัญญาณไร้สาย รับสัญญาณควบคุมจากชุดส่ง ส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวรถ

ABSTRACT

This project proposes wireless movability of car controller by using program to control the movement. The controlled signal transmits through the serial port to transmitter module. Next, the controlled signal would be transmitted through antenna. The receiver module receives the controlled signal from transmitter module and sends data to microcontroller to control the movement of car.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย	2
1.3.1 ส่วนควบคุม	3
1.3.2 ส่วนรับสัญญาณภาพจากกล้องไร้สาย	3
1.4 ขอบเขตของโครงงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1หุ่นยนต์	5
2.1.1 ระบบควบคุม	5
2.1.1.1ระบบควบคุมอัตโนมัติ	5
2.1.1.2 ชนิดของระบบควบคุมอัตโนมัติ	6
2.1.2 ระบบขับเคลื่อน	7
2.1.2.1 ระบบขับเคลื่อนด้วยนิวแมติกส์	7
2.1.2.2 ระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิกส์	7
2.1.2.3 ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า	8
2.2 อุปกรณ์ในระบบหุ่นยนต์	8
2.2.1 อุปกรณ์ทางด้านเครื่องกล	8
2.2.1.1 เฟือง	9
2.2.1.2 สายพานและรอก	9
2.2.1.3 โซ่	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.1.4 แบริ่ง	10
2.2.2 อุปกรณ์ทางเครื่องกลไฟฟ้า	11
2.2.2.1 มอเตอร์สเต็ปปิ้ง	11
2.2.2.2 มอเตอร์กระแสตรง	12
2.2.2.3 เอนโคดเดอร์	13
2.3 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม	14
2.3.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)	14
2.3.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)	14
2.3.3 ลักษณะการใช้งานการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม	15
2.4 การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS232	15
2.4.1 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งาน	17
2.4.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9	17
2.4.3 การทำงานของขาสัญญาณ DB9	18
2.4.4 ระดับสัญญาณของ RS232	18
2.4.5 อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)	19
2.5 การส่ง-รับวิทยุ	19
2.5.1 หลักการของวิทยุ	19
2.5.2 ชั้นบรรยากาศ	20
2.5.2.1 ชั้นโทรโพสเพียร์	21
2.5.2.2 ชั้นสตราโทสเพียร์	22
2.5.2.3 ชั้นไอโอโนสเพียร์	22
2.5.3 การแผ่กระจายคลื่นวิทยุ	24
2.5.3.1 คลื่นดิน	24
2.5.3.2 การแผ่กระจายคลื่นแบบ Topospheric	25
2.5.3.3 คลื่นอวกาศ	28
2.5.3.4 คลื่นฟ้า	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 ซิกบี คืออะไร	30
2.6.1 โมดูล Xbee	31
2.6.1.1 ลักษณะโดยรวม	31
2.6.1.2 การทำงาน	33
2.6.1.3 การส่งข้อมูล	35
2.6.1.4 Data Throughput	35
2.6.2 ขั้นตอนการใช้งานโมดูล Xbee	36
2.7 กล้องไร้สาย	38
2.8 ซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์	41
2.8.1 โปรแกรมภาษาซี	42
2.8.1.1 ประวัติความเป็นมา	42
2.8.1.2 รูปแบบโปรแกรมภาษาซี	42
2.8.1.3 กฎพื้นฐานที่สำคัญในภาษาซี	44
2.8.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	46
2.8.2.1 ภาษาของ Micro-Controller	47
2.8.2.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51	48
2.8.2.3 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	49
2.8.2.4 โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ AT89C51	50
2.9 เดลไฟล์คืออะไร	51
2.9.1 สภาพแวดล้อมการเขียนโปรแกรม	52
2.9.2 องค์ประกอบIDE ของเดลไฟล์	53
2.9.2.1 Component Pallete	53
2.9.2.2 Form Designer	54
2.9.2.3 Object Inspector	54
2.9.2.4 Menu และ Speed Bar	54
2.9.3 รายละเอียดของคอมโพเน้นท์	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ 59

3.1.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ 60

3.1.1.1 การออกแบบภาคควบคุมมอเตอร์ 60

3.1.1.2 การออกแบบวงจรขับกระแสมอเตอร์ 61

3.1.1.3 การออกแบบตัวรถ 62

3.1.2 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ 63

3.1.2.1 การออกแบบการควบคุมและส่งคำสั่งโดยใช้ภาษาเดลไฟล์ 63

3.1.2.2 การใช้งาน โปรแกรม T2MTelecom 64

3.1.2.3 การออกแบบการควบคุมการทำงานของ MCS-51 68

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 70

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง 70

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ผ่านRS232
ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ 71

4.1.1 ผลการทดสอบกดปุ่มเดินหน้า 71

4.1.2 ผลการทดสอบกดปุ่มถอยหลัง 72

4.1.3 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนซ้าย 73

4.1.4 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนขวา 74

4.1.5 ผลการทดสอบกดปุ่มหยุด 75

4.1.6 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหน้าขึ้น 76

4.1.7 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหน้าลง 77

4.1.8 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหลังขึ้น 78

4.1.9 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหลังลง 79

4.1.10 ผลการทดสอบกดปุ่มควบคุมมุมกล้องเงยขึ้น 80

4.1.11 ผลการทดสอบกดปุ่มควบคุมมุมกล้องต่ำลง 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.12 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนกล้องไปทางซ้าย 82
4.1.13 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนกล้องไปทางขวา 83
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลซิกบี 84
4.2.1 วัดสเปกตรัมของโมดูลXbee 84
4.2.2 วัดค่า RSSI เทียบกับระยะทาง 86
4.3 ผลการทดสอบสัญญาณที่ภาครับของกล้องไร้สาย 88
4.3.1 ผลการทดสอบสัญญาณวีดีโอจากกล้องไร้สาย 88
4.3.2 ผลการทดสอบสัญญาณเสียงจากกล้องไร้สาย 89

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล 91
5.1.1 การทดสอบวงจรควบคุมมอเตอร์ 91
5.1.2 การทดสอบเครื่องส่ง – รับสัญญาณไร้สาย 91
5.1.3 การทดสอบกล้องไร้สาย 91
5.1.4 การทดสอบซอร์ฟแวร์ T2MTelecom 91
5.1.5 การทดสอบการเคลื่อนที่ 92
5.2 ข้อเสนอแนะ 92

ภาคผนวก

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 บล็อกไดอแกรมของโครงงานของเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย	2
1.2 บล็อกไดอแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ	3
1.3 บล็อกไดอแกรมการรับสัญญาณจากกล้องไร้สาย	3
2.1 ระบบควบคุมอัตโนมัติ	5
2.2 ระบบควบคุมแบบเปิด	6
2.3 ระบบควบคุมแบบปิด	7
2.4 สเตปปิ้งมอเตอร์	12
2.5 ลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม	19
2.6 สัญญาณ Clock กับสัญญาณข้อมูล	14
2.7 รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	15
2.8 ลักษณะการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย RS232	16
2.9 พอร์ตอนุกรมของDB9 ตัวผู้ (Male)	16
2.10 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female)	16
2.11 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง	17
2.12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem	17
2.13 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	18
2.14 ระดับสัญญาณของ RS232และระดับสัญญาณของ TTL	19
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศ	21
2.16 Ionosphere ชั้น D เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์	22
2.17 คลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความชื้นน้อย	25
2.18 คลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความชื้นมาก	26
2.19 ปรากฏการณ์คลื่นวิทยุเดินทางผ่านท่อนำคลื่น เนื่องด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างของผิวโลกและผิวน้ำทะเล	27
2.20 ปรากฏการณ์ Super Refraction	27
2.21 D1 คือระยะทางการติดต่อแบบปกติ หรือ Radio Horizon ส่วน D2 คือระยะทางที่เกิดขึ้นจากปรากฏการ ท่อนำคลื่น (Ducting)	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.22 ระยะทางการติดต่อสื่อสารแบบ line-of-sight ต่อความสูงของสายอากาศทางด้าน เครื่องรับและเครื่องส่ง 29
2.23 ตัวอย่างเครือข่ายที่สร้างโดยใช้ซิกบี 31
2.24 การวางขาของโมดูล Xbee 32
2.25 โหมดของโมดูล Xbee 34
2.26 โครงสร้างบล็อกไดอแกรมของโมดูล Xbee 35
2.27 หน้าตาโปรแกรม X-CTU 37
2.28 dialog box ของโปรแกรม X-CTU เมื่อการสื่อสารถูกต้อง 38
2.29 Sensor รับภาพ 38
2.30 การทำงานของ CCD 39
2.31 การทำงานของ CMOS 40
2.32 ส่วนประกอบของโปรแกรมภาษาซีเบื้องต้น 43
2.33 ขาต่างๆของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์AT89C51 49
2.34 สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ AT89C51 50
3.1 บล็อกไดอแกรมเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย 59
3.2 วงจรควบคุมมอเตอร์ 60
3.3 วงจรขับกระแสมอเตอร์กระแสตรง 62
3.4 รูปแบบฟอร์มควบคุมรถของโปรแกรมเดลไฟล์ 63
3.5 ลักษณะแผงควบคุมของโปรแกรม T2MTelecom 65
3.6 ลักษณะปุ่ม Connect/Disconnect และ ปุ่ม Setting 65
3.7 ลักษณะแผงควบคุมการเคลื่อนที่ 66
3.8 ลักษณะแผงควบคุมแขนช่วยเหลือ 66
3.9 จอแสดงภาพ 67
3.10 ลักษณะแผงควบคุมกล้อง 67
3.11 เงื่อนไขที่ต้องกำหนดสำหรับการส่งข้อมูล 68
3.12 การออกแบบการควบคุมการทำงานของ MCS -51 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ 'A' ที่ทำการวัดที่โมดูล XbeeภาครับBinary Code มีค่าเท่ากับ '0100 0001'	72
4.2 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ 'B' ที่ทำการวัดที่โมดูล XbeeภาครับBinary Code มีค่าเท่ากับ '0100 0010'	73
4.3 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ 'C' ที่ทำการวัดที่โมดูล XbeeภาครับBinary Code มีค่าเท่ากับ '0100 0011'	74
4.4 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ 'D' ที่ทำการวัดที่โมดูล XbeeภาครับBinary Code มีค่าเท่ากับ '0100 0100'	75
4.5 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '0' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0000'	76
4.6 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '1' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0001'	77
4.7 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '2' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0010'	78
4.8 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '3' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0011'	79
4.9 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '4' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0100'	80
4.10 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '7' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0111'	81
4.11 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '8' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 1000'	82
4.12 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '5' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0101'	83
4.13 สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '6' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbeeภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0110'	84
4.14 สัญญาณที่วัดได้จากเครื่องส่งไร้สาย	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 โปรแกรมวัดค่า RSSI	86
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI ที่ตัวรับโมดูล Xbeeกับระยะทาง	87
4.17 สัญญาณภาพที่วัดได้จากเครื่องรับภาพ	88
4.18 สัญญาณภาพที่วัดได้จากเครื่องรับภาพ	89
4.19 การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเครื่องรับสัญญาณภาพที่ความถี่ต่างๆ	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจัดขาของ DB9 และหน้าที่การใช้งาน	17
2.2 การกำหนดขาของโมดูล Xbee	32
3.1 ค่า Baud Rate	61
3.2 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนอินพุตให้กับวงจรขับกระแสมอเตอร์	62
3.3 การกำหนดลักษณะการทำงานของโปรแกรม	64
4.1 การวัดค่า RSSI เทียบกับ ระยะทาง	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หุ่นยนต์ หรือ โรบอต (robot) คือเครื่องจักรกลชนิดหนึ่ง มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกัน หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่าง ๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ การควบคุมระบบต่าง ๆ ในการสั่งงานระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์ สามารถทำได้โดยทางอ้อมและอัตโนมัติ โดยทั่วไปหุ่นยนต์ถูกสร้างขึ้นเพื่อสำหรับงานที่มีความยากลำบากเช่น งานสำรวจในพื้นที่บริเวณแคบหรืองานสำรวจดวงจันทร์ดาวเคราะห์ที่ไม่มีสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว เริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านอุตสาหกรรมการผลิต แตกต่างจากเมื่อก่อนที่หุ่นยนต์มักถูกนำไปใช้ ในงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ปัจจุบันมีการนำหุ่นยนต์มาใช้งานมากขึ้น เช่น หุ่นยนต์ที่ใช้ในทางการแพทย์ หุ่นยนต์สำหรับงานสำรวจ หุ่นยนต์ที่ใช้งานในอวกาศ หรือแม้แต่หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์ จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้หุ่นยนต์นั้นมีลักษณะที่คล้ายมนุษย์ เพื่อให้อาศัยอยู่ร่วมกันกับมนุษย์ ให้ได้ในชีวิตประจำวัน โดยความหมายของ "หุ่นยนต์" โดยสถาบันหุ่นยนต์อเมริกา (The Robotics Institute of America) ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

"หุ่นยนต์ คือเครื่องจักรใช้งานแทนมนุษย์ ที่ออกแบบให้สามารถตั้งลำดับการทำงาน การใช้งานได้หลากหลายหน้าที่ ใช้เคลื่อนย้ายวัสดุอุปกรณ์ ส่วนประกอบต่าง ๆ เครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษ ตลอดจนการเคลื่อนที่ได้หลากหลาย ตามที่ตั้ง ลำดับการทำงาน เพื่อสำหรับใช้ในงานหลากหลายประเภท"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามดังกล่าว อีกนัยหนึ่งก็คือ เครื่องจักรกลทุกชนิดที่สามารถปฏิบัติงานแทนมนุษย์ได้ทุกประเภท ทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งในงานที่เสี่ยงอันตรายโดยที่มนุษย์ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ ตลอดจนการทำงานที่เป็นอัตโนมัติโดยตนเองหรือถูกควบคุมโดยมนุษย์ และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานได้หลากหลาย

ในโครงงานการควบคุมรถเคลื่อนที่แบบไร้สายนี้ ก็ถือเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่ง ที่สามารถทำงานแทนมนุษย์ในงานบางอย่างได้ เช่น การสำรวจในที่ๆมนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือสำรวจในที่ๆเสี่ยงอันตรายแทนมนุษย์ โดยรถนี้จะถูกควบคุมโดยมนุษย์อีกทีหนึ่งเพื่อกระทำการต่างๆตามที่ผู้ควบคุมต้องการ

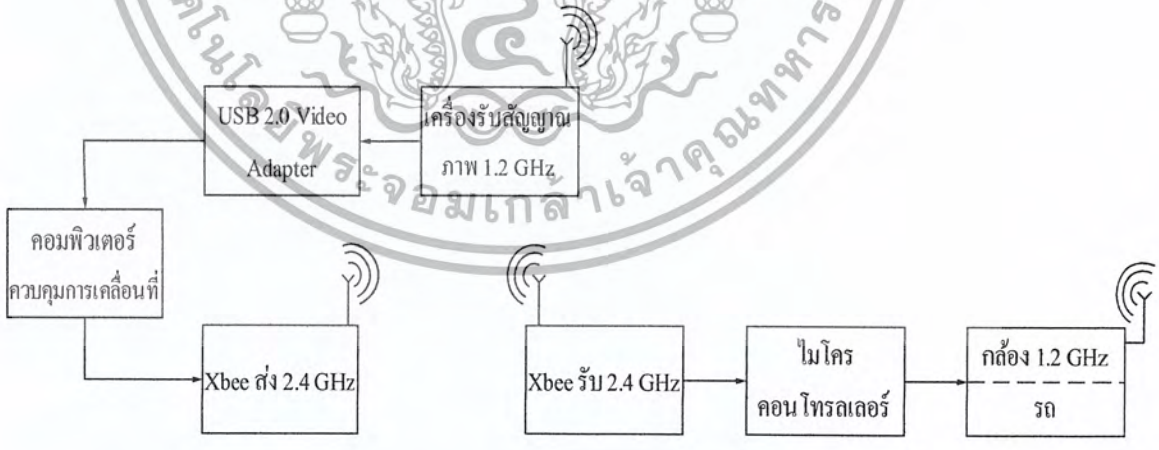
1.2 วัตถุประสงค์

-เพื่อศึกษาการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถผ่านคอมพิวเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

-เพื่อศึกษาการส่งข้อมูลไร้สาย

-เพื่อศึกษาและใช้งานโปรแกรมเคลไฟล์

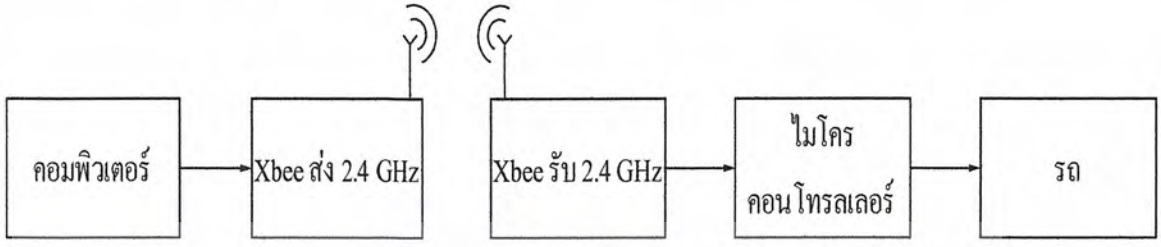
1.3 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอแกรมของโครงงานเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย

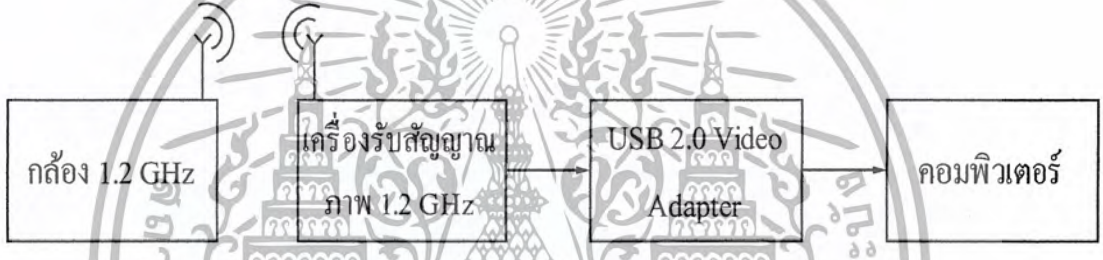
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.1 ส่วนควบคุม



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ

1.3.2 ส่วนรับสัญญาณภาพจากกล้องไร้สาย



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอแกรมเครื่องรับสัญญาณภาพจากกล้องไร้สาย

ที่ภาคส่งใช้คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณข้อมูลดิจิตอลผ่านทางพอร์ตอนุกรม จากนั้นนำสัญญาณข้อมูลดิจิตอลที่ออกมาจากคอมพิวเตอร์ ป้อนเข้าสู่เครื่องส่งสัญญาณไร้สายเพื่อส่งสัญญาณผ่านอากาศ ผ่านทางสายอากาศ ในขณะเดียวกันเครื่องรับสัญญาณภาพ รับสัญญาณที่ส่งมาจากกล้อง แล้วทำการกู้สัญญาณภาพกลับคืนมา หลังจากนั้นส่งสัญญาณภาพเข้าสู่ตัวแปลงสัญญาณเพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นสัญญาณภาพจะไปปรากฏบนเครื่องคอมพิวเตอร์

ที่ภาครับ เครื่องรับสัญญาณไร้สายรับสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่ง แล้วทำการกู้สัญญาณเดิมที่เป็นสัญญาณข้อมูลดิจิตอลกลับคืนมา ก่อนป้อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ และกล้อง ในขณะเดียวกันตัวกล้องจะรับแสงแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพ จากนั้นทำการย้ายย่านความถี่เพื่อส่งสัญญาณออกอากาศ ผ่านทางสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

ใช้โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ส่งข้อมูลดิจิตอลผ่านพอร์ตอนุกรม โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณไร้สายส่งสัญญาณข้อมูลผ่านอากาศ จากนั้นสัญญาณข้อมูลจะถูกรับโดยเครื่องรับสัญญาณไร้สาย แล้วส่งสัญญาณข้อมูลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถและกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์

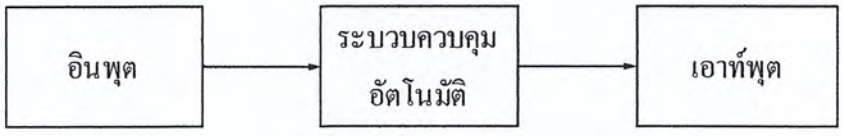
ปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการแข่งขันกันอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการแข่งขันในด้านตลาด การบริหาร ตลอดจนระบบการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพรวดเร็วและราคาถูก บริษัทหรือสถานประกอบการจึงจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการผลิต โดยเฉพาะหุ่นยนต์อุตสาหกรรม อุสาหกรรมที่ใช้หุ่นยนต์กันมากได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ อุตสาหกรรมการขนถ่ายวัสดุ อุตสาหกรรมการบรรจุหีบห่อ และอุตสาหกรรมงานเชื่อม เป็นต้น

2.1.1ระบบควบคุม(Control System)

การควบคุมหุ่นยนต์จะเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานตามโปรแกรมสั่งการ โดยที่จริงแล้วระบบควบคุมอัตโนมัติของหุ่นยนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมก็เพื่อให้ได้หุ่นยนต์ที่มีความแม่นยำ ความรวดเร็ว และความเสถียรภาพ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติทุกๆระบบ ไม่สามารถขาดอย่างใดอย่างหนึ่งได้

2.1.1.1ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ จะประกอบด้วยหน่วยทางอินพุต(Input) และหน่วยทางเอาท์พุต (Output) โดยในการทำงานของหน่วยอินพุตจะเปรียบเสมือนตัวกำหนดหรือสั่งงาน ส่วนในหน่วยของเอาท์พุตจะทำงานตามความต้องการหรือให้สอดคล้องกับเป้าหมายของอินพุตนั่นเอง



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นการบังคับให้ระบบทำงาน และตอบสนองการทำงานของระบบด้วย ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติมีดังนี้

1.อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายใน จะทำหน้าที่คอยตรวจสอบสภาวะการทำงานภายในตัวหุ่นยนต์ โดยไม่มีผลโดยตรงให้อุปกรณ์ภายนอกเปลี่ยนแปลง แต่จะส่งผลทางอ้อมหรือส่งสัญญาณ ให้ผู้ควบคุมทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายในของหุ่นยนต์

2.อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายนอก จะทำหน้าที่คอยตรวจสอบสภาวะการทำงานภายนอกของหุ่นยนต์เพื่อส่งข้อมูล หรือสัญญาณให้อุปกรณ์ควบคุมภายในหุ่นยนต์รับรู้

3.อุปกรณ์ควบคุมภายนอก จะทำหน้าที่ควบคุม หรือสั่งการหุ่นยนต์ให้ทำงานตามต้องการได้ ตลอดจนสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานได้ตลอดเวลา

2.1.1.2 ชนิดของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ชนิดของระบบควบคุมอัตโนมัติในระบบหุ่นยนต์โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะของการทำงานดังนี้

1)ระบบควบคุมแบบเปิด

ระบบควบคุมแบบเปิดหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบไม่มีการป้อนกลับ ระบบควบคุมชนิดนี้จะไม่มีการนำค่าเอาท์พุต(Output) มาเปรียบเทียบกับค่าอินพุต(Input) หรือหมายความว่าค่าเอาท์พุตที่ได้จะไม่มีผลต่อการควรคุมของระบบ ทำให้ระบบชนิดนี้เป็นระบบที่ควบคุมง่าย ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการความแม่นยำสูง

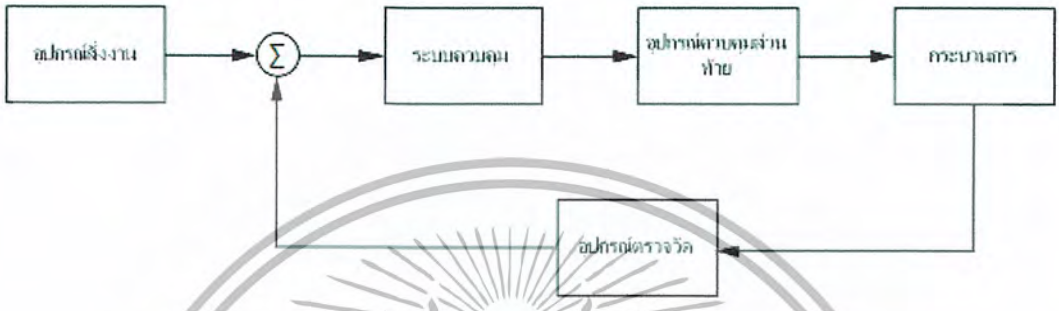
รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบเปิด

2)ระบบควบคุมแบบปิด

ระบบควบคุมแบบปิด หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบควบคมแบบป้อนกลับ หลักการทำงานก็คือจะนำสัญญาณเอาท์พุต(Output) ของระบบป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต (Input) ที่ป้อนให้กลับระบบ หรือสัญญาณอ้างอิง โดยจะมีการเปรียบเทียบอยู่ตลอดเวลา ซึ่งผลต่างของสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาท์พุต จะเป็นสัญญาณค่าความผิดพลาด(Error) หลังจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นสัญญาณจะป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม(Controller) และตัวควบคุมก็ทำหน้าที่ปรับค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบให้ได้ค่าใหม่(Set Point) ที่จะส่งสัญญาณให้เอาท์พุตแสดงผลตามต้องการต่อไป



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมแบบปิด

2.1.2 ระบบขับเคลื่อน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าหุ่นยนต์มีหลายชนิด หลายลักษณะการทำงาน แต่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ได้จะต้องประกอบด้วยระบบขับเคลื่อนเป็นสำคัญ เพราะฉะนั้นการทำงานของหุ่นยนต์จะจับชิ้นงานจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งหรือประกอบชิ้นงาน จะต้องมีระบบขับเคลื่อนที่ดี ขึ้นอยู่กับลักษณะงานว่าจะใช้ระบบขับเคลื่อนแบบไหน โดยทั่วไปจะแบ่งระบบขับเคลื่อนออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1. ระบบขับเคลื่อนด้วยนิวแมติกส์(Pneumatic Drive Systems)
2. ระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิกส์(Hydraulic Drive Systems)
3. ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า(Electric Drive Systems)

2.1.2.1 ระบบขับเคลื่อนด้วยนิวแมติกส์

หุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบนิวแมติกส์เป็นระบบที่ขับเคลื่อนทางตรงทางโค้งหรือหมุนได้ด้วยแรงอัดของลมเป็นอุปกรณ์ที่ราคาถูกและยุ่งยากน้อยที่สุดปัญหาที่สำคัญอยู่ที่การควบคุมความเร็วและตำแหน่ง

2.1.2.2 ระบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิกส์

หุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกส์เป็นระบบที่ขับเคลื่อนด้วยแรงอัดของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์ที่ราคาแพง ให้กำลังสูงมีอุปกรณ์อยู่หลายแบบสามารถเลือกใช้เหมาะสมกับงานได้ เช่น การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง หรือแบบหมุนเป็นต้น ระบบการควบคุมมักใช้ไฟฟ้า แต่เนื่องจากใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าน้อยและใช้กำลังไฟฟ้าต่ำมาก จึงสามารถใช้หุ่นยนต์ ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกกับบริเวณที่วัตถุไวไฟได้

2.1.2.3 ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

หุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ก็เป็นระบบขับเคลื่อนอย่างหนึ่งที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยจุดเด่นของระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า คือ ให้ความแม่นยำในการทำงานไม่ว่าจะควบคุมตำแหน่ง ความเร็ว หรือระยะทางจะต้องมีความถูกต้องสูง และทำงานค่อนข้างเงียบด้วย หุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าจะทำงานร่วมกับระบบขับเคลื่อนด้วยระบบนิวแมติกส์ หรือระบบไฮดรอลิกส์ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องจักร

2.2 อุปกรณ์ในระบบหุ่นยนต์

หุ่นยนต์อุตสาหกรรมหรือหุ่นยนต์ทุกชนิด จะถูกออกแบบให้มีการทำงานคล้ายมนุษย์ ทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีชิ้นส่วนอุปกรณ์(Manipulator) ประกอบกันหลายอย่าง เช่น ข้อต่อ ก้าน ข้อมือ อุปกรณ์ส่วนปลาย มือจับ เป็นต้น ในระบบหุ่นยนต์ยังมีอุปกรณ์อีกมากมายเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้หรือสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานได้ตลอดเวลาและสามารถทำงานพร้อมกันได้ทุกส่วนได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นอุปกรณ์ในระบบหุ่นยนต์สามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ทางด้านเครื่องกล
2. อุปกรณ์ทางด้านเครื่องกลไฟฟ้า
3. อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 อุปกรณ์ทางด้านเครื่องกล

อุปกรณ์ทางด้านเครื่องกลส่วนมากจะอยู่ในรูปของการส่งถ่ายกำลังแบบกลไก (Mechanism)คือ จะมีการส่งถ่ายกำลังจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวได้ การเคลื่อนที่ทางด้านกลไกสามารถออกแบบให้มีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (Continuous) หรือการเคลื่อนที่แบบหยุดแล้วเคลื่อนที่ต่อ(Intermittent) หลังจากรอการทำงานของชิ้นส่วนอื่นส่งกำลังมาดังนั้นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้องมีการทำงาน หรือมีการเคลื่อนที่แบบใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบหนึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบต้องการให้หุ่นยนต์ชนิดนั้นมีลักษณะการทำงานแบบใด และนำไปใช้งานในลักษณะใดด้วย

2.2.1.1 เฟือง(Gear)

เฟืองเป็นอุปกรณ์ส่งกำลังชนิดหนึ่ง ที่สามารถส่งกำลัง ทั้งทางตรงและทางอ้อม การส่งกำลังทางตรงของเฟือง เช่น การส่งกำลังจากเฟืองตัวที่ 1 กับเฟืองตัวที่ 2 ขบกันอยู่ ทำให้มีอัตราทดคงที่ และไม่เกิดการลื่นไหล(Slip) ขณะส่งกำลังสำหรับการส่งกำลังทางอ้อมของเฟือง เช่น การส่งกำลังจากเฟืองตัวที่ 1 ไปยังเฟืองตัวที่ 2 โดยผ่านการส่งถ่ายกำลังจากสายพานหรือโซ่ เป็นต้น การส่งกำลังของเฟือง สามารถส่งกำลังจากการหมุนของเพลาหนึ่งไปยังการหมุนอีกเพลาหนึ่งที่ขนานกัน หรือสามารถส่งกำลังจากการหมุนมอเตอร์โดยตรงได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการทำงานของหุ่นยนต์ สำหรับความเร็วรอบของการหมุนของเฟือง ควรใช้ความเร็วรอบที่ต่ำ จนถึงความเร็วรอบปานกลาง เฟืองไม่เหมาะกับการส่งถ่ายกำลังที่มีความเร็วรอบที่สูงๆ เพราะขณะเฟืองทำงานจะมีเสียงดัง และเฟืองอาจจะเสียหายได้ โดยผู้ออกแบบสามารถที่จะเลือกเฟืองตามการใช้งานและคุณลักษณะของเฟืองนั้นๆ เฟืองที่ใช้ส่งกำลังโดยทั่วไป สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. เฟืองตรง
2. เฟืองเฉียง
3. เฟืองหนอน
4. เฟืองดอกจอก
5. เฟืองก้างปลา
6. เฟืองสะพาน

2.2.1.2 สายพานและรอก(Belt and Pulley)

สายพานจะทำงานร่วมกับรอก โดยสายพานจะสามารถส่งถ่ายกำลังจากล้อขับไปยังล้อตาม เหมาะกับลักษณะงานที่ล้อขับกับล้อตามอยู่ห่างกัน เพราะการส่งถ่ายกำลังจะมีลักษณะงานที่ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ สำหรับการส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานจะมีข้อดี คือ การส่งถ่ายมีความยืดหยุ่น ไม่ค่อยมีเสียงดัง สามารถรับแรงกระตุกได้ ค่าบำรุงรักษาต่ำ ส่วนข้อเสีย คือ การส่งถ่ายจะมีอัตราทดที่ไม่แน่นอนสายพานอาจเกิดความลื่นไหล(Slip) ได้ระหว่างการส่งถ่ายกำลัง และถ้าสายพานหย่อนขณะส่งกำลัง ต้องมีการปรับความตรึงของสายพาน สายพานสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สายพานแบน
2. สายพานลิ่ม
3. สายพานไทมิ่ง

2.2.1.3 โซ่(Chain)

โซ่จะทำงานร่วมกับเฟืองโซ่(Sprocket) การส่งกำลังจะมีลักษณะคล้ายกับการส่งกำลังด้วยสายสะพาน คือล้อขับกับล้อตามจะอยู่ห่างกัน เหมาะกับงานที่มีขนาดปานกลางจนถึงงานที่มีขนาดใหญ่ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับการออกแบบขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ จะเลือกใช้สายสะพานกับโซ่ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน สำหรับงานส่งถ่ายกำลังด้วยโซ่จะมีข้อดีคือ การส่งกำลังจะมีอัตราทดคงที่ ขณะส่งจะไม่มีการเลื่อนไหล(Slip) และสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงๆได้ ส่วนข้อเสีย คือ ขณะส่งถ่ายกำลังจะมีเสียงดัง ไม่สามารถส่งกำลังแบบไขว้(Crossed Driver)ได้ และมีราคาสูงกว่าสายพาน เป็นต้น สำหรับการออกแบบโซ่ในการส่งกำลัง ผู้ออกแบบจะต้องรู้ถึงรายละเอียดต่างๆ ของโซ่ ดังนี้

- กำลังขับของมอเตอร์ไฟฟ้า
- จำนวนข้อโซ่
- ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองโซ่
- ความเร็วรอบของเฟืองโซ่ขับตาม
- ความเร็วรอบของเฟืองโซ่ขับ
- ระยะพิตช์ของเฟืองโซ่

2.2.1.4 แบริ่ง(Bearing)

แบริ่งจะทำงานร่วมกับเพลา โดยทั่วไปแบริ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ บอลแบริ่ง(Ball Bearing) และโรเล่อร์แบริ่ง(Roll Bearing) แบริ่งจะมีลูกกลิ้งรองอยู่ด้านใน ทำให้เพลามีการเคลื่อนที่ได้ง่าย และสามารถรับแรงได้ทั้งแนวแกนและแนวรัศมี แบริ่งจะถูกนำไปประยุกต์ใช้มากในอุตสาหกรรมแบริ่งจะทำงานร่วมกับเพลา เพลาอาจจะอยู่ในรูปของเกลียวและมีงาน(Load)อยู่ตรงกลาง เมื่อเกลียวมีการเคลื่อนที่ซ้าย-ขวา ทำให้งานเคลื่อนที่ไปในทิศทางนั้นๆด้วย สำหรับงานส่งถ่ายกำลังด้วยแบริ่งมีข้อดี คือมีความเสียดทานต่ำการบำรุงรักษาง่าย การติดตั้งสะดวกรวดเร็ว ส่วนข้อเสีย คือ มีราคาสูง อายุการใช้งานน้อยเมื่อมีแรงมากระแทกแบริ่งบ่อยๆ สำหรับการออกแบบแบริ่งในการส่งกำลัง ผู้ออกแบบจะต้องรู้ถึงรายละเอียดต่างๆ ของแบริ่ง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำลังขับของมอเตอร์ไฟฟ้า
- ความเร็วรอบของเพลา
- โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียดทาน
- แรงที่กระทำในรัศมี
- แรงที่กระทำในแนวแกน
- ขนาดรูสวมของแบริ่ง
- ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

2.2.2 อุปกรณ์ทางเครื่องกลไฟฟ้า

หุ่นยนต์จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ทางเครื่องกลไฟฟ้า ประกอบอยู่ภายในเพื่อให้หุ่นยนต์มีการเคลื่อนไหว ตลอดจนควบคุมการทำงานให้มีความแม่นยำสูง เช่น ควบคุมตำแหน่ง ควบคุมความเร็วและควบคุมทิศทาง เป็นต้น ปัจจุบันอุปกรณ์ทางเครื่องกลทางไฟฟ้า มีหลายชนิด ในโปรเจคนี้จะขอแนะนำอุปกรณ์ทางเครื่องกลไฟฟ้า ที่มีความจำเป็นในการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 3 ชนิด

- มอเตอร์สเต็ปปิ้ง (Stepping Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)
- เอนโคดเดอร์ (Encoder)

2.2.2.1 มอเตอร์สเต็ปปิ้ง (Stepping Motor)

สเตปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เอาท์พุตอย่างหนึ่งซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการควบคุมได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุนที่ต้องการตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน การทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้นๆ ละ (Step) 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ตัวนั้นๆสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC MOTOR) โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ปๆได้ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่าแต่ในส่วนใหญ่เราจะใช้ สเตปปิ้งมอเตอร์มาทำการ

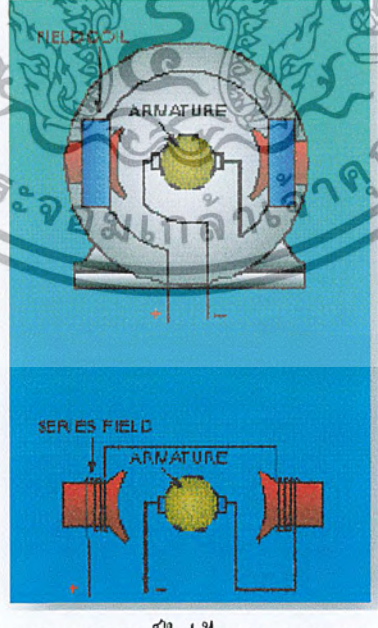
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิตอล เช่นพรินเตอร์(Printer) พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter) ดิสก์ไดร์ฟ (Disk drive) ฯลฯ

รูปที่ 2.4 สเตปปิ้งมอเตอร์

2.2.2.2 มอเตอร์กระแสตรง(Direct Current Motor)

งานหลายอย่างที่ต้องใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนซึ่งเราพบว่างานแต่ละอย่างต้องการแรงต้นกำลังที่ต่างกัน เช่นการระบายความร้อนด้วยพัดลมต้องใช้มอเตอร์ที่มีความเร็วมากไปหมุนใบพัด แต่งานสายพานลำเลียงต้องการแรงหมุนมาก แต่ความเร็วไม่มากดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาของงานที่มีลักษณะต่างกันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงมีหลายชนิดเพื่อรองรับความหลากหลายของงานข้างต้น



รูปที่ 2.5 ลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม(Series Motor) คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดฟิลด์อนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เราเรียกขดลวดฟิลด์ชนิดนี้ว่าซีรีสฟิลด์ (Series Field) ซึ่งซีรีสฟิลด์เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเพื่อทาปฏิกิริยากับสนามแม่เหล็กของขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยขดลวดฟิลด์ของมอเตอร์แบบอนุกรมจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่พันขั้วแม่เหล็กไว้ในจำนวนน้อยรอบเนื่องจากการที่ขดลวดมีค่าความต้านทานต่ำดังนั้นในขณะเริ่มหมุน(Start) จะกินกระแสไฟฟ้ามากทำให้เกิดแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูงและความเร็วรอบของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับโหลดของมอเตอร์ ถ้าโหลดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงจะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงด้วยกล่าวคือ มอเตอร์แบบอนุกรมจะหมุนรอบสูงถ้าโหลดของมอเตอร์ต่ำและจะหมุนรอบต่ำถ้าโหลดของมอเตอร์สูง

2.2.2.3 เอนโคดเดอร์ (Encoder)

ในการควบคุม DC Servo Motor ที่ดีต้องมีระบบคอนโทรลที่มีการป้องกันกลับหรืออุปกรณ์ป้อนกลับ(Feedback Device) นั่นคือ Encoder เพื่อทำหน้าที่วัดความเร็ว(speed) วัดตำแหน่ง(position) ตลอดจนทิศทางการหมุน(Direction of Rotation) ให้ถูกต้องและแม่นยำ

Encoder ที่ใช้อยู่ทั่วไปสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด

1. Incremental Encoder
2. Absolute Encoder

Incremental Encoder หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Rotary Encoder จะสร้างสัญญาณพัลส์ (pulse) ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลามอเตอร์ หรือจะหมุนด้วยความเร็วเท่ากับเพลามอเตอร์นั่นเอง โดย Rotary Encoder จะประกอบไปด้วย จานหมุน (Rotary Disk) และอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) โดยจานหมุนจะมีช่องเล็กๆ เมื่อเพลาของมอเตอร์หมุนจะทำให้จานหมุนไปตัดลำแสงของ Sensor ทำให้ชุดรับแสงมีการรับสัญญาณเป็นช่วงๆ จึงทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุต มีลักษณะเป็น pulse

Absolute Encoder หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Potentiometer เป็น Encoder อีกชนิดหนึ่งที่อาศัยหลักการของ optical โดยทั่วไปแล้วการทำงานจะคล้ายกับ Rotary Encoderโดยการเคลื่อนที่ของ Potentiometer จะแปรผันโดยตรงกับความเร็ว หรือระยะทาง ของการเคลื่อนที่ Encoder ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

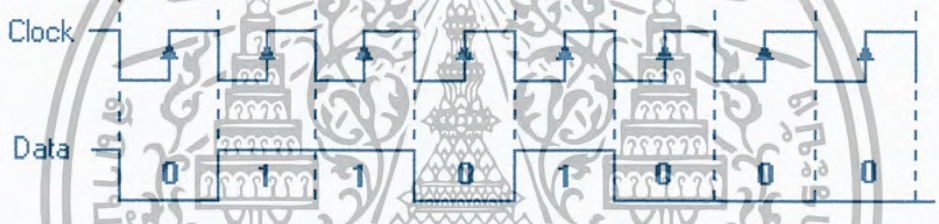
นี้จะนิยม ใช้มากในระบบคอนโทรลจะทำให้เที่ยงตรงและสามารถบอกได้ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ ตลอดจนมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า

2.3รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือแบบซิงโครนัส (Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

2.3.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

การรับส่งข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนด จังหวะเวลา การส่งข้อมูลร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่นการส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด



รูปที่ 2.6 สัญญาณ Clock กับสัญญาณข้อมูล

2.3.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

การรับส่งข้อมูล โดยที่ไม่จำเป็นต้อง มีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วยแต่จะใช้ให้ตัวส่ง และตัวรับ มีอัตราส่งข้อมูล ที่เท่ากัน

รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

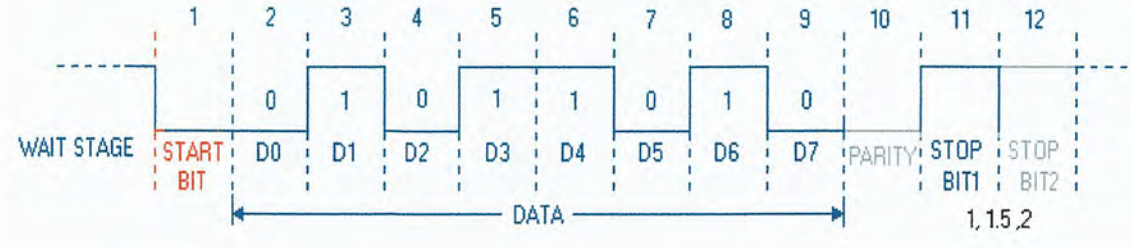
1) บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด1 บิต

2) บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต

3) บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี

4) บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา data จะมีสถานะเป็นโลจิก "1" หรือ สถานะหยุดรอ (Waiting stage)

เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็นโลจิก "0" เป็นจำนวน 1 บิตเรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit)จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน(LSB) แล้วตามด้วยพาริตี้บิต(จะมีหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่าของทั้งสองฝ่าย) สุดท้ายตามด้วยลอจิก "1" อย่างน้อย 1 บิต(มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

2.3.3 ลักษณะการใช้งานการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

1) แบบซิมเพลกซ์ (Simplex) เป็นการส่ง หรือรับข้อมูล แบบทิศทางเดียวเท่านั้น

2) แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งและรับข้อมูลแบบสลับกันคือเมื่อด้านหนึ่งส่ง อีกด้านหนึ่ง เป็นฝ่ายรับ สลับกันไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้

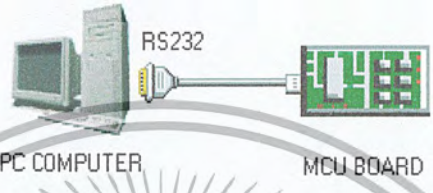
3) แบบฟลูดูเพลกซ์ (Full Duplex) สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้

2.4 การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS232

RS-232 ย่อมาจาก Recommended Standard-232 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมกำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือสมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา ใช้กับการสื่อสารแบบจุดต่อจุดโดยใช้สายเชื่อมต่อ DB แบบ 25 และ 9 เข็มที่ไม่ประสานจังหวะระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วงมีการทำงานแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชค (Hand-shake) หรือไม่ก็ได้ทั้งนี้มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต (หรือประมาณ 15 เมตร) สำหรับการส่งสัญญาณที่ความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาทีโดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 ลักษณะการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย RS232

การสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญ ต่อการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้แป้นพิมพ์ และจอภาพของ PC เป็น อินพุต และ เอาต์พุต ในการติดต่อ หรือควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยสัญญาณอย่างน้อย เพียง 3 เส้นเท่านั้น คือสายส่งสัญญาณTX, สายรับสัญญาณ RX และสาย GND โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับ ชนิดของ สายสัญญาณ, ระยะทาง, และ ปริมาณ สัญญาณ รบกวน

รูปที่ 2.9 พอร์ตอนุกรมของ DB9 ตัวผู้ (Male)

รูปที่ 2.10 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female)

- พอร์ตอนุกรมของ PC จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวผู้ (Male)
- พอร์ตอนุกรม ของอุปกรณ์ภายนอก จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวเมีย (Female)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

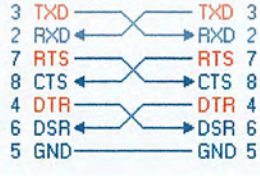
2.4.1 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์ อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งาน

รูปที่ 2.11 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง

ตารางที่ 2.1 แสดงการจัดขาของ DB9 และหน้าที่การใช้งาน

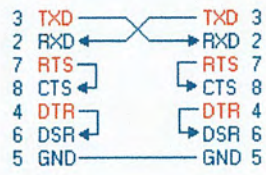
Pin #	Description	Type
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Request To Send (RTS	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input

2.4.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem

119153
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

2.4.3 การทำงานของขาสัญญาณ DB9

TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล

RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล

DTR แสดงสภาวะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน .DSR ตรวจสอบว่าพอร์ต ที่ติดต่อด้วย เปิดอยู่หรือไม่

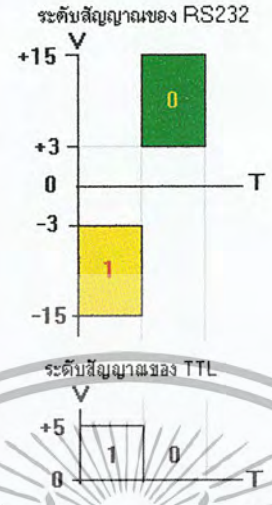
- เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าต้องการติดต่อด้วย
- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่

RTS แสดงสภาวะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล .CTSตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่ออยู่ ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่

- เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF
- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่

2.4.4 ระดับสัญญาณของ RS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ระดับสัญญาณของ RS232และระดับสัญญาณของ TTL

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ในสายนำสัญญาณ มักจะมีแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับกราวด์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดัน ของโลจิก "1" เป็นลบ คืออยู่ในช่วง -3V ถึง -15V ส่วนแรงดัน ของโลจิก "0" อยู่ในช่วง +3V ถึง +15V และเหตุที่ ระดับสัญญาณ ของ RS232 อยู่ในช่วง +15V ถึง -15V ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้นดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของ RS232 มาเป็นระดับแรงดันของ TTL

2.4.5 อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)

คือความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล เป็นจำนวนบิตต่อวินาทีเช่น 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 38400,56000 เป็นต้นการเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง,และปริมาณสัญญาณรบกวน

2.5 การส่ง-รับวิทยุ

2.5.1 หลักการของวิทยุ

การติดต่อสื่อสารพื้นฐานของมนุษย์นั้นเป็นการสื่อความหมายโดยเสียงพูดและการเขียน โดยการเขียนพัฒนาจากการส่งข่าวสาร โดยการนำสารแล้วกลายเป็นหนังสือพิมพ์ แล้วก็เป็นระบบไปรษณีย์ เป็นการส่งโทรเลข จนถึงในยุคปัจจุบันที่มีการสื่อสารกันด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สื่อสารโดยใช้เสียงพูดนั้นพัฒนามาจากการพูดคุยระหว่างกันธรรมดา ไปเป็นพูดคุยกันผ่านโทรศัพท์ และวิทยุ วิวัฒนาการต่างๆมักจะมุ่งเน้นให้ติดต่อสื่อสารได้ไกลขึ้น และรวดเร็วขึ้น

ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารด้านวิทยุช่วยให้เราติดต่อกันได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการเปลี่ยนข้อมูล(เสียงพูด) เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นนำความถี่ของข้อมูลที่แปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้ว มาทำการย้ายย่านความถี่ (Modulation) ให้อยู่ในความถี่ที่เหมาะสมก่อนส่งออกผ่านสายอากาศ ซึ่งสายอากาศจะแปลงสัญญาณไฟฟ้า ไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระจายออกไปในอากาศเพื่อที่จะส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถึงเครื่องรับ สายอากาศของเครื่องรับก็จะแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วทำการย้ายย่านความถี่กลับมาสู่ความถี่เดิม (Demodulation)ของสัญญาณข้อมูล ก่อนทำการส่งออกเครื่องขยายเสียง ซึ่งข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องส่ง กับข้อมูลที่ออกมาจากเครื่องรับ ควรเป็นข้อมูลที่เหมือนกัน

การที่จำเป็นต้องใช้เทคนิคการย้ายย่านความถี่ เพื่อการสื่อสารระยะไกล เนื่องจากถ้าเราต้องการส่งสัญญาณข้อมูล(เสียงพูด) ซึ่งปกติจะมีช่วงความถี่ประมาณ 600 – 3800 Hz จะต้องใช้สายอากาศที่มีความยาวมหาศาลในการส่งสัญญาณออกไปในอากาศ อีกทั้งก็จะมีปัญหาตามมาอีกว่า ทุกสถานีก็ใช้ความถี่เดียวกัน คือความถี่ของสัญญาณข้อมูล ซึ่งจะทำให้ส่งได้เพียงทีละสถานี นอกจากนั้นถึงจะแก้ปัญหาต่างๆข้างต้นได้ ด้วยความไม่มีประสิทธิภาพของความถี่ข้อมูลนั้น ทำให้ส่งออกอากาศไปได้ไม่ไกล

2.5.2 ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere)

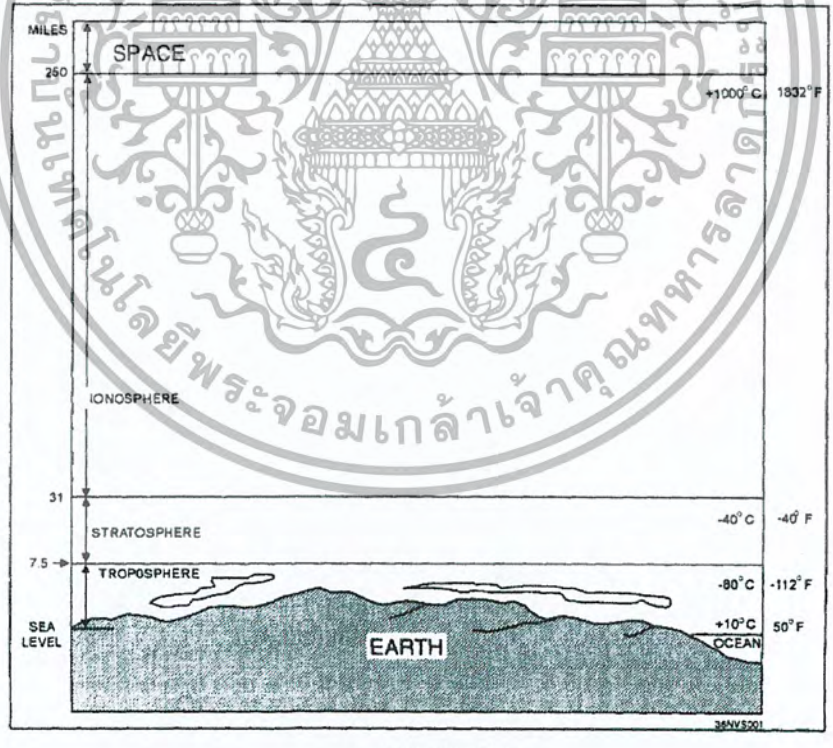
ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุเป็นอย่างมากบรรยากาศของโลกแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ชั้น โดยแบ่งตามความสามารถที่จะเป็นตัวนำได้เมื่อเกิดมีอณูของรังสีจากดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่เข้ามาชน ทำให้ชั้นบรรยากาศเกิดการ Ionizing ของก๊าซในชั้นบรรยากาศนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ionizationเป็นการเปลี่ยนอะตอมหรือโมเลกุล เป็น ไอออนจากคุณสมบัติที่เป็นตัวนำในขณะเกิดการ Ionizing ชั้นบรรยากาศเหล่านี้จึงสามารถที่จะสะท้อนคลื่นวิทยุได้ ความสูงของชั้นบรรยากาศชั้นต่าง ๆ จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ โดยขึ้นอยู่กับความเข้มของการ Ionizingและส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ,ความชื้น , แรงกดดัน เป็นต้นชั้นบรรยากาศของโลกแบ่งเป็น 3 ชั้นคือ

2.5.2.1 ชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere Layer)

ระยะความสูงจากพื้นโลกโดยประมาณ อยู่ที่ 0 -15 กิโลเมตร ชั้นนี้สภาพโดยทั่วไปไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันตลอด มีสภาพปั่นป่วน วุ่นวายตลอดเวลาเป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และอื่น ๆทำให้ดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 6 °C /กิโลเมตร



Atmospheric layers.

รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 ชั้นสตราโทสเพียร์ (Stratosphere Layer)

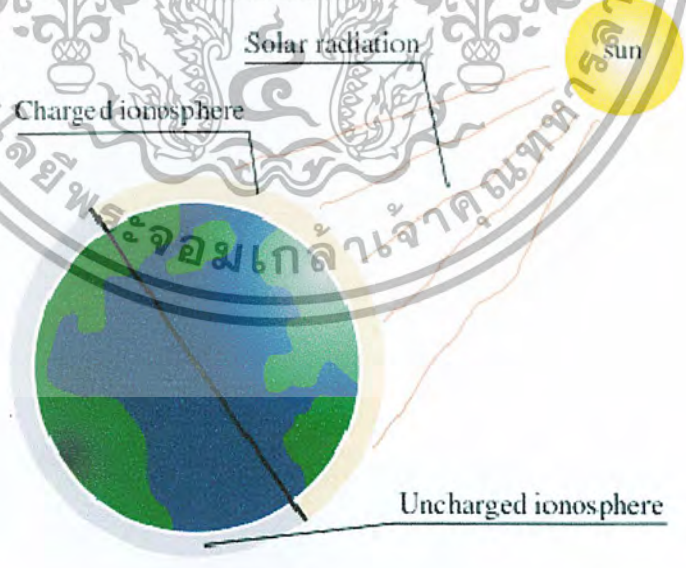
เป็นชั้นที่สองของชั้นบรรยากาศของโลก อยู่เหนือชั้น troposphere และต่ำกว่าชั้น mesosphere ชั้นนี้จะมีระยะความสูงจากพื้นโลกประมาณ 15-50 กิโลเมตรเป็นชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง จุดสูงสุดของชั้นนี้เรียกว่า stratopause (สูงประมาณ 50 ถึง 55 กิโลเมตร)

2.5.2.3 ชั้นไอโอโนสเพียร์ (Ionosphere)

เป็นชั้นที่อยู่สูงที่สุด คือสูงจากพื้นโลกประมาณ 50-500 กิโลเมตรบรรยากาศชั้นนี้ อากาศจะเต็มไปด้วย อิออนมีคุณสมบัติในการดูดกลื่นหรือสะท้อนคลื่นวิทยุ ตัวที่มีบทบาทคือความเข้มของอิเล็คตรอนอิสระ (Free Electron Density) บรรยากาศชั้นนี้ยังจะแบ่งออกเป็นชั้นย่อย ๆ ได้อีกดังนี้

1) ชั้น D (D Layer)

เป็นชั้นที่ต่ำที่สุดในชั้น ionosphere ด้วยกัน มีความสูงจากพื้นดินประมาณ 50-90 กิโลเมตรจะปรากฏเฉพาะกลางวันเท่านั้นและความเข้มของการ IONIZING จะเปลี่ยนแปลงตามความสูงของดวงอาทิตย์ ชั้นนี้มีคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง และดูดกลืนวิทยุความถี่ต่ำ(ต่ำกว่า 4-6 MHz)



รูปที่ 2.16 Ionosphere ชั้น D เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นนี้จะหายไป อย่างรวดเร็วหลังจากดวงอาทิตย์ตก ในเวลากลางคืนจะมีการดูดกลืน (absorption) น้อยมาก และในเวลาเที่ยงวันจะมีการดูดกลืนมากที่สุดให้เราลองสังเกตวิทยุกระจายเสียง AM ในบางสถานี อาจจะไม่สามารถรับฟังได้แต่พอตอนกลางคืนสามารถรับฟังได้อย่างชัดเจน

2) ชั้น E (E layer)

มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 100 -125 กิโลเมตรสามารถสะท้อนคลื่นวิทยุลงมาสู่พื้นผิวโลกได้ ชั้นนี้จึงมีประโยชน์ในการรับ - ส่งวิทยุระยะไกล ๆ ชั้น E ก็มีลักษณะคล้าย ๆ กับชั้น D เกิดขึ้นมากที่สุดเราสามาถติดต่อสื่อสารผ่านชั้น E ได้ไกลถึง 2,500 กิโลเมตร

ความน่าสนใจของชั้น E มีอีกประการคือ sporadic E (หรือ Es)ในบางครั้งชั้นนี้จะสามารถสะท้อนคลื่นวิทยุในย่าน VHF และ UHF sporadic E นี้มักจะเกิดในช่วงฤดูร้อน (มากสุดในเดือน มิถุนายน สำหรับซีกโลกเหนือ)บางครั้งอาจจะเกิดขึ้นแค่ระยะไม่กี่นาที จนถึง ชั่วโมง ระยะทาง 1,000 ถึง 2,500 กิโลเมตรสามารถเป็นไปได้ใน sporadic E

3) ชั้น F (F Layer)

ชั้นนี้ถือเป็นชั้นที่มีความสำคัญมากในการติดต่อสื่อสารทางไกล ของวิทยุในย่าน HF ชั้นนี้มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 150 - 500 กิโลเมตร ในตอนกลางวันชั้นนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อยคือ

-ชั้น F1 (F1 - Layer) มีความสูงประมาณ 175 - 250 กิโลเมตร มีการ Ionizingตลอดเวลามากที่สุดในตอนบ่ายความสูงของชั้นนี้อาจจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง ขึ้นอยู่กับจุดดับบนดวงอาทิตย์ฤดู (season of the year) และเวลาในวันหนึ่ง ๆ ด้วยคุณสมบัติของ F1 นี้ ใช้ในการสะท้อนคลื่นวิทยุในการรับส่งระยะไกลแต่มีการดูดกลืนบ้างเล็กน้อย

-ชั้น F2 (F2 - Layer) มีความสูงประมาณ 250 - 400 กิโลเมตร ชั้นนี้มีบทบาทในการสื่อสารอย่างยิ่งชั้นนี้สูงที่สุดที่เกี่ยวกับคลื่นวิทยุ มีการ Ionizing อย่างรุนแรงแต่เนื่องจากความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นของอากาศเบาบางมาก จึงทำให้การ Ionizingที่เกิดขึ้นค้างอยู่ได้นาน การ Ionizingจะรุนแรงมากในตอนบ่าย แล้วค่อย ๆลดลงน้อยที่สุดก่อนพระอาทิตย์ขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในตอนเช้าชั้นนี้เป็นชั้นที่มีประโยชน์มากที่สุด ในการสื่อสารด้วยวิทยุระยะไกล HF ความสูงของชั้น F2 ฤดูร้อนจะสูงกว่า ฤดูหนาว ในตอนกลางคืนชั้น F1และ F2 จะรวมรวมกันเหลือเพียงชั้นเดียวเรียกว่า ชั้น F มีความสูงประมาณ 300 กิโลเมตร

2.5.3 การแผ่กระจายคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น จะมีการแพร่กระจายออกไปทุกทิศทาง คลื่นวิทยุเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถเดินทางไปด้วยความเร็วเท่ากับแสงหรือประมาณ $3\times10^{8}\ m/\sec$ แต่อย่างไรก็ดี คลื่นวิทยุที่มีความถี่ไม่เท่ากัน คุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นก็ไม่เหมือนกัน ในพื้นที่ไกลออกไปสัญญาณที่เครื่องรับจะรับได้ก็อ่อนลงไปเรื่อยๆ

2.5.3.1 คลื่นดิน (Ground Wave or Surface Wave)

คลื่นดิน เป็นคลื่นวิทยุที่เดินทางไปบนผิวโลก เราสามารถใช้คลื่นดินในการติดต่อสื่อสารย่าน LF และ MF ปกติคลื่นดินมีความยาวคลื่นที่ยาวมากจะเดินทางไปได้ไกล กว่า (losses rise with increasing frequency) และจะเดินทางไปได้ไกลกว่าระยะขอบฟ้า คลื่นดินที่ความถี่สูง ๆ จะไปไม่ได้ไกลเพราะถูกลดทอนมาก เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ และสิ่งกีดขวางจะเห็นผลก็คือเมื่อความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะสั้นลง วัตถุใหญ่ อย่างเช่นภูเขาจึงมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น เช่นที่ความถี่ 30 KHz ความยาวคลื่นจะเท่ากับ 10 กิโลเมตร เมื่อเทียบกับภูเขาแล้ว ภูเขายังเล็กกว่าความยาวคลื่น ฉะนั้นการลดทอนจึงมีน้อย แต่ที่ความถี่ 3 MHz ความยาวคลื่นเท่ากับ 100 เมตรวัตถุที่ใหญ่กว่าความยาวคลื่น เช่น เนินเขา ตึกรามบ้านช่องจะเริ่มมีผลในการลดทอนสัญญาณ

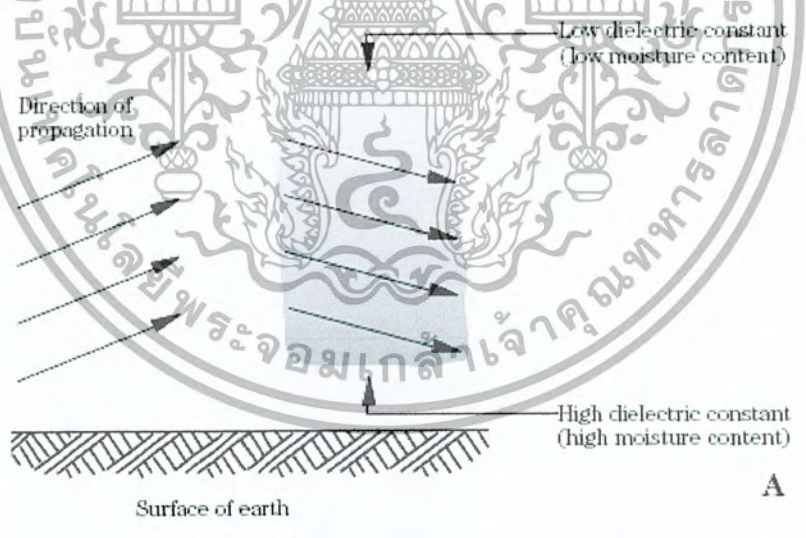
วิธีการที่จะให้คลื่นดินเดินทางไปได้ไกล ๆทำได้โดยการแพร่กระจายคลื่นที่มีโพลาไรเซชั่นแนวดิ่งในกรณีที่มีการแพร่กระจายคลื่นในแนวราบ สนามไฟฟ้าจะขนานกับพื้นโลกฉะนั้นคลื่นดินจะเสมือนถูกดูดกลืน ด้วยความนำไฟฟ้าของผิวโลก อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้ประโยชน์คลื่นดินได้เฉพาะย่าน LF และ MF เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2 การแผ่กระจายคลื่นแบบ Topospheric

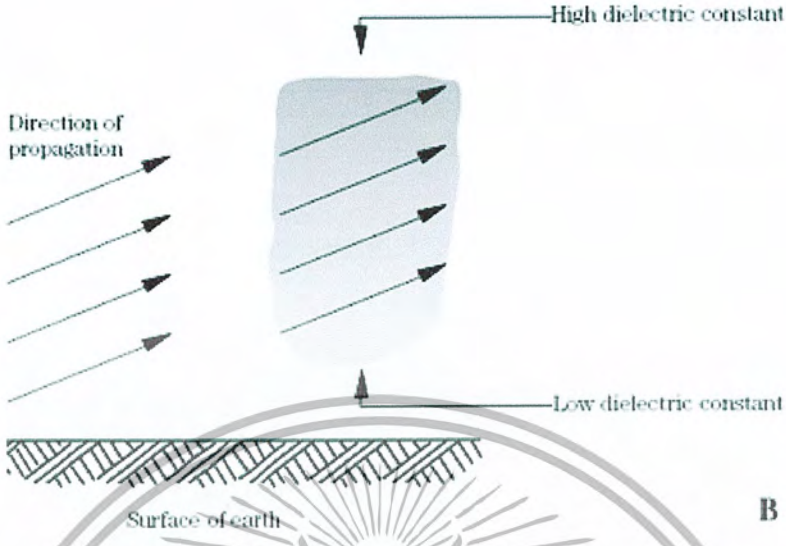
Toposphere เป็นกลุ่มของชั้นบรรยากาศ ที่อยู่ระหว่างผิวโลก และชั้นstratosphere การที่ชั้นtroposphereสามารถที่จะสะท้อนคลื่นได้ เกิดจากคุณสมบัติการเป็นฉนวนของอากาศและอากาศส่วนมากก็จะมีความชื้น (moisture) อยู่ เราลองทบทวนกันก่อนว่า แสงหรือคลื่นวิทยุ เวลาเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่น (density) ต่างกันจะทำให้เกิดการหักเห (refraction)

รูปแบบการหักเหของคลื่น เมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากันจะมีลักษณะ 2 อย่างคือ เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความชื้นน้อยคลื่นวิทยุจะหักเหลงมายังพื้นโลกแต่เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความชื้นมากคลื่นวิทยุก็จะไม่กลับมายังพื้นโลก



รูปที่ 2.17 คลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความชื้นน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



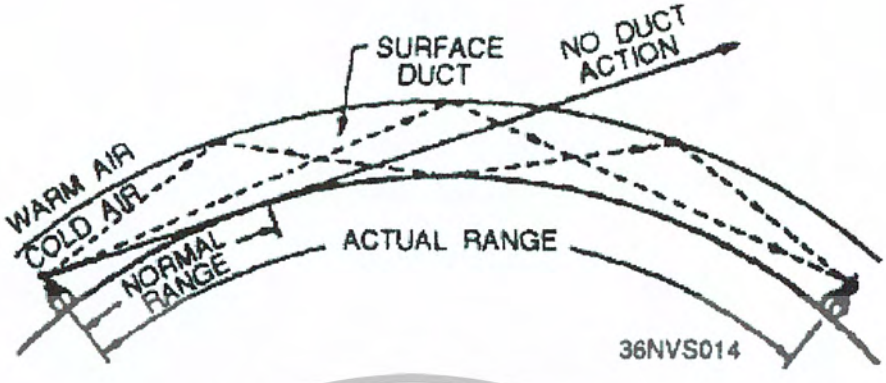
รูปที่ 2.18 คลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความชื้นมาก

โดยปรกติความหนาแน่นของอากาศ จะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นคลื่นวิทยุที่อยู่ด้านบนจะเดินทางเป็นเส้นตรง ด้วยความเร็วกว่าคลื่นที่อยู่ด้านล่างเป็นผลทำให้คลื่นวิทยุ ถึงปลายทางพร้อมกัน ปรากฏการนี้เราเรียกว่า *"simple refraction"* เราสามารถคำนวณระยะทางการติดต่อสื่อสารได้โดยใช้สูตร radio horizon

$$horizon_{km} = 3.569 \times \sqrt{height_{metres}}$$

กรณีพิเศษ เราเรียกว่า "Super Refraction" เกิดจากอากาศบริเวณพื้นผิวโลกมีความร้อนมากกว่า มากกว่าอากาศ บริเวณทะเล ทำให้เกิดปรากฏการคล้ายๆคลื่นวิทยุเดินทางผ่านท่อนำคลื่น (Ducting) ทำให้การติดต่อสื่อสาร ไปได้ไกลตั้งแต่ช่วงความถี่ต่ำ ๆ ของย่าน VHF จนถึงย่านไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



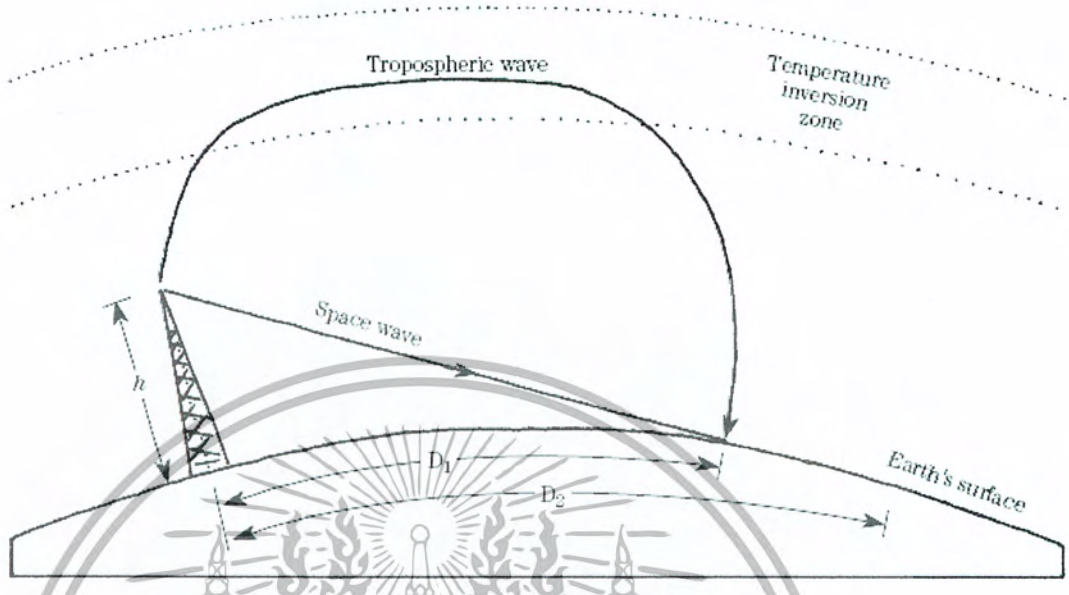
Duct effect caused by temperature inversion.

รูปที่ 2.19 ปรากฏการณ์คลื่นวิทยุเดินทางผ่านท่อนำคลื่น เนื่องด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างของผิวโลก และผิวน้ำทะเล

Superrefraction phenomena.

รูปที่ 2.20 ปรากฏการณ์Super Refraction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

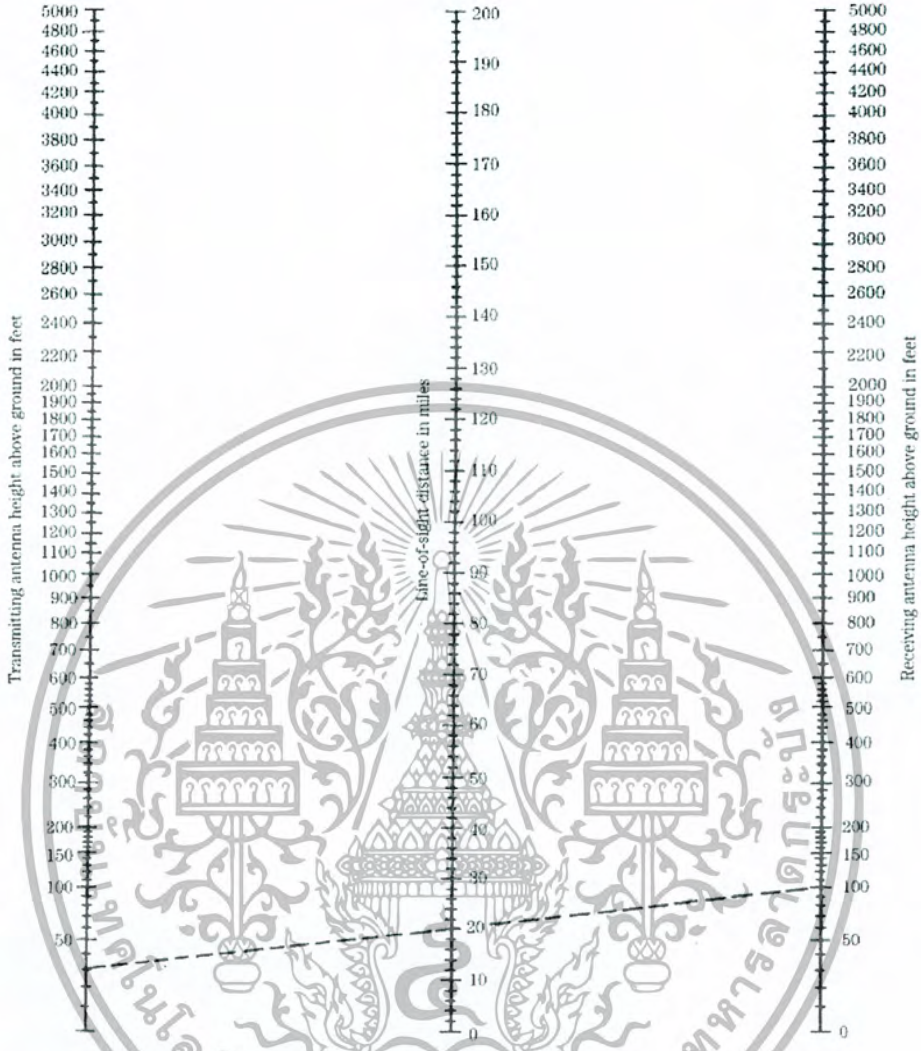


รูปที่ 2.21 D1 คือระยะทางการติดต่อแบบปกติ หรือ Radio Horizon ส่วน D2 คือระยะทางที่เกิดขึ้นจากปรากฏการ ท่อนำคลื่น (Ducting)

2.5.3.3 คลื่นอวกาศ (Space Wave)

เมื่อความถี่สูงกว่า 4.5 MHz คลื่นดินเริ่มใช้ได้เพียง ไม่กี่กิโลเมตรและเมื่อความถี่สูงขึ้นไปถึงย่าน VHF และ UHF คลื่นอวกาศจะไปได้ไกลกว่าคลื่นดินการติดต่อแบบนี้สายอากาศจะต้องอยู่ในระดับสายตา(line-of-sight) เพราะคลื่นอวกาศจะเดินทางเป็นเส้นตรงจากสายอากาศเครื่องส่งไปยังสายอากาศของเครื่องรับ ในบางครั้งเราจึงเรียกการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ว่า Direct wave วิธีการเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารให้ได้ไกลขึ้น สามารถทำได้โดยเพิ่มความสูงของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ระยะทางการติดต่อสื่อสารแบบ line-of-sight ต่อความสูงของสายอากาศทางด้านเครื่องรับและเครื่องส่ง

2.5.3.4 คลื่นฟ้า (Sky Wave)

เหนือผิวโลกขึ้นไป 50 ถึง 400 กิโลเมตร การแพร่รังสีจากดวงอาทิตย์จะทำให้อนุภาคของก๊าซ ในชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก แตกตัวเป็น ไอออน(Ionize) เกิดประจุบวกและประจุลบ รวมทั้งอิเล็กตรอนอิสระมากมาย ชั้นบรรยากาศนี้เรียกว่าชั้นไอโอโนสเพียร์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางเข้าสู่ชั้นบรรยากาศนี้จะถูกหักเห เนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และจะมีลักษณะเดียวกับแสง คือ การหักเห และการสะท้อนการหักเหของคลื่นจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความถี่ที่ใช้ความหนาแน่นของ ไอออนในชั้นไอโอโนสเพียร์มุมของคลื่น การใช้งานคลื่นฟ้า ส่วนมากจะใช้ความถี่ในย่าน HF แต่อย่างไรก็ดีในเวลากลางคืนความถี่ย่าน MF ก็สามารถติดต่อสื่อสารโดยใช้คลื่นฟ้าได้เช่นเดียวกัน

2.6 ซิกบี คืออะไร

ซิกบี(Zigbee) เป็นมาตรฐานสากล กำหนดโดย ZigBee Alliance เป็น การสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูกจุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝนและอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก(เช่นถ่าน AA/ 2 ก้อน) นานเป็นเดือน เป็นปีเหมาะสมใช้งานกับพวก Monitoring ต่าง ๆ

ซิกบีกำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ

1. ย่านความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps
2. ย่านความถี่ 915 GHz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 40 Kbps
3. ย่านความถี่ 868 GHz มี 1 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 20 Kbps

ซิกบีสามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้ ทั้งนี้ ซิกบีได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 โดย IEEE 802.15.4 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย

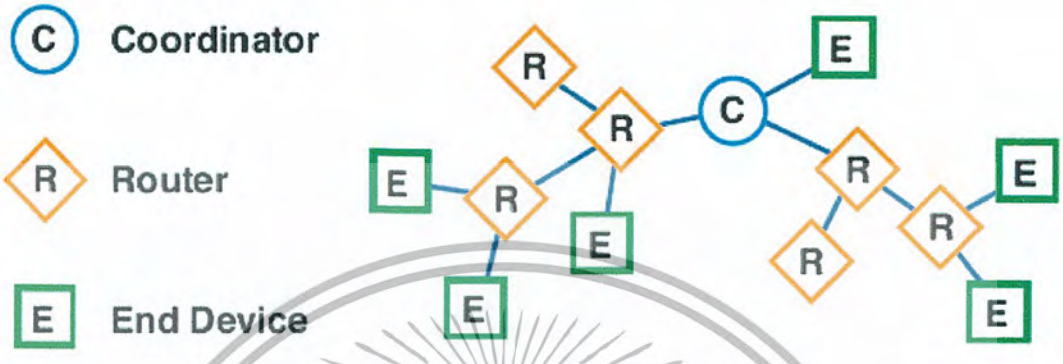
ซิกบีได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ คือ

1. Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD
2. End-device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้

3. Router มีหน้าที่ รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD



รูปที่2.23 ตัวอย่างเครือข่ายที่สร้างโดยใช้ซิกบี

2.6.1 โมดูล Xbee

Xbee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver(อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ) แบบ แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 GHz ใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ Xbee เป็น UART(TTL) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถนำขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของ Xbee ต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

Xbee สามารถใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee ได้ โดยที่ไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้างเครือข่าย Zigbee เลย เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำ firmware ที่จะโหลดเข้าไปในตัว Xbee ให้สามารถ set parameter ผ่าน software interface(X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง) หรือผ่านทาง AT command

2.6.1.1 ลักษณะโดยรวม

1. Operating Frequency ISM Band 2.4 GHz

(ISM Band หมายถึง ย่านความถี่ใช้งานเพื่อการวิจัย ซึ่งจะอนุญาตให้ใช้กับ อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Industrial) วิทยาศาสตร์ (Scientific) และ ทางการแพทย์ (Medical) รวมเป็น ISM)

2. มีสายอากาศให้เลือกใช้หลายแบบ คือ แบบ Chip Ant , Whip Ant , UFL con , RPSMA con

3. มีขา 20 ขา

4. Supply Voltage อยู่ที่ 2.8-3.4 V

5. Power Down Current < 10μA

6. มี RF data rate อยู่ที่ 250 Kbps

7. มีSerial interface data rate อยู่ระหว่าง 1200 – 115200 Bps

8. เป็น Spread Spectrum ชนิด DSSS (Direct Sequence)

รูปที่ 2.24 การวางขาของโมดูล Xbee

ตารางที่ 2.2 การกำหนดขาของโมดูล Xbee

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power Supply
2	DOUT	Output	UART data Out
3	DIN/CONFIG	Input	UART data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be atleast 200ns)
6	PWM0/RSSI	Output	Output PWM Output 0/RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

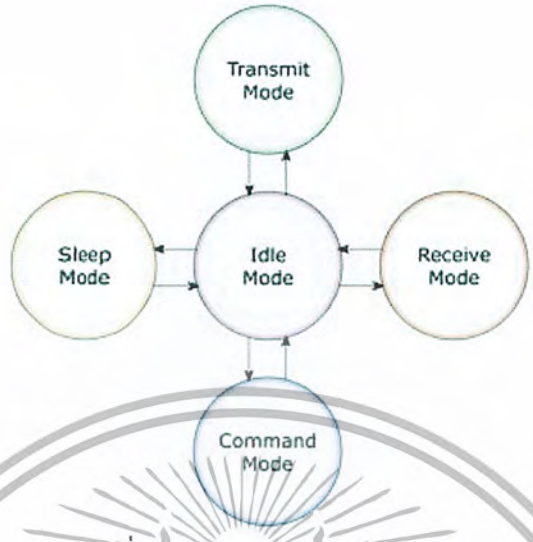
ตารางที่ 2.2 การกำหนดขาของโมดูล Xbee (ต่อ)

Pin #	Name	Direction	Description
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4/DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS/DIO7	Either	Clear to Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON/SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Asscociate/AD5/DIO5	Either	Asscociate Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS/AD6/DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3/DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2/DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1/DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0/DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

2.6.1.2 การทำงาน

การทำงานของ XBee แบ่งได้ออกเป็น 5 โหมด ดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.25 โหมดของโมดูล Xbee

1. Idle Mode เป็นโหมดที่ไม่มีการรับส่งข้อมูล และเป็นโหมดกลางที่สามารถเปลี่ยนไปยังโหมดต่างๆได้

2. Transmit Mode มีการส่งข้อมูลได้ 2 วิธี

- Direct Transmission – ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยัง Destination Addressทันที

- Indirect Transmission – packetจะถูกเก็บไว้จนกว่าจะถึงเวลาส่งเท่านั้น และจะส่งไปยังที่มีการตอบรับมา(Source Address = Destination Address)

3. Receive Mode ข้อมูล RF จะถูกรับทางสายอากาศ

4. Sleep Mode RFอยู่ในสถานะที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำหรือไม่มีการใช้ การเข้ามาอยู่ในโหมดนี้นั้นจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้อย่างน้อยหนึ่งอย่าง (ค่าของตัวแปรSMต้องไม่เป็น0)

- มีการใช้งานที่ Sleep RQ (pin 9)

- อยู่โหมด idle (ไม่มีการรับส่งข้อมูล)เป็นเวลานานมากกว่าที่กำหนดไว้ที่ตัวแปรST (Time before Sleep)

5. Command Mode เป็นส่วนการปรับ parameter ของ Xbee ซึ่งจะมีการกำหนด 2 แบบคือ แบบ AT command กับแบบ API Command

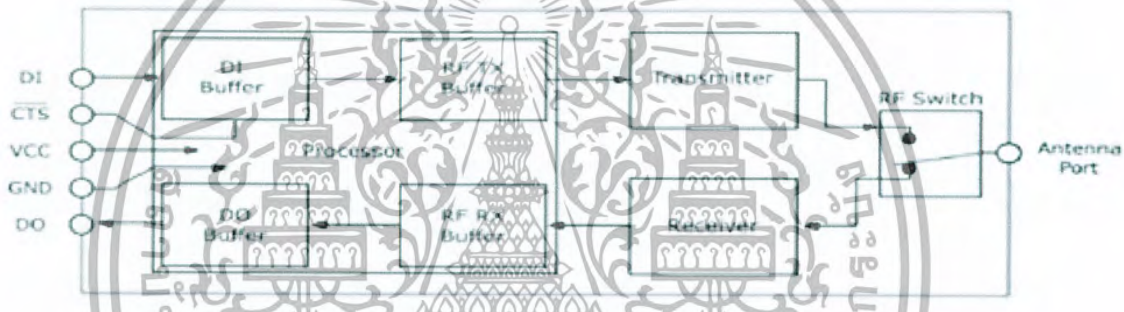
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.3 การส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลของ Xbee แบบ RF ของแต่ละแพ็กเกจในส่วนของ header จะประกอบไปด้วย Source Address และDestination Address โดยที่ IEEE802.15.4 จะมีโครงสร้าง 2 แบบ นั่นคือแบบshort 16-bit addresses และแบบlong 64-bit addresses ซึ่ง64-bit จะสามารถอ่านคำสั่ง SL (Serial Number Low) และ SH (Serial Number High) และการส่งข้อมูลแบบRFจะส่งได้2โหมด คือUnicast Modeและ Broadcast Mode

2.6.1.4 Data Throughput

Figure 2-03. Internal Data Flow Diagram



รูปที่ 2.26 โครงสร้างบล็อกไดอแกรมของโมดูล Xbee

โดยทั่วไปการใช้งาน RF Module ควรจะกำหนดให้มี Buffer ด้วย เพื่อการปรับอัตรารับส่งข้อมูลระหว่างตอนที่รับส่งทางอากาศ กับตอนที่รับส่งไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

Data ที่รับส่งระหว่าง MCU(Micro Controller Unit) กับ Xbee จะมีข้อจำกัด เรื่อง Packet อาจถูก Drop ได้ เนื่องมากจาก Data Over Flow โดยสำหรับด้านการส่งข้อมูลไปที่ Xbee เพื่อออกอากาศนั้น ที่ ขา DI จะมี Buffer อยู่ประมาณ 202 Bytes หากส่งเกิน Buffer จะเกิดการ Drop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

packet ทิ้ง ซึ่งทางฝั่งรับข้อมูล ที่ขา DO ก็มี Buffer อยู่เช่นกัน โดยจะมี Parameter ที่เกี่ยวข้องกับ Data Throughput คือ RO และ BD

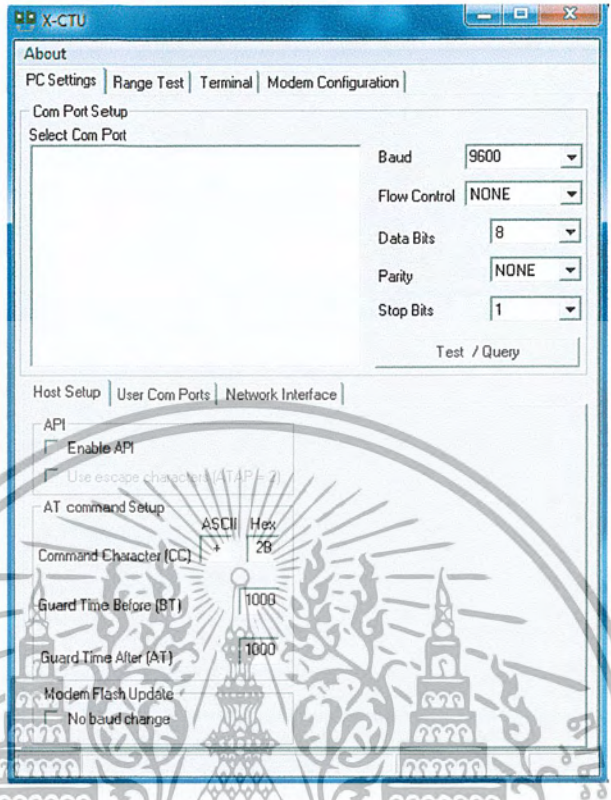
ค่า RO คือค่า Packetization Timeout ซึ่งเป็น delay ของข้อมูลที่อยู่ใน DI Buffer ก่อนที่จะถูก encapsulate ไปที่ส่วน RF transmission เพื่อส่งข้อมูลออกอากาศ หากตั้ง RO = 0 Data ที่รับเข้ามาจาก MCU จะถูก Xbee Encapsulate Packet ส่ง ออกอากาศทันที ดังนั้นจะมี Parameter RO และ BD ที่จะช่วยในการปรับ Data รับส่งให้สามารถรับส่งกันได้ทัน ไม่ให้มีการ Drop Packet ได้ในกรณีที่ส่งข้อมูลเกิน 200 Bytes

นอกจากนี้ยังมี PIN CTS (ขา12) และ RTS (ขา16) ช่วยเตือนเวลาที่ Buffer ภายในใกล้จะเต็ม โดยในฝั่งส่ง DI Buffer จะส่ง Signal มาทาง CTS เมื่อ DI Buffer เหลือพื้นที่จัดเก็บอยู่อีก 17 Bytes และส่ง Clear Signal ที่ CTS เมื่อ DI Buffer เหลือพื้นที่จัดเก็บมากกว่า 34 Bytes (เหมือนกับการควบคุม GSM Module) โดยใช้ Hyper terminal หรือ ผ่านทางการรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อย่างง่ายดาย โดยเมื่อ set Xbee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee แล้วเราจะเรียก Xbee แต่ละตัวว่าเป็น Node

2.6.2 ขั้นตอนการใช้งานโมดูล Xbee

1. Download ตัว Software X-CTU แล้วทำการ Install จะได้หน้าโปรแกรมดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 หน้าตาโปรแกรม X-CTU

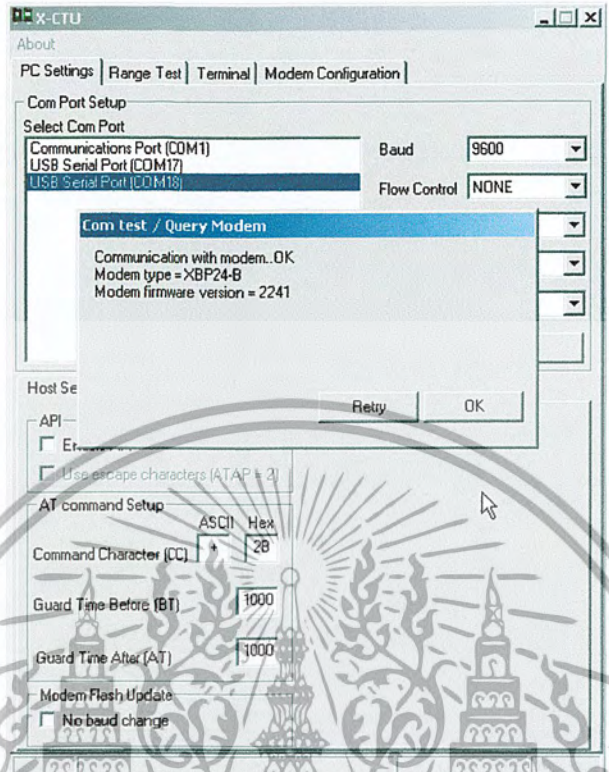
2. เชื่อมต่อโมดูล XBee สองตัวเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ผ่านทาง USB ของคอมพิวเตอร์

3. เปิดโปรแกรม X-CTU ขึ้นมา 2 โปรแกรม และเลือกพอร์ตที่ตรงกันกับโมดูล XBee

4. ทดสอบการสื่อสารของโมดูล XBee โดยตั้งค่า Baud เป็น 9600 เนื่องจากเป็นการใช้งานโมดูล Xbee กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์(Crystal 11.0592 MHz), Flow Control เป็น NONE, Data Bits เป็น 8, Parity เป็น NONE และ Stop Bits เป็น 1 แล้วคลิกที่ปุ่ม Test

5. ถ้าการสื่อสารถูกต้อง จะปรากฏ dialog box ดังรูปที่ 2.28

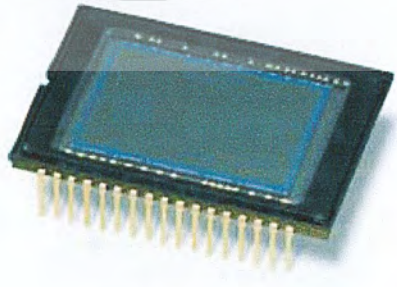
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 dialog box ของโปรแกรม X-CTU เมื่อการสื่อสารถูกต้อง

2.7 กล้องไร้สาย

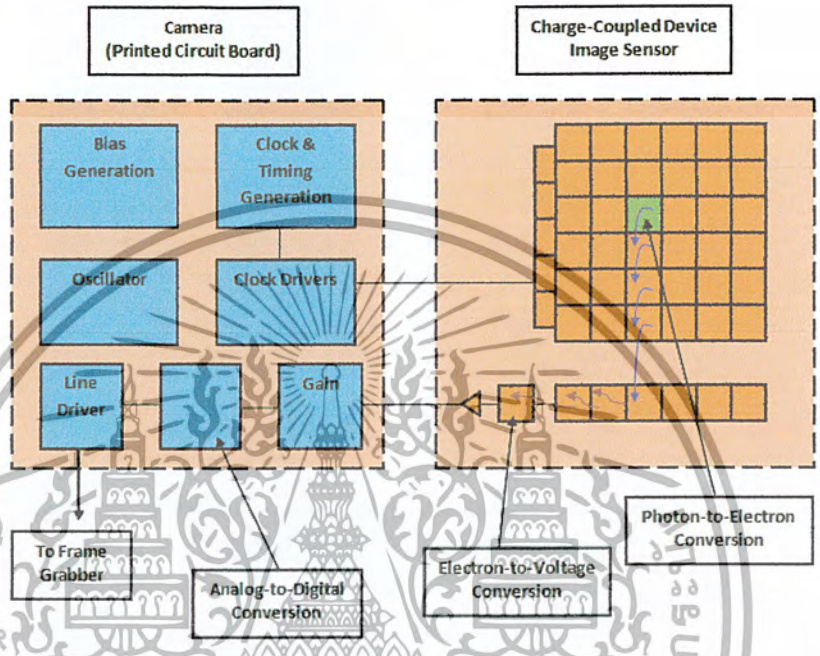
ในกล้องทุกตัวหัวใจสำคัญที่สุดอันหนึ่งที่จะทำให้กล้องตัวนั้นถ่ายทอดรูปออกมาได้สวย ก็คงหนีไม่พ้น Sensor รับภาพซึ่งมีหน้าที่รับแสงที่เข้ามาแล้วเปลี่ยนค่าแสงนั้นๆเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งในปัจจุบันก็คงมี Sensor รับภาพอยู่เพียง 2 แบบใหญ่ๆ เท่านั้น ซึ่งก็คือ CCD (ซีซีดี) และ CMOS (ซีมอส) ที่เป็นคู่แข่งที่สำคัญในท้องตลาด



รูปที่ 2.29 Sensor รับภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

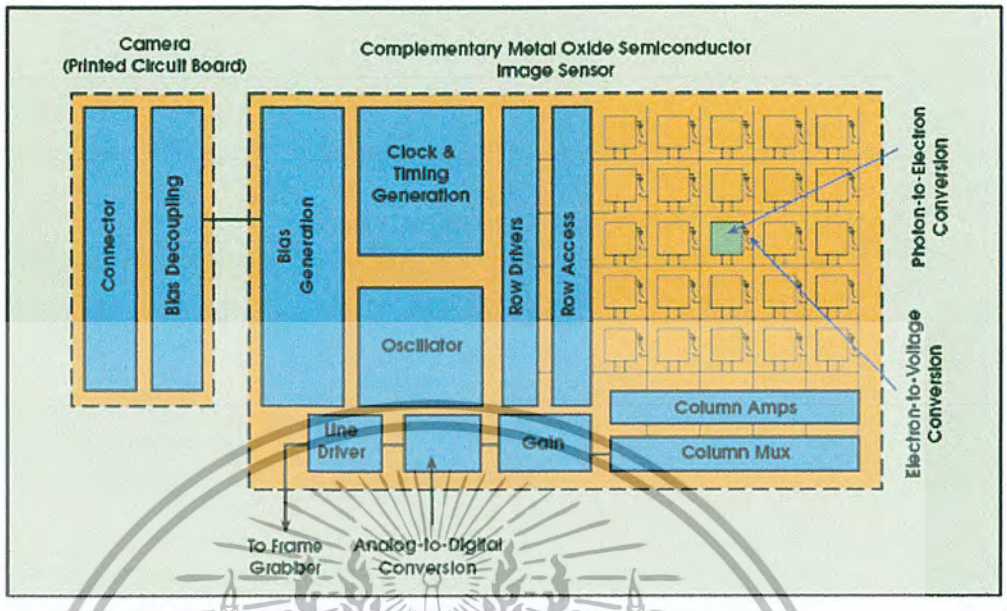
CCD ย่อมาจาก Charge Coupled Device เป็น Sensor ที่ทำงานโดยส่วนที่เป็น Sensor แต่ละพิกเซล จะทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อกส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลอีกที



รูปที่ 2.30 การทำงานของ CCD

CMOS ย่อมาจาก Complementary Metal Oxide Semiconductor เป็น Sensor ที่มีลักษณะการทำงานโดยแต่ละพิกเซลจะมีวงจรย่อยๆเปลี่ยนค่าแสงที่เข้ามาเป็นสัญญาณดิจิตอลในทันที ไม่ต้องส่งออกไปแปลงเหมือน CCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.31 การทำงานของ CMOS

สรุปได้ว่าเทคโนโลยี CMOS จะมีจุดเด่นที่มีราคาถูก ใช้พลังงานต่ำ และผลิตให้มีขนาดเล็กได้ง่ายกว่า ยิ่งหากใช้เทคโนโลยีล่าสุดมาใช้ในการผลิตก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถลดสัญญาณรบกวนได้มากกว่าในอดีต แต่สำหรับกล้อง CMOS ที่อยู่ในตลาดกล้องวงจรปิดทั่วไป โดยเฉพาะกล้องที่มี Sensor แบบ CMOS ที่ผลิตมาจากประเทศจีนก็คงคาดหวังเรื่องคุณภาพ และประสิทธิภาพได้ยาก แต่ข้อดีคือมีราคาถูกที่สุดในตลาด ซึ่งการใช้งานจึงต้องเน้นการใช้งานแบบพอเห็นว่ามีวัตถุใดอยู่ตรงหน้ากล้องเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถเห็นรายละเอียดวัตถุที่อยู่ระยะไกลได้ นอกจากนี้ตัวกล้องไร้สายไม่สามารถส่งสัญญาณได้ไกลนัก และยังถูกรบกวนโดยสัญญาณอื่นได้ง่าย

ส่วนกรณีของ CCD พบว่ามีจุดเด่นที่มีความไวแสงสูงกว่าแบบ CMOS สัญญาณรบกวนต่ำกว่า และมีช่องว่างในการรับแสงที่มากกว่า คือตั้งแต่ UV จนถึง IR เลยทีเดียว ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักที่อุปกรณ์รับแสงในกล้องพึงมี การใช้งานจึงให้ภาพที่สว่างใสกว่า ให้รายละเอียดของภาพมากกว่า และตัวกล้องที่มี Sensor แบบ CCD มักผลิตเครื่องส่งสัญญาณภาพแยกจากตัวกล้องไร้สาย ทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า เหมือนแบ่งการทำงานของอุปกรณ์ออกมาอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทุกๆส่วน ต่างกับ CMOS ที่ทุกๆอย่างผลิต และออกแบบให้อยู่ในตัวกล้องไร้สายขนาดเล็กทั้งหมด

ส่วนในเรื่องของอายุการใช้งานแม้ว่ากล้อง CMOS จะมีการสะสมความร้อนที่ต่ำกว่า แต่ด้วยมาตรฐานการผลิตที่สูงกว่าของแบบ CCD ก็สามารถทำให้อายุการใช้งานของกล้องแบบ CCD ที่ผลิตจากโรงงานที่น่าเชื่อถือสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าเช่นกันซึ่งโดยรวมแล้วเรื่องของอายุการใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเป็นหลัก ว่าใช้เทคโนโลยีใดในการผลิต วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตมีคุณภาพมากน้อยเพียงใด

กล้องจัดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับงานหลากหลายประเภท เช่น การบันทึกภาพ การสำรวจ การบันทึกสิ่งผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ฯลฯ และไม่ว่าจะเป็น CCD หรือ CMOS ด้วยเทคโนโลยีการผลิตในปัจจุบันทำให้ปัจจัยด้านชนิดของ sensor ไม่จำเป็นต้องพิจารณามากนัก ซึ่งการใช้งานกล้องแต่ละแบบควรเลือกให้เหมาะสมกับงานที่ทำ หรืองบประมาณที่มี [4][9]

ในโครงงานนี้ได้ใช้กล้องที่ผลิตจากจีนซึ่งมี Sensor แบบ CMOS โดยมีราคาถูกที่สุด ในตลาด เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณที่มี ในชุดกล้องไร้สายนี้ประกอบด้วย Receiver และตัวกล้องไร้สาย ใช้ไฟเลี้ยง 9V และ 8V ตามลำดับกล้องไร้สายนี้มี View angle 52 องศา ส่วนตัว Receiver ที่ใช้รับสัญญาณภาพ และเสียงจากกล้องไร้สาย มีความถี่ในการรับข้อมูลที่ 1.2 GHz กำลัง 200 mW

2.8 ซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์

ภาษาโปรแกรม (Programming Languages) ที่มีการคิดค้นขึ้นมาใช้กับคอมพิวเตอร์นั้นมีหลายพันภาษาแต่ภาษาที่เป็นที่รู้จักและเป็นที่นิยมใช้ทั่วไปนั้นอาจจะมีเพียงหลายสิบภาษา เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคบอล (COBOL)ปาสคาล (Pascal) เดลไฟล์ (Delphi) วิชวลเบสิก (Visual Basic) ซี (C) จาวา (Java) เป็นต้นซึ่งแต่ละภาษาสร้างขึ้นด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันและมีจุดเด่นของภาษาที่ต่างกันภาษาซี (C Programming Language)เป็นภาษาเชิงโครงสร้างที่มีการออกแบบโปรแกรมในลักษณะโมดูลที่มีจุดเด่นในเรื่องของประสิทธิภาพการทำงานที่เร็วมีความยืดหยุ่นในการเขียนโปรแกรมสูงเนื่องจากผู้ผลิตคอมไพเลอร์เพื่อใช้แปลภาษาซีหลายบริษัท

2.8.1 โปรแกรมภาษาซี

2.8.1.1 ประวัติความเป็นมา

ภาษาซีได้รับการพัฒนาขึ้นโดยเดนนิสริทชี(Dennis Ritchie)ขณะที่ทำงานอยู่ที่เบลแล็บบอราทอรี(Bell Laboratories) โดยพัฒนาขึ้นจากหลักการพื้นฐานของภาษาบี (B) และบีซีพีเอล (BCPL) ในช่วงปีค.ศ.1971 ถึง 1973 แต่ได้เพิ่มชนิดข้อมูลและความสามารถอื่นๆให้มากขึ้นและนำภาษาซีไปใช้พัฒนาระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ (UNIX) บนเครื่องคอมพิวเตอร์ DEC PDP-11 ภาษาซีเป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในช่วงต้นทศวรรษที่1980 จนกระทั่งมีความพยายามกำหนดมาตรฐานของภาษาเพื่อให้สามารถใช้ภาษาซีได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ใดๆในปีค.ศ. 1983 โดย ANSI (The American National Standards Institute) ได้ตั้งคณะกรรมการ X3J11เพื่อร่างมาตรฐานดังกล่าวและได้รับการตรวจสอบและยอมรับโดย ANSI และ ISO (The International Standards Organization) โดยมีการตีพิมพ์มาตรฐานของภาษาซีในปีค.ศ. 1990 จากความมีประสิทธิภาพและสามารถทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ใดๆของภาษาซีจึงได้มีการนำภาษาซีไปใช้ในการพัฒนาระบบปฏิบัติการต่างๆและใช้เป็นต้นแบบของภาษาอื่นๆที่สำคัญในปัจจุบันเช่น ซีพลัสพลัส (C++) จาวา (Java) เป็นต้น

2.8.1.2 รูปแบบโปรแกรมภาษาซี

ในการเขียนภาษาโปรแกรมผู้เขียนโปรแกรมจะต้องศึกษารูปแบบพื้นฐานของภาษาและไวยากรณ์ของภาษานั้นรูปแบบพื้นฐานของภาษาจะเขียนโปรแกรมในลักษณะของโมดูลคือมีการแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆที่เรียกว่าฟังก์ชัน (Function) แสดงดังตัวอย่างที่ 2.1 และรูปที่ 2.32

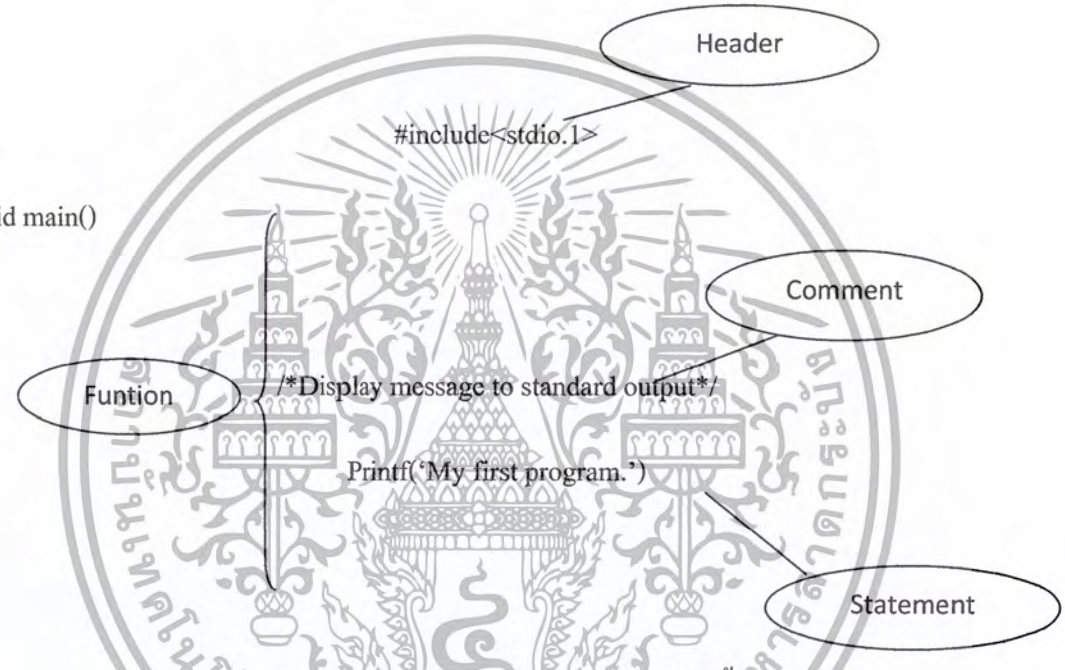
ตัวอย่างที่ 2.1 แสดงตัวอย่างโปรแกรมภาษาซีเบื้องต้น

```
#include <stdio.h>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void main( ) {
/* Display message to standard output */
printf("My first program.");
}
```

ผลการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 2.32 ส่วนประกอบของโปรแกรมภาษาซีเบื้องต้น

ส่วนประกอบที่ 1 ส่วนหัว (Header) จะเป็นส่วนที่อยู่ที่ตอนต้นของโปรแกรมโดยอยู่นอกส่วนที่เรียกว่าฟังก์ชันที่ส่วนหัวของโปรแกรมจะประกอบด้วยคำสั่งที่เป็นการกำหนดค่าหรือกำหนดตัวแปรต่างๆคำสั่งในที่ขึ้นต้นด้วยสัญลักษณ์ # เป็นคำสั่งที่เรียกว่าตัวประมวลผลก่อน (Preprocessor) คือคำสั่งที่จะได้รับการทำก่อนที่จะมีการคอมไพล์ตัวประมวลผลก่อนที่สำคัญของภาษาซีแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1) # include

ในภาษาซีจะมีฟังก์ชันมาตรฐานที่ผู้ผลิตคอมไพเลอร์ได้จัดเตรียมไว้ให้ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับการรับข้อมูลการแสดงผลข้อมูลการคำนวณและอื่นๆซึ่งผู้เขียนโปรแกรมสามารถเรียกใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทันทีโดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมเองในตัวอย่างจะมีการใช้คำสั่ง printf( ) ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้แสดงข้อความออกทางอุปกรณ์แสดงผลมาตรฐานเช่นจอภาพ คำสั่ง printf( ) เป็นการเรียกใช้ฟังก์ชันมาตรฐานซึ่งอยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า Standard Inputand Output เมื่อจะเรียกใช้ฟังก์ชันใดในกลุ่มดังกล่าวจะต้องบอกให้คอมไพเลอร์ไปอ่านค่าที่อยู่ในอินคลูชไฟล์ที่ชื่อ stdio.h มาไว้ที่ส่วนต้นของโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง #include <stdio.h>เพราะฉะนั้นผู้เขียนโปรแกรมควรจะศึกษาฟังก์ชันมาตรฐานที่คอมไพเลอร์แต่ละบริษัทได้เตรียมไว้ให้ว่าคำสั่งใดใช้คู่กับอินคลูชไฟล์ใด

2)# define

ใช้สำหรับการกำหนดค่าคงที่ตัวอย่างเช่น

#define YES 1

คำสั่งดังกล่าวเป็นการกำหนดว่าหากที่ใดในโปรแกรมมีคำว่า YES จะถูกแทนที่ด้วยค่าทางขวามือในที่นี้คือ '1' นอกจากในส่วนหัวของโปรแกรมอาจจะมีการประกาศตัวแปรและส่วนของการประกาศโปรโตไทป์ไว้ที่ส่วนหัวของโปรแกรมได้อีกด้วย

ส่วนประกอบที่ 2 ฟังก์ชัน (Function) ส่วนของฟังก์ชันคือส่วนของคำสั่งที่บอกให้คอมพิวเตอร์ทำงานต่างๆเช่นการรับข้อมูลการคำนวณการแสดงผลเป็นต้นโปรแกรมภาษาซีจะประกอบด้วยฟังก์ชันย่อยหลายๆฟังก์ชันแต่จะมีฟังก์ชันหลักฟังก์ชันหนึ่งที่ชื่อว่าฟังก์ชัน main( ) เสมอโดยที่การทำงานของโปรแกรมจะต้องเริ่มการทำงานจากฟังก์ชันนี้

2.8.1.3 กฎพื้นฐานที่สำคัญในภาษาซี

การพิมพ์ตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่และตัวพิมพ์เล็กในภาษาซีนั้นในผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน (CaseSensitive) ตัวอย่างเช่นหากมีการพิมพ์ main( ) กลายไปเป็น Main( ) ก็จะเกิดความผิดพลาดขึ้น

ฟังก์ชันของภาษาซีจะแบ่งขอบเขตของฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชันด้วยเครื่องหมาย { } ในตัวอย่างมีฟังก์ชัน void main( ) คำว่า void จะบอกให้รู้ว่าเมื่อฟังก์ชันนี้ทำงานเสร็จจะไม่มีการคืนค่ากลับไปยังสิ่งที่เรียกใช้งานฟังก์ชันในกรณีของฟังก์ชัน main( ) ก็คือจะไม่มีการคืนค่าใดๆกลับไปยังระบบปฏิบัติการหลังฟังก์ชันจะต้องตามด้วย ( ) เสมอโดยที่ภายในวงเล็บจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยค่าที่ส่งเข้ามายังฟังก์ชันที่เรียกว่าพารามิเตอร์ (Parameter) หรือ อาจจะไม่มีค่าใดๆส่งเข้ามาก็ได้

คำสั่งต่างๆ ซึ่งต้องเขียนอยู่ในฟังก์ชันเสมอแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนของการประกาศตัวแปรที่ต้องการใช้ในฟังก์ชันและส่วนของคำสั่งเพื่อทำงานใดงานหนึ่งในที่นี้มีเฉพาะคำสั่งที่ใช้ในการแสดงผลลัพธ์ออกทางจอภาพคือ printf( ) ใช้สำหรับการแสดงผลลัพธ์ออกทางจอภาพหากต้องการแสดงข้อความใดๆออกทางจอภาพให้เขียนข้อความนั้นอยู่ภายในเครื่องหมาย “_”

คำสั่งในภาษาซีจะต้องปิดท้ายด้วยเครื่องหมาย ; (Semicolon) เนื่องจากภาษาซีจะใช้เครื่องหมาย; ในการแยกคำสั่งต่างๆออกจากกันการเว้นบรรทัดหรือการเขียนคำสั่งไม่ต่อเนื่องกันจะไม่มีผลต่อคอมไพเลอร์แต่เป็นการช่วยให้ผู้เขียนโปรแกรมอ่านโปรแกรมได้ง่ายขึ้นเท่านั้น

จากตัวอย่างที่ 2.1 อาจจะเขียนโปรแกรมในลักษณะต่างๆซึ่งไม่มีผลต่อการทำงานของคอมไพเลอร์ดังตัวอย่างที่ 2.2 และ 2.3

ตัวอย่างที่ 2.2 แสดงตัวอย่างโปรแกรมภาษาซีเบื้องต้น

```
#include <stdio.h> void main( ) { /* Display message to standard output */ printf
( “My first program.” ) ;}
```

ตัวอย่างที่ 2.3 ตัวอย่างโปรแกรมภาษาซีเบื้องต้น

```
#include
<stdio.h>
void
main()
{
/* Display message
to standard
output */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
printf
(
"My first program."
)
;
}
```

ไม่ว่าผู้ใช้จะเขียนโปรแกรมในลักษณะที่ 2.1, 2.2 หรือ 2.3 คอมไพเลอร์จะทำงานได้ผลลัพธ์เดียวกันเสมอเพราะฉะนั้นการเขียนโปรแกรมที่เป็นระเบียบจะช่วยให้ผู้เขียนโปรแกรมหรือผู้อื่นที่มาอ่านโปรแกรมอ่านได้ง่ายขึ้น โดยทั่วไปมักใช้ระบบของการเยื้อง (Indentation) เข้ามาช่วยให้โปรแกรมอ่านได้ง่ายขึ้นพิจารณาตัวอย่างที่ 2.2 และ 2.3 ซึ่งไม่มีการเยื้องกับตัวอย่างที่ 2.1 ที่เขียนโดยมีลักษณะของการเยื้องการเยื้องนั้นอาจจะใช้การเคาะช่องว่าง (Space Bar) เป็นจำนวน 3-5 ทีเพื่อให้เกิดการเยื้องนอกจากนี้หากผู้ใช้ต้องการใส่คำอธิบายในโปรแกรมก็สามารถทำได้โดยใช้สิ่งที่เรียกว่า Comment ขอบเขตของ Comment จะขึ้นต้นตั้งแต่ /* จนกระทั่งถึง */ ข้อความใดๆที่อยู่ในขอบเขตของเครื่องหมายดังกล่าวจะไม่ถูกแปลโดยคอมไพเลอร์โดยทั่วไปจะมีการใช้ Comment เพื่ออธิบายว่าโปรแกรมนั้นทำงานอะไรใช้อธิบายคำสั่งแต่ละคำสั่งใช้อธิบายฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชันและใช้อธิบายกลุ่มของคำสั่งโดยเขียนComment ไว้ด้านบนหรือด้านข้างของสิ่งที่ต้องการอธิบายเช่นหากเป็นการอธิบายโปรแกรมจะเขียนComment ไว้ที่ต้นของโปรแกรมนั้นหากเขียนอธิบายฟังก์ชันจะเขียน Comment ไว้ด้านบนของฟังก์ชันที่ต้องการอธิบายเขียนอธิบายคำสั่งอาจจะเขียน Comment ไว้ด้านบนหรือด้านข้างของคำสั่งนั้นๆและเขียนอธิบายกลุ่มคำสั่งก็จะเขียนอธิบายไว้ด้านของกลุ่มคำสั่งนั้น

2.8.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

Controller คือ ตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือขบวนการต่างๆ ซึ่งอาจทำขึ้นมาจากวงจรไฟฟ้ากลไก PLC ฯลฯ Micro-Controllerก็คือ อุปกณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง มีขนาดเล็ก และสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน โดยเน้นความสมบูรณ์ภายในตัวของมันเองและง่ายต่อการนำไปใช้งานหรือแก้ไขดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microcontroller ทั่วๆ ไปประกอบด้วย

- CPU (Central Processing Unit)
- RAM (Random Access Memory)
- EPROM/PROM/ROM (Erasable Programmable Read Only Memory)
- I/O (Input/output) - serial and parallel
- Timers
- Interrupt Controller

และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น Analog to Digital Convertor, Pulse Width Modulator ฯลฯ ซึ่งขึ้นกับผู้ผลิตที่จะใส่เข้าไป เพื่อเพิ่มความสามารถของ Microcontroller และจุดประสงค์ในการใช้งานความแตกต่างของ Microcontroller และ Microcomputer คือ Microcomputer นั้นต้องการอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก เช่น หน่วยความจำ I/O ฯลฯ ส่วน Microcontroller นั้นมีสมบูรณ์ภายในตัวของมันเอง

2.8.2.1 ภาษาของ Micro-Controller

ภาษาที่ใช้กับ Microcontroller นั้นจะแตกต่างกันตาม Microcontroller ของแต่ละตระกูล แต่ประเภทของภาษาที่ใช้สามารถแบ่งออกเป็น

1) ภาษาเครื่อง/ภาษา Assembly ภาษาเครื่อง(Machine Language) คือโปรแกรมที่ Microcontroller สามารถเข้าใจมัน แต่มันไม่ง่ายสำหรับ มนุษย์ที่จะอ่านได้ ภาษา Assembly คือรูปแบบของภาษาเครื่องที่มนุษย์สามารถอ่านออกได้ ภาษา assembly เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการแปลงจากคำสั่งที่มนุษย์อ่านออกได้ไปเป็นภาษาเครื่อง ซึ่งแปลงคำสั่ง/คำสั่ง โปรแกรมที่เขียนโดยภาษา assembly จะทำงานเร็วและมีขนาดเล็ก เพราะว่ามันสามารถเข้าถึง Hardware ได้โดยตรง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเขียนของผู้เขียนด้วย

2) Interpreter คือ โปรแกรมแปลคำสั่ง หรือตัวแปลคำสั่ง โดยจะฝังตัวอยู่ในหน่วยความจำ และทำหน้าที่อ่านคำสั่งจากโปรแกรมขึ้นมาทีละคำสั่งแล้วปฏิบัติตามคำสั่งนั้นๆ ตัวอย่างของ interpreter ที่รู้จักกันดีคือ ภาษา BASIC ข้อเสียของ interpreter คือ ทำงานได้ช้าเนื่องจากต้องแปลคำสั่งทีละคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Compiler คือ โปรแกรมแปลโปรแกรม หรือตัวแปลโปรแกรมซึ่งทำหน้าที่แปลโปรแกรมที่เขียนขึ้นให้เป็นภาษาเครื่อง จากนั้นจึงนำเอาโปรแกรมที่แปลเสร็จแล้วเข้าไปเก็บในหน่วยความจำ ทำให้การทำงานเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น ภาษา C เป็นต้น

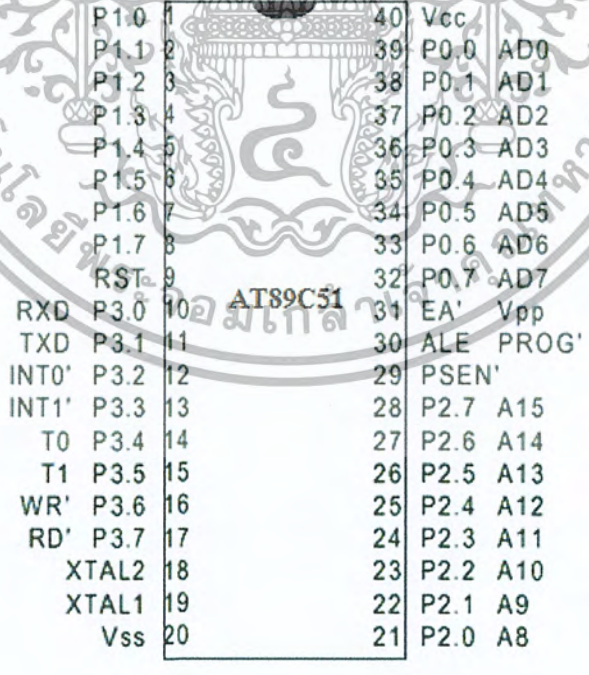
2.8.2.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51

- ส่วนโปรแกรมเม็มโมรี่ จะมีอยู่ในชิพเป็นชนิด Flash Memory สามารถโปรแกรมซ้ำได้ 1000 ครั้ง AT89c1051=1KByte, AT89c2051=2KByte, AT89c4051=4KByte
- แหล่งจ่ายไฟ ใช้ได้ตั้งแต่ AT89C1051 และ AT89C2051 = 2.7V ถึง 6V, AT89C4051 = 3.0V ถึง 6.0V
- ความถี่ใช้ได้ถึง 24 MHz
- สามารถล็อกบิตโปรแกรมเม็มโมรี่ได้ 2 ระดับ
- หน่วยความจำแรมภายใน AT89C1051 = 64 ไบท์, AT89C2051 และ AT89C4051 = 128 ไบท์
- 15 อินพุตเอาท์พุตพอร์ท
- 16 บิตไทม์เมอร์เคาท์เตอร์ 2 ตัว
- 6 อินเตอร์รัพท์ซอร์ต
- ต่อ LED ได้ตรงโดยไม่ต้องใช้วงจรไดร์ฟ
- มีวงจรคอมพาราเตอร์เปรียบเทียบแรงสัญญาณอนาล็อก
- ระบบประหยัดพลังงาน 2 ระดับ Idle และ Power Down
- Bound-Out Detection มีเฉพาะ AT89C4051
- เป็นชิพขนาด 40 ขา มีคุณลักษณะพิเศษหลายอย่างดังนี้
- มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิดแฟลชเมโมรี (Flash Memory) หรือชนิดที่เขียนและลบได้รวดเร็ว ขนาด 4 กิโลไบต์
- ทนต่อการเขียนลบได้ 1000 ครั้ง และคงค่าข้อมูลไว้ได้นาน 10 ปี
- ทำงานที่ความถี่นาฬิกา 0-24 เมกะเฮิรตซ์
- ป้องกันการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory Lock) ได้ 3 ระดับ
- มีหน่วยความจำแรม (Ram) ภายในตัวชิปอยู่ 128 ไบต์
- มีขาอินพุต/เอาต์พุต ที่สามารถโปรแกรมได้จำนวน 32 ขา
- มีตัวตั้ง/ตัวนับเวลาขนาด 16 ไบต์จำนวน 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถรับการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt) หรือสัญญาณขัดจังหวะให้มีการทำงานก่อนได้จาก 5 แหล่ง
- มีช่องรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่สามารถโปรแกรมได้
- มีโครงสร้างและใช้ชุดคำสั่งเดียวกับตระกูล MCS-51 ของอินเทล
- แหล่งจ่ายไฟใช้ได้ตั้งแต่ 2.7 โวลต์ ถึง 6 โวลต์
- มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิด Flash Memory ขนาด 1KBytes 2KBytes และ 4KBytes ตามเบอร์ที่เลือกใช้
- ทำงานที่ความเร็วสัญญาณนาฬิกาได้สูงสุดถึง 24 MHz
- มีอินพุตเอาต์พุตพอร์ต ขนาด 15 บิต
- พอร์ตสามารถ SINK กระแสได้ 20 mA
- มีสัญญาณการ อินเตอร์รัพท์ ได้ 3 แหล่งสำหรับไอซีเบอร์ AT89C1051 และ 6 แหล่งสำหรับไอซีเบอร์ AT89C2051

2.8.2.3 ขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51



รูปที่ 2.33 ขาต่างๆของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการจัดขาภายนอกของ MCS-51การจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิพMCS-51 จะมีการแบ่งกลุ่มการจัดขาออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกัน คือ

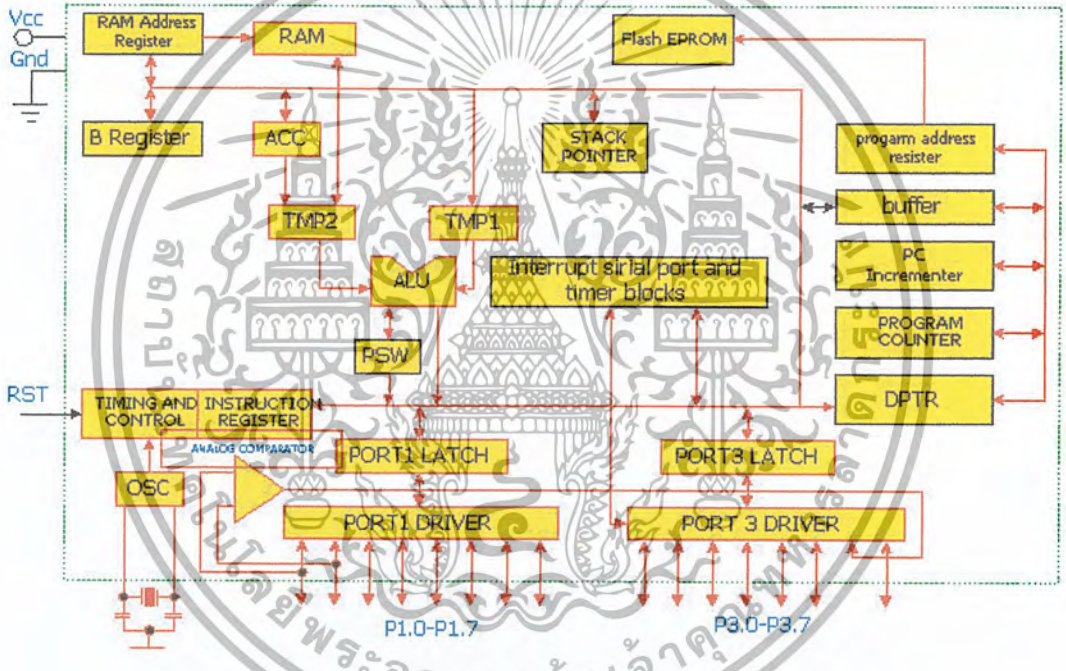
-กลุ่มขาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและสัญญาณนาฬิกา

-กลุ่มขาสำหรับการอ้างแอดเดรสและรับส่งข้อมูล

-กลุ่มขาที่ใช้ในการควบคุม

-กลุ่มขาพอร์ตใช้งานแบบขนานและอนุกรม

2.8.2.4 โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ AT89C51



รูปที่ 2.34 สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ AT89C51

จากรูปที่ 2.34 แสดงให้เห็นสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ AT89C51 ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยหน่วยการทำงานต่างๆโดยแบ่งการทำงานออกเป็นบล็อกๆ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรควบคุม รีจิสเตอร์ ต่างๆ (Register) หน่วยความจำข้อมูล(RAM) และหน่วยความจำโปรแกรมที่เป็นแฟลช วงจรออสซิลเลเตอร์(Oscillator) ส่วนที่ทำหน้าที่ทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and logic Unit) โปรแกรมเคาน์เตอร์(Program Counter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพอร์ตที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งในแต่ละส่วนจะถูกเชื่อมต่อกันด้วย บัสข้อมูล และบัสแอดเดรส

2.9 เดลไฟล์ (Delphi) คืออะไร

เดลไฟล์ เป็นเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ (Tools) ที่ใช้พัฒนาซอฟต์แวร์ ที่ทรงประสิทธิภาพ มีพัฒนาการมาอย่างยาวนาน ซึ่งเดิมบริษัทที่พัฒนาคือบอร์แลนด์ (Borland) เป็นผู้พัฒนา โปรแกรมเดลไฟล์มีรากฐาน มาจากภาษาปาสคาลที่ได้เพิ่มความสามารถทางด้านการโปรแกรมเชิงวัตถุ หรือ Object Oriented Programming เข้าไป อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "Object Pascal" ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่

-สภาวะแวดล้อมในการเขียนโปรแกรม (Integrated Development Environment) เรียกย่อๆว่า IDE จะช่วยให้โปรแกรมเมอร์สามารถออกแบบจอภาพ, เขียนคำสั่งงาน และเรียกคอมไพล์เลอร์มาแปลโปรแกรม แล้วทดสอบโปรแกรมได้ นอกจากนี้ยังมีดีบักเกอร์ (Debugger) เพื่อช่วยในการค้นหาข้อผิดพลาดของโปรแกรม

-คอมไพล์เลอร์ Object Pascal คอมไพล์เลอร์ถูกเรียกใช้โดย IDE หรือโดยใช้ Command line ซึ่งจะแปลซอร์สโปรแกรมออกมาเป็น ภาษาเครื่อง (Exe file) หรือแปลออกมาเป็น DLL หรือ Dynamic Link Library ได้อีกด้วย

-ไลบรารี่ที่ช่วยเหลือในการพัฒนาระบบงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ เป็นองค์ประกอบที่ ช่วยในการพัฒนาระบบงานแบ่งออกได้เป็นสองส่วน ได้แก่ Visual Component library หรือ Vcl และ Run-time Library

โดย Vcl จะช่วยในการเขียนโปรแกรมบนวินโดว์ได้ ง่ายขึ้น เนื่องจากมีคอนโทรลต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบจอภาพซึ่งสามารถนำมาวางบนฟอร์มได้ นอกจากนี้นักพัฒนาทูล (Tools) สามารถใช้เดลไฟล์สร้าง Component เพื่อให้ผู้เขียนโปรแกรมคนอื่นนำไปใช้ได้เช่นเดียวกับ Component ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดลไฟล์มีจุดเด่นคือ มีเครื่องมือที่ใช้พัฒนาเป็นแบบที่เรียกว่า Integrated Development Environment (IDE) ช่วยให้ออกแบบโปรแกรมได้อย่างรวดเร็วและสวยงาม สร้างแอพลิเคชั่นซอฟต์แวร์ได้อย่างรวดเร็วเพราะเดลไฟล์มีเครื่องมือที่เพียบพร้อม เรียกว่า Rapid Application Development Tools หรือ RAD สามารถสร้างซอฟต์แวร์ได้หลายลักษณะงาน เช่น ด้านฐานข้อมูล, กราฟฟิกส์, คำนวณ, อินเทอร์เน็ต และยูทิลิตี้อื่นๆ สนับสนุนหลักการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงวัตถุหรือที่เรียกว่า OOP (Object Oriented Programming) แบบเต็มรูปแบบซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน เดลไฟล์นิยมใช้กันมากในแถบยุโรป(โดยเฉพาะในสวิสเซอร์แลนด์), อินเดีย,บราซิล ด้านประสิทธิภาพนั้นเดลไฟล์ไม่ได้เป็นรองแต่อย่างใด ถ้าชอบสไตล์การเขียนโปรแกรมรูปแบบของภาษาปาสคาล ที่มีความคลาสิค สวยงาม มีความเป็นระเบียบ ไม่รกรุงรังแบบภาษาซี เดลไฟล์คือหนึ่งในเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ที่น่าสนใจ

2.9.1 สภาพแวดล้อมการเขียนโปรแกรม

งานเขียนโปรแกรมในยุคก่อนจะมีลักษณะแยกกันเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน คือ เรียกโปรแกรมเอดิเตอร์ (Editor) ขึ้นมาเพื่อทำการเขียนและแก้ไขคำสั่งในซอร์สโปรแกรม ขั้นตอนต่อไปคือ เรียกโปรแกรมคอมไพเลอร์ (Compiler) มาทำการแปลคำสั่งออกมาเป็น ออบเจ็คโปรแกรม (Object Program) จากนั้นเรียกโปรแกรม ลิงค์เกอร์ (Linker) ทำการลิงค์ออบเจ็คโปรแกรมรวมเข้ากับไลบรารี่แล้วจะได้โปรแกรมที่อยู่ในรูปภาษาเครื่อง (Executable Program) ซึ่งโปรแกรมเมอร์ก็จะเรียกมาทำงานเพื่อตรวจดูผลลัพธ์ ซึ่งถ้าไม่ถูกต้องก็จะกลับไปยังขั้นตอนแรก แล้วดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ที่ได้กล่าวมา จะเห็นได้ว่าการทำงานไม่เป็นลักษณะผสมผสาน (Non-Integrated) ซึ่งการทำงานแบบนี้ไม่ค่อยสะดวกนัก แต่ในยุคปัจจุบันการทำงานจะง่ายขึ้นกล่าวคือโปรแกรมเมอร์สามารถ เข้าสู่สภาพแวดล้อมซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมและทดสอบโปรแกรมโดยไม่ต้องเรียกโปรแกรมทีละขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น ซึ่งสภาพแวดล้อมแบบนี้เรียกว่า Integrated Development Environment หรือ IDE สำหรับโปรแกรมเดลไฟล์ก็มีความสามารถที่จะทำงานในลักษณะแบบนี้ด้วย โดยสรุปแล้วสภาพแวดล้อมแบบ IDE ของเดลไฟล์จะช่วยในการทำงาน ดังต่อไปนี้

- เขียนโปรแกรม
- คอมไพล์โปรแกรม
- ทดสอบและดีบักโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในการเขียนโปรแกรม IDE จะช่วยในการ
- จัดการ โปรเจค เช่น การเพิ่มยูนิตหรือฟอร์มใหม่เข้าไปไว้ในโปรเจค
- ออกแบบฟอร์ม เช่น การนำคอนโทรลวางบนฟอร์ม การย้าย การขยายขนาด หรือลดขนาด การกำหนดรายละเอียดพร็อบเพอร์ตี้ของฟอร์ม และคอนโทรลที่อยู่ในฟอร์ม
- การทำงานของ IDE จะทำงานได้ครั้งละโปรเจคโดยที่โปรเจคก็คืองานแต่ละชิ้น ซึ่งประกอบด้วยไฟล์หลายไฟล์

2.9.2 องค์ประกอบของ IDE ของเดลไฟล์

IDE ของเดลไฟล์จะมีลักษณะ สำคัญทั้งหมด 5 ส่วนคือ

-Component Palette

-Form Designer

-Object Inspector

-Editor Window

-Menu และ Speed Bar

2.9.2.1 Component Pallete

เปรียบเหมือนกล่องเครื่องมือ (Tools Box) เพื่อให้โปรแกรมเมอร์เลือกคอนโทรลที่ต้องการ แล้วนำไปวางลงบนฟอร์ม เพื่อใช้สำหรับการออกแบบจอภาพที่จะใช้ติดต่อกับผู้ใช้ Component Pallete จะแบ่งออกเห็นกลุ่มๆซึ่งเรียกว่า Page จำนวนกลุ่มสามารถเพิ่มโดยใช้เมนู Component / Install

โดยโปรแกรมเมอร์มีความเชี่ยวชาญ สามารถเขียนโปรแกรมเดลไฟล์เพื่อสร้าง Component ใหม่ออกมาใช้เอง หรือจำหน่ายให้กับโปรแกรมเมอร์อื่นใช้ได้ด้วย

ใน IDE ของเดลไฟล์มีกลุ่ม Component ที่เป็นมาตรฐานได้แก่

-Standard : เก็บคอนโทรลมาตรฐานของวินโดว์ได้แก่ Label, Edit box, Button, List box, Combo box เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Additional : เก็บคอนโทรลเพิ่มเติมได้แก่ Bitmap Button, Speed Button, Mask Edit เป็นต้น
- Win 95 : เก็บคอนโทรลที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ใน Windows 95 หรือ Windows NT
- Data Access : เก็บคอนโทรลที่ใช้ในการติดต่อกับระบบข้อมูลหรือฐานข้อมูล
- Data Control : เก็บคอนโทรลที่นำเอาข้อมูลจากฐานข้อมูลซึ่งเชื่อมโดย Data Access มาแสดง โดยจะมีลักษณะของคอนโทรลเหมือนกับกลุ่ม Standard
- Win 3.1 : เก็บคอนโทรลเฉพาะที่ใช้กับ Windows 3.1
- Dialogs : เก็บคอนโทรลที่เป็นพวก Common Dialog Box เช่น Open File, Printer, Font เป็นต้น
- System : เก็บคอนโทรลที่มีการเกี่ยวข้องกับระบบ เช่น นาฬิการะบบ, การจัดการมัลติมีเดีย และการเรียกใช้ DDE (Dynamic Data Exchange)
- Qreport : เก็บคอนโทรลที่ช่วยในการจัดทำและพิมพ์รายงานอย่างง่ายอย่างรวดเร็ว
- OCX : เก็บคอนโทรลประเภท OLE Custom Control
- Sample : เก็บคอนโทรลตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาวิธีการเขียน Component

2.9.2.2 Form Designer

ใช้สำหรับออกแบบฟอร์มเพื่อใช้ติดต่อกับผู้ใช้ โดยโปรแกรมเมอร์จะนำเอาคอนโทรลต่างๆ จาก Component Pallete มาวางตามตำแหน่งเพื่อให้สามารถแสดงผลลัพธ์ได้ตามที่ตนเองต้องการ

2.9.2.3 Object Inspector

ใช้กำหนดค่าของพร็อบเพอร์ตี้ของฟอร์ม และคอนโทรลที่นำมาวางบนฟอร์ม เพื่อให้ฟอร์มหรือคอนโทรลมีลักษณะตามต้องการเช่น กำหนดสี กำหนดขนาด เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการกำหนดการทำงาน ของโปรแกรมเมื่อมีเหตุการณ์ (Event) กระทำบนฟอร์มหรือคอนโทรล Object Inspector จะแบ่งออกเป็น 2 หน้า คือ Properties กับ Events ผู้เขียนโปรแกรมจะเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานเมื่อเกิดเหตุการณ์กับคอนโทรล เช่น เหตุการณ์ดับเบิ้ลคลิกของเมาส์ที่ฟอร์ม (Formdblclick), เหตุการณ์คลิกเมาส์ของปุ่มกด (Button1click) เป็นต้น

2.9.2.4 Menu และ Speed Bar

เป็นส่วนของการใช้คำสั่งเพื่อสั่งงานหรือจัดการสิ่งต่างๆ เช่น การกำหนด Option ของโปรเจค การสั่งให้คอมไพล์โปรแกรม เป็นต้น โดยที่ Speed Bar จะเป็นปุ่มที่ใช้ทำงานแทน Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ทำงานได้อย่างรวดเร็ว นอกจากการสั่งงานโดยใช้ Menu และ Speed Bar แล้วเรายังสามารถใช้ ฟังก์ชันคีย์ เพื่อช่วยให้ทำงานได้เร็วขึ้น ฟังก์ชันคีย์ที่สำคัญมีดังนี้

-F1 : Help

-F9 : รันโปรแกรม

-F11 : เปิดวินโดว์ของ Object Inspector

-F12 : สลับวินโดว์ระหว่าง Form Designer และ Editor Window

2.9.3 รายละเอียดของคอมโพเน้นท์

กลุ่ม Standard Component

- TMainMenu : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ใน การสร้างเมนูบนฟอร์ม โดยนำเอาไปวางบนฟอร์มที่ต้องการ จากนั้นเรียก Menu Designer ขึ้นมากำหนดโครงสร้างของเมนูที่ต้องการ

- TPopupMenu : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ใน การสร้าง Popup Menu ซึ่งเป็นเมนูที่ซ่อนไว้ในฟอร์ม เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่มเมาส์ด้านขวาจึงแสดง รายการเมนูออกมา บนฟอร์มหนึ่งฟอร์มอาจมีเมนูชนิดนี้หลายเมนู เพื่อให้ผู้ใช้เรียกขึ้นมาทำงาน แล้วแต่จะกดเรียกที่คอนโทรลใด

- TLabel : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการแสดง ข้อความบนฟอร์ม ซึ่งสามารถกำหนดลักษณะของตัวอักษรได้ ซึ่งสามารถกำหนดขณะออกแบบหรือรันไทม์

- TEdit : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการแสดงข้อมูลและรับข้อมูลจากผู้ใช้บนฟอร์ม อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ช่องเติมข้อมูล”

- TMemo : เป็นคอมโพเน้นท์ที่คล้ายกับ TEdit แต่สามารถจัดเก็บข้อความที่มีความยาวมากหลายหน้ากระดาษได้ และมีคุณสมบัติที่เพิ่มขึ้นเช่น Word Wrap, Scroll Bar การเก็บข้อมูลจะเก็บในลักษณะ เป็นบรรทัดๆ

- TButton : เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "ปุ่มกด" เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการให้ผู้ใช้สั่งงานโดยการกดที่ปุ่มที่ต้องการสั่งงาน

- TCheckBox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้เพื่อ เลือกรายการโดยการกากบาท เช่น การกรอกแบบสอบถามให้เลือกรายการที่ชอบซึ่งผู้ตอบสามารถเลือกได้หลายๆข้อ

- TRadioButton : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้เพื่อ เลือกรายการเพียงรายการเดียวจากลิสต์รายการ คล้ายกับการฟังรายการวิทยุซึ่งผู้ฟังสามารถฟังได้รายการเดียว

- TListbox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้แสดง รายการให้เลือก โดยรายการที่ให้เลือกจะมีหลายๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัด ผู้เขียนโปรแกรมสามารถกำหนดว่าเลือกได้เพียงรายการเดียวหรือ หลายรายการ ในกรณีที่มีรายการมากจนล้นหน้าต่างก็จะเกิด Scrollbar ช่วยในการเลื่อนรายการ

- TComboBox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่มีการ ทำงานเหมือนกับ TListbox แต่กินพื้นที่บนฟอร์มเพียงบรรทัดเดียว ในการเลือกรายการจาก TComboBox ผู้ใช้จะต้องคลิกที่ลูกศรด้านขวาของมันก่อนเพื่อจะทำให้รายการในลิสต์แสดง ออกมา แล้วจึงเลือกรายการที่ต้องการได้

- TScrollbar : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้สำหรับ เป็นแถบเลื่อน โดยปกติจะถูกรวมอยู่กับคอมโพเน้นท์อื่น เช่น TMemo, TListbox

- TGroupbox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการ ทำกรอบและจัดกลุ่มของข้อมูล เช่น การจัดกลุ่ม TRadioButton ไม่ให้รบกวนกัน

- TPanel : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการทำกรอบ และจัดกลุ่มของข้อมูล คล้ายกับ TGroupbox หรือใช้ในการแสดงข้อความหรือข่าวสาร ให้กับผู้ใช้

กลุ่ม Additional Component

- TBitbtn : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ทำงานใน ลักษณะเดียวกับ TButton แต่สามารถมีรูปภาพแสดงบนปุ่มนอกเหนือจากข้อความ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Bitmap Button

- TSpeedButton : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ทำงาน ในลักษณะเดียวกับ TButton แต่จะใช้ในการสร้างปุ่มบนทูลบาร์

- TTabset : เป็นคอมโพเน้นท์ที่จำลองลักษณะ การดูข้อมูลคล้ายกับที่คั่นหน้าของหนังสือ ผู้ใช้สามารถเลือกดูหน้าที่ต้องการได้ ปกติจะทำงานร่วมกับ TNotebook โดยให้ TNotebook เก็บข้อมูลเพื่อให้ TTabset กำหนดตำแหน่งในหนังสือที่ต้องการแสดง

- TNotebook : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ทำงาน ร่วมกับ TTabset ที่ได้กล่าวมาแล้ว

- TTabbedNotebook : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ ทำงานในลักษณะที่รวมเอา TTabset และ TNotebook เข้าด้วยกัน

- TMaskedit : คล้ายกับ TEdit แต่ผู้เขียนโปรแกรมสามารถกำหนดรูปแบบของการรับข้อมูล เช่น รับข้อมูลวันที่ในรูปแบบ mm/dd/yy หรือรับข้อมูลที่เป็นรูปแบบของหมายเลขโทรศัพท์ (999)999-9999 เป็นต้น

- TOutline : เป็นคอมโพเน้นท์ที่มีลักษณะ คล้ายกับ TListbox ที่แสดงรายการข้อมูลหลายๆ บรรทัด ส่วน TOutline สามารถแสดงรายการข้อมูลโดยการจัดหมวดหมู่เป็นกลุ่มใหญ่/กลุ่มย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ ข้อมูลประเภทนี้ได้แก่ไดเร็คทอรี่ของระบบแฟ้มข้อมูล, ผังบัญชี เป็นต้น

- TStringgrid : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการ แสดงข้อมูลเป็นตาราง 2 มิติ โดยข้อมูลที่แสดงเป็นข้อมูลแบบ text เท่านั้น

- TDrawgrid : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการ แสดงข้อมูลเป็นตาราง 2 มิติ โดยข้อมูลที่แสดงอาจเป็นข้อมูลแบบ text หรือ graphic

- TImage : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการแสดงภาพ

- TShape : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการแสดง รูปทรงต่างๆ เช่น วงกลม,สี่เหลี่ยม เป็นต้น

- TBovel : คล้ายกับ TPanel

- THeader : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการ แบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนๆ สามารถนำไปใช้ในการแสดงผลลัพธ์ของรายงาน โดยมีTHeader ทำการควบคุมความกว้างของแต่ละคอลัมน์ในรายงาน

- TScrollbox : คล้ายกับ TPanel ปกติจะใช้ในการบรรจุข้อมูลบนฟอร์มในกรณีที่มีข้อมูลเป็นจำนวนมาก แต่ขนาดหน้าต่างไม่เพียงพอที่จะแสดง เมื่อใช้ TScrollbox แล้วผู้ใช้สามารถเลื่อนหน้าต่างเพื่อดูข้อมูลบนฟอร์มในจุดต่างๆได้

กลุ่ม Data Access และกลุ่ม Data Control

รายละเอียดของกลุ่มนี้จะได้กล่าวในส่วนของระบบฐานข้อมูล

กลุ่ม Dialogs : เป็นกลุ่มที่ใช้ในการเรียก Common Dialog Box ของวินโดว์สมาทำงาน

- TOpenDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ใน การเปิดแฟ้มข้อมูล โดยผู้เขียนโปรแกรมสามารถระบุประเภทแฟ้มที่ต้องการ เมื่อเรียกขึ้นมาทำงานแล้วจะส่งชื่อแฟ้มกลับมา

- TSaveDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ใน การเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล

- TFontDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ใน การแสดงระบบฟอนต์ในเครื่อง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกฟอนต์ที่ต้องการได้

- TColorDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการเลือกสี

- TPrintDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการ เลือกเครื่องพิมพ์ และกำหนดรายละเอียดการพิมพ์

- TPrintSetupDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ ใช้ในการติดตั้งเครื่องพิมพ์ และเปลี่ยนข้อมูลของเครื่องพิมพ์ เช่น ขนาดกระดาษพิมพ์

- TFindDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการค้นหาข้อมูล

- TReplaceDialogs : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในค้นหาและแทนที่ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม System

- TTimer : เป็นคอมโพเน้นท์ที่เป็นนาฬิกา ใช้ในการจับเวลาหรือทำงานตามเวลาที่ตั้ง

- TPaintBox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ในการ เป็นพื้นที่สำหรับระบายสีหรือวาดรูป

- TFileListBox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่คล้ายกับ TListboxที่แสดงรายชื่อแฟ้มข้อมูลในไดเรคทอรี่ที่ต้องการ

- TDirectoryListBox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ คล้ายกับ TListBoxที่แสดงรายชื่อไดเรคทอรี่ในไดรฟ์ที่ต้องการ

- TDriveComboBox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ คล้ายกับ TComboBoxที่แสดงรายชื่อไดรฟ์ที่มีอยู่ในระบบทั้งหมด

- TFilterComboBox : เป็นคอมโพเน้นท์ที่ใช้ แสดงรายการชื่อแฟ้มที่ต้องการ เช่น ต้องการแสดงชื่อโปรเจ็คไฟล์และยูนิตไฟล์ของเดลไฟล์ให้ระบุ .dprและ .pas ซึ่งเมื่อใช้งานร่วมกับ TFileListBoxก็จะทำให้ แสดงเฉพาะแฟ้มที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอแกรมเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแบบไร้สาย

ที่ภาคส่งใช้คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณข้อมูลดิจิตอลผ่านทางพอร์ตอนุกรม จากนั้นนำสัญญาณข้อมูลดิจิตอลที่ออกมาจากคอมพิวเตอร์ ป้อนเข้าสู่เครื่องส่งสัญญาณไร้สายเพื่อส่งสัญญาณผ่านอากาศ ผ่านทางสายอากาศ ในขณะเดียวกันเครื่องรับสัญญาณภาพ รับสัญญาณที่ส่งมาจากกล้อง แล้วทำการกู้สัญญาณภาพกลับคืนมา หลังจากนั้นส่งสัญญาณภาพเข้าสู่ตัวแปลงสัญญาณเพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นสัญญาณภาพจะไปปรากฏบนเครื่องคอมพิวเตอร์

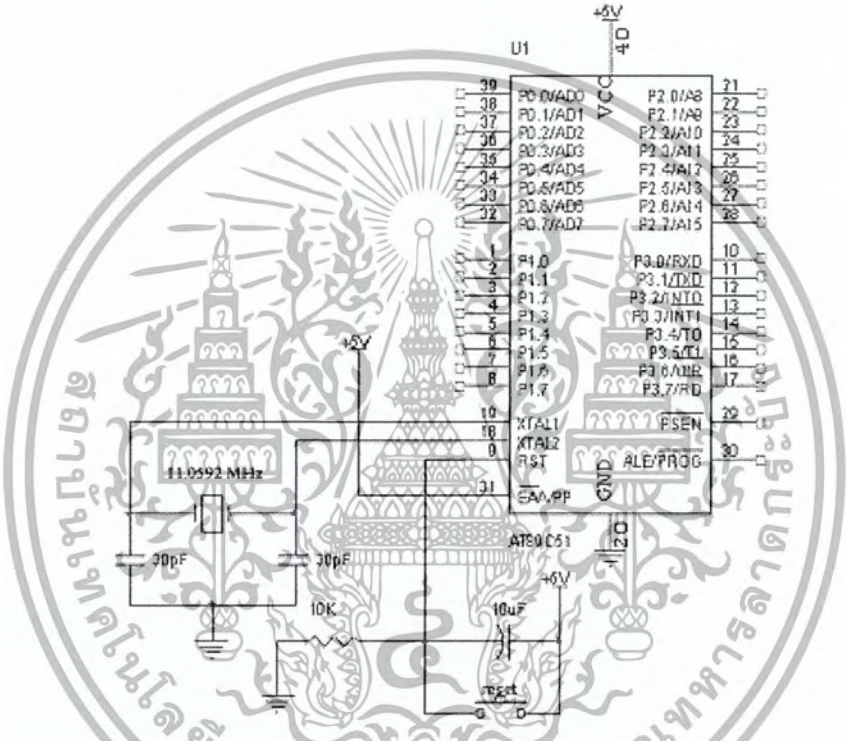
ที่ภาครับ เครื่องรับสัญญาณไร้สายรับสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่ง แล้วทำการกู้สัญญาณเดิมที่เป็นสัญญาณข้อมูลดิจิตอลกลับคืนมา ก่อนป้อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ และกล้อง ในขณะเดียวกันตัวกล้องจะรับแสงแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพ จากนั้นทำการย้ายย่านความถี่เพื่อส่งสัญญาณออกอากาศ ผ่านทางสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

3.1.1.1 การออกแบบภาคควบคุมมอเตอร์

ภาคควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนตัวรถ หลังจากที่รับสัญญาณข้อมูลมาจากคอมพิวเตอร์ที่ผ่านการแปลงระดับแรงดันไฟแล้ว จะส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ โดยต่อวงจรดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมมอเตอร์

ในการหาค่า Baud Rate เราสามารถคำนวณหาได้จากสูตร

$$BaudRate = \frac{2^{SMOD} \times f}{384 \times (256 - TH1)}$$

โดย

- SMOD เท่ากับ 1 หรือ 0 (ถ้าต้องการให้อัตรา Baud Rate เพิ่มขึ้นเป็นหนึ่งเท่าตัวเราสามารถทำได้โดยกำหนด SMOD =1)
- f คือ ความถี่คริสตัลที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- TH1 เท่ากับ Timer/Counter สำหรับกำหนดค่า Baud Rate สำหรับการสื่อสารในโหมด 1 และ 3 จากสูตรข้างต้นสามารถสรุปเป็นดังตาราง 3.1

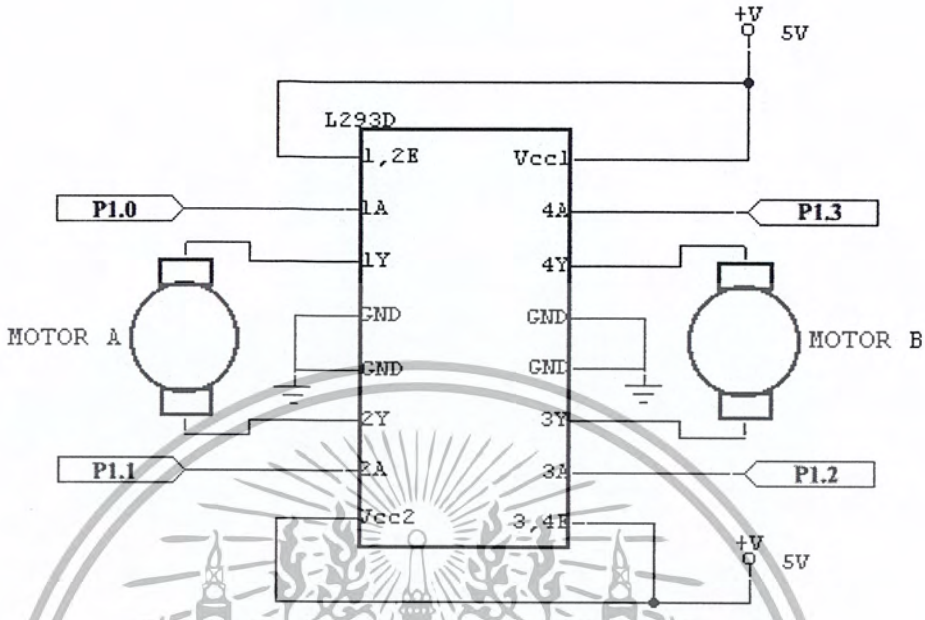
ตารางที่ 3.1 ค่า Baud Rate

Baud Rate	ความถี่คริสตัล	SMOD	TH1
62500	12 MHz	1	FFH
19200	11.0592 MHz	1	FDH
9600	11.0592 MHz	0	FDH
4800	11.0592 MHz	0	FAH
2400	11.0592 MHz	0	F4H
1200	11.0592 MHz	0	E8H

3.1.1.2 การออกแบบวงจรขับกระแสมอเตอร์

เป็นวงจรขับกระแสมอเตอร์กระแสตรงแบบง่ายๆ โดยใช้ไอซีเบอร์ L293D ซึ่งสามารถขับกระแสมอเตอร์กระแสตรงได้ถึงสองตัว และขับกระแสได้สูงสุดถึง 600mA โดยการต่อวงจรดังรูป 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรขับกระแสมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 3.2 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนอินพุตให้กับวงจรขับกระแสมอเตอร์

IN1(3)	IN2(4)	Description
0	0	Motor stops or Breaks
0	1	Motor runs Anti - clockwise
1	0	Motor runs Clockwise
1	1	Motor stops or Breaks

3.1.1.3 การออกแบบตัวรถ

1) ตัวถัง ใช้แผ่นพลาสติกในการสร้างตัวถังรถซึ่งแผ่นพลาสติกนั้นมีคุณสมบัติทนความร้อน แข็งแรง น้ำหนักเบาและราคาถูกเมื่อเทียบกับโลหะ

2) มอเตอร์ ใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 3 V. เป็นตัวขับเคลื่อนล้อรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

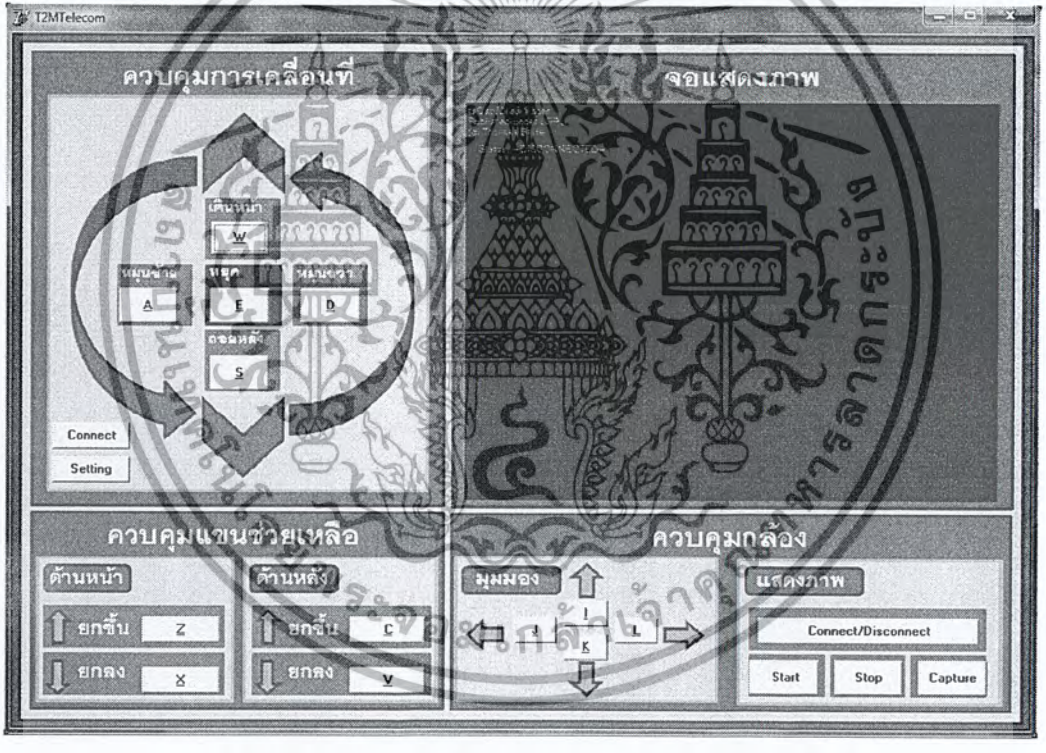
3) ชุดเกียร์ทดรอบ ใช้ชุดเกียร์ทดรอบ 58:1 เพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่ในทางลาดชันได้

4) ล้อ ใช้เป็นแบบตีนตะขาบ เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกสภาพพื้นผิว

3.1.2 การออกแบบทางด้านซอร์ฟแวร์

3.1.2.1 การออกแบบการควบคุมและส่งคำสั่งโดยใช้ภาษาเดลไฟล์

ออกแบบโปรแกรม T2MTelecom ให้เป็นโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ โดยใช้คอมโพเน้นท์ Comport และ TsCap32 เป็นหลัก ซึ่งคอมโพเน้นท์ Comport จะมีหน้าที่ในการส่งคำสั่งที่ต้องการออกพอร์ต ส่วน TsCap32 จะเป็นส่วนของการติดต่อกับกล้องไร้สาย เพื่อนำภาพจากกล้องขึ้นบนโปรแกรม โดยรูปแบบฟอร์มของโปรแกรมที่ออกแบบนั้นเป็นไปตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแบบฟอร์มควบคุมรถของโปรแกรมเดลไฟล์

ปุ่มที่ออกแบบไว้สำหรับส่งข้อมูล สามารถกดได้ด้วยการใช้เม้าคลิกที่ปุ่ม หรือกดที่แป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งการกดที่แป้นพิมพ์นั้น บนแบบฟอร์มควบคุมรถของโปรแกรมเดลไฟล์จะมีการระบุตัวอักษรสำหรับกดบนแป้นพิมพ์ไว้ที่ปุ่มแล้ว นอกจากนี้แต่ละปุ่มยังมีคำกำกับไว้ว่าแต่ละปุ่มจะให้รถผกระทำการแบบไหน เพื่อให้ผู้ใช้สะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่มต่างๆสำหรับการส่งข้อมูลออกไป และการกระทำที่จะเกิดขึ้นเมื่อรถได้รับข้อมูล แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

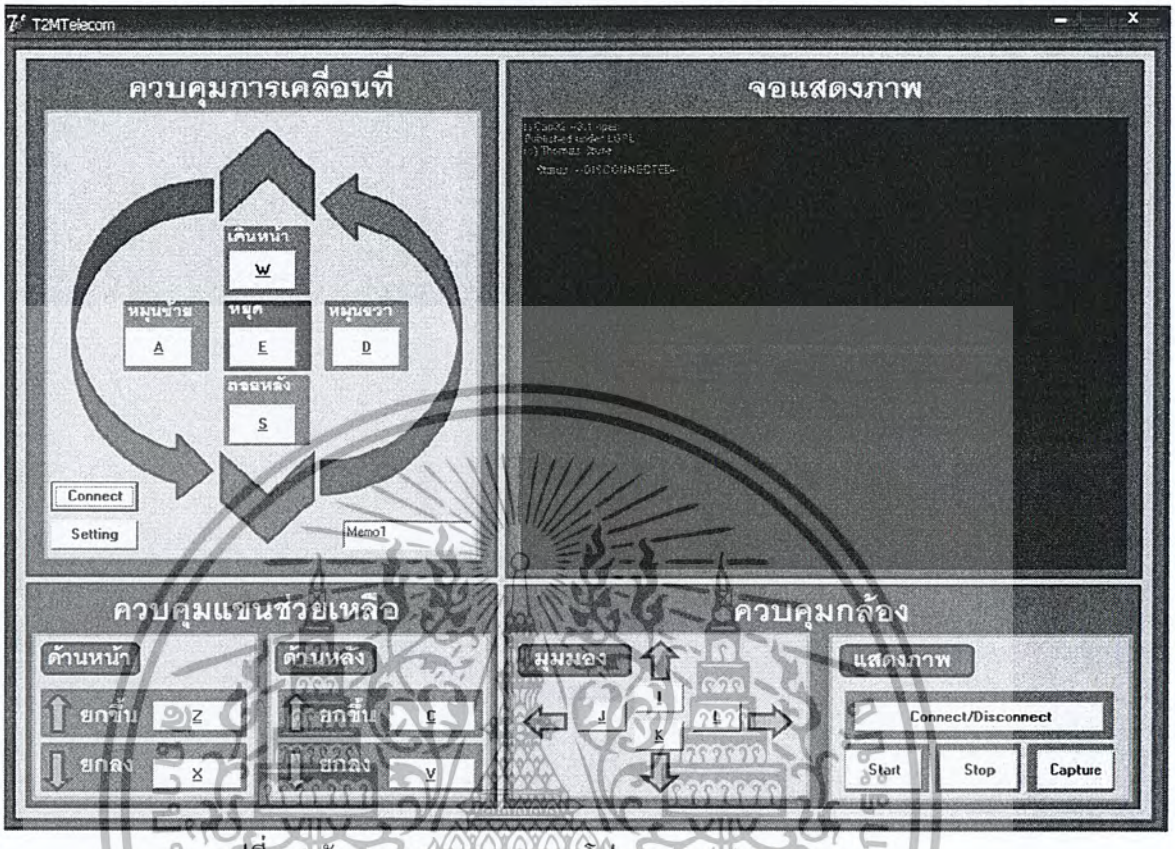
ตารางที่ 3.3 การกำหนดลักษณะการทำงานของโปรแกรม

Character ที่กด	Character ที่ส่ง	การกระทำ
W	A	เดินหน้า
S	B	ถอยหลัง
A	C	เลี้ยวซ้าย
D	D	เลี้ยวขวา
Z	1	ยกแขนหน้าขึ้น
X	2	ยกแขนหน้าลง
C	3	ยกแขนหลังขึ้น
V	4	ยกแขนหลังลง
I	5	กล้องหมุนซ้าย
K	6	กล้องหมุนขวา
J	7	กล้องยกขึ้น
L	8	กล้องยกลง
E	0	หยุด

3.1.2.2 การใช้งานโปรแกรม T2MTelecom

1. เปิดโปรแกรม T2MTelecom ขึ้นมา จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



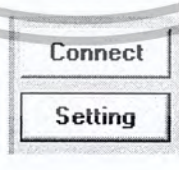
รูปที่ 3.5 ลักษณะแผงควบคุมของโปรแกรม T2MTelecom

ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

ส่วนของปุ่มเชื่อมต่อกับพอร์ตเพื่อส่งข้อมูล

-Connect/Disconnect

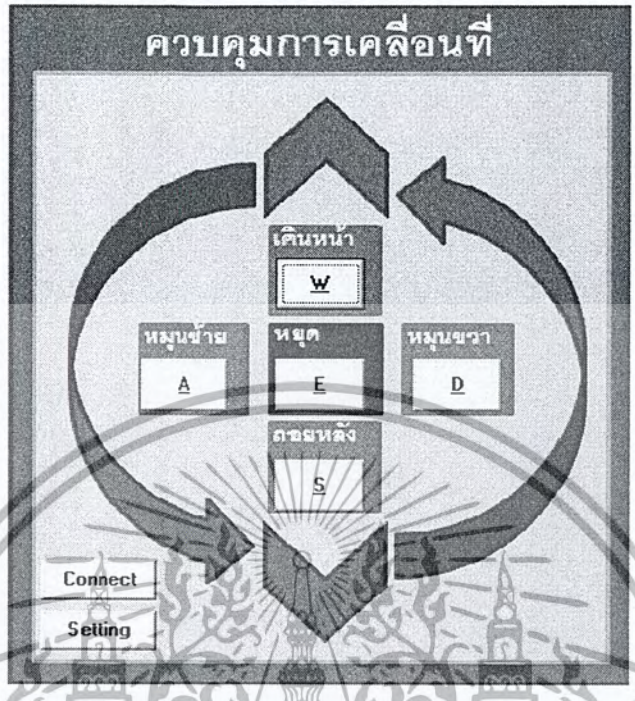
-Setting



รูปที่ 3.6 ลักษณะปุ่ม Connect/Disconnect และ ปุ่ม Setting

ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



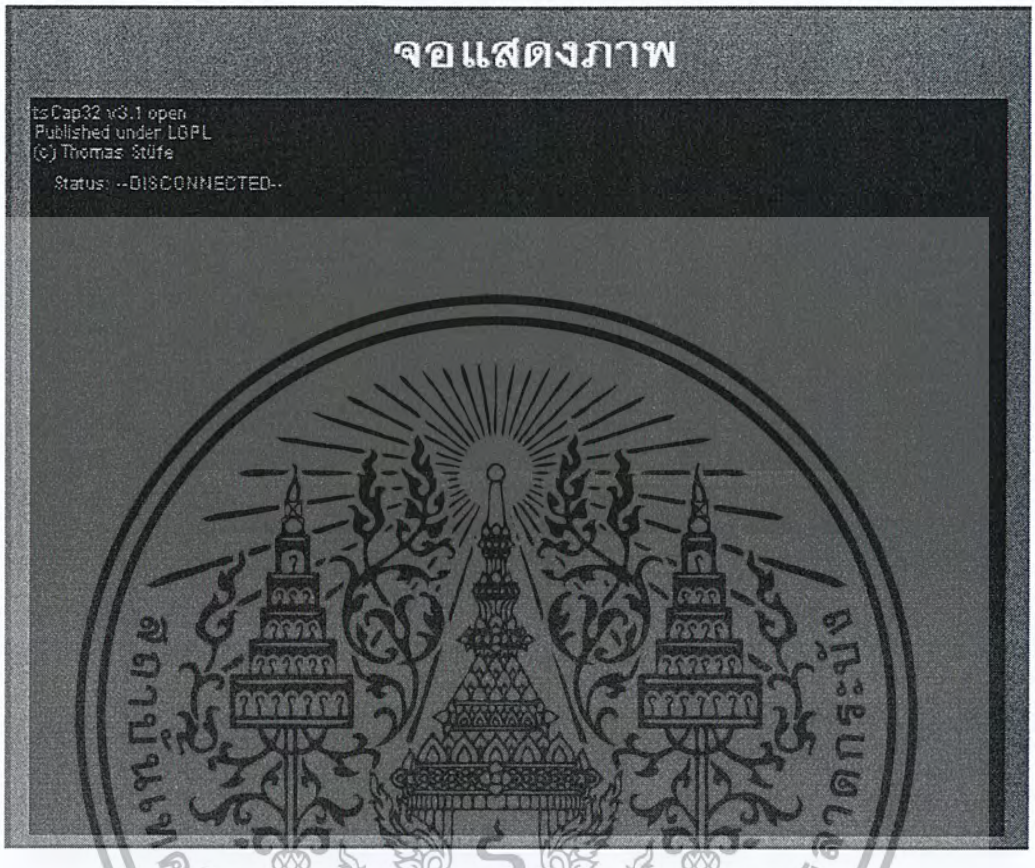
รูปที่ 3.7 ลักษณะแผงควบคุมการเคลื่อนที่

ส่วนควบคุมแขนช่วยเหลือ

รูปที่ 3.8 ลักษณะแผงควบคุมแขนช่วยเหลือ

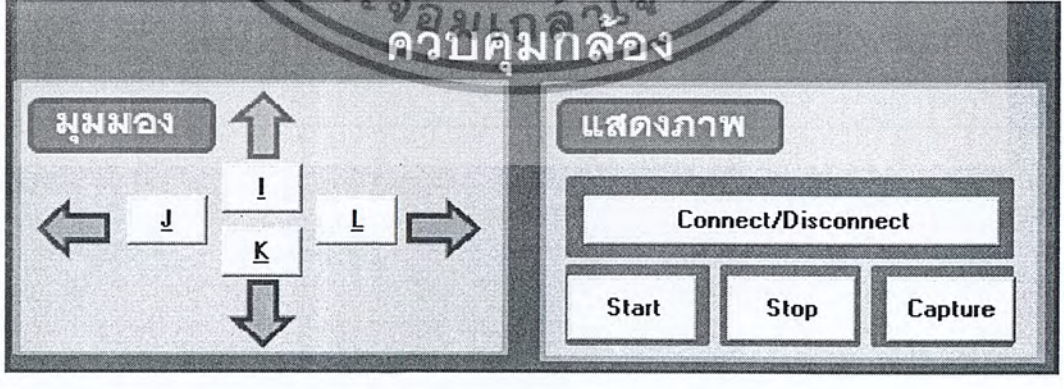
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนจอแสดงภาพ



รูปที่ 3.9 จอแสดงภาพ

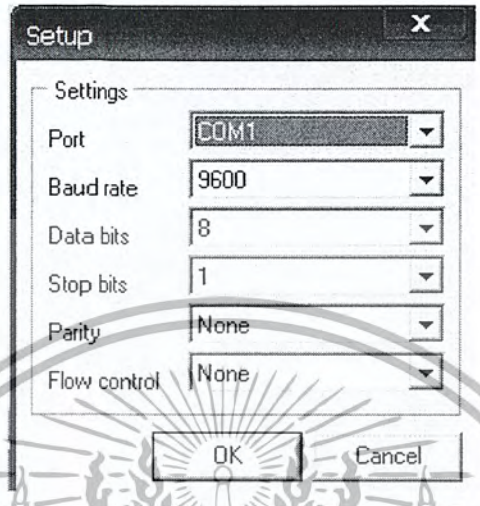
ส่วนปุ่มควบคุมมุมมอง



รูปที่ 3.10 ลักษณะแผงควบคุมกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กดปุ่ม Setting เพื่อทำการกำหนดเงื่อนไขในการส่งข้อมูล ดังที่แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เงื่อนไขที่ต้องกำหนดสำหรับการส่งข้อมูล

3.กดปุ่ม Connect เพื่อทำการติดต่อกับพอร์ต สำหรับการส่งข้อมูลออกไป

4.กดปุ่ม Connect/Disconnect ในส่วนของการแสดงภาพ เพื่อติดต่อกับกล้องไร้สาย

5.หากต้องการบันทึกเป็นไฟล์ Video นามสกุล .avi ให้กดปุ่ม Start และเมื่อต้องการหยุดการบันทึก Video ให้กดปุ่ม Stop

6.หากต้องการบันทึกเป็นภาพนิ่งให้กดปุ่ม Capture

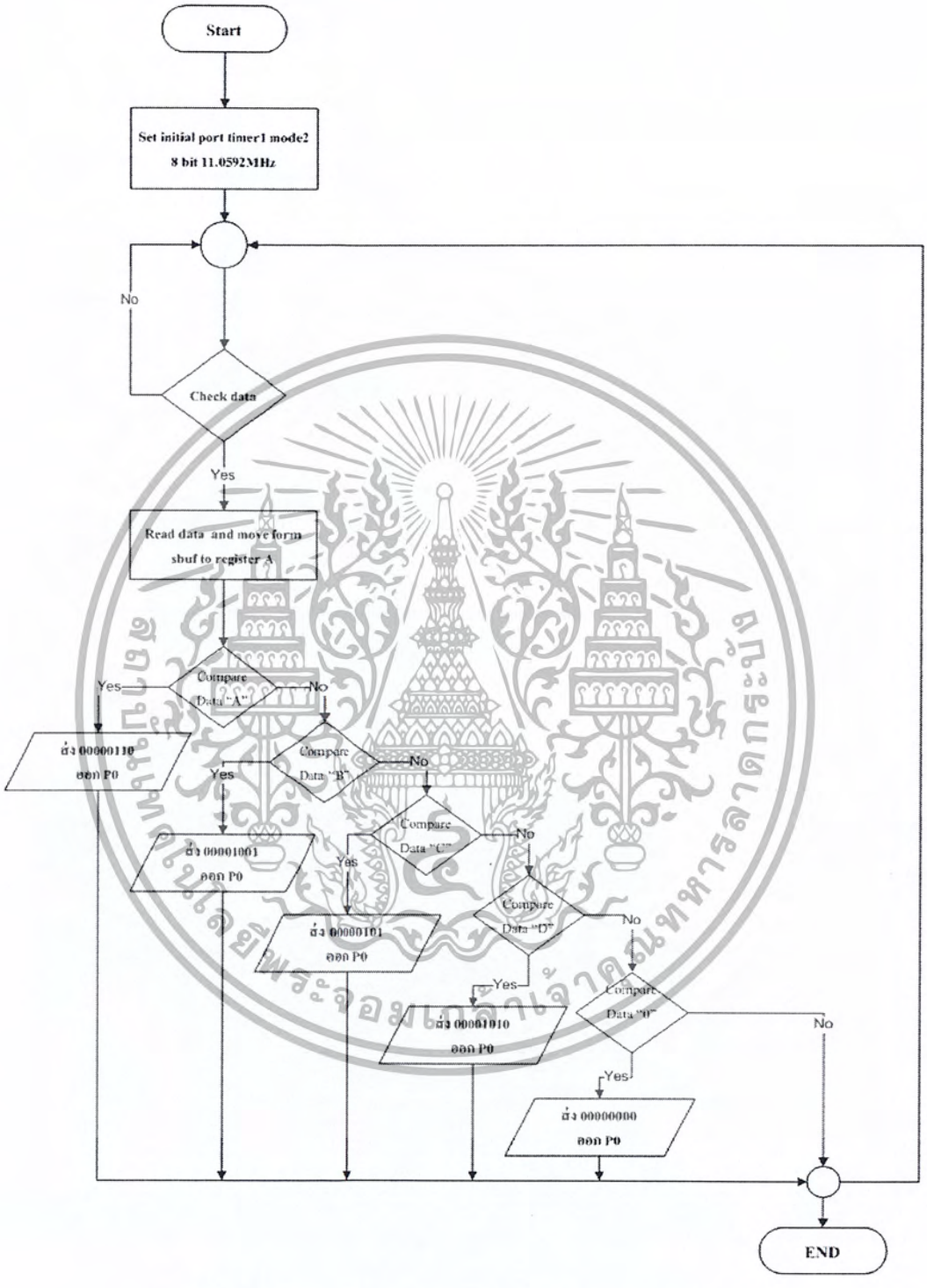
7.ควบคุมการเคลื่อนที่ของรถในส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่โดยดูผ่านกล้อง และกดปุ่มคำสั่งที่ปรากฏอยู่บนโปรแกรม

8.ควบคุมการมองเห็นโดยการกดปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ของกล้อง ในส่วนของการแสดงภาพ

3.1.2.3 การออกแบบการควบคุมการทำงานของ MCS-51

ออกแบบโปรแกรมเพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมวงจรไฮบริดจ์ของมอเตอร์ขับเคลื่อนตัวรถ โดยมีการออกแบบโปรแกรมแสดงเป็นแผนภาพการทำงาน (Flowchart) ได้ดังรูปที่ 3.12 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การออกแบบการควบคุมการทำงานของ MCS -51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการจัดทำโครงงานได้ใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1) Power Supply ใช้ในการป้อนแรงดันไฟให้กับวงจร

2) Multi-Meter ใช้วัดการ Overload ของวงจร

3) Computer ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแลใช้ในการเขียนโปรแกรม

4) Oscilloscope ใช้ในการวัดสัญญาณควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ

5) Spectrum analyzer ใช้วัดสัญญาณของโมดูลซิกบีในโดเมนของความถี่

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

ในการทดลองโครงงาน มีวิธีการวัดผลดังนี้

1) การจัดเก็บผลการทดลองทางด้านซอร์ฟแวร์

ขั้นตอนการวัดผลทางด้านซอร์ฟแวร์เริ่มโดยการเขียนโปรแกรมแล้ววัดผลตามที่ได้กำหนดไว้ในแผนภาพการทำงาน(Flowchart) เช่น โปรแกรมเคลไฟล์ก็วัดสัญญาณที่โปรแกรมได้ส่งข้อมูลออกมาทางพอร์ต COM1 ว่าสามารถส่งข้อมูลได้ตามจริง ที่ได้กำหนดหรือไม่ ส่วนโปรแกรมที่ในการควบคุมการทำงานของ MCS-51 โดยการต่อวงจรตามรูป3.12แล้วทำการป้อนสัญญาณจากคอมพิวเตอร์โดยกดที่แป้นพิมพ์แล้ววัดค่าที่พอร์ต P1.0 ถึง P1.7 ของไมโครคอนโทรเลอร์

2) การจัดเก็บผลการทดลองทางด้านฮาร์ดแวร์

- วัดสเปกตรัมของโมดูล Xbee พร้อมคำนวณกำลัง
- วัดความไวของโมดูล Xbee และระยะทางในการรับส่งข้อมูล
- วัดอัตราบิตผิดพลาดของโมดูล Xbee
- วัดสเปกตรัมของสัญญาณภาพและเสียงของกล้องไร้สาย พร้อมทั้งคำนวณ กำลัง,SNR และ THD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลจากซอร์ฟแวร์ผ่านโมดูล Xbee ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

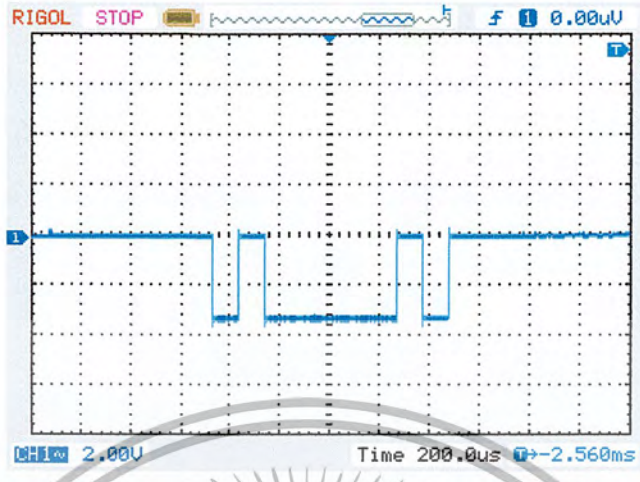
ทำการวัดสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งจากซอร์ฟแวร์ผ่านโมดูล Xbee ภาคส่งไปยังโมดูล Xbee ภาครับที่อยู่ติดกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาท์พุตจาก Xbee ภาครับ

4.1.1 ผลการทดสอบกดปุ่มเดินหน้า

เมื่อกดปุ่ม เดินหน้า[W] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล 'A' ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล 'A' จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.1 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ 'A' ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ '0100 0001'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



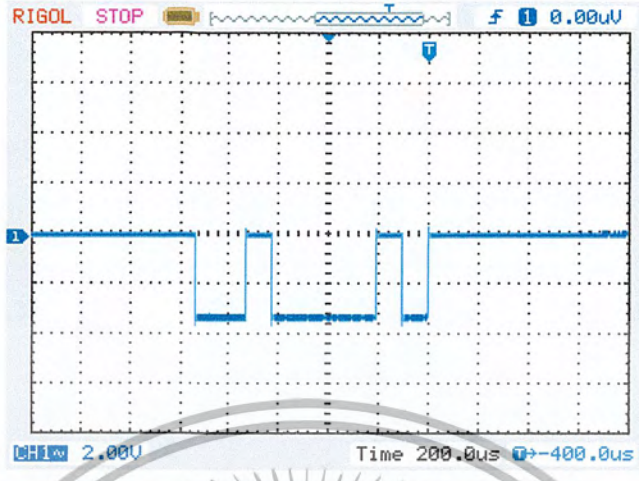
รูปที่ 4.1 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ ‘A’ ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0100 0001’

4.1.2 ผลการทดสอบกดปุ่มถอยหลัง

เมื่อกดปุ่ม ถอยหลัง[S] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล ‘B’ ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล ‘B’ จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถเคลื่อนที่ถอยหลัง

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.2 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ ‘B’ ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0100 0010’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



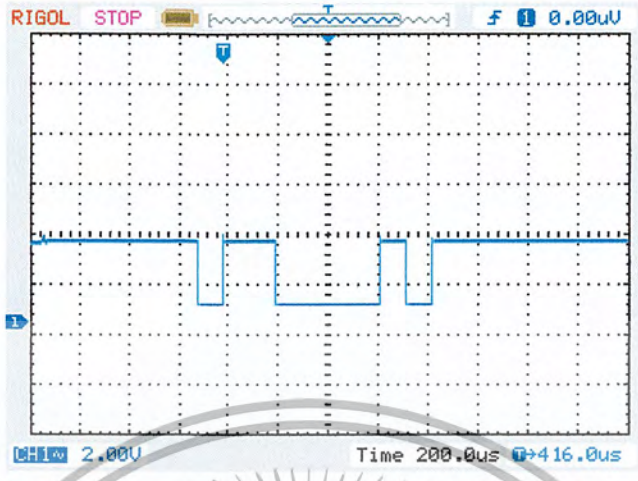
รูปที่ 4.2 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ 'B' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0100 0010'

4.1.3 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนซ้าย

เมื่อกดปุ่ม หมุนซ้าย[A] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล 'C' ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล 'C' จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถหมุนซ้าย

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.3 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ 'C' ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ '0100 0011'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



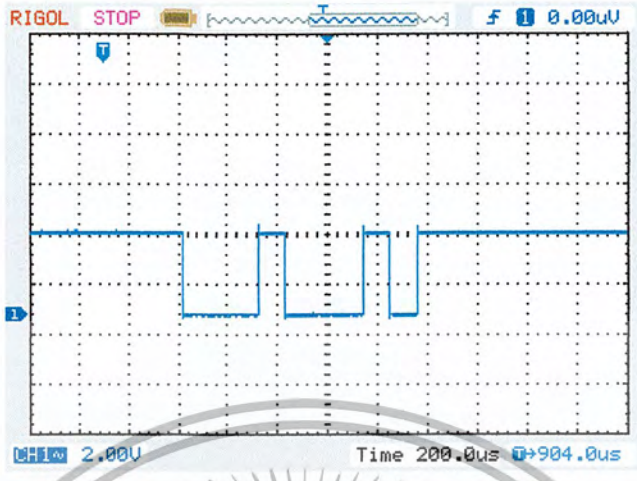
รูปที่ 4.3 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ ‘C’ ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0100 0011’

4.1.4 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนขวา

เมื่อกดปุ่ม หมุนขวา[D] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล ‘D’ ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล ‘D’ จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถหมุนขวา

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.4 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ ‘D’ ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0100 0100’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



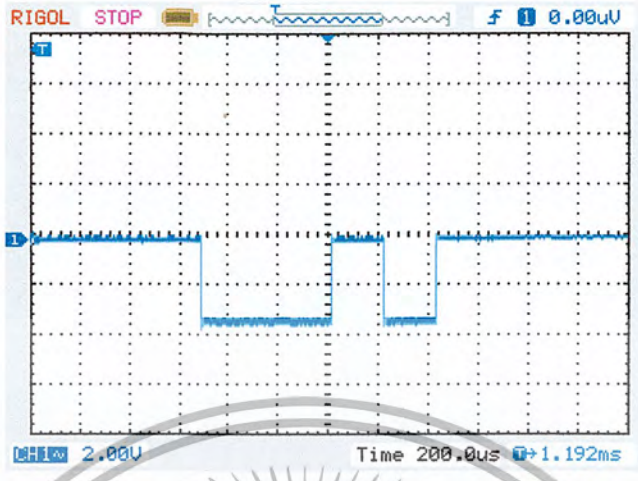
รูปที่ 4.4 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ ‘D’ ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0100 0100’

4.1.5 ผลการทดสอบกดปุ่มหยุด

เมื่อกดปุ่ม หยุด[E] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล ‘0’ ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล ‘0’ จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถหยุดการทำงาน

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.5 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ ‘0’ ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0011 0000’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



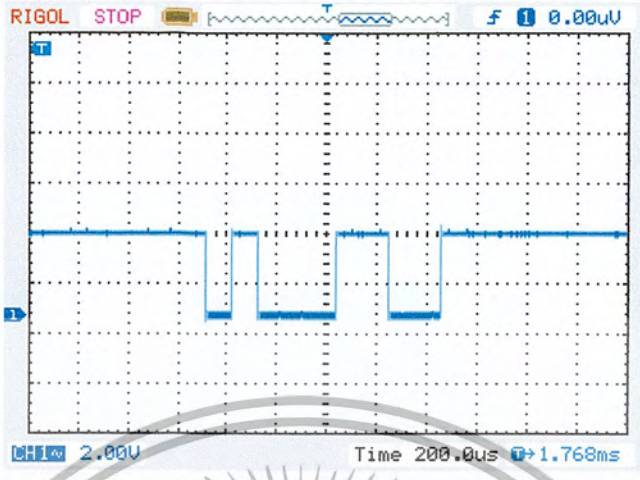
รูปที่ 4.5 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ ‘0’ ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0011 0000’

4.1.6 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหน้าขึ้น

เมื่อกดปุ่ม ยกแขนด้านหน้าขึ้น[Z] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล ‘1’ ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล ‘1’ จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถยกแขนด้านหน้าขึ้น

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.6 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ ‘1’ ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0011 0001’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



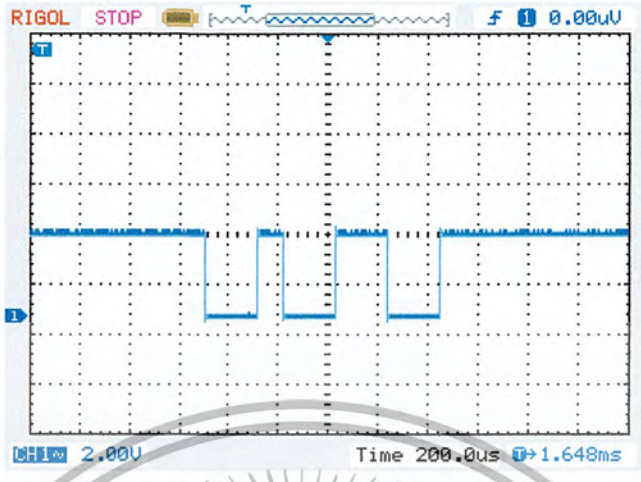
รูปที่ 4.6 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '1' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0001'

4.1.7 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหน้าลง

เมื่อกดปุ่ม ยกแขนด้านหน้าลง[X] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล '2' ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล '2' จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถยกแขนด้านหน้าลง

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.7 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ '2' ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0010'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



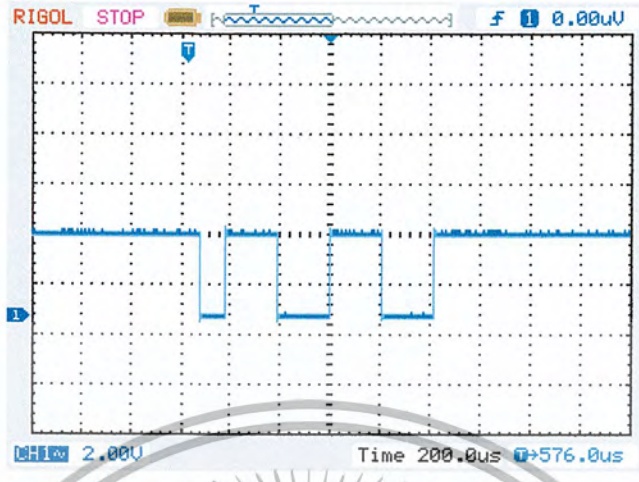
รูปที่ 4.7 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '2' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0010'

4.1.8 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหลังขึ้น

เมื่อกดปุ่ม ยกแขนด้านหลังขึ้น[C] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล '3' ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล '3' จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถยกแขนด้านหลังขึ้น

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.8 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ '3' ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0011'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



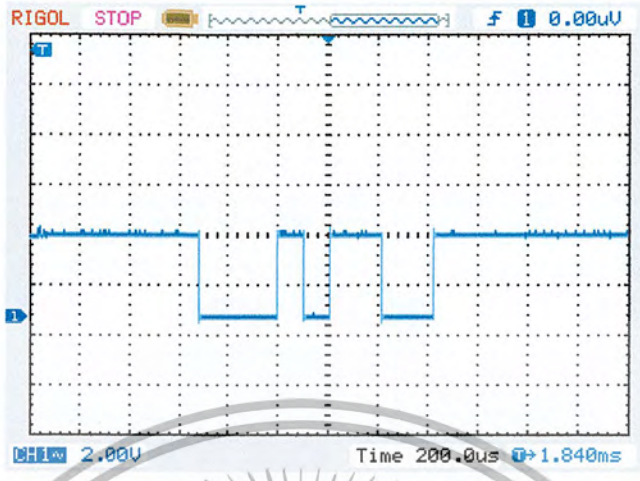
รูปที่ 4.8 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '3' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0011'

4.1.9 ผลการทดสอบกดปุ่มยกแขนด้านหลังลง

เมื่อกดปุ่ม ยกแขนด้านหลังลง[V] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล '4' ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล '4' จาก Xbee ภาครับ ทำให้รถยกแขนด้านหลังลง

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.9 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ '4' ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0100'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



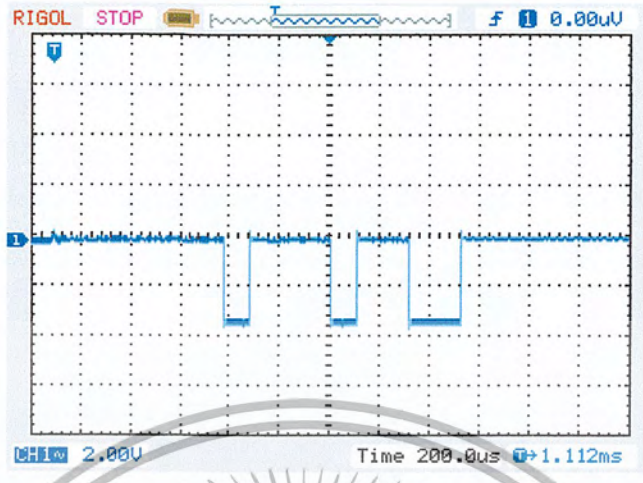
รูปที่ 4.9 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ ‘4’ ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0011 0100’

4.1.10 ผลการทดสอบกดปุ่มควบคุมมุมกล้องเงยขึ้น

เมื่อกดปุ่ม ควบคุมมุมกล้องเงยขึ้น[I] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล ‘7’ ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล ‘7’ จาก Xbee ภาครับ ทำให้กล้องเงยขึ้น

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.10 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ ‘7’ ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0011 0111’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



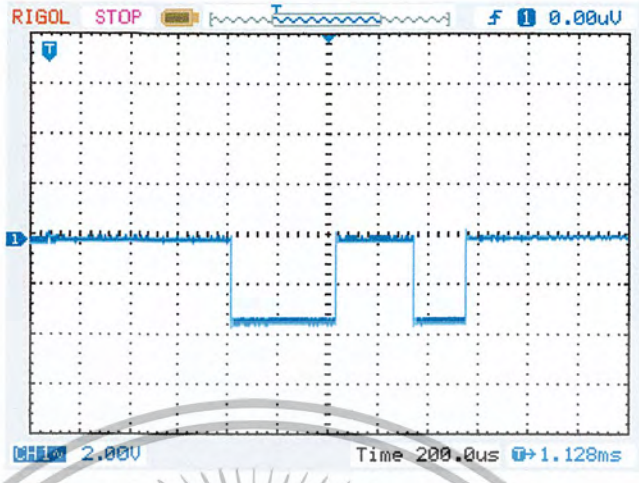
รูปที่ 4.10 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '7' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0111'

4.1.11 ผลการทดสอบกดปุ่มควบคุมมุมกล้องต่ำลง

เมื่อกดปุ่ม ควบคุมมุมกล้องต่ำลง[K] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล '8' ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล '8' จาก Xbee ภาครับ ทำให้กล้องกดต่ำลง

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.11 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ '8' ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 1000'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



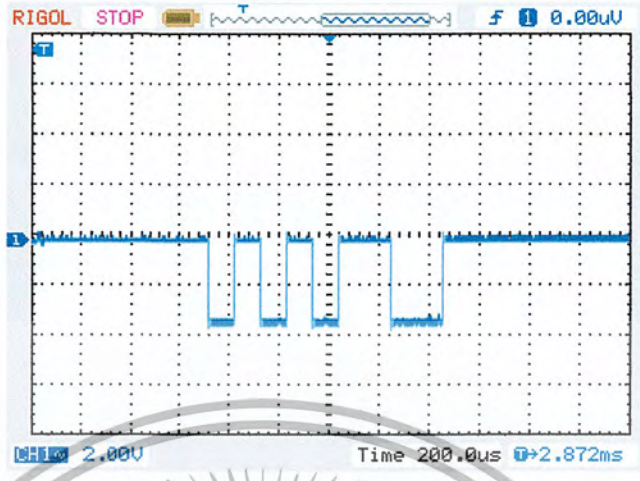
รูปที่ 4.11 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ ‘8’ ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0011 1000’

4.1.12 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนกล้องไปทางซ้าย

เมื่อกดปุ่ม หมุนกล้องไปทางซ้าย[J] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล ‘5’ ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล ‘5’ จาก Xbee ภาครับ ทำให้กล้องหมุนไปทางซ้าย

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.12 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ ‘5’ ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ ‘0011 0101’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



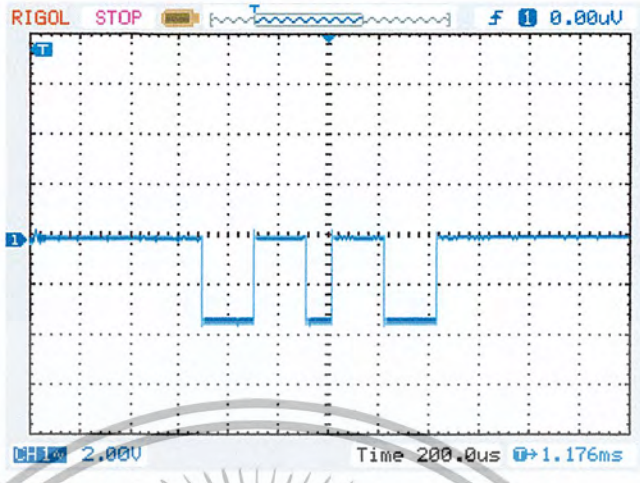
รูปที่ 4.12 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '5' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0101'

4.1.13 ผลการทดสอบกดปุ่มหมุนกล้องไปทางขวา

เมื่อกดปุ่ม หมุนกล้องไปทางขวา[L] จากโปรแกรม โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูล '6' ออกทาง พอร์ตอนุกรมไปยัง Xbee ภาคส่งและ Xbee ภาคส่งจะส่งข้อมูลผ่านอากาศไปยัง Xbee ภาครับ ต่อจากนั้น Xbee ภาครับจะส่งข้อมูลที่ได้รับ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล '6' จาก Xbee ภาครับ ทำให้กล้องหมุนไปทางซ้าย

วัดสัญญาณที่ Xbee ด้านรับ โดยสัญญาณที่ทำการวัดนั้น ได้ผลดังรูปที่ 4.13 ซึ่งข้อมูล ASCII ของ '6' ที่ถูกส่งออกมานั้น เมื่อแปลงเป็น Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0110'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

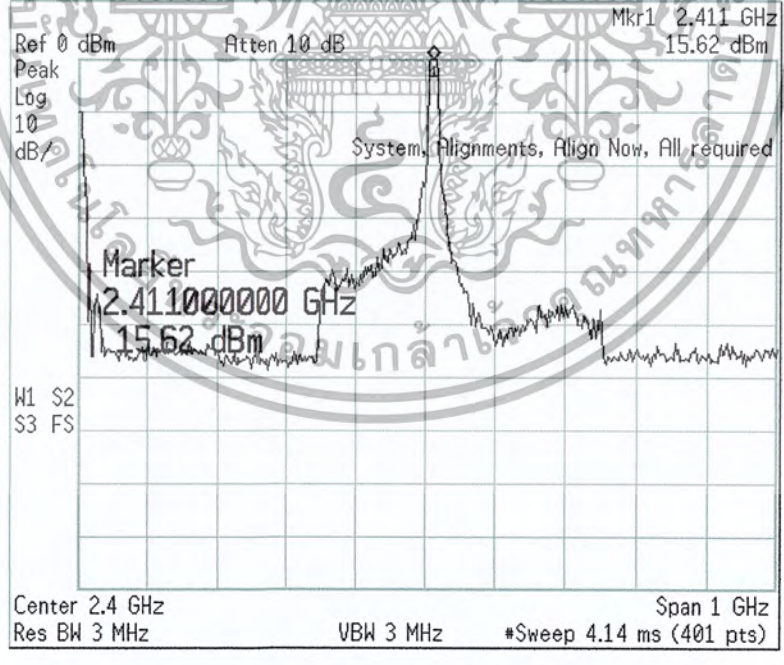


รูปที่ 4.13 CH1:สัญญาณข้อมูล Binary Code ของ '6' ที่ทำการวัดที่โมดูล Xbee ภาครับ

Binary Code มีค่าเท่ากับ '0011 0110'

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลซิกบี

4.2.1 วัดสเปกตรัมของโมดูลXbee



รูปที่ 4.14 สัญญาณที่วัดได้จากเครื่องส่งไร้สาย

ที่ Marker1 สเปกตรัมมีขนาด 15.62 dBm (36.48mW) ความถี่ 2.411 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของสัญญาณ P_r ที่ระยะทาง 100 เมตร เกนสายอากาศฝั่งส่งและฝั่งรับเท่ากับ 1.5 dBi หาได้จากสมการเรนจ์ (range equation)

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L_s}$$

$$L_s = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2}$$

$$L_s = 10\log_{10}\left[\frac{(4\times\pi\times100)^2}{0.1244^2}\right]$$

$$L_s = 80.08dB$$

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t(dBi) + G_r(dBi) - L_s(dB)$$

$$P_r(dBm) = 15.62(dBm) + 1.5(dBi) + 1.5(dBi) - 80.08(dB)$$

$$P_r(dBm) = -61.46(dBm)$$

ค่าเอสเอนอาร์ของระบบดิจิตอลหาได้จาก $\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r}{N_0}\times\frac{1}{R_b}$

$$\frac{E_b}{N_0}(dBm) = \left[\frac{P_r}{N_0}\right](dBm) + 10\log_{10}\left(\frac{1}{R_b}\right)$$

$$\frac{E_b}{N_0}(dBm) = -61.46(dBm) + 10\log_{10}\left(\frac{1}{86400}\right)$$

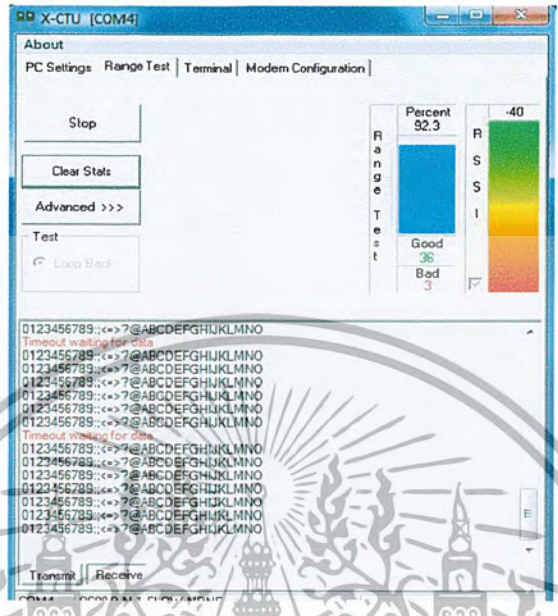
$$\frac{E_b}{N_0}(dBm) = -61.46(dBm) - 49.36(dB)$$

$$\frac{E_b}{N_0}(dBm) = -110.82(dBm)$$

ดังนั้นค่าเอสเอนอาร์ระบบดิจิตอลมีค่าเท่ากับ -110.82 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วัดค่า Receive Signal Strength Indicator (RSSI) เทียบกับระยะทาง



รูปที่ 4.15 โปรแกรมวัดค่า RSSI

จากโปรแกรมวัดค่า RSSI ของเครื่องรับที่ระยะทางเท่ากับศูนย์มีค่า RSSI เป็น -40 dBm และจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นดังข้อมูลในตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 การวัดค่า RSSI เทียบกับ ระยะทาง

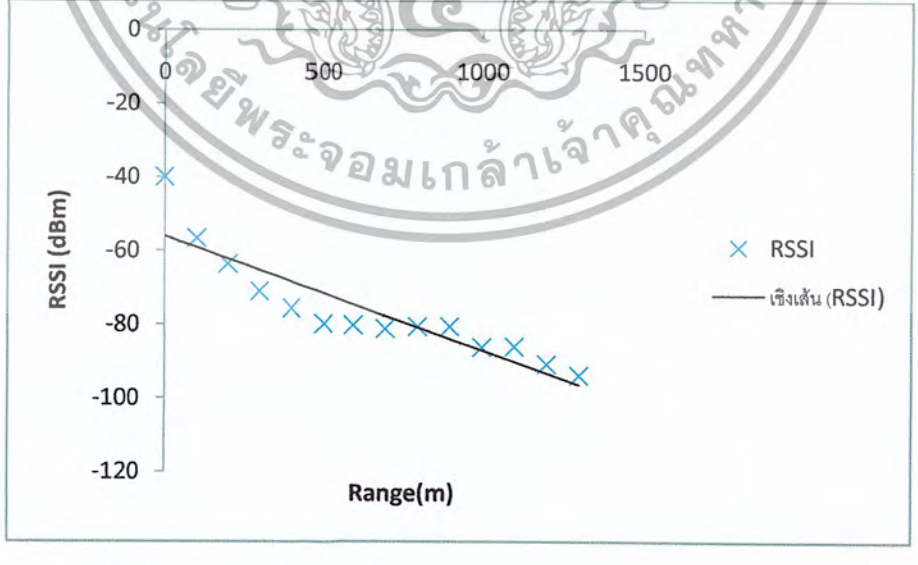
ระยะทาง	RSSI(1)	RSSI(2)	RSSI(3)	RSSI(4)	RSSI(5)	RSSI(avg)
0	-40	-40	-40	-40	-40	-40
100	-54	-62	-49	-63	-55	-55.6
200	-57	-65	-59	-66	-71	-63.6
300	-61	-75	-75	-71	-73	-71
400	-79	-69	-75	-78	-77	-75.6
500	-79	-81	-83	-79	-77	-79.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การวัดค่า RSSI เทียบกับ ระยะทาง (ต่อ)

ระยะทาง	RSSI(1)	RSSI(2)	RSSI(3)	RSSI(4)	RSSI(5)	RSSI(avg)
600	-81	-83	-79	-80	-78	-80.2
700	-81	-79	-81	-83	-82	-81.2
800	-81	-82	-79	-78	-83	-80.6
900	-80	-81	-81	-79	-82	-80.6
1000	-86	-86	-89	-87	-83	-86.2
1100	-89	-87	-84	-81	-89	-86
1200	-91	-89	-94	-89	-91	-90.8
1300	-89	-94	-91	-98	-97	-93.8

ตาราง 4.1 เป็นการวัดค่า RSSI (dBm) เทียบกับระยะทาง (เมตร) จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของ RSSI ที่ระยะทางต่างๆ แล้วทำการพล็อตกราฟจะได้ดังรูป 4.16



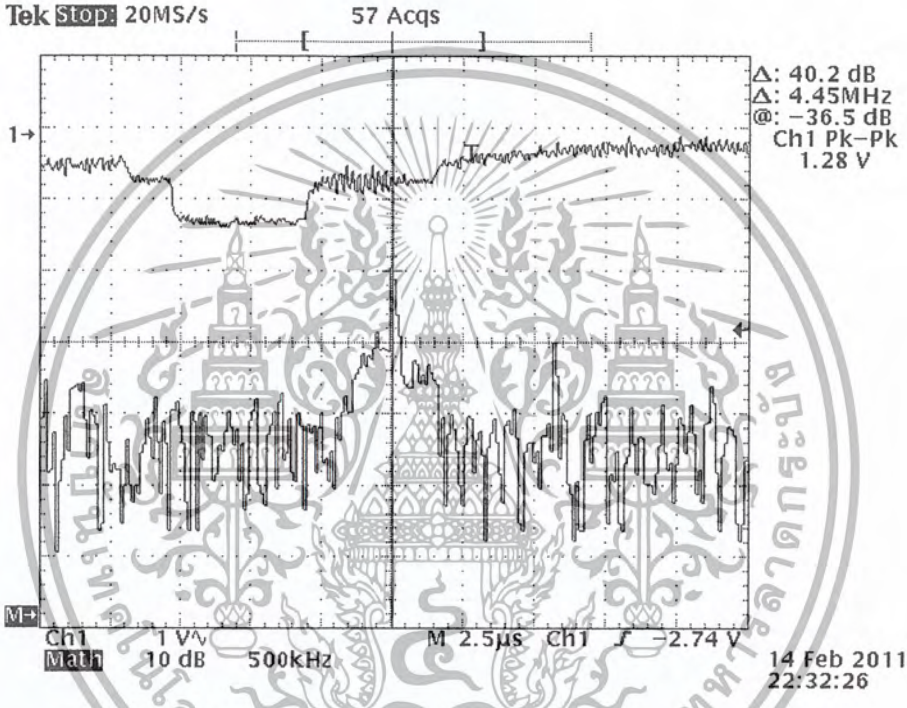
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI ที่ตัวรับโมดูล Xbee กับระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่า RSSI จะมีค่าลดลง ซึ่งระยะทางสูงสุดที่สามารถวัดค่า RSSI ได้เท่ากับ 1300 เมตร โดยค่า RSSI เฉลี่ยเท่ากับ -93.8 dBm ดังนั้นความไวของเครื่องรับนี้มีค่าประมาณ -93.8 dBm ที่ระยะทาง 1300 เมตร

4.3 ผลการทดสอบของกล้องไร้สาย

4.3.1 ผลการทดสอบสัญญาณภาพจากกล้องไร้สาย



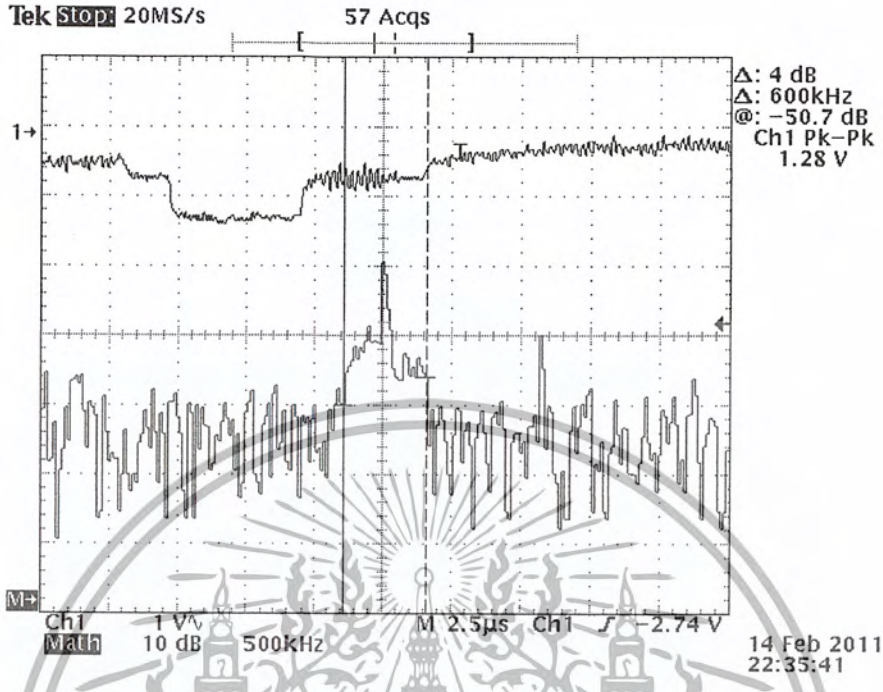
รูปที่ 4.17 สัญญาณภาพที่วัดได้จากเครื่องรับภาพ

Ch1. สัญญาณภาพที่วัดได้จากเครื่องรับสัญญาณภาพ

Math.สเปกตรัมของสัญญาณภาพ

ที่ Ch1. เป็นสัญญาณภาพที่วัดได้มีขนาด 1.28 Vpp และที่ Math เป็นสเปกตรัมของสัญญาณภาพระบบ PAL มีค่าสูงสุดที่ความถี่ 4.45 MHz ขนาด -36.5 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณภาพที่วัดได้จากเครื่องรับภาพ

Ch1. สัญญาณภาพที่วัดได้จากเครื่องรับสัญญาณภาพ

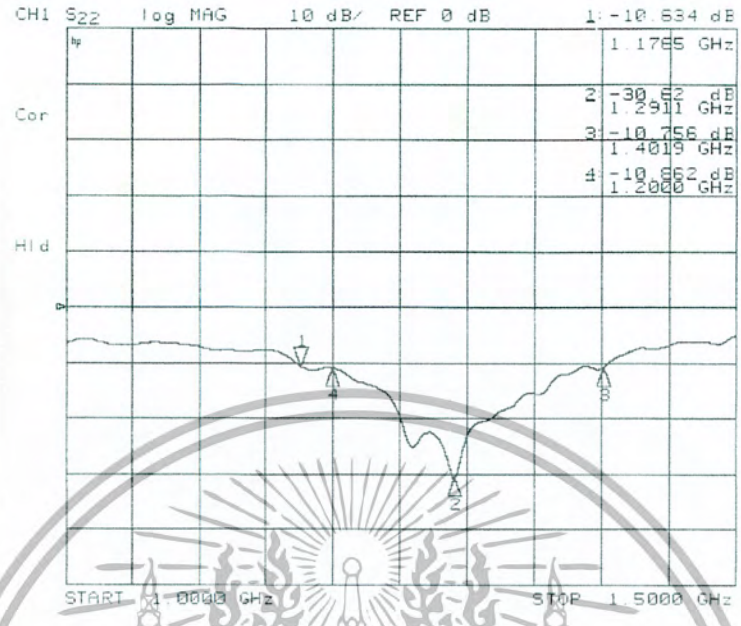
Math.สเปกตรัมของสัญญาณภาพ

ที่ Ch1. เป็นสัญญาณภาพที่วัดได้มีขนาด 1.28 Vpp และที่ Math เป็นสเปกตรัมของสัญญาณภาพระบบ PAL ที่เกิดขึ้น ความกว้างของสเปกตรัมมีค่าเท่ากับ 600 kHz อยู่ในช่วงความถี่ประมาณ 4.15 – 4.75 MHz

4.3.2 ผลการทดสอบสายอากาศของเครื่องรับสัญญาณภาพ

ผลการทดสอบค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเครื่องรับสัญญาณภาพที่ความถี่ต่างๆ

จากรูปจะเห็นว่าที่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าน้อยสุดที่ตำแหน่งหมายเลข 2 มีค่า -30.62 dB สายอากาศสามารถใช้งานได้ดีที่ความถี่ 1.2911 GHz

สามารถคำนวณหา Voltage Standing Wave Ratio ได้จาก Return Loss

$$R.L.(dB) = -20\log|\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 10^{\frac{R.L.(dB)}{20}}$$

$$|\Gamma| = 10^{\frac{[-30.62.(dB)]}{20}}$$

$$|\Gamma| = 10^{1.531}$$

$$|\Gamma| = 34$$

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

$$VSWR = \frac{1+|34|}{1-|34|}$$

$$VSWR = 1.06$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การทดสอบวงจรควบคุมมอเตอร์

ในการทดสอบเราใช้ซอร์ฟแวร์บนคอมพิวเตอร์ในการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิตอลเพื่อควบคุมให้มอเตอร์แต่ละตัวทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาได้

5.1.2 การทดสอบเครื่องส่ง – รับสัญญาณไร้สาย

จากการทดสอบเครื่องส่ง – รับสัญญาณไร้สาย สามารถส่ง – รับสัญญาณข้อมูลดิจิตอลได้ โดยสังเกตได้จากสัญญาณข้อมูลดิจิตอลที่วัดได้ทางด้านเครื่องรับ และสัญญาณข้อมูลที่รับได้เริ่มผิดพลาดที่ระยะทางมากกว่า 100 เมตร (Line of sight)

5.1.3 การทดสอบกล้องไร้สาย

การทดสอบกล้องไร้สาย สามารถรับสัญญาณภาพจากกล้องได้ โดยสังเกตได้จากสเปกตรัมและภาพที่ปรากฏ ทั้งนี้สัญญาณภาพจะมีความคมชัดน้อยลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น และสัญญาณภาพจะหายไปเมื่อระยะทางมากกว่า 10 เมตร (Line of sight)

5.1.4 การทดสอบซอร์ฟแวร์ T2MTelecom

การทดสอบซอร์ฟแวร์ T2MTelecom สามารถใช้งานได้ดีบนระบบปฏิบัติการ Windows XP และสามารถทำงานในส่วนของการควบคุมรถได้ดังนี้

ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

เมื่อกดปุ่ม W หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มเดินหน้าที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวรถเคลื่อนที่เดินหน้า

เมื่อกดปุ่ม S หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มถอยหลังที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวรถเคลื่อนที่ถอยหลัง

เมื่อกดปุ่ม A หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มเลี้ยวซ้ายที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวรถเลี้ยวซ้าย

เมื่อกดปุ่ม D หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มเลี้ยวขวาที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวรถเลี้ยวขวา

เมื่อกดปุ่ม E หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มหยุดที่ตัวโปรแกรม ทำให้รถหยุดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนควบคุมแขนช่วยเหลือ

เมื่อกดปุ่ม Z หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มยกแขนหน้าขึ้นที่ตัวโปรแกรม ทำให้แขนหน้ายกขึ้น

เมื่อกดปุ่ม X หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มยกแขนหน้าลงที่ตัวโปรแกรม ทำให้แขนหน้าถูกยกลง

เมื่อกดปุ่ม C หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มยกแขนหลังขึ้นที่ตัวโปรแกรม ทำให้แขนหลังยกขึ้น

เมื่อกดปุ่ม V หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มยกแขนหลังลงที่ตัวโปรแกรม ทำให้แขนหลังถูกยกลง

ส่วนควบคุมกล้อง

เมื่อกดปุ่ม I หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มเงยกล้องขึ้นที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวกล้องเงยขึ้น

เมื่อกดปุ่ม K หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มกดกล้องต่ำลงที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวกล้องก้มลง

เมื่อกดปุ่ม J หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มกล้องหมุนซ้ายที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวกล้องหมุนซ้าย

เมื่อกดปุ่ม L หรือใช้เม้าส์คลิกปุ่มกล้องหมุนขวาที่ตัวโปรแกรม ทำให้ตัวกล้องหมุนขวา

ส่วนของการรับภาพ

สามารถแสดงภาพบนซอร์ฟแวร์ อีกทั้งยังสามารถบันทึกภาพนั้นได้

5.1.5 การทดสอบการเคลื่อนที่

ตัวรถสามารถเคลื่อนที่ได้ในพื้นที่ราบ พื้นที่ผิวหยาบ พื้นที่เนินที่ไม่ชันมาก และพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง โดยข้อจำกัดของสิ่งกีดขวางจะต้องมีความสูงไม่เกิน 5 เซนติเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากโครงงานการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถนี้สามารถนำไปใช้สำรวจพื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปได้หรือพื้นที่เสี่ยงภัย โดยการติดกล้องเข้ากับตัวรถทำให้สามารถมองเห็นสภาพแวดล้อมที่รถกำลังสำรวจ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดให้สามารถควบคุมรถผ่านทางอินเตอร์เน็ตหรือควบคุมรถบนมือถือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งของโปรแกรมต่างๆที่ใช้ในโครงงาน

คำสั่งภาษาเดลไฟ

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, CPort, CPortCtl, StdCtrls, tscap32_rt, Menus, ExtCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    ComPort1: TComPort;
    UP: TButton;
    DOWN: TButton;
    LEFT: TButton;
    RIGHT: TButton;
    STOP_BUTTON: TButton;
    F_UP: TButton;
    F_DOWN: TButton;
    B_UP: TButton;
    B_DOWN: TButton;
    Connect: TButton;
    SettingCOM: TButton;
    CameraLeft: TButton;
    CameraRight: TButton;
    tsCap321: TtsCap32;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
tsCap32PopupMenu1: TtsCap32PopupMenu;
tsCap32Dialogs1: TtsCap32Dialogs;
StopCap: TButton;
VidConnect: TButton;
CapImg: TButton;
StartCap: TButton;
Panel: TImage;
CameraDown: TButton;
CameraUp: TButton;
procedure ComPortOpen(Sender: TObject);
procedure ComPortClose(Sender: TObject);
procedure SettingCOMClick(Sender: TObject);
procedure ConnectClick(Sender: TObject);
procedure UPClick(Sender: TObject);
procedure DOWNClick(Sender: TObject);
procedure LEFTClick(Sender: TObject);
procedure RIGHTClick(Sender: TObject);
procedure STOP_BUTTONClick(Sender: TObject);
procedure F_UPClick(Sender: TObject);
procedure F_DOWNClick(Sender: TObject);
procedure B_UPClick(Sender: TObject);
procedure B_DOWNClick(Sender: TObject);
procedure CameraLeftClick(Sender: TObject);
procedure CameraRightClick(Sender: TObject);
procedure CameraUpClick(Sender: TObject);
procedure CameraDownClick(Sender: TObject);
procedure StopCapClick(Sender: TObject);
procedure VidConnectClick(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure StartCapClick(Sender: TObject);
    procedure CapImgClick(Sender: TObject);
    procedure PanelClick(Sender: TObject);



  private
    PressButton : TButton;
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.dfm}
//////////////////Connect COM button ////////////////////
procedure TForm1.ConnectClick(Sender: TObject);
begin
  if ComPort1.Connected then
    ComPort1.Close
  else
    ComPort1.Open;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TForm1.ComPortOpen(Sender: TObject);
begin
  Connect.Caption := 'Disconnect';
end;

procedure TForm1.ComPortClose(Sender: TObject);
begin
 if Connect <> nil then
    Connect.Caption := 'Connect';
end;

//////////////////Setting COM button//////////////////
procedure TForm1.SettingCOMClick(Sender: TObject);
begin
ComPort1.ShowSetupDialog;
end;

///////////////Panel for Send Character to MicroController/////////
//////////////FORWARD BACKWARD //ROTATE LEFT and RIGHT//////////////////////////////
procedure TForm1.UPClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := 'A';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.DOWNClick(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
var
  Str: String;
begin
  Str := 'B';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.LEFTClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := 'C';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.RIGHTClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := 'D';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.STOP_BUTTONClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := '0';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

//////////////ARM UP-DOWN//////////////////////////
procedure TForm1.F_UPClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := '1';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.F_DOWNClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := '2';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.B_UPClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := '3';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TForm1.B_DOWNClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := '4';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

//////////////////Camera Direction//////////////////
procedure TForm1.CameraUpClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := 'I';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.CameraDownClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := 'K';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.CameraLeftClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
  Str := 'J';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;

procedure TForm1.CameraRightClick(Sender: TObject);
var
  Str: String;
begin
  Str := 'L';
  ComPort1.WriteStr(Str);
end;


//////////////////Camera part//////////////////////
procedure TForm1.VidConnectClick(Sender: TObject);
begin
 tscap321.Connected := Not tscap321.Connected;
end;

procedure TForm1.StartCapClick(Sender: TObject);
begin
  tscap321.CapOrder := start;
end;

procedure TForm1.StopCapClick(Sender: TObject);
begin
  tscap321.CapOrder := stop;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;

procedure TForm1.CapImgClick(Sender: TObject);
begin
   tscap321.SaveAsBMP := 'C:\test.bmp';
end;

end.
```

คำสั่งภาษาซี ของไมโครคอนโทรลเลอร์

```
#include<reg51.h>
#include<intrins.h>
#include<stdio.h>
void initial(void);
void delay_msec(int x);
unsigned char dat;
void serial_interupt(void)interrupt 4
{
        if(RI==1)
                        {
                                RI=0;
                                dat=SBUF;
                        }
}
void main(void)
{
                        initial();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay_msec(10);
while(1)
{
        P2=dat;
        if(P2==0x41)
        {
                P0=0x06;
                break;
        }
        else if(P2==0x42)
        {
                P0=0x09;
                break;
        }
        else if(P2==0x43)
        {
                P0=0x05;
                break;
        }
        else if(P2==0x44)
        {
                P0=0x0A;
                break;
        }

        else if(P2==0x30)
        {
                P0=0x00;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            break;
        }

        else if(P2==0x31)
        {
            P0=0x02;
            break;
        }
        else if(P2==0x32)
        {
            P0=0x08;
            break;
        }
        else if(P2==0x33)
        {
            P0=0x80;
            break;
        }
        else if(P2==0x34)
        {
            P0=0x20;
            break;
        }
        else if(P2==0x35)
        {
            P0=0x01;
            break;
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                else if(P2==0x36)
                {
                        P0=0x04;
                        break;
                }
                else if(P2==0x37)
                {
                        P0=0x10;
                        break;
                }
                else if(P2==0x38)
                {
                        P0=0x40;
                        break;
                }
}
}
void initial(void)
{
                TR1=0;
                TMOD=0x20;
                SCON=0x50;
                TH1=0xFD;
                TR1=1;
                RI=0;
                EA=1;
                ES=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
void delay_msec(int x)
{
                    int i,j;
                    for(i=0;i<=x;i++)

                    for(j=0;j<1540;j++)
                    _nop_();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XBee™/XBee-PRO™ OEM RF Modules

XBee/XBee-PRO OEM RF Modules
RF Module Operation
RF Module Configuration
Appendices

Product Manual v1.06
For OEM RF Module Part Numbers: XB24-...-001, XB24-...-002
XBP24-...-001, XBP24-...-002

ZigBee™/IEEE® 802.15.4 OEM RF Modules by MaxStream, Inc.

MaxStream®
355 South 520 West, Suite 180
Lindon, UT 84042
Phone: (801) 765-9885
Fax: (801) 765-9895

rf-xperts@maxstream.net
www.MaxStream.net (live chat suport)

M100232
2005.10.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© 2005 MaxStream, Inc. All rights reserved

No part of the contents of this manual may be transmitted or reproduced in any form or by any means without the written permission of MaxStream, Inc.

XBee™ and XBee-PRO™ are trademarks of MaxStream, Inc.

ZigBee™ is a registered trademark of the ZigBee Alliance.

Technical Support: Phone: (801) 765-9885

Live Chat: www.maxstream.net

E-mail: rf-xperts@maxstream.net

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contents

1. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules 4

1.1. Key Features 4

1.1.1. Worldwide Acceptance 4

1.2. Specifications 5

1.3. Mechanical Drawings 5

1.4. Pin Signals 6

1.5. Electrical Characteristics 6

2. RF Module Operation 7

2.1. Serial Communications 7

2.1.1. UART Data Flow 7

2.1.2. Flow Control 8

2.2. Modes of Operation 9

2.2.1. Idle Mode 9

2.2.2. Transmit & Receive Modes 9

2.2.3. Sleep Mode 11

2.2.4. Command Mode 13

3. RF Module Configuration 14

3.1. Programming the RF Module 14

3.1.1. Programming Examples 14

3.1.2. Command Reference Tables 15

3.2. Command Descriptions 16

Appendix A: Agency Certifications 23

FCC Certification 23

OEM Labeling Requirements 23

FCC Notices 23

FCC-Approved Antennas (2.4 GHz) 24

European Certification (pending) 25

OEM Labeling Requirements 25

Restrictions 25

Declarations of Conformity 25

Appendix B: Development Guide 26

Development Kit Contents 26

Interfacing Options 26

RS-232 Interface Board 27

Physical Interface 27

RS-232 Pin Signals 28

Wiring Diagrams 29

Adapters 30

USB Interface Board 31

Physical Interface 31

USB Pin Signals 31

Appendix C: Additional Information 32

1-Year Warranty 32

Ordering Information 32

Contact MaxStream 33

เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

XBee and XBee-PRO Modules were engineered to meet ZigBee/IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of critical data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.

1.1. Key Features

High Performance, Low Cost

XBee
- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (100 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO
- Indoor/Urban: up to 300' (100 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1500 m)
- Transmit Power: 100 mW (20 dBm) EIRP
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available

Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

128-bit Encryption (downloadable firmware version coming soon)

Self-routing/Self-healing mesh networking (downloadable firmware version coming soon)

Low Power

XBee
- TX Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

XBee-PRO
- TX Current: 270 mA (@3.3 V)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications

Free X-CTU Software (Testing and configuration software)

AT Command Mode for simple configuration of module parameters

Small form factor

Network compatible with other ZigBee/802.15.4 devices

Free & Unlimited Technical Support

1.1.1. Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p23] for FCC Requirements. Systems that include XBee/XBee-PRO Modules inherit MaxStream's Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2.4 GHz frequency band

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee/XBee-PRO RF Modules are optimized for use in **US, Canada, Australia, Israel and Europe** (contact MaxStream for complete list of approvals).

เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

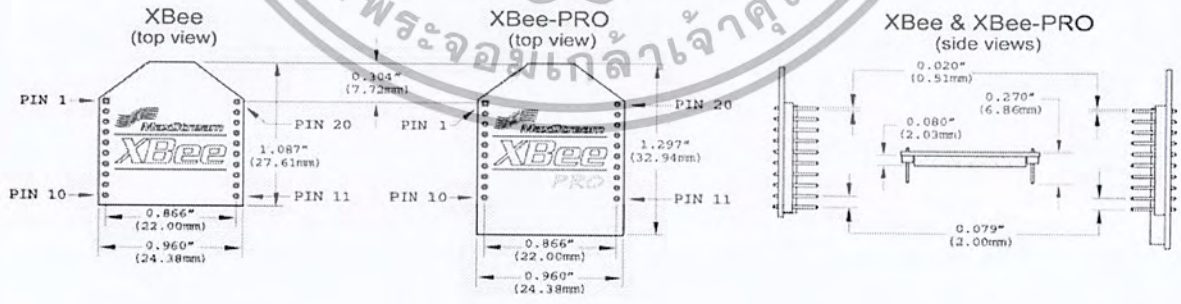
1.2. Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	up to 100 ft. (30 m)	Up to 300' (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 300 ft. (100 m)	Up to 1 mile (1500 m)
Transmit Power Output	1mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm) conducted, 100 mW (20 dBm) EIRP
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45 mA (@ 3.3 V)	270 mA (@ 3.3 V)
Receive Current (typical)	50 mA (@ 3.3 V)	55 mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	U.FL Connector, Chip Antenna or Whip Antenna	U.FL Connector, Chip Antenna or Whip Antenna
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Peer-to-Peer and Mesh (coming soon)	Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Peer-to-Peer and Mesh (coming soon)
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	13 Direct Sequence Channels
Filtration Options	PAN ID, Channel and Source/Destination Addresses	PAN ID, Channel and Source/Destination Addresses
Agency Approvals		
FCC Part 15.247	OUR-XBEE	pending
Industry Canada (IC)	pending	pending
Europe	pending	pending

1.3. Mechanical Drawings

Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules (antenna options not shown)
XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 © 2005 MaxStream, Inc., Confidential & Proprietary - All Rights Reserved

1.4. Pin Signals

Figure 1-02. XBee/XBee-PRO RF Module Pin Number
(top sides shown - shields on bottom)

Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	CD* / DOUT_EN* / DO8*	Output	Carrier Detect, TX_enable or Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 or RX Signal Strength Indicator
7	[reserved]	-	Do not connect
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	RF_TX* / AD4* / DIO4*	Either	Transmission Indicator, Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS* / DIO7*	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF*	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5* / DIO5*	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS* / AD6* / DIO6*	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	COORD_SEL* / AD3* / DIO3*	Either	Analog Input 3, Digital I/O 3 or Coordinator Select
18	AD2* / DIO2*	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1* / DIO1*	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0* / DIO0*	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

* Functions not supported at the time of this release.

Design Notes:

- Minimum connections are: VCC, GND, DOUT and DIN
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k pull-up resistor attached to RESET
- Unused pins should be left disconnected.

1.5. Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics of the XBee & XBee-PRO (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V_{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V_{OL}	Output Low Voltage	I_{OL} = 2 mA, VCC >= 2.7 V	-	-	0.5	V
V_{OH}	Output High Voltage	I_{OH} = -2 mA, VCC >= 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
II_{IN}	Input Leakage Current	V_{IN} = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	uA
II_{OZ}	High Impedance Leakage Current	V_{IN} = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	uA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) / 270 (PRO)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) / 55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. RF Module Operation

2.1. Serial Communications

The XBee/XBee-PRO OEM RF Modules interface to a host device through a logic-level asynchronous serial port. Through its serial port, the module can communicate with any logic and voltage compatible UART; or through a level translator to any serial device (For example: RS-232/485/422 or USB interface board).

2.1.1. UART Data Flow

Devices that have a UART interface can connect directly to the pins of the RF module as shown in the figure below.

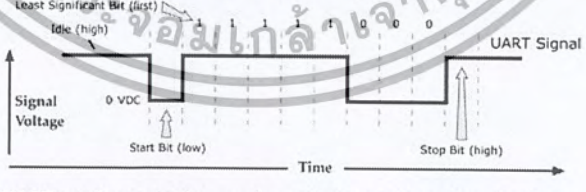
Figure 2-01. Figure 2-01.System Data Flow Diagram in a UART-interfaced environment
(Low-asserted signals distinguished with horizontal line over signal name.)

Serial Data

Data enters the module UART through the DI pin (pin 3) as an asynchronous serial signal. The signal should idle high when no data is being transmitted.

Each data byte consists of a start bit (low), 8 data bits (least significant bit first) and a stop bit (high). The following figure illustrates the serial bit pattern of data passing through the module.

Figure 2-02. UART data packet 0x1F (decimal number "31") as transmitted through the RF module
Example Data Format is 8-N-1 (bits - parity - # of stop bits)



The module UART performs tasks, such as timing and parity checking, that are needed for data communications. Serial communications depend on the two UARTs to be configured with compatible settings (baud rate, parity, start bits, stop bits, data bits)

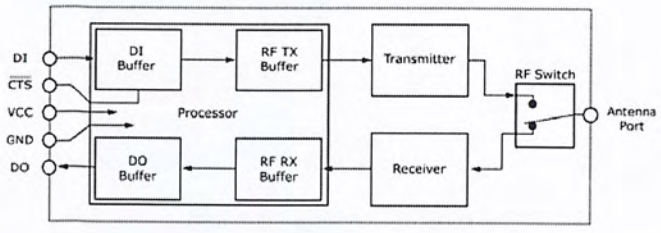
Both the module and host (PC) settings can be viewed and adjusted using MaxStream's proprietary X-CTU Software. Use the "PC Settings" tab to configure host settings. Use the "Terminal" or "RF Module Configuration" tab to configure the module settings.

NOTE: Failure to enter AT Command Mode is most commonly due to baud rate mismatch. Ensure the 'Baud' setting on the "PC Settings" tab matches the interface data rate of the RF module (by default, BD parameter = 3 (which is associated to 9600 bps)).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2. Flow Control

Figure 2-03. Internal Data Flow Diagram



DI (Data In) Buffer

When serial data enters the RF module through the DI pin (pin 3), the data is stored in the DI Buffer until it can be processed.

Hardware Flow Control (CTS). When the DI buffer is 17 bytes away from being full; by default, the module de-asserts CTS (high) to signal to the host device to stop sending data [refer to D7 (DIO7 Configuration) parameter]. CTS is re-asserted after the DI Buffer has 34 bytes of memory available.

How to eliminate the need for flow control:

1. Send messages that are smaller than the DI buffer size.
2. Interface at a lower baud rate [BD (Interface Data Rate) parameter] than the throughput data rate.

Case in which the DI Buffer may become full and possibly overflow:

If the module is receiving a continuous stream of RF data, any serial data that arrives on the DI pin is placed in the DI Buffer. The data in the DI buffer will be transmitted over-the-air when the module is no longer receiving RF data in the network.

NOTE: CTS hardware flow control is not supported in this release (v1.06). Contact MaxStream support to download firmware that supports this function.

DO (Data Out) Buffer

When RF data is received, the data enters the DO buffer and is sent out the serial port to a host device. Once the DO Buffer reaches capacity, any additional incoming RF data is lost.

Hardware Flow Control (RTS). If RTS is enabled for flow control (D6 (DIO6 Configuration) Parameter = 1), data will not be sent out the DO Buffer as long as RTS (pin 16) is de-asserted.

Two cases in which the DO Buffer may become full and possibly overflow:

1. If the RF data rate is set higher than the interface data rate of the module, the module will receive data from the transmitting module faster than it can send the data to the host.
2. If the host does not allow the module to transmit data out from the DO buffer because of being held off by hardware or software flow control.

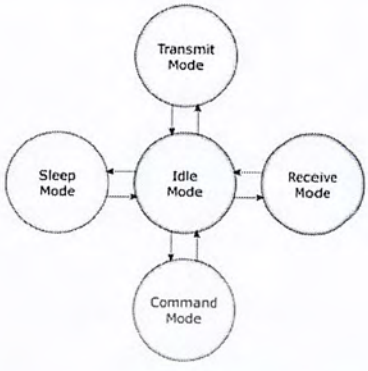
NOTE: RTS hardware flow control is not supported in this release (v1.06). Contact MaxStream support to download firmware that supports this function.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. Modes of Operation

XBee/XBee-PRO RF Modules operate in five modes.

Figure 2-04. XBee/XBee-PRO RF Module Modes of Operation



2.2.1. Idle Mode

When not receiving or transmitting data, the RF module is in Idle Mode. The RF module shifts into the other modes of operation under the following conditions:

- Transmit Mode: Serial data is received in the DI Buffer
- Receive Mode: Valid RF data is received through the antenna
- Sleep Mode: Sleep Mode condition is met
- Command Mode: Command Mode Sequence is issued

2.2.2. Transmit & Receive Modes

Addressing

When communication occurs between two networked devices, each data packet contains a <Source Address> and a <Destination Address> field. The XBee/XBee-PRO RF Module conforms to the 802.15.4 specification and supports both short 16-bit addresses and long 64-bit addresses. A unique 64-bit IEEE source address is assigned at the factory and can be read with the SL (Serial Number Low) and SH (Serial Number High) parameters. Short addressing must be configured manually. An RF module will use its unique 64-bit address as its Source Address if its MY value is "0xFFFF" or "0xFFFE".

To send a packet to a specific RF module using 64-bit addressing, set the Destination Address (DL + DH) to match the Source Address (SL + SH) of the intended destination RF module. To send a packet to a specific RF module using 16-bit addressing, set the DL (Destination Address Low) parameter to the MY (Source Address) parameter and set the DH (Destination Address High) parameter to "0".

Unicast Mode

Unicast Mode enables acknowledged communications. While in this mode, receiving modules send an ACK (acknowledgement) of RF packet reception to the transmitter. If the transmitting module does not receive the ACK, the transmitter will re-send the packet up to three times until the ACK is received.

Unicast Mode is the only mode that supports retries.

Short 16-bit addresses. The module can be configured to use short 16-bit addresses as the Source Address by setting (MY < 0xFFFE). Setting the DH parameter (DH = 0) will configure the Destination Address to be a short 16-bit address (if DL < 0xFFFE). For two modules to communicate using short addressing, the Destination Address of the transmitter module must match the MY parameter of the receiver.

© 2005 MaxStream, Inc. Confidential & Proprietary - All Rights Reserved

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The following table shows a sample network configuration that would enable Unicast Mode communications using 16-bit short addresses.

Table 2-01. Sample Unicast Configuration (using 16-bit addressing)

Parameter	RF Module 1	RF Module 2
MY (Source Address)	0x01	0x02
DH (Destination Address High)	0	0
DL (Destination Address Low)	0x02	0x01

Long 64-bit addresses. The RF module's serial number (SL parameter concatenated to the SH parameter) can be used as a 64-bit source address when the MY (16-bit Source Address) parameter is disabled. When the MY parameter is disabled (set MY = 0xFFFF or 0xFFFE), the module's source address is set to the 64-bit IEEE address stored in the SH and SL parameters.

When an End Device associates to a Coordinator, its MY parameter is set to 0xFFFE to enable 64-bit addressing. The 64-bit address of the module is stored as SH and SL parameters. To send a packet to a specific module, the Destination Address (DL + DH) on one module must match the Source Address (SL + SH) of the other.

Broadcast Mode

Any RF module will accept a packet that contains a broadcast address. When configured to operate in Broadcast Mode, receiving modules do not send ACKs (Acknowledgements) and transmitting RF modules do not automatically re-send packets as is the case in Unicast Mode.

To send a broadcast packet to all modules regardless of 16-bit or 64-bit addressing, set destination addresses of all the modules as shown below.

Sample Configuration (All modules in the network):

- DL (Destination Low Address) = 0x0000FFFF
- DH (Destination High Address) = 0x00000000

NOTE: When programming the module, parameters are entered in hexadecimal notation (without the "0x" prefix). Leading zeros may be omitted.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3. Sleep Mode

Sleep Modes enable the RF module to enter states of low-power consumption when not in use. In order to enter Sleep Mode, one of the following conditions must be met (in addition to the module having a non-zero SM parameter value):

- Sleep_RQ (pin 9) is asserted.
- The module is idle (no data transmission or reception) for the amount of time defined by the ST (Time before Sleep) parameter. [NOTE: ST is only active when SM = 4-5.]

Table 2-02. Sleep Mode Configurations

Sleep Mode Setting	Transition into Sleep Mode	Transition out of Sleep Mode (wake)	Characteristics	Related Commands	Power Consumption
Pin Hibernate (SM = 1)	Assert (high) Sleep_RQ (pin 9)	De-assert (low) Sleep_RQ	Pin/Host-controlled / NonBeacon systems only / Lowest Power	(SM)	< 10 µA (@3.0 VCC)
Pin Doze (SM = 2)	Assert (high) Sleep_RQ (pin 9	De-assert (low) Sleep_RQ	Pin/Host-controlled / NonBeacon systems only / Fastest Wake-up	(SM)	< 50 µA
Cyclic Sleep (SM = 4 - 5)	Automatic transition to Sleep Mode as defined by the SM (Sleep Mode) and ST (Time before Sleep) parameters.	Transition occurs after the cyclic sleep time interval elapses. The time interval is defined by the SP (Cyclic Sleep Period) parameter.	RF Module wakes in pre-determined time intervals to detect if RF data is present / When SM = 5, NonBeacon systems only	(SM), SP, ST	< 50 µA when sleeping

The SM command is central to setting Sleep Mode configurations. By default, Sleep Modes are disabled (SM = 0) and the module remains in Idle/Receive Mode. When in this state, the module is constantly ready to respond to serial or RF activity.

Pin/Host-controlled Sleep Modes

Pin Hibernate (SM = 1)

- Pin/Host-controlled
- Typical power-down current: < 10 µA (@3.0 VCC)
- Wake-up time: 13.2 msec

Pin Hibernate Mode minimizes quiescent power (power consumed when in a state of rest or inactivity). This mode is voltage level-activated; when Sleep_RQ is asserted, the module will finish any transmit, receive or association activities, enter Idle Mode and then enter a state of sleep. The module will not respond to either serial or RF activity while in pin sleep.

To wake a sleeping module operating in Pin Hibernate Mode, de-assert Sleep_RQ (pin 9). The module will wake when Sleep_RQ is de-asserted and is ready to transmit or receive when the $\overline{CTS}$ line is low.

Pin Doze (SM = 2)

- Pin/Host-controlled
- Typical power-down current: < 50 µA
- Wake-up time: 2 msec

Pin Doze Mode functions as does Pin Hibernate Mode; however, Pin Doze features faster wake-up time and higher power consumption.

MaxStream © 2005 MaxStream, Inc. Confidential & Proprietary - All Rights Reserved

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cyclic Sleep Modes

Cyclic Sleep Remote (SM = 4)

- Typical Power-down Current: < 50 µA (when asleep)
- Wake-up time: 2 msec

The Cyclic Sleep Modes allow modules to periodically check for RF data. When the SM parameter is set to '4', the module is configured to sleep, then wakes once a cycle to check for data from a module configured as a Cyclic Sleep Coordinator (SM = 6). The Cyclic Sleep Remote sends a poll request to the coordinator at a specific interval set by the SP (Cyclic Sleep Period) parameter. The coordinator will transmit any queued data addressed to that specific remote upon receiving the poll request. If no data is queued for the remote, the coordinator will not transmit and the remote will return to sleep for another cycle. If queued data is transmitted back to the remote, it will stay awake to allow for back and forth communication until the ST (Time before Sleep) timer expires.

Also note that $\overline{CTS}$ will go low each time the remote wakes, allowing for communication initiated by the remote host if desired.

Cyclic Sleep Remote with Pin Wake-up (SM = 5)

Use this mode to wake a sleeping remote module through either the RF interface or by the de-assertion of Sleep_RQ for event-driven communications. The cyclic sleep mode works as described above (Cyclic Sleep Remote) with the addition of a pin-controlled wake-up at the remote module. The module will wake quickly when a low is detected and set $\overline{CTS}$ low as soon as it is ready to transmit or receive. Any activity will reset the ST (Time before Sleep) timer so the module will go back to sleep only after Sleep_RQ is asserted and there is no activity for the duration of the timer.

MaxStream © 2005 MaxStream, Inc., Confidential & Proprietary - All Rights Reserved

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4. Command Mode

To modify or read RF Module parameters, the module must first enter into Command Mode - a state in which incoming characters are interpreted as commands. Two command modes are supported: AT Command Mode and ATI Command Mode.

A robust set of AT Commands is available for programming and customizing the module.

AT Command Mode

To Enter AT Command Mode:

Send the 3-character command sequence "+++" and observe guard times before and after the command characters. [Refer to the "Default AT Command Mode Sequence" below.]

Default AT Command Mode Sequence (for transition to Command Mode):

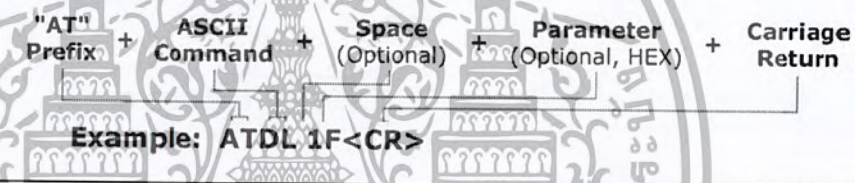
- No characters sent for one second [GT (Guard Times) parameter = 0x3E8]
- Input three plus characters ("+++") within one second [CC (Command Sequence Character) parameter = 0x2B.]
- No characters sent for one second [GT (Guard Times) parameter = 0x3E8]

All of the parameter values in the sequence can be modified to reflect user preferences.

To Send AT Commands:

Send AT commands and parameters using the syntax shown below.

Figure 2-05. Syntax for sending AT Commands



To read a parameter value stored in the RF module's register, leave the parameter field blank.

The preceding example would change the RF module Destination Address (Low) to "0x1F". To store the new value to non-volatile (long term) memory, subsequently send the WR (Write) command.

For modified parameter values to persist in the module's registry, changes must be saved to non-volatile memory using the WR (Write) Command. Otherwise, parameters are restored to previously saved values after the module is powered off and then on again (or re-booted).

System Response. When a command is sent to the RF module, the module will parse and execute the command. Upon successful execution of a command, the module returns an "OK" message. If execution of a command results in an error, the module returns an "ERROR" message.

To Exit AT Command Mode:

1. Send ATCN (Exit Command Mode) Command.

   [OR]

2. If no valid AT Commands are received within the time specified by CT (Command Mode Timeout) Command, the RF module automatically returns to Idle Mode.

For an example of programming the RF module using AT Commands and descriptions of each configurable parameter, refer to the "RF Module Configuration" chapter [p14].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. RF Module Configuration

3.1. Programming the RF Module

Refer to the "Command Mode" section [p13] for more information about entering Command Mode, sending AT commands and exiting Command Mode.

3.1.1. Programming Examples

Setup

The programming examples in this section require the installation of MaxStream's X-CTU Software and a serial connection to a PC. (MaxStream stocks RS-232 and USB boards to facilitate interfacing to a PC.)

1. Install MaxStream's X-CTU Software to a PC by double-clicking the "setup_X-CTU.exe" file. (The file is located on the MaxStream CD and under the 'Software' section of the following web page: www.maxstream.net/helpdesk/download.php)
2. Mount the RF module to an interface board, then connect the module assembly to a PC.
3. Launch the X-CTU Software and select the 'PC Settings' tab. Verify the baud and parity settings of the Com Port match those of the RF module.

NOTE: Failure to enter AT Command Mode is most commonly due to baud rate mismatch. Ensure the 'Baud' setting on the 'PC Settings' tab matches the interface data rate of the RF module (by default, BD parameter = 3 (which corresponds to 9600 bps)).

Sample Configuration: Modify RF Module Destination Address

Example: Utilize the 'Terminal' tab of the X-CTU Software to change the RF module's DL (Destination Address Low) parameter and save the new address to non-volatile memory.

After establishing a serial connection between the RF module and a PC [refer to the 'Setup' section above], select the 'Terminal' tab of the X-CTU Software and enter the following command lines ('CR' stands for carriage return):

Method 1 (One line per command)

Send AT Command	System Response
+++	OK <CR> (Enter into Command Mode)
ATDL <Enter>	{current value} <CR> (Read Destination Address Low)
ATDL1A0D <Enter>	OK <CR> (Modify Destination Address Low)
ATWR <Enter>	OK <CR> (Write to non-volatile memory)
ATCN <Enter>	OK <CR> (Exit Command Mode)

Method 2 (Multiple commands on one line)

Send AT Command	System Response
+++	OK <CR> (Enter into Command Mode)
ATDL <Enter>	{current value} <CR> (Read Destination Address Low)
ATDL1A0D,WR,CN <Enter>	OK <CR> (Execute commands)

Sample Configuration: Restore RF Module Defaults

Example: Utilize the 'Modem Configuration' tab of the X-CTU Software to restore default parameter values of the RF module.

After establishing a connection between the RF module and a PC [refer to the 'Setup' section above], select the 'Modem Configuration' tab of the X-CTU Software.

1. Select the 'Read' button.
2. Select the 'Restore' button.

เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2. Command Reference Tables

Table 3-01. XBee/XBee-PRO Commands (RF modules expect numerical values in hexadecimal. Hexadecimal values are designated by the "0x" prefix. Decimal equivalents are designated by the "d" suffix.)

AT Command	Command Category	Name and Description	Parameter Range	Default
BD	Serial Interfacing	**Interface Data Rate**. Set/Read the serial interface data rate for communications between the RF module serial port and host.	0 - 7 (custom rates also supported)	3
CC	AT Command Mode Options	**Command Sequence Character**. Set/Read the ASCII character value to be used between Guard Times of the AT Command Mode Sequence (GT+CC+GT). The AT Command Mode Sequence enters the RF module to AT Command Mode.	0 - 0xFF	0x2B ('+' ASCII)
CH	Networking & Security	**Channel**. Set/Read the channel number used for transmitting and receiving between RF modules. Uses 802.15.4 protocol channel numbers.	0x0B - 0x1A (XBee) 0x0C - 0x18 (XBee-PRO)	0x0C (12d)
CN	AT Command Mode Options	**Exit Command Mode**. Explicitly exit AT Command Mode.	-	-
CT	AT Command Mode Options	**Command Mode Timeout.** Set/Read the period of inactivity (no valid commands received) after which the RF module automatically exits AT Command Mode and returns to Idle Mode.	2 - 0xFFFF [x 100 ms]	0x64 (100d)
DB	Diagnostics	**Received Signal Strength.** Read signal level [in dB] of last good packet received (RSSI). Absolute value is reported. (For example: 0x58 = -88 dBm) Reported value is accurate between -40 dBm and RX sensitivity.	0 - 0x64 [read-only]	-
DH	Networking & Security	**Destination Address High**. Set/Read the upper 32 bits of the 64-bit destination address. When combined with DL, it defines the destination address used for transmission. To transmit using a 16-bit address, set DH parameter to zero and DL less than 0xFFFF. 0x000000000000FFFF is the broadcast address for the PAN.	0 - 0xFFFFFFFF	0
DL	Networking & Security	**Destination Address Low**. Set/Read the lower 32 bits of the 64-bit destination address. When combined with DH, DL defines the destination address used for transmission. To transmit using a 16-bit address, set DH parameter to zero and DL less than 0xFFFF. 0x000000000000FFFF is the broadcast address for the PAN.	0 - 0xFFFFFFFF	0
GT	AT Command Mode Options	**Guard Times**. Set required period of silence before and after the Command Sequence Characters of the AT Command Mode Sequence (GT+ CC + GT). The period of silence is used to prevent inadvertent entrance into AT Command Mode.	0x02 - 0xFFFF [x 1 ms]	0x3E8 (1000d)
ID	Networking & Security	**PAN ID**. Set/Read the PAN (Personal Area Network) ID. 0xFFFF indicates a message for all PANs.	0xFFFF	0x3332 (13106d)
MY	Networking & Security	**16-bit Source Address.** Set/Read the RF module 16-bit source address. Set MY = 0xFFFF to disable reception of packets with 16-bit addresses. 64-bit source address (serial number) and broadcast address (0x000000000000FFFF) is always enabled.	0 - 0xFFFF	0
P0	Diagnostics	**PWM0 Configurations.** Select/Read function for PWM0.	0 - 1	1
PL	RF Interfacing	**Power Level.** Select/Read power level at which the RF module transmits.	0 - 4	4
RE	(Special)	**Restore Defaults.** Restore RF module parameters to factory defaults. Follow with WR command to save values to non-volatile memory.	-	-
RN	Networking & Security	**Random Delay Slots.** Set/Read the minimum value of the back-off exponent in the CSMA-CA algorithm that is used for collision avoidance. If RN = 0, collision avoidance is disabled during the first iteration of the algorithm (802.15.4 - macMinBE).	0 - 3	0
RO	Serial Interfacing	**Packetization Timeout**. Set/Read number of character times of inter-character delay required before transmission. Set to zero to transmit characters as they arrive instead of buffering them into one RF packet.	0 - 0xFF [x character times]	3
RP	Diagnostics	**RSSI PWM Timer.** Enable a PWM (pulse width modulation) output (on pin 3 of the RF modules) which shows RX signal strength.	0 - 0xFF [x 100 ms]	0x28 (40d)
SH	Diagnostics	**Serial Number High**. Read high 32 bits of the RF module's unique IEEE 64-bit address. 64-bit source address is always enabled.	0 - 0xFFFFFFFF [read-only]	Factory-set
SL	Diagnostics	**Serial Number Low.** Read low 32 bits of the RF module's unique IEEE 64-bit address. 64-bit source address is always enabled.	0 - 0xFFFFFFFF [read-only]	Factory-set
SM	Sleep (Low Power)	**Sleep Mode**. Set/Read Sleep Mode configurations.	0 - 5	0
SP	Sleep (Low Power)	**Cyclic Sleep Period.** Set/Read sleep period for cyclic sleeping remotes. Maximum sleep period is 268 seconds (0x68B0).	0x01 - 0x68B0 [x 10 ms]	0x64 (100d)
ST	Sleep (Low Power)	**Time before Sleep.** Set/Read time period of inactivity (no serial or RF data is sent or received) before activating Sleep Mode. The ST parameter is only valid with Cyclic Sleep settings (SM = 4 - 6). Set ST on Cyclic Sleep Coordinator to match Cyclic Sleep Remotes.	0x01 - 0xFFFF [x 1 ms]	0x1388 (5000d)
VR	Diagnostics	**Firmware Version**. Read firmware version of the RF module.	0 - 0xFFFF [read-only]	Factory-set
WR	(Special)	**Write**. Write parameter values to RF module's non-volatile memory so that modifications persist through subsequent power-up or reset.	-	-

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. Command Descriptions

Command descriptions in this section are listed alphabetically. Command categories are designated within "< >" symbols that follow each command title. XBee-PRO RF modules expect parameter values in hexadecimal (designated by the "0x" prefix).

BD (Interface Data Rate) Command

<Serial Interfacing> The BD command is used to set and read the serial interface data rate (baud rate) used between the RF module and host. This parameter determines the rate at which serial data is sent to the RF module from the host. Modified interface data rates do not take effect until the CN (Exit AT Command Mode) command is issued and the system returns the 'OK' response.

When parameters 0-7 are sent to the RF module, the respective interface data rates are used (as shown in the table on the right).

The RF data rate is not affected by the BD parameter. If the interface data rate is set higher than the RF data rate, a flow control configuration may need to be implemented.

AT Command: ATBD

Parameter Range: 0 – 7 (standard rates)

Parameter	Configuration (bps)
0	1200
1	2400
2	4800
3	9600
4	19200
5	38400
6	57600
7	115200

Default Parameter Value:3

Non-standard Interface Data Rates:
When parameter values outside the range of standard baud rates are sent, the closest interface data rate represented by the number is stored in the BD register. For example, a rate of 19200 bps can be set by sending the following command line "ATBD4B00". NOTE: When using MaxStream's X-CTU Software, non-standard interface data rates can only be set and read using the X-CTU 'Terminal' tab. Non-standard rates are not accessible through the 'Modem Configuration' tab.

When the BD command is sent with a non-standard interface data rate, the UART will adjust to accommodate the requested interface rate. In most cases, the clock resolution will cause the stored BD parameter to vary from the parameter that was sent (refer to the table below). Reading the BD command (send "ATBD" command without an associated parameter value) will return the value that was actually stored to the BD register.

Table 3-02. Parameters Sent Versus Parameters Stored

BD Parameter Sent (HEX)	Interface Data Rate (bps)	BD Parameter Stored (HEX)
0	1200	0
4	19,200	4
7	115,200	7
12C	300	12B
1C200	115,200	1B207

CC (Command Sequence Character) Command

<AT Command Mode Options> The CC command is used to set and read the ASCII character used between guard times of the AT Command Mode Sequence (GT + CC + GT). This sequence enters the RF module into AT Command Mode so that data entering the modem from the host is recognized as commands instead of payload.

AT Command: ATCC

Parameter Range: 0 – 0xFF

Default Parameter Value: 0x2B (ASCII "+")

Related Commands: GT (Guard Times)

Refer to the Command Mode section [p13] for more information regarding the AT Command Mode Sequence.

© 2005 MaxStream, Inc. Confidential & Proprietary - All Rights Reserved

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CH (Channel) Command

<Networking {Addressing}> The CH command is used to set and read the channel on which RF connections are made between RF modules. The channel is one of three filtration layers available to the RF module. The other layers are the PAN ID (ID command) and destination addresses (DL & DH commands).

AT Command: ATCH

Parameter Range: 0x0B – 0x1A (XBee)
0x0C – 0x18 (XBee-PRO)

Default Parameter Value: 0x0C (12 decimal)

Related Commands: ID (PAN ID), DL (Destination Address Low, DH (Destination Address High)

In order for RF modules to communicate with each other, the RF modules must share the same channel number. Different channels can be used to prevent RF modules in one network from listening to transmissions of another.

The RF module uses channel numbers of the 802.15.4 standard.
*Center Frequency = 2.405 + (CH - 11d) * 5 MHz (d = decimal)*

Refer to the "Addressing" section [p9] for more information.

CN (Exit AT Command Mode) Command

<AT Command Mode Options> The CN command is used to explicitly exit the RF module from AT Command Mode.

AT Command: ATCN

CT (Command Mode Timeout) Command

<AT Command Mode Options> The CT command is used to set and read the amount of inactive time that elapses before the RF module automatically exits from AT Command Mode and returns to Idle Mode.

Use the CN (Exit AT Command Mode) command to exit AT Command Mode manually.

AT Command: ATCT

Parameter Range: 2 – 0xFFFF
[x 100 milliseconds]

Default Parameter Value: 0x64 (100 decimal, which equals 10 decimal seconds)

Number of bytes returned: 2

Related Command: CN (Exit AT Command Mode)

DB (Received Signal Strength) Command

<Diagnostics> DB parameter is used to read the received signal strength (in dBm) of the last RF packet received. Reported values are accurate between -40 dBm and the RF module's receiver sensitivity.

AT Command: ATDB

Parameter Range: 0 – 0x64 [read-only]

Absolute values are reported. For example: 0x58 = -88 dBm (decimal). If no packets have been received (since last reset, power cycle or sleep event), "0" will be reported.

DH (Destination Address High) Command

<Networking {Addressing}> The DH command is used to set and read the upper 32 bits of the RF module's 64-bit destination address. When combined with the DL (Destination Address Low) parameter, it defines the destination address used for transmission.

AT Command: ATDH

Parameter Range: 0 – 0xFFFFFFFF

Default Parameter Value: 0

Related Commands: DL (Destination Address Low), CH (Channel), ID (PAN VID), MY (Source Address)

An RF module will only communicate with other RF modules having the same channel (CH parameter), PAN ID (ID parameter) and destination address (DH + DL parameters).

To transmit using a 16-bit address, set the DH parameter to zero and the DL parameter less than 0xFFFF. 0x000000000000FFFF (DL concatenated to DH) is the broadcast address for the PAN.

Refer to the "Addressing" section [p9] for more information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DL (Destination Address Low) Command

<Networking {Addressing}> The DL command is used to set and read the lower 32 bits of the RF module's 64-bit destination address. When combined with the DH (Destination Address High) parameter, it defines the destination address used for transmission.

AT Command: ATDL

Parameter Range: 0 - 0xFFFFFFFF

Default Parameter Value: 0

Related Commands: DH (Destination Address High), CH (Channel), ID (PAN VID), MY (Source Address)

An RF module will only communicate with other RF modules having the same channel (CH parameter), PAN ID (ID parameter) and destination address (DH + DL parameters).

To transmit using a 16-bit address, set the DH parameter to zero and the DL parameter less than 0xFFFF. 0x000000000000FFFF (DL concatenated to DH) is the broadcast address for the PAN.

Refer to the "Addressing" section [p9] for more information.

GT (Guard Times) Command

<AT Command Mode Options> GT Command is used to set the DI (data in from host) time-of-silence that surrounds the AT command sequence character (CC Command) of the AT Command Mode sequence (GT + CC + GT).

AT Command: ATGT

Parameter Range: 2 – 0xFFFF [x 1 millisecond]

Default Parameter Value: 0x3E8 (1000 decimal)

Related Command: CC (Command Sequence Character)

The DI time-of-silence is used to prevent inadvertent entrance into AT Command Mode.

Refer to the Command Mode section [p13] for more information regarding the AT Command Mode Sequence.

ID (Pan ID) Command

<Networking {Addressing}> The ID command is used to set and read the PAN (Personal Area Network) ID of the RF module. Only RF modules with matching PAN IDs can communicate with each other. RF modems with non-matching PAN IDs will not receive unintended data transmission.

AT Command: ATID

Parameter Range: 0 – 0xFFFF

Default Parameter Value:0x3332 (13106 decimal)

Setting the ID parameter to 0xFFFF indicates a global message for all PANs.

Refer to the "Addressing" section [p9] for more information.

MY (16-bit Source Address) Command

<Networking {Addressing}> The MY command is used to set and read the 16-bit source address of the RF module.

AT Command: ATMY

Parameter Range: 0 – 0xFFFF

Default Parameter Value: 0

Related Commands: DH (Destination Address High), DL (Destination Address Low), CH (Channel), ID (PAN ID)

By setting MY to 0xFFFF, the reception of RF packets having a 16-bit address is disabled. The 64-bit address is the module serial number and is always enabled.

Refer to the "Addressing" section [p9] for more information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P0 (PWM0 Configuration) Command

<Diagnostics> The P0 command is used to select and read the function for PWM0 (Pulse Width Modulation output 0 - pin 6).

Note: The second character in the command is a zero ("0"), not the letter "O".

AT Command: ATP0

Parameter Range: 0 – 1

Parameter	Configuration
0	Disabled
1	RSSI PWM0 enabled

Default Parameter Value: 1

PL (Power Level) Command

<RF Interfacing> The PL command is used to select and read the power level at which the RF module transmits conducted power.

AT Command: ATPL

Parameter Range: 0 – 4

Parameter	XBee	XBee-Pro
0	-10 dBm	10 dBm
1	-6 dBm	12 dBm
2	-4 dBm	14 dBm
3	-2 dBm	16 dBm
4	0 dBm	18 dBm

Default Parameter Value: 4

RE (Restore Defaults) Command

<(Special)> The RE command is used to restore all configurable parameters to their factory default settings. The RE command does not write restored values to non-volatile (persistent) memory. Issue the WR (Write) command subsequent to issuing the RE command to save restored parameter values to non-volatile memory.

AT Command: ATRE

RN (Random Delay Slots) Command

<Networking & Security> The RN command is used to set and read the minimum value of the back-off exponent in the CSMA-CA algorithm. The CSMA-CA algorithm was engineered for collision avoidance (random delays are inserted to prevent data loss caused by data collisions).

AT Command: ATRN

Parameter Range: 0 – 3 [exponent]

Default Parameter Value: 0

If RN = 0, collision avoidance is disabled during the first iteration of the algorithm (802.15.4 - macMinBE).

CSMA-CA stands for "Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance". Unlike CSMA-CD (reacts to network transmissions after collisions have been detected), CSMA-CA acts to prevent data collisions before they occur. As soon as a modem receives a packet that is to be transmitted, it checks if the channel is clear (no other modem is transmitting). If the channel is clear, the packet is sent over-the-air. If the channel is not clear, the RF module waits for a randomly selected period of time, then checks again to see if the channel is clear. After a time, the process ends and the data is lost.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RO (Packetization Timeout) Command

<Serial Interfacing> RO command is used to set and read the number of character times of inter-character delay required before transmission.

RF transmission commences when data is detected in the DI (data in from host) buffer and RO character times of silence are detected on the UART receive lines (after receiving at least 1 byte).

AT Command: ATRO

Parameter Range: 0 – 0xFF [x character times]

Default Parameter Value: 3

RF transmission will also commence after 100 bytes (maximum packet size) are received in the DI buffer.

Set the RO parameter to '0' to transmit characters as they arrive instead of buffering them into one RF packet.

RP (RSSI PWM Timer) Command

<Diagnostics> The RP command is used to enable PWM (Pulse Width Modulation) output on the RF module. The output is calibrated to show the level a received RF signal is above the sensitivity level of the RF module. The PWM pulses vary from zero to 95 percent. Zero to twenty-nine percent means the received RF signal is at or below the published sensitivity level of the RF module. The following table shows levels above sensitivity and PWM values.

AT Command: ATRP

Parameter Range: 0 – 0xFF [x 100 milliseconds]

Default Parameter Value: 0x28 (40 decimal)

The total period of the PWM output is 8.32 ms. Because there are 40 steps in the PWM output, the minimum step size is 0.208 ms.

Table 3-03. PWM Percentages

dB above Sensitivity	PWM percentage* (high period / total period)
10	46.0%
20	63.0%
30	80.1%

* PWM% = (295 + (17.5 * dBm above sensitivity)) / 10.24

A non-zero value defines the time that the PWM output will be active with the RSSI value of the last received RF packet. After the set time when no RF packets are received, the PWM output will be set low (0 percent PWM) until another RF packet is received. The PWM output will also be set low at power-up until the first RF packet is received. A parameter value of 0xFF permanently enables the PWM output and it will always reflect the value of the last received RF packet.

SH (Serial Number High) Command

<Diagnostics> The SH command is used to read the high 32 bits of the RF module's unique IEEE 64-bit address.

The RF module serial number is set at the factory and is read-only.

AT Command: ATSH

Parameter Range: 0 – 0xFFFFFFFF [read-only]

Related Commands: SL (Serial Number Low), MY (Source Address)

SL (Serial Number Low) Command

<Diagnostics> The SL command is used to read the low 32 bits of the RF module's unique IEEE 64-bit address.

The RF module serial number is set at the factory and is read-only.

AT Command: ATSL

Parameter Range: 0 – 0xFFFFFFFF [read-only]

Related Commands: SH (Serial Number High), MY (Source Address)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SM (Sleep Mode) Command

<Sleep Mode (Low Power)> The SM command is used to set and read Sleep Mode settings. By default, Sleep Modes are disabled (SM = 0) and the RF module remains in Idle/Receive Mode. When in this state, the RF module is constantly ready to respond to either serial or RF activity.

SM command options vary according to the networking system type. By default, the module is configured to operate in a NonBeacon system.

AT Command: ATSM

Parameter Range: 0 – 5

Parameter	Configuration
0	Disabled
1	Pin Hibernate
2	Pin Doze
3	(reserved)
4	Cyclic Sleep Remote
5	Cyclic Sleep Remote (with Pin Wake-up)

Default Parameter Value: 0

Related Commands: SP (Cyclic Sleep Period), ST (Time before Sleep)

SP (Cyclic Sleep Period) Command

<Sleep Mode (Low Power)> The SP command is used to set and read the duration of time in which a remote RF module sleeps. After the cyclic sleep period is over, the RF module wakes and checks for data. If data is not present, the RF module goes back to sleep. The maximum sleep period is 268 seconds (SP = 0x68B0).

The SP parameter is only valid if the RF module is configured to operate in Cyclic Sleep (SM = 4-6).

AT Command: ATSP

Parameter Range: 1 – 0x68B0 [x 10 milliseconds]

Default Parameter Value: 0x64 (100d)

Related Commands: SM (Sleep Mode), ST (Time before Sleep)

ST (Time before Sleep) Command

<Sleep Mode (Low Power)> The ST command is used to set and read the period of time that the RF module remains inactive (no transmitting or receiving) before entering into Sleep Mode.

For example, if the ST parameter is set to its default value of 0x1388 (5000 decimal), the RF module will enter into Sleep mode after 5 seconds of inactivity. This command can only be used if Cyclic Sleep settings have been selected using SM (Sleep Mode) Command (SM = 4-6).

AT Command: ATST

Parameter Range: 1 – 0xFFFF [x 1 millisecond]

Default Parameter Value: 0x1388 (5000 decimal)

Related Commands: SM (Sleep Mode), SP (Cyclic Sleep Period)

NOTE: The GT parameter value must always be less than the ST value. (If GT > ST, the configuration will render the module unable to enter into command mode.) If the ST parameter is modified, also modify the GT parameter accordingly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VR (Firmware Version) Command

<Diagnostics> The VR command is used to read which firmware version is stored in the RF module.

AT Command: ATVR

Parameter Range: 0 – 0xFFFF [read only]

WR (Write) Command

<(Special)> The WR command is used to write configurable parameters to the RF module's non-volatile memory (Parameter values remain in RF module's memory until overwritten by subsequent use of the WR Command).

AT Command: ATWR

If changes are made without writing them to non-volatile memory, the RF module reverts back to previously saved parameters the next time the RF module is powered-on.

NOTE: Once the WR command is sent to the RF module, no additional characters should be sent until after the "OK/r" response is received.

เอกสารนี้เป็นงานที่ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A: Agency Certifications

FCC Certification

The XBee/XBee-PRO RF Module complies with Part 15 of the FCC rules and regulations. Compliance with the labeling requirements, FCC notices and antenna usage guidelines is required.

To fulfill FCC Certification requirements, the OEM must comply with the following regulations:

1. The system integrator must ensure that the text on the external label provided with this device is placed on the outside of the final product [Figure A-01].
2. The XBee/XBee-PRO RF Module may be used only with approved antennas that have been tested with this modem.

OEM Labeling Requirements

WARNING: The Original Equipment Manufacturer (OEM) must ensure that FCC labeling requirements are met. This includes a clearly visible label on the outside of the final product enclosure that displays the contents shown in the figure below.

Figure A-01. Required FCC Label for OEM products containing the XBee/XBee-PRO RF Module

Contains FCC ID: OUR-XBEE*

The enclosed device complies with Part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions: (1) this device may not cause harmful interference and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

* The FCC ID for the XBee is "OUR-XBEE". The FCC certification for the XBee-PRO is pending.

FCC Notices

IMPORTANT: The XBee/XBee-PRO OEM RF Module has been certified by the FCC for use with other products without any further certification (as per FCC section 2.1091). Modifications not expressly approved by MaxStream could void the user's authority to operate the equipment.

IMPORTANT: OEMs must test final product to comply with unintentional radiators (FCC section 15.107 & 15.109) before declaring compliance of their final product to Part 15 of the FCC Rules.

IMPORTANT: The RF module has been certified for remote and base radio applications. If the module will be used for portable applications, the device must undergo SAR testing.

This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to Part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference in a residential installation. This equipment generates, uses and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful interference to radio communications. However, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation.

If this equipment does cause harmful interference to radio or television reception, which can be determined by turning the equipment off and on, the user is encouraged to try to correct the interference by one or more of the following measures: Re-orient or relocate the receiving antenna, Increase the separation between the equipment and receiver, Connect equipment and receiver to outlets on different circuits, or Consult the dealer or an experienced radio/TV technician for help.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FCC-Approved Antennas (2.4 GHz)

The XBee/XBee-Pro OEM RF Module can be installed utilizing antennas and cables constructed with standard connectors (Type-N, SMA, TNC, etc.) if the installation is performed professionally and according to FCC guidelines. For installations not performed by a professional, non-standard connectors (RPSMA, RPTNC, etc.) must be used.

The modules are pre-FCC approved for use in fixed base station and mobile applications [refer to table below]. As long as the antenna is mounted at least 20 cm (8 in) from nearby persons, the application is considered a mobile application. Antennas not listed in the table must be tested to comply with FCC Section 15.203 (unique antenna connectors) and Section 15.247 (emissions).

Table A-01. Antennas approved for use with the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules (all 2.4 GHz)

Part Number	Type (Description)	Gain	Application	Min. Separation
A24-HABMM-PSI	Dipole (Half-wave bulkhead mount articulated MMCX w/ pigtail)	2.1 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-HBMM-PSI	Dipole (Half-wave bulkhead mount MMCX w/ pigtail)	2.1 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-HABSM	Dipole (Articulated RPSMA)	2.1 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-QBMM-PSI	Monopole (Quarter-wave bulkhead mount MMCX w/pigtail)	1.9 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-QABMM-PSI	Monopole (Quarter-wave bulkhead mount articulated MMCX w/pigtail)	1.9 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-QI	Monopole (Integrated whip)	1.9 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-C1	Surface Mount	-1.5 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-Y4NF	Yagi (4-element)	6.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y6NF	Yagi (6-element)	8.8 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y7NF	Yagi (7-element)	9.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y9NF	Yagi (9-element)	10.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y10NF	Yagi (10-element)	11.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y12NF	Yagi (12-element)	12.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y13NF	Yagi (13-element)	12.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y15NF	Yagi (15-element)	12.5 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y16NF	Yagi (16-element)	13.5 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y16RM	Yagi (16-element, RPSMA connector)	13.5 dBi	Fixed*	2 m
A24-Y18NF	Yagi (18-element)	15.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-F2NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	2.1 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-F3NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	3.0 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-F5NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	5.0 dBi	Fixed/Mobile*	20 cm
A24-F8NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	8.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-F9NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	9.5 dBi	Fixed*	2 m
A24-F10NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	10.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-F12NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	12.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-F15NF	Omni-directional (Fiberglass base station)	15.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-W7NF	Omni-directional (Base station)	7.2 dBi	Fixed*	2 m
A24-M7NF	Omni-directional (Mag-mount base station)	7.2 dBi	Fixed*	2 m
A24-P8SF	Flat Panel	8.5 dBi	Fixed*	2 m
A24-P8NF	Flat Panel	8.5 dBi	Fixed*	2 m
A24-P13NF	Flat Panel	13.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-P14NF	Flat Panel	14.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-P15NF	Flat Panel	15.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-P16NF	Flat Panel	16.0 dBi	Fixed*	2 m
A24-P19NF	Flat Panel	19.0 dBi	Fixed*	2 m

* Antennas can be approved for portable applications if integrator gains approval through SAR testing. If the antenna will be mounted closer than 20 cm to nearby persons, then the application is considered "portable" and requires an additional test performed on the final product. This test is called the Specific Absorption Rate (SAR) testing and measures the emissions from the module and how they affect the person.

RF Exposure

WARNING: To satisfy FCC RF exposure requirements for mobile transmitting devices, a separation distance of 20 cm or more should be maintained between the antenna of this device and persons during device operation. To ensure compliance, operations at closer than this distance is not recommended. The antenna used for this transmitter must not be co-located in conjunction with any other antenna or transmitter.

The preceding statement must be included as a CAUTION statement in manuals for OEM products to alert users on FCC RF Exposure compliance.

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

European Certification (pending)

The XBee/XBee-PRO RF Module has been certified for use in several European countries. For a complete list, refer to www.maxstream.net.

If the XBee/XBee-PRO RF Modules are incorporated into a product, the manufacturer must ensure compliance of the final product to the European harmonized EMC and low-voltage/safety standards. A Declaration of Conformity must be issued for each of these standards and kept on file as described in Annex II of the R&TTE Directive. Furthermore, the manufacturer must maintain a copy of the XBee/XBee-PRO user manual documentation and ensure the final product does not exceed the specified power ratings, antenna specifications, and/or installation requirements as specified in the user manual. If any of these specifications are exceeded in the final product, a submission must be made to a notified body for compliance testing to all required standards.

OEM Labeling Requirements

The 'CE' marking must be affixed to a visible location on the OEM product.

Figure A-02. CE Labeling Requirements

The CE mark shall consist of the initials "CE" taking the following form:

- If the CE marking is reduced or enlarged, the proportions given in the above graduated drawing must be respected.
- The CE marking must have a height of at least 5mm except where this is not possible on account of the nature of the apparatus.
- The CE marking must be affixed visibly, legibly, and indelibly.

Restrictions

France - France imposes restrictions on the 2.4 GHz band. Go to www.art-telecom.Fr or contact MaxStream for more information.

Norway - Norway prohibits operation near Ny-Alesund in Svalbard. More information can be found at the Norway Posts and Telecommunications site (www.npt.no).

Declarations of Conformity

MaxStream has issued Declarations of Conformity for the XBee/XBee-PRO RF Modules concerning emissions, EMC and safety. Files are located in the 'documentation' folder of the MaxStream CD.

Important Note

MaxStream does not list the entire set of standards that must be met for each country. MaxStream customers assume full responsibility for learning and meeting the required guidelines for each country in their distribution market. For more information relating to European compliance of an OEM product incorporating the XBee/XBee-PRO RF Module, contact MaxStream, or refer to the following web sites:

CEPT ERC 70-03E - Technical Requirements, European restrictions and general requirements: Available at www.ero.dk/.

R&TTE Directive - Equipment requirements, placement on market: Available at www.ero.dk/.

© 2005 MaxStream, Inc., Confidential & Proprietary - All Rights Reserved

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix B: Development Guide

Development Kit Contents

The XBee Development Kit includes the hardware and software needed to rapidly create long range wireless links between devices.

Table B-01. Items Included in the Development Kit

Item	Qty.	Description	Part #
XBee-PRO Module	2	(1) OEM RF Module w/ U.FL antenna connector (1) OEM RF Module w/ attached wire antenna	XBP24-...UI-... XBP24-...WI-...
XBee Module	3	(1) OEM RF Module w/ U.FL antenna connector (1) OEM RF Module w/ attached wire antenna (1) OEM RF Module w/ chip antenna	XB24-...UI-... XB24-...WI-... XB24-...CI-...
RS-232 Interface Board	1	Board for interfacing between modules and RS-232 devices (Converts signal levels, displays diagnostic info, & more)	XBIB-R
USB Interface Board	1	Board for interfacing between modules & USB devices (Converts signal levels, displays diagnostic info, & more)	XBIB-U
RS-232 Cable (6', straight-through)	1	Cable for connecting RS-232 interface board with DTE devices (devices that have a male serial DB-9 port - such as most PCs)	JD2D3-CDS-6F
USB Cable (6')	1	Cable for connecting USB interface board to USB devices	JU1U2-CSB-6F
Serial Loopback Adapter	1	[Red] Adapter for configuring the module assembly (module + RS-232 interface board) to function as a repeater for range testing	JD2D3-CDL-A
NULL Modem Adapter (male-to-male)	1	[Black] Adapter for connecting the module assembly (module + RS-232 interface board) to other DCE (female DB-9) devices	JD2D2-CDN-A
NULL Modem Adapter (female-to-female)	1	[Gray] Adapter for connecting serial devices. It allows users to bypass the radios to verify serial cabling is functioning properly.	JD3D3-CDN-A
9VDC Power Adapter	1	Adapter for powering the RS-232 interface board	JP5P2-9V11-6F
9V Battery Clip	1	Clip for remotely powering the RS-232 board w/ a 9V battery	JP2P3-C2C-4I
RPSMA Antenna	1	RPSMA half-wave dipole antenna (2.4 GHz, 2.1 dB)	A24-HASM-525
RF Cable Assembly	1	Adapter for connecting RPSMA antenna to U.FL connector	JF1R6-CR3-4I
CD	1	Documentation and Software	MD0010
Quick Start Guide	1	Step-by-step instruction on how to create wireless links & test range capabilities of the modules	MD0026

Interfacing Options

The development kit includes an RS-232 and a USB interface board. Both boards provide a direct connection to many serial devices and therefore provide access to the RF module registries. Parameters stored in the registry allow OEMs and integrators to customize the modules to suite the needs of their data radio systems.

The following sections illustrate how to use the interface boards for development purposes. The MaxStream Interface board provides means for connecting the module to any node that has an available RS-232 or USB connector. Since the module requires signals to enter at TTL voltages, one of the main functions of the interface board is to convert signals between TTL levels and RS-232 and USB levels.

Note: In the following sections, an OEM RF Module mounted to an interface board will be referred to as a "Module Assembly".

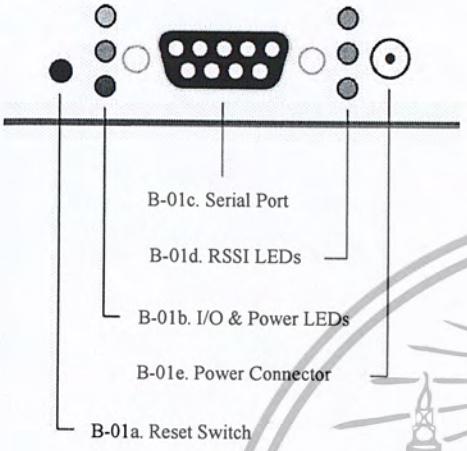
เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS-232 Interface Board

Physical Interface

B-01a. Reset Switch

Figure B-01. Front View

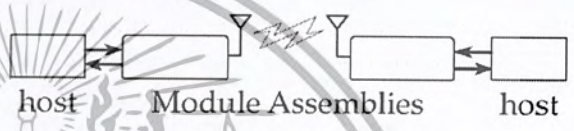


The Reset Switch is used to reset (re-boot) the RF module. This switch only applies when using the configuration tabs of MaxStream's X-CTU Software.

B-01b. I/O & Power LEDs

LEDs indicate RF module activity as follows:

Yellow (top LED) = Serial Data Out (to host)
Green (middle) = Serial Data In (from host)
Red (bottom) = Power/TX Indicator (LED is on when module assembly is powered)



B-01c. Serial Port

Standard female DB-9 (RS-232) connector.

B-01d. RSSI LEDs

RSSI LEDs indicate the amount of fade margin present in an active wireless link. Fade margin is defined as the difference between the incoming signal strength and the modem's receiver sensitivity.

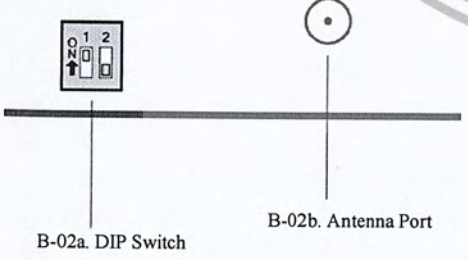
3 LEDs ON = Very Strong Signal (> 30 dB fade margin)
2 LEDs ON = Strong Signal (> 20 dB fade margin)
1 LED ON = Moderate Signal (> 10 dB fade margin)
0 LED ON = Weak Signal (< 10 dB fade margin)

B-01e. Power Connector

5-14 VDC power connector

B-02a. DIP Switch

Figure B-02. Back View



DIP Switch functions are not supported in this release. Future downloadable firmware versions will support DIP Switch configurations.

B-02b. Antenna Port

Port is a 50Ω RF signal connector for connecting to an external antenna. The connector type is RPSMA (Reverse Polarity SMA) female. The connector has threads on the outside of a barrel and a male center conductor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS-232 Pin Signals

Figure B-03. Pins used on the female RS-232 (DB-9) Serial Connector

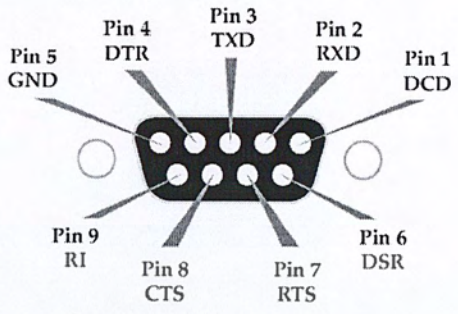


Table B-02. Pin Assignments and Implementations

DB-9 Pin	RS-232 Name	Description	Implementation*
1	DCD	Data-Carrier-Detect	Connected to DSR (pin6)
2	RXD	Received Data	Serial data exiting the module assembly (to host)
3	TXD	Transmitted Data	Serial data entering into the module assembly (from host)
4	DTR	Data-Terminal-Ready	Can enable Power-Down on the module assembly
5	GND	Ground Signal	Ground
6	DSR	Data-Set-Ready	Connected to DCD (pin1)
7	$\overline{\text{RTS}}$ / CMD	Request-to-Send / Command Mode	Provides $\overline{\text{RTS}}$ flow control or enables Command Mode
8	$\overline{\text{CTS}}$	Clear-to-Send	Provides $\overline{\text{CTS}}$ flow control
9	RI	Ring Indicator	Optional power input that is connected internally to the positive lead of the front power connector

* Functions listed in the implementation column may not be available at the time of release.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wiring Diagrams

Figure B-04. DTE Device (RS-232, male DB-9 connector) wired to a DCE Module Assembly (female DB-9)

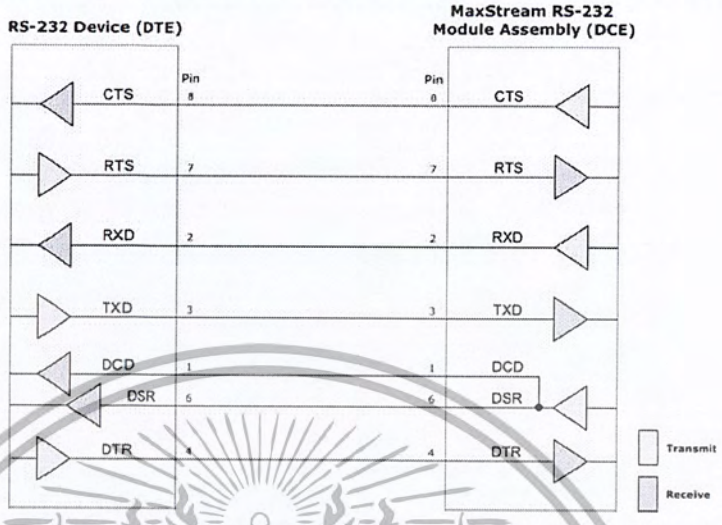
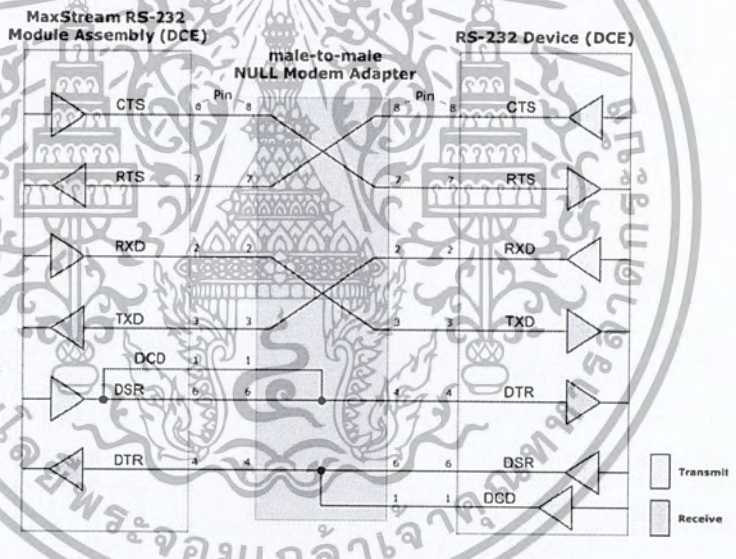
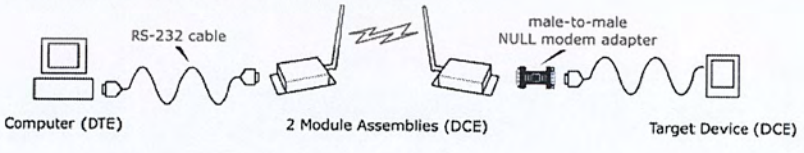


Figure B-05. DCE Module Assembly (female DB-9 connector) wired to a DCE Device (RS-232, male DB-9)



Sample Wireless Connection: DTE <--> DCE <--> DCE <--> DCE

Figure B-06. Typical wireless link between DTE and DCE devices



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adapters

The development kit includes several adapters that support the following functions:

- Performing Range Tests
- Testing Cables
- Connecting to other RS-232 DCE and DTE devices
- Connecting to terminal blocks or RJ-45 (for RS-485/422 devices)

NULL Modem Adapter (male-to-male)

Part Number: JD2D2-CDN-A (Black, DB-9 M-M) The male-to-male NULL modem adapter is used to connect two DCE devices. A DCE device connects with a straight-through cable to the male serial port of a computer (DTE).

Figure B-07. Male NULL modem adapter and pinouts

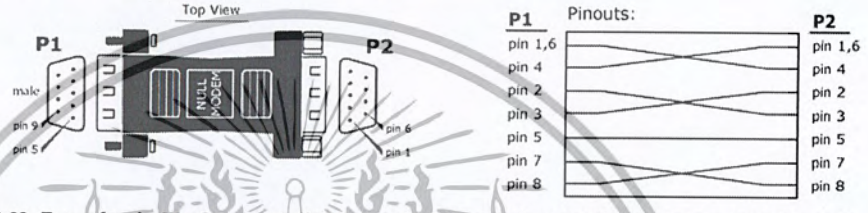
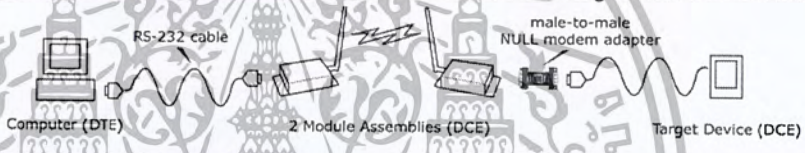


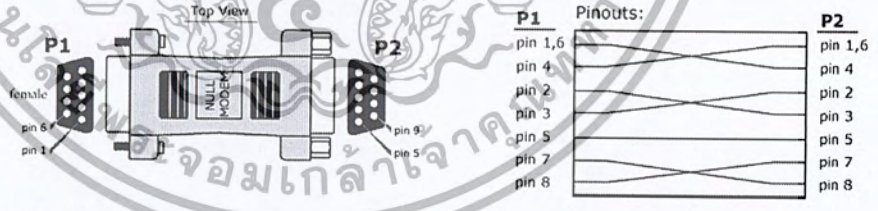
Figure B-08. Example of a MaxStream Radio Modem (DCE Device) connecting to another DCE device)



NULL Modem Adapter (female-to-female)

Part Number: JD3D3-CDN-A (Gray, DB-9 F-F) The female-to-female NULL modem adapter is used to verify serial cabling is functioning properly. To test cables, insert the female-to-female NULL modem adapter in place of a pair of module assemblies (RS-232 interface board + XTend Module) and test the connection without radio modules in the connection.

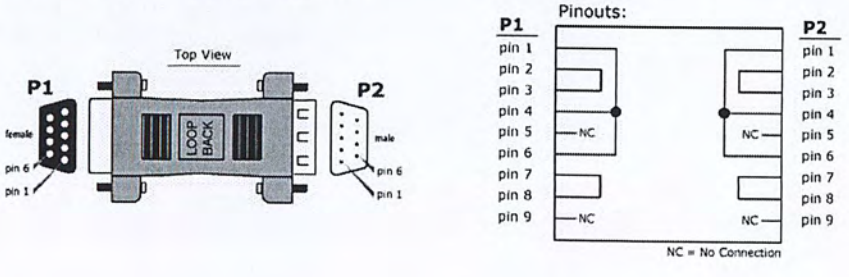
Figure B-09. Female NULL modem adapter and pinouts



Serial Loopback Adapter

Part Number: JD2D3-CDL-A (Red, DB-9 M-F) The serial loopback adapter is used for range testing. During a range test, the serial loopback adapter configures the module to function as a repeater by looping serial data back into the radio for retransmission.

Figure B-10. Serial loopback adapter and pinouts



© 2005 MaxStream, Inc. Confidential & Proprietary - All Rights Reserved

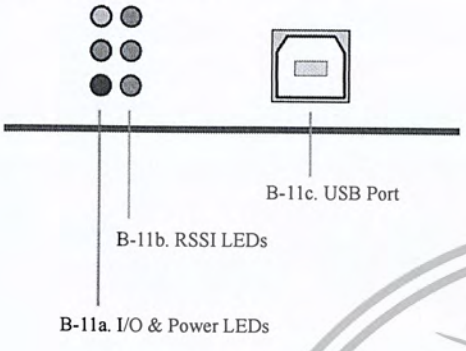
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของผู้ใช้งานเพื่อการอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USB Interface Board

Physical Interface

B-11a. I/O & Power LEDs

Figure B-11. Front View



LEDs indicate RF module activity as follows:

Yellow (top LED) = Serial Data Out (to host)
Green (middle) = Serial Data In (from host)
Red (bottom) = Power/TX Indicator (Red LED is illuminated when RF module is powered)

B-11b. RSSI LEDs

RSSI LEDs indicate the amount of fade margin present in an active wireless link. Fade margin is defined as the difference between the incoming signal strength and the module's receiver sensitivity.

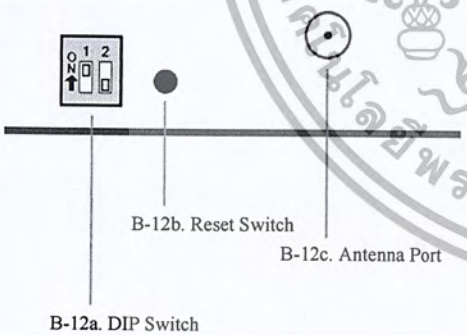
3 LEDs ON = Very Strong Signal (> 30 dB fade margin)
2 LEDs ON = Strong Signal (> 20 dB fade margin)
1 LED ON = Moderate Signal (> 10 dB fade margin)
0 LED ON = Weak Signal (< 10 dB fade margin)

B-11c. USB Port

Standard Type-B OEM connector is used to communicate with OEM host and power the RF module.

B-12a. DIP Switch

Figure B-12. Back View



DIP Switch functions are not supported in this release. Future downloadable firmware versions will support the DIP Switch configurations.

B-12b Reset Switch

The Reset Switch is used to reset (re-boot) the RF module.

B-12c. Antenna Port

Port is a 50Ω RF signal connector for connecting to an external antenna. The connector type is RPSMA (Reverse Polarity SMA) female. The connector has threads on the outside of a barrel and a male center conductor.

USB Pin Signals

Table B-03. USB signals and their implantations on the XBee/XBee-PRO RF Module

Pin	Name	Description	Implementation
1	VBUS	Power	Power the RF module
2	D-	Transmitted & Received Data	Transmit data to and from the RF module
3	D+	Transmitted & Received Data	Transmit data to and from the RF module
4	GND	Ground Signal	Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix C: Additional Information

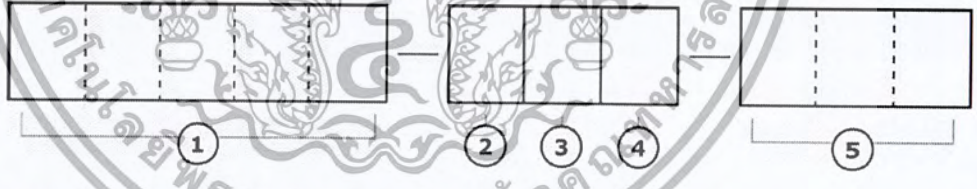
1-Year Warranty

XBee/XBee-PRO RF Modules from MaxStream, Inc. (the "Product") are warranted against defects in materials and workmanship under normal use, for a period of 1-year from the date of purchase. In the event of a product failure due to materials or workmanship, MaxStream will repair or replace the defective product. For warranty service, return the defective product to MaxStream, shipping prepaid, for prompt repair or replacement.

The foregoing sets forth the full extent of MaxStream's warranties regarding the Product. Repair or replacement at MaxStream's option is the exclusive remedy. THIS WARRANTY IS GIVEN IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, AND MAXSTREAM SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MAXSTREAM, ITS SUPPLIERS OR LICENSORS BE LIABLE FOR DAMAGES IN EXCESS OF THE PURCHASE PRICE OF THE PRODUCT, FOR ANY LOSS OF USE, LOSS OF TIME, INCONVENIENCE, COMMERCIAL LOSS, LOST PROFITS OR SAVINGS, OR OTHER INCIDENTAL, SPECIAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THE PRODUCT, TO THE FULL EXTENT SUCH MAY BE DISCLAIMED BY LAW. SOME STATES DO NOT ALLOW THE EXCLUSION OR LIMITATION OF INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES. THEREFORE, THE FOREGOING EXCLUSIONS MAY NOT APPLY IN ALL CASES. This warranty provides specific legal rights. Other rights which vary from state to state may also apply.

Ordering Information

Figure C-01. Divisions of the XBee/XBee-PRO RF Module Part Numbers



(1) MaxStream Product Family
- XB24 = XBee 2.4 GHz
- XBP24 = XBee-PRO 2.4 GHz

(2) Reserved for internal use

(3) Antenna Option
- C = Chip Antenna
- U = U.FL RF Connector
- W = Attached Wire Antenna

(4) Rating
- I = Industrial (-40 to 85° C)
- D = Class I, Division 2

(5) Protocol
- 001 = 802.15.4
- 002 = ZigBee

For example:

XBP24-AWI-001 = XBee-PRO OEM RF Module, 2.4 GHz, attached wire antenna, Industrial temperature rating, IEEE 802.15.4 standard

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contact MaxStream

Free and unlimited technical support is included with every MaxStream Radio Modem sold.

For the best in wireless data solutions and support, please use the following resources:

Documentation:	www.maxstream.net/helpdesk/download.php	
Technical Support:	Phone.	(866) 765-9885 toll-free U.S.A. & Canada (801) 765-9885 Worldwide
	Live Chat.	www.maxstream.net
	E-Mail.	rf-xperts@maxstream.net

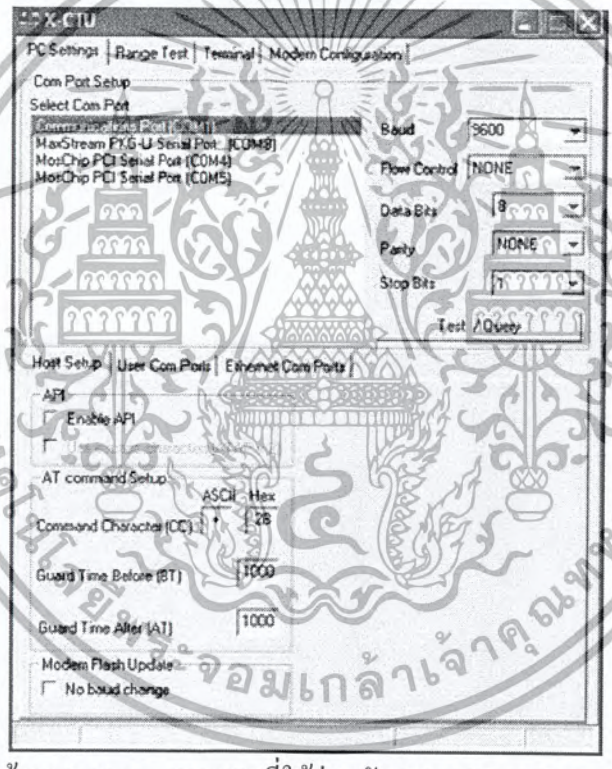
MaxStream office hours are 8:00 am - 5:00 pm [U.S. Mountain Standard Time]

เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รู้จัก X-CTU

X-CTU เป็น software interface บนคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยในการ update firmware ทดสอบการใช้งาน หรือปรับ parameter ใน Xbee โดยท่านสามารถ download software user interface ที่ใช้ร่วมกันกับ Xbee การใช้งาน สามารถอ่านจากคู่มือ X-CTU Configuration & Test Utility Software User Guide

หลังจากที่ Download ตัว Software มาแล้ว การ Install จะใช้เวลานานพอสมควรเนื่องจาก จะมีการ Download Firmware ล่าสุดจาก Digi ผ่าน internet (ควรต่อ internet ไว้ด้วย) กรุณารอจนติดตั้งเสร็จ จะได้ firmware ครบถ้วน



รูปหน้าตา Software X-CTU ที่ใช้ร่วมกับ Xbee (Free Download)

รู้จัก Firmware

สำหรับ Xbee นั้น ในแต่ละรุ่นที่ซื้อ จะมี firmware ที่โปรแกรมมาแล้วจากทางโรงงาน ซึ่งสามารถดึงค่ามาดูได้โดยไปที่ Tab Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read

หากซื้อ Xbee Pro Series 1 มา เราจะต้องเลือก firmware version ที่ใช้ร่วมกัน คือ 1081 , 1082 , 1083 ,1084 , ... ซึ่ง firmware ล่าสุดคือ 1084 (หาข้อมูลเรื่อง firmware ที่ใช้ในแต่ละรุ่น ได้จาก www.digi.com หรือจาก Datasheet) หากเลือก Xbee รุ่นธรรมดา (ไม่ Pro) จะต้องเลือก group XB24xxxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้นไป ส่วน ถ้าเลือกรุ่น Pro มา ต้องเลือก XBP24xxxx สำหรับ ในแต่ละ series นั้น จะลงท้ายไม่เหมือนกัน เช่น series2 ZB จะเป็น XB24-ZB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถ Set parameter ใน Tab Modem Configuration ได้ง่าย ๆ แล้วกด write Firmware ซึ่งสามารถทดลองใช้งานง่าย ๆ ด้วยการใช้อุปกรณ์ Dongle และ Xbee 1 คู่ สร้างเครือข่ายแบบ Point-to-Point ร่วมกับ X-CTU เพื่อกำหนด Parameter ให้กับ Xbee ผ่าน firmware และ X-CTU สามารถ เปิดออกมาใช้กี่หน้าต่างก็ได้ครับ สำหรับ การทดลองนี้ เปิดใช้ X-CTU 2 หน้าต่าง

การ set อุปกรณ์

ทางร้านใช้อุปกรณ์ดังรูปด้านล่างครับ Xbee Pro Seires1 + USB Dongle เสียบอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ดังรูป แล้วเปิด X-CTU 2 หน้าต่าง แล้วไปที่หน้า Tab Modem Configuration แล้วกด Read (ต้องโหลดมาเป็น Firmware 1084 หากไม่ใช่ ให้เลือก Firmware 1084 เพราะเป็น Firmware ล่าสุดของ Xbee Pro Seires1รุ่นนี้)

1. ทำการ set parameter ให้ฝั่งหนึ่งเป็น End device และ อีกฝั่งเป็น Coordinator (CE)
2. การ set parameter จะทำการ set ผ่านทาง X-CTU โดยฝั่งส่งเป็น End Device (CE=0) และ ค่า MY = 1 (16 bit address) และ set ฝั่งรับ เป็น Coordinator (CE=1) และ ค่า MY = 2 (16 bit address) ทั้งนี้ ได้ set baud rate ที่ตัว Xbee ทั้ง 2 ตัวที่ 9600 bps (BD=3)
3. ทำการ set ให้ parameter DH และ DL ของแต่ละฝั่งให้มีค่าเท่ากับ SH และ SL ของฝั่งตรงข้าม โดย SH SL เป็นค่า address ที่เราเปลี่ยนไม่ได้ (Read Only) เป็นค่าที่ใส่มาจากโรงงาน
4. กด write firmware แล้วทดสอบใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. คัมภีร์ หุ่นยนต์ (ROBOT). สำนักพิมพ์ วี ซี พี ซัคเซสกรุ๊ป. 2549.

[2] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. MICROCONTROLLER PLC COMPUTER. สำนักพิมพ์ บริษัท เพชร-เกษม พริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด. 2549.

[3] จักรพงษ์ สุขประเสริฐ, สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร. เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 7. สำนักพิมพ์ Dev-Book. 2545.

[4] โอฬาร ภูวธนารักษ์. หุ่นยนต์รถควบคุมโดย VISUAL BASIC. ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม. สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ปีการศึกษา 2549

[5] วรวุฒิ ศรีทอง (HS8JYX). วิทยุสมัครเล่น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.hs8jyx.com/

[6] Resources For Thai Developers.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.thaidev.com/

[7] Thai Telecommunication Knowledge Management. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.thaitelecomkm.org/

[8] On-Line Electronic Shop For Embedded System. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.thaieasyelec.com/

[9] TECHXCHANGE. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.pantip.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้