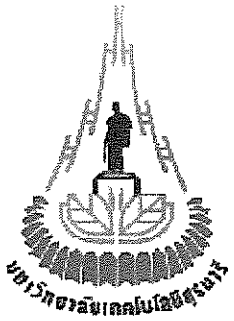


ตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ

โดย

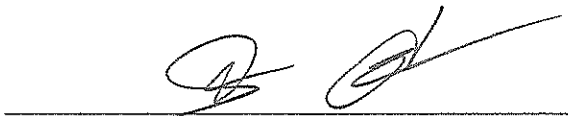
นางสาวมุกดา	ปรือทะเล	รหัสประจำตัว	B5209736
นายยุทธนา	กรุมรัมย์	รหัสประจำตัว	B5215119
นางสาวณิชากร	ไทยยินดี	รหัสประจำตัว	B5217083

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2555

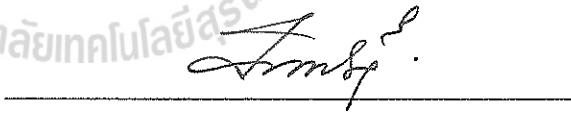
ตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ

คณะกรรมการสอบโครงงาน



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก)
กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2555

โครงงาน	ตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ		
ผู้ดำเนินงาน	1. นายยุทธนา	กรุมรัมย์	รหัสประจำตัว B5215119
	2. นางสาวณิชากร	ไทยยินดี	รหัสประจำตัว B5217083
	3. นางสาวมุกดา	ปรือทะเล	รหัสประจำตัว B5209736
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม		
ภาคการศึกษา	1/2555		

บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงงานนี้นำเสนอ ตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ โดยนำเทคโนโลยีไร้สายจากอุปกรณ์ที่เรียกว่า X-Bee รุ่น Serise2 (ZB) ในการรับ-ส่งสัญญาณโดยปรับตั้งให้ทำงานในโหมด API ซึ่งเป็นโหมดที่ X-Bee สามารถทำงานเป็นตัวควบคุม (Controller) ในตัว โดยสามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์ที่จะมาเชื่อมต่อได้โดยตรงทำให้ไม่ต้องใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ (MCU) ในการทดสอบการทำงานของตู้ไปรษณีย์สามารถแจ้งเตือนเจ้าของบ้านว่ามีจดหมายมาส่งแล้ว ทั้งในรูปแบบของเสียงเตือนและสัญญาณไฟ โดยผู้ออกแบบได้ใช้สวิตซ์ในการตรวจจับการเปิด–ปิด ตู้ไปรษณีย์และส่งสัญญาณแบบไร้สายไปยังเครื่องรับที่อยู่ในบ้านเพื่อเตือนเจ้าของบ้าน ผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าตู้ไปรษณีย์บอกสถานะที่ออกแบบขึ้น สามารถทำงานได้จริงตรงตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบทุกประการ

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

การจัดทำโครงงานเรื่องตู้ไปรษณีย์บอกสถานะได้ประสบความสำเร็จด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาในด้านต่างๆในระหว่างการดำเนินการจากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษารวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานครั้งนี้ซึ่งบุคคลเหล่านี้ประกอบไปด้วย

ผศ.ร.อ. ดร.ประโยชน์คำสวัสดิ์ (อาจารย์ที่ปรึกษาที่ปรึกษาโครงงาน)

นายปัญญา หันตุลา (นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม)

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการใช้งานโปรแกรม ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายยุทธนา กรุมรัมย์

นางสาวณิชากร ไทยยินดี

นางสาวมุกดา ปรือทะเล

คณะผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	4
2.2 โมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise2	5
2.3 Introduction X-Bee BASIC	7
2.4 คุณสมบัติของ X-Bee	14
2.4.1 คุณสมบัติโดยทั่วไป	15
2.4.2 คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูล	15
2.5 การจัดขาการทำงานของ X-Bee	21
2.6 รีจิสเตอร์ที่ควรทราบของโมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise 2	23
2.7 สวิตช์ (Switch)	24
2.7.1 ชนิดของสวิตซ์ที่ใช้งาน	24
2.7.2 ชนิดของปุ่มกด	24
2.8 วงจรบันทึกเสียงดิจิตอล รุ่น FK941	25
2.8.1 ข้อมูลทางด้านเทคนิค	26
2.8.2 การทำงานของวงจร	26
2.8.3 การนำไปใช้งาน	26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

2.9 การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 29

2.9.1 คุณสมบัติของบอร์ด 30

2.9.2 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3) 31

2.9.3 ขั้วต่อสัญญาณต่างๆ 32

บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบระบบของโครงงาน

3.1 บทนำ 36

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ 36

3.3 หลักการทำงานของตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ 39

3.3.1 แผนภาพการทำงานของตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ 39

3.3.2 การออกแบบรูปแบบการสื่อสารของโมดูล X-Bee 40

3.3.3 การใช้งานตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ 42

3.3.4 หลักการทำงานของโปรแกรมและการเขียนโปรแกรม 48

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 บทนำ 52

4.2 การทดลองที่ 1 การทดสอบการส่ง-รับข้อมูลของ X-Bee ภาครับและภาคส่ง 52

4.2.1 วัตถุประสงค์ 52

4.2.2 วิธีการทดลอง 52

4.2.3 ผลการทดลองที่ 1 60

4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1 61

4.2.5 สรุปผลการทดลองที่ 1 63

4.3 การทดลองที่ 2 การทดลองการรับ – ส่งเฟรมข้อมูลผ่านโมดูล X-Bee 64

4.3.1 วัตถุประสงค์ 64

4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง 64

4.3.3 ผลการทดลองที่ 2 66

4.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2 67

4.3.5 สรุปผลการทดลองที่ 69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 การทดลองที่ 3 การทดสอบการรับ – ส่งข้อมูลระหว่าง X-Bee ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ การแสดงผ่าน LED	70
4.4.1 วัตถุประสงค์	70
4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง	70
4.4.3 ผลการทดลองที่ 3	72
4.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 3	73
4.4.5 สรุปผลการทดลองที่ 3	74
4.5 การทดลองที่ 4 การทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมดที่ออกแบบขึ้น	74
4.5.1 วัตถุประสงค์	74
4.5.2 ขั้นตอนการทดลอง	74
4.5.3 ผลการทดลองที่ 4	76
4.5.4 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4	77
4.5.5 สรุปผลการทดลองที่ 4	77
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดสอบ	78
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	78
5.3 ข้อเสนอแนะ	79
ประวัติผู้เขียน	80
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก ก	83
ภาคผนวก ข	98
ภาคผนวก ค	117
ภาคผนวก ง	123

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 X-Bee PRO 50mW U.F.L Connection - Series 2 (ZB)	5
รูปที่ 2.2 X-Bee PRO 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB)	6
รูปที่ 2.3 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน	7
รูปที่ 2.4 X-Bee Stack	8
รูปที่ 2.5 ขาของโมดูล X-Bee	10
รูปที่ 2.6 เครือข่าย X-Bee แบบ Star , Cluster , Mesh	11
รูปที่ 2.7 Internal Data Flow Diagram	13
รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อโมดูล X-Bee กับ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	16
รูปที่ 2.9 มาตรฐานของระดับชั้น	18
รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อแบบ star	20
รูปที่ 2.11 ขนาดและรูปร่างของสวิตซ์	24
รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ของสวิตซ์	24
รูปที่ 2.13 การต่อสวิตซ์เข้ากับ X-Bee	25
รูปที่ 2.14 วงจรบันทึกเสียงดิจิตอล 20-60 วินาที พร้อมขยายเสียง 2 วัตต์	28
รูปที่ 2.15 การต่อใช้งาน	28
รูปที่ 2.16 อุปกรณ์ บันทึกเสียงดิจิตอล รุ่น FK941	29
รูปที่ 2.17 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)	31
รูปที่ 2.18 โครงสร้างพอร์ต P0 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	33
รูปที่ 2.19 โครงสร้างพอร์ต P1 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	33
รูปที่ 2.20 โครงสร้างพอร์ต P2 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	33
รูปที่ 2.21 โครงสร้างพอร์ต P3 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 2.22 โครงสร้างพอร์ต P4 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 2.23 โครงสร้างพอร์ต RS232 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 2.24 โครงสร้างพอร์ต ET-DOWLOAD ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	35
รูปที่ 2.25 วงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับ RS232 และ ET-DOWNLOAD	35
รูปที่ 3.1 สวิตซ์กดติดปล่อยดับ	36
รูปที่ 3.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3	37

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.3 โมดูล X-Bee PRO 50mW U.F.L Connection - Series 2 (ZB) และ บอร์ดเชื่อมโมดูล X-Bee	37
รูปที่ 3.4 สายอากาศแบบ U.F.L และ Interface Cable	37
รูปที่ 3.5 โมดูล X-Bee PRO 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB)	38
รูปที่ 3.6 วงจรบันทึกเสียงดิจิตอล รุ่น FK941	38
รูปที่ 3.7 ตู้ไปรษณีย์ที่ออกแบบขึ้น	38
รูปที่ 3.8 แผนภาพการทำงานตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ	39
รูปที่ 3.9 การสื่อสารระหว่าง 2 โนด เป็นแบบ Point-to-Point	40
รูปที่ 3.10 การส่งข้อมูลแบบสองทิศทาง	40
รูปที่ 3.11 ทดสอบการส่งกลับของโมดูล X-Bee	41
รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไปเข้ากับ โมดูล X-Bee	41
รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อโมดูล X-Bee เข้ากับสวิตซ์	42
รูปที่ 3.14 กดปุ่มรีเซตที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	42
รูปที่ 3.15 ไฟ LED ที่ P1.0 จะกระพริบ 2 ครั้ง	43
รูปที่ 3.16 บุรุษไปรษณีย์มาส่งจดหมาย ก็จะเปิดตู้ไปรษณีย์เพื่อส่งจดหมาย	43
รูปที่ 3.17 สวิตซ์ที่ติดอยู่กับตู้ไปรษณีย์จะเริ่มเปลี่ยนสถานะ	44
รูปที่ 3.18 บุรุษไปรษณีย์หย่อนจดหมายลงในตู้ไปรษณีย์	44
รูปที่ 3.19 หลอดไฟ LED ที่ P1.0 ก็จะติดค้างไว้เพื่อแจ้งสถานะ	45
รูปที่ 3.20 เสียงเตือนว่ามีจดหมายมาส่งดังขึ้น 1 ครั้ง	45
รูปที่ 3.21 การกดปุ่มรีเซตที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในบ้าน	46
รูปที่ 3.22 หลอดไฟ LED ที่ P1.0 จะกระพริบ 2 ครั้ง	46
รูปที่ 3.23 หลอดไฟ LED ที่ P1.0 จะติดค้างไว้	47
รูปที่ 3.24 การเขียนโปรแกรมการส่งเฟรมข้อมูล (Frame Data) ให้กับโมดูล X-Bee ภาครับ	49
รูปที่ 3.25 การเขียนโปรแกรมการรับเฟรมข้อมูล (Frame Data) จากโมดูล X-Bee ภาครับ	50
รูปที่ 4.1 การตั้งค่า Baud rate	53
รูปที่ 4.2 การเขียนโมดูล X-Bee เป็นภาคส่ง (Coordinator) ในโหมด API	54
รูปที่ 4.3 การตั้งค่าปลายทางที่ภาคส่งจะทำการส่งเฟรมข้อมูลออกไป	55

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.4 การตั้งค่า Baud rate	56
รูปที่ 4.5 การตั้งค่าโมดูล X-Bee เป็นภาครับในโหมด API **(Router/End Device API)**	57
รูปที่ 4.6 การตั้งค่าปลายทางที่ภาครับจะทำการรับเฟรมข้อมูลที่ส่งมาจากภาคส่ง	58
รูปที่ 4.7 หน้าต่าง Terminal ของภาครับ (Coordinator) และภาคส่ง **(Router)**	59
รูปที่ 4.8 เฟรมข้อมูล (Frame Data) ที่ทำการส่งจากภาคส่ง (Coodinator) ไปยังภาครับ (Router)	61
รูปที่ 4.9 รูปแบบของโปรโตคอล API	63
รูปที่ 4.10 การตั้งค่า Destination และ การกำหนดขาอินพุตเป็น DI	64
รูปที่ 4.11 โครงสร้าง IC ของขาอินพุต X-Bee	65
รูปที่ 4.12 การตั้งค่า Digital IO Change Detection ให้กับขาอินพุตของ X-Bee	65
รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองของเฟรมข้อมูล (Frame Data) เมื่อยังไม่ได้ทำการกดสวิตซ์	66
รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของเฟรมข้อมูล (Frame Data) เมื่อทำการกดสวิตซ์แล้ว	67
รูปที่ 4.15 การต่อสวิตซ์เข้ากับขา DI02 ของโมดูล X-Bee	70
รูปที่ 4.16 การต่อโมดูล X-Bee ภาคส่งเข้ากับบอร์ด MCU	71
รูปที่ 4.17 พอร์ต P1.0 เมื่อยังไม่กดสวิตซ์	72
รูปที่ 4.18 พอร์ต P1.0 เมื่อทำการกดสวิตซ์แล้ว	73
รูปที่ 4.19 การต่ออุปกรณ์บันทึกเสียงดิจิตอลเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	75
รูปที่ ก.1 โปรแกรม Keil vertion 3	83
รูปที่ ก.2 การปิดงานเก่าที่ค้างอยู่	83
รูปที่ ก.3 สร้างโปรเจคไฟล์ใหม่	84
รูปที่ ก.4 สร้างโฟลเดอร์แยกงาน	84
รูปที่ ก.5 ตั้งชื่อโปรเจคไฟล์	85
รูปที่ ก.6 เลือกเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งาน	85
รูปที่ ก.7 เลือกเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งาน	86
รูปที่ ก.8 สร้างไฟล์เอกสาร	86
รูปที่ ก.9 หน้าต่างการทำงาน	86
รูปที่ ก.10 Save ไฟล์	87
รูปที่ ก.11 ตั้งชื่อไฟล์ นามสกุล .C	87

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ ก.12 เพิ่มไฟล์	87
รูปที่ ก.13 เลือกไฟล์ภาษาซี	88
รูปที่ ก.14 งานที่เปิดขึ้นจะปรากฏทางขวามือ	88
รูปที่ ก.15 คลิกไอคอนเพื่อตั้งค่า Target	88
รูปที่ ก.16 การตั้งค่า Crystal	89
รูปที่ ก.17 การตั้งค่าเพื่อสร้างไฟล์ HEX	89
รูปที่ ก.18 พื้นที่การเขียนโปรแกรม	90
รูปที่ ก.19 คลิกเพื่อทาการสร้างไฟล์ HEX	90
รูปที่ ก.20 ผลการเขียนโปรแกรม กรณีไม่มีข้อผิดพลาด	91
รูปที่ ก.21 ผลการเขียนโปรแกรม กรณีมีข้อผิดพลาด	91
รูปที่ ก.22 ไฟล์ HEX เมื่อเขียนเสร็จแล้ว	92
รูปที่ ก.23 เปิดโปรแกรม FLIP V2.4.4	93
รูปที่ ก.24 การเลือกกาหนดเบอร์ CPU ของ ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)	94
รูปที่ ก.25 การเลือกต่อผ่าน	94
รูปที่ ก.26 คลิกเมาส์ที่ปุ่ม Connect	95
รูปที่ ก.27 เลือกคาสั่ง “ File ⟶ Load Hex File…”	95
รูปที่ ก.28 คลิกเมาส์ที่ปุ่มคาสั่ง Run และรอจนการทางานของโปรแกรมเสร็จเรียบร้อย	96
รูปที่ ก.29 ตรวจสอบค่า Device BSB และ SBV ว่ามีค่าเป็น 00 ทั้งหมดแล้วหรือยัง	96
รูปที่ ก.30 คลิกเมาส์ที่ Stat Application	97
รูปที่ ข.1 TX(Transmit) Request: 64-bit address	115
รูปที่ ข.2 TX(Transmit) Request : 16-bit address	115
รูปที่ ข.3 RX (Receive) Packet : 64-bit address	116
รูปที่ ข.4 RX (Receive) Packet : 16-bit address	116

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตาราง 4.1 การส่งเฟรมข้อมูล (Frame Data) จากภาคส่ง (Coordinator) ไปยังภาครับ (Router) และเฟรมข้อมูลที่รับได้จากภาคส่ง	60
ตาราง 4.2 การทดสอบระยะเวลาในการกดสวิตซ์จากภายนอกบ้าน แล้วแจ้งเตือนโดยใช้สัญญาณไฟ (LED)	72
ตาราง 4.3 การตรวจสอบการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างโมดูล X-Bee ภาคส่งที่ต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูล X-Bee ภาครับที่ต่อกับสวิตซ์	76
ตารางที่ ข.1 คาสั่งของ X-Bee PRO	99
ตารางที่ ข.2 คาสั่งของ Network & Security	100
ตารางที่ ข.3 คาสั่งของ Sleep (Low Power)	109
ตารางที่ ข.4 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Serial Interfacing)	111
ตารางที่ ข.5 การตั้งค่าของขาโมดูล X-Bee (I/O Settings)	112

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้รับความนิยมและมีบทบาทที่สำคัญอย่างมากในชีวิตประจำวัน รูปแบบของการสื่อสารแบบไร้สายก็มีหลายรูปแบบ เช่นWifi , Bluetooth, Wireless เป็นต้นโมดูล X-Bee ก็ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์อีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถสื่อสารแบบไร้สายได้ โดยโมดูล X-Bee มีการรับส่งข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกับ Wifi และ Bluetooth แต่สื่อสารกันไม่ได้เพราะว่าโปรโตคอล (Protocal) ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นไม่เหมือนกัน โดย X-Bee จะนำอา Physical Layer และ MAC Layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN(Wireless Personal Area Network) และยังมีข้อดีคือ มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำราคาถูก และสามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่าน AA 3 ก้อน) นานเป็นเดือน หรือเป็นปีได้

ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะนำโมดูล X-Bee ไปประยุกต์ใช้กับตู้รับไปรษณีย์ โดยโครงงานนี้จะใช้โมดูล X-Bee Pro รุ่น Series 2 (ZB) จำนวน 2 ตัว เป็นด้านส่งและด้านรับซึ่งใช้รูปแบบการส่งแบบ Point to Point และมีการทำงานในโหมด API โดยที่โมดูล X-Bee ที่อยู่ภายในบ้านทำหน้าที่เป็นภาคส่งซึ่งต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งชุดคำสั่งไปยังโมดูล X-Bee ที่ต่อกับสวิตซ์ซึ่งอยู่ภายในตู้ไปรษณีย์โดยทำหน้าที่เป็นภาครับ เมื่อมีจดหมายหยอดเข้าไปในตู้โมดูล X-Bee ที่ภาครับก็จะส่งข้อมูลกลับไปยังโมดูล X-Bee ที่ภาคส่งแล้วนำข้อมูลไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้มีเสียงบอกและไฟติดขึ้นมา ทำให้ผู้อาศัยภายในบ้านรู้ว่า มีจดหมายมาส่งหรือมีจดหมายอยู่ในตู้ไปรษณีย์ที่หน้าบ้าน โครงงานนี้นำเสนอการทำงานของการสื่อสารไร้สายของโมดูล X-Bee Pro รุ่นSerise2 (ZB) มาใช้เป็นอุปกรณ์ในการส่งและรับสัญญาณเพื่อบอกว่ามีจดหมายมาส่ง แล้วทำการแปลงสัญญาณออกเป็นเสียงพูดและให้ไฟติดค้างไว้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของการสื่อสารไร้สายโดยใช้โมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise2 (ZB)
2. เพื่อศึกษาโปรแกรม X-CTU โปรแกรม X-Bee API Demo โปรแกรม Flip 2.4.2 และโปรแกรม Keil uVision3
3. เพื่อศึกษาการทำงานของโมดูล บันทึกเสียงดิจิตอล รุ่น FK941
4. เพื่อศึกษาการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)
5. เพื่อทดสอบระบบการบอกสถานะของตู้ไปรษณีย์โดยผ่านโมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise2 (ZB)
6. เพื่อฝึกการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิบัติงานจริง

1.3 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาการทำงานของการสื่อสารไร้สายโดยใช้โมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise2 (ZB)
2. ศึกษาโปรแกรม X-CTU โปรแกรม X-Bee API Demo โปรแกรม Flip 2.4.2 และโปรแกรม Keil uVision3
3. ศึกษาการทำงานของโมดูล บันทึกเสียงดิจิตอล รุ่น FK941
4. ศึกษาการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)
5. ทดสอบระบบการบอกสถานะของตู้ไปรษณีย์โดยผ่านโมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise2 (ZB)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาเรื่องที่ต้องการทำโครงงานแล้วนำมาปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา และเลือกโครงงานเรื่อง ตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ
2. ศึกษาข้อมูลนำมาประกอบกับความรู้ทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อ หาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับหัวข้อที่ต้องการศึกษา
3. ทำการจัดซื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทำโครงงานศึกษาคุณลักษณะอุปกรณ์และการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้น
4. ศึกษาโปรแกรมในการควบคุมการทำงาน โดยใช้โปรแกรม X-CTU โปรแกรม X-Bee API Demo โปรแกรม Flip 2.4.2 และโปรแกรม Keil uVision3
5. ทดลองใช้งานตู้ไปรษณีย์บอกสถานะ และปรับแต่งการทำงานตรวจสอบโปรแกรมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนการเตรียมเอกสาร
6. จัดทำเอกสารและนำเสนอโครงงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของการสื่อสารไร้สายโดยใช้โมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise2 (ZB)
2. มีความรู้เกี่ยวกับโปรแกรม X-CTU และโปรแกรม X-Bee API Demo โปรแกรม Flip 2.4.2 และโปรแกรม Keil uVision3
3. มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของโมดูล บันทึกเสียงดิจิตอล รุ่น FK941
4. มีความรู้เกี่ยวกับการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)
5. สามารถทดสอบระบบการบอกสถานะของตู้ไปรษณีย์โดยผ่านโมดูล X-Bee Pro รุ่น Serise2 (ZB)
6. สามารถแก้ไขปัญหาจากปฏิบัติงานจริง เช่น การหาพอร์ตของ X-Bee Pro ไม่พบ เป็นต้น

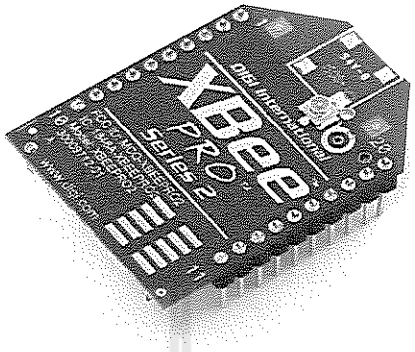
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ระบบสื่อสารไร้สาย (Wireless Telecommunication) มีมากมายหลายรูปแบบ เช่น GSM , CDMA, วิทยุย่าน 27 MHz และ 433 MHz , Wireless Lan , Wifi , WiMax ฯลฯ สำหรับในสมัยก่อนการจะทำเครื่องส่งเครื่องรับต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ซึ่งจะสามารถออกแบบวงจรเครื่องส่งเครื่องรับ มีหน้าที่ทำการ Matching สายอากาศ การออกแบบสายอากาศสำหรับย่านความถี่ต่างๆ ฯลฯ แต่ในปัจจุบันนี้มี IC RF ที่ Integrated รวมเอาภาคการออกแบบของ RF Engineer เข้าไปหลายส่วน ทำให้ง่ายในระดับที่ไม่ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ก็สามารถสร้างวงจรส่งและรับได้แล้วงานทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีความเกี่ยวข้องกับการสื่อสารทั้งสิ้น เช่น การสร้างเครือข่ายของระบบหนึ่งๆการติดต่อสื่อสารใช้งานอุปกรณ์ RF Module และที่คุ้นเคยกันดีก็คือการสื่อสารเพื่อใช้งานติดต่อกับอุปกรณ์อื่นๆผ่าน Interface ต่าง ๆ เช่น RS232 (UART), SPI, I2C, CAN, RS485, Ethernet, LAN, TCP/IP, USBฯลฯ ผู้ที่เคยเขียน solfware ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารต่างๆจะมีความเข้าใจเกี่ยวกับโปรโตคอลสื่อสารสามารถเรียนรู้การสื่อสารแบบอื่นๆ ได้ไม่ยากการเขียนซอฟแวร์ลักษณะการรับ stream data เพื่อมาเก็บในบัฟเฟอร์แล้วทำการ encapsulate de-capsulate ข้อมูล C (เช่นการเขียนโปรแกรมทาง ด้าน network-security , UART, I2C ฯลฯ) แล้วนำข้อมูล ไปใช้งานเป็นสิ่ง จำเป็นสำหรับงานทางด้านการติดต่อสื่อสารเกือบทุกรูปแบบ

2.2 โมดูล X-Bee PRO รุ่น Serise 2



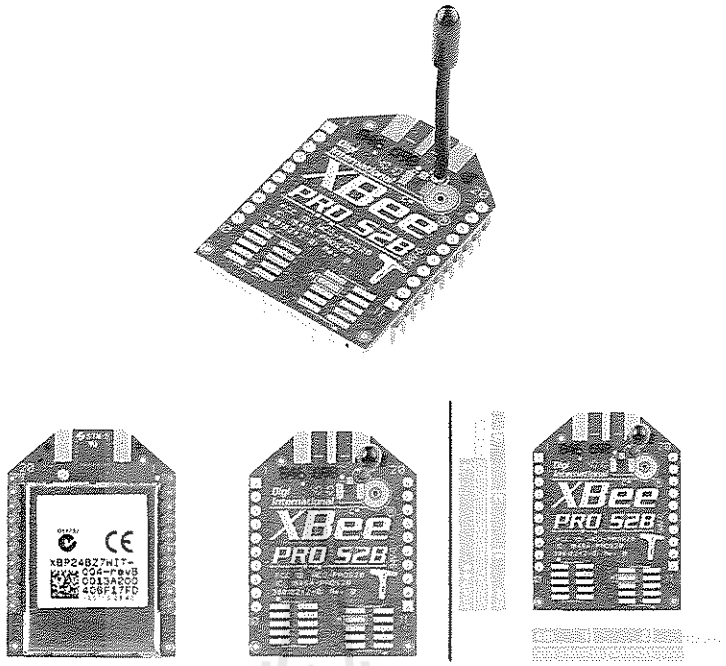
รูปที่ 2.1 X-Bee PRO 50mW UFL Connection - Series 2 (ZB)

X-Bee Series 2 (ZB) เป็นโมดูล รับส่งสัญญาณไร้สาย ย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐานโปรโตคอล Xbee/IEEE 802.15.4 โดยใช้พลังงานต่ำ (ที่ 3.3Volt) รับส่งข้อมูลอัตราความเร็ว 250Kbps จุดต่อสายอากาศแบบ U.FL. (ต้องซื้อ Interface Cable และ เสาเพิ่ม) รองรับเครือข่ายแบบ Mesh

คุณสมบัติ

- 3.3V @ 295mA
- 250kbps Max data rate
- 50mW output (+17dBm)
- 1 mile (1600m) range
- U.FL antenna connection
- Fully FCC certified
- 4 10-bit ADC input pins
- 10 digital IO pins
- 128-bit encryption
- Local or over-air configuration
- AT or API command set

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.2 X-Bee PRO 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB)

X-Bee Series 2 (ZB) เป็นโมดูล รับส่งสัญญาณไร้สาย ย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐานโปรโตคอล Xbee/IEEE 802.15 โดยใช้พลังงานต่ำ (ที่ 3.3Volt) รับส่งข้อมูลอัตราความเร็ว 250Kbps สายอากาศแบบ Whip antenna รองรับเครือข่ายแบบ mesh

คุณสมบัติ

- 3.3V @ 40mA
- 250kbps Max data rate
- 2mW output (+3dBm)
- 400ft (120m) range
- Built-in antenna
- Fully FCC certified
- 6 10-bit ADC input pins
- 8 digital IO pins
- 128-bit encryption
- Local or over-air configuration
- AT or API command set

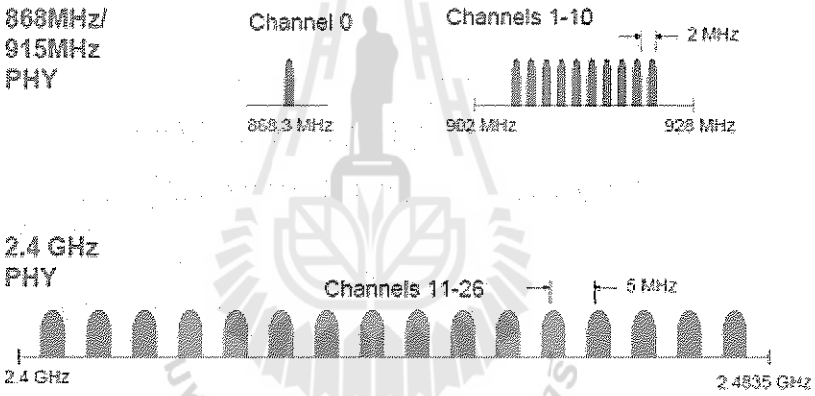
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3 Introduction X-Bee BASIC

- **X-Bee คืออะไร**

X-Bee มาตรฐานสากลกำหนดโดย X-Bee Alliance เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำใช้พลังงานต่ำราคาถูกจุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ซึ่งระบบนี้จะสามารถทำงานในร่มกลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่านAA2 ก้อน) นานเป็นเดือนเป็นปี เหมาะสมใช้งานกับพวก Monitoring ต่าง ๆ

X-Bee กำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz , ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง , 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ส่วนอัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 Kbps , 40 Kbps , 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน



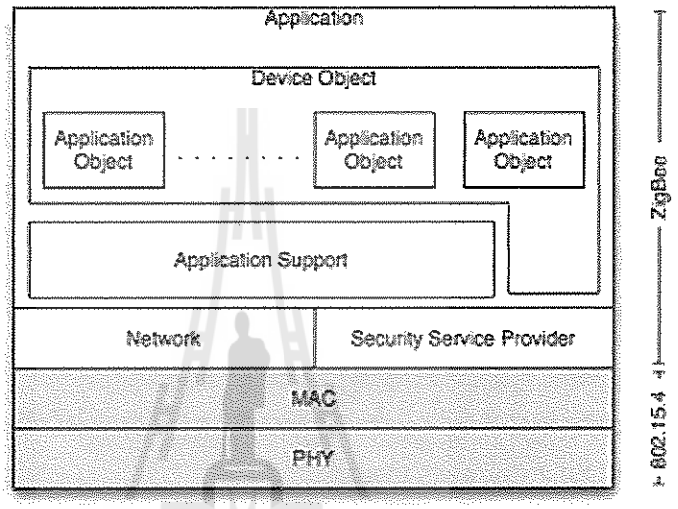
รูปที่ 2.3 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน

สรุป

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

โดยมากมักสับสน ระหว่าง X-Bee กับ Wifi โดยผู้ที่เริ่มศึกษาจะมีคำถามว่า X-Bee กับ Wifi (หรือ โมดูล 2.4 GHz) นั้น ย่านความถี่เหมือนกัน จะสามารถสื่อสารกันได้หรือไม่ คำตอบ คือ สื่อสารกันไม่ได้ เพราะทางกายภาพ ถึงแม้จะเป็นย่านความถี่เดียวกัน แต่ Protocol ที่ใช้สื่อสารกันนั้นไม่เหมือนกัน

X-Bee นำ Physical Layer และ MAC Layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ที่ต่ำกว่า (2 Layer ล่างสุด) เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ , Link Quality , Access control , Security ฯลฯ แต่ใน Layer ถัดไปจะเป็นรูปแบบของ X-Bee



รูปที่ 2.4 X-Bee Stack

จากที่กล่าวมา X-Bee จะสามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้เพราะอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 และมีการจัดการในแบบของ X-Bee ใน Layer ถัดไป ทั้งนี้ IEEE 802.15.4 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย

X-Bee ได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ คือ

1. Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสารเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทางซึ่งเทียบได้กับ FFD

2. End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุดซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงานเทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณีขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้

3. Router มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD

- **X-Bee คืออะไร**

X-Bee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RFIC อยู่ภายในทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ) แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 GHz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำใช้งานง่ายมี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ X-Bee เป็น UART (TTL) ซึ่งสำหรับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์เรานำขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของ X-Bee ต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย

X-Bee สามารถใช้งานตามมาตรฐานซิกบีได้ โดยที่ท่านไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้างเครือข่ายซิกบีเลย เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำ firmware ที่จะโหลดเข้าไปในตัว X-Bee ให้เราสามารถ set parameter ผ่าน software interface (X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง) ผ่านทาง At command (เหมือนกับการควบคุม GSM Module) โดยใช้ Hyper terminal หรือผ่านทางการรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างง่าย โดยเมื่อ set Xbee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่ายซิกบีแล้ว เราจะเรียก X-Bee แต่ละตัวว่าเป็น Node

Firmware ที่ใช้กับ X-Bee จะใช้โหลดผ่านโปรแกรม X-CTU ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการใช้งานในบทความถัดไป (การใช้งาน X-Bee เบื้องต้น) ทั้งนี้ X-Bee แต่ละรุ่นจะสามารถ Setting Function การใช้งานได้มากมายทำให้ Firmware ที่จะต้องโหลดเข้าไปนั้นมีมากมายหลายแบบ เราต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานเอง ซึ่งจะมีการกล่าวถึงในบทถัดไป (X-Bee Basic Configuration in Network Application)

<u>Feature Summary ของ X-Bee โดยรวมที่เหมือนกัน</u>

1. Operating Frequency ISM Band 2.4 GHz (ISM Band หมายถึง ย่านความถี่ใช้งานเพื่อการวิจัย ซึ่งจะอนุญาตให้ใช้กับอุตสาหกรรม (Industrial) วิทยาศาสตร์ (Scientific) และทางการแพทย์ (Medical) รวมเป็น ISM

2. มีสายอากาศให้เลือกใช้หลายแบบ คือ แบบ Chip Ant , Whip Ant , UFL con , RPSMA con โดย 2 แบบหลัง เราต้องไปหาเสาอากาศย่าน 2.4 GHz ที่เป็น connector แบบ UFL หรือ SMA

3. Supply Voltage อยู่ที่ 2.8-3.4 V

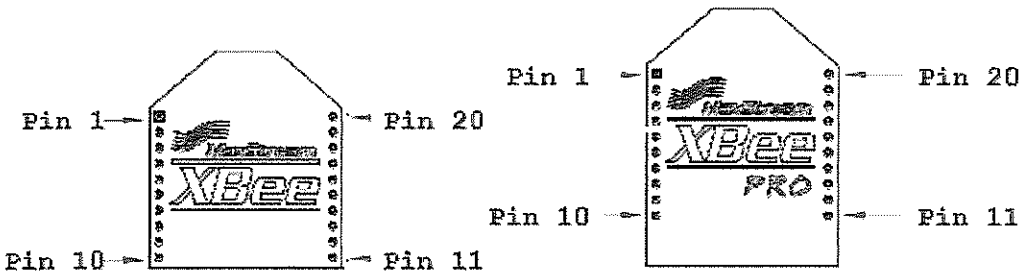
4. Power Down Current < 10uA

5. มี RF data rate อยู่ที่ 250 Kbps (เป็นส่วนของสัญญาณที่ส่งผ่านอากาศ)

6. มี Serial interface data rate อยู่ระหว่าง 1200 – 115200 Bps (เป็นส่วนที่ติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรเลอร์)

7. เป็น Spread Spectrum ชนิด DSSS (Direst Sequence Spread Spectrum)

8. การกำหนด addressing มีลำดับลักษณะ คือ กำหนด PAN ID สำหรับเครือข่ายหนึ่งๆ กำหนด Channel และ กำหนด address ของแต่ละตัว



รูปที่ 2.5 ขาของโมดูล X-Bee

X-Bee จะมีอยู่ 20 ขา X-Bee มีขาที่เป็น Digital I/O และ Analog to Digital ขนาด 10 bits แต่ท่านไม่สามารถนำ X-Bee ต่อลง Protoboard ได้โดยตรง เพราะความห่างช่องขาของ X-Bee แคบกว่าช่อง Protoboard ท่านจะต้องทำ PCB ขึ้นมาเพื่อต่อใช้งานเลยหรือไม่ก็หา Socket แปลงขาใช้งาน เป็นระยะห่างขามาตรฐาน (Pitch) เท่ากับ 2.54 mm หรือ 1 mil สำหรับผู้ที่ต้องการจะออกแบบ PCB ท่านสามารถดูแบบ Drawing ได้จาก เอกสารนี้

X-Bee จะมีอยู่ 2 รุ่นคือ รุ่น series 1 และ รุ่น series 2 (ZB) และยังมีขนาด power ให้เลือกอีก 2 แบบ คือ แบบธรรมดา (1 mw – 2 mw) และ แบบ PRO (50mw - 60 mw) ซึ่งจะมีผลเรื่องระยะทางการรับส่งข้อมูล โดยแต่ละ series นั้นสามารถสร้างเครือข่ายได้หลายแบบ แต่จะมีเพียง series 2 เท่านั้นที่จะทำเครือข่ายแบบ mesh ได้

<u>โมดูล X-Bee ทั้ง 2 Series นี้สามารถสร้าง Topology ได้ดังนี้</u>

- รุ่น series 1 Peer-to-peer , point-to-point , point-to-multipoint (Broadcast)
- รุ่น series 2 (ZB) Mesh , Peer-to-peer , point-to-point , point-to-multipoint (Broadcast)

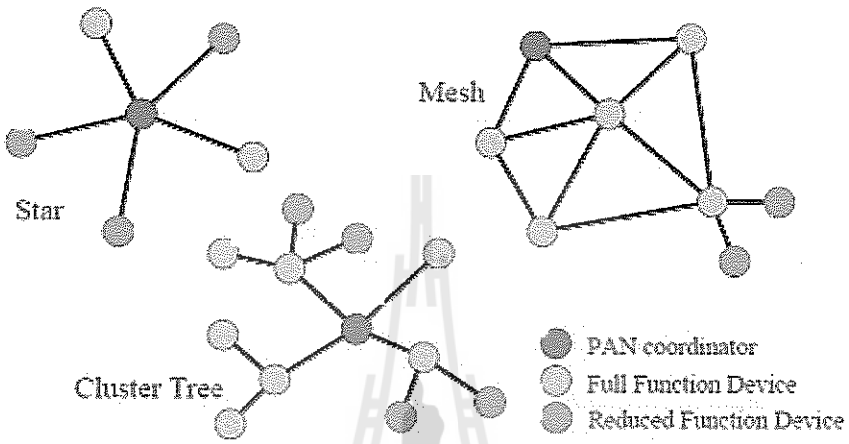
Xbee series 2 จะมี parameter ในการ setting ต่าง ๆ มากกว่า series 1

หมายเหตุ

- peer-to-peer network หมายถึง เครือข่ายที่อยู่ในระดับชั้นเดียวกัน ยกตัวอย่าง ใน OSI Layer เช่น ระดับ Transport Network Layer กับ Transport Network Layer นั่นก็คือ TCP Protocol ระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง แต่สำหรับ X-Bee คำว่า peer-to-peer network หรือ Non Beacon Network คือ การที่เรา set node เป็น End Device หมดทุกตัว ไม่มี

การกำหนดตายตัวว่าตัวใดจะเป็น Master ตัวใดจะเป็น Slave แต่จะให้ระบบจัดการกัน เอง โดยในเครือข่าย จะต้องกำหนด parameter ID (PAN ID) และ CH (Channel)

- โมดูลX-Bee สามารถตั้งให้เป็น End-Device , Router , Coordinator ตามเงื่อนไขของ X-Bee



รูปที่ 2.6 เครือข่าย X-Bee แบบ Star , Cluster , Mesh

การศึกษาการใช้งานโมดูล X-Bee ในเบื้องต้น

เราสามารถทดสอบด้วยการปรับพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ผ่าน software user interface ได้ ท่านสามารถดาวโหลด software user interface ที่ใช้ร่วมกันกับ X-Bee ชื่อ X-CTU ท่านสามารถอ่านจากคู่มือ X-CTU Configuration & Test Utility Software User Guide

นอกจากใช้ software แล้ว ต้องมีอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อ X-Bee เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการติดต่อสื่อสารกับ X-CTU ด้วย อุปกรณ์ที่ว่านี้ คือตัวที่จะนำขาบางขาของ X-Bee มาต่อเข้ากับ MAX232 เพื่อเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL ให้สามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS232 (DB9) ได้หรือเราจะใช้ FT232RL สำหรับแปลง serial เป็น USB ในกรณีที่คอมพิวเตอร์ ไม่มีพอร์ต DB9

ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อ Update , Config Parameter โปรแกรม firmware ใหม่ และ สำหรับใช้ทำการทดสอบเบื้องต้น เช่น X-Bee Socket , X-Bee USB Dongle , X-Bee Breadboard , X-Bee RS232(DB) Dongle อุปกรณ์เหล่านี้ถือว่าเป็นอุปกรณ์เสริมที่ลดภาระงานทางด้านฮาร์ดแวร์ได้ส่วนหนึ่ง ในระยะเริ่มต้นก็จะสะดวก

กำลังส่งสายอากาศ และ สัญญาณรบกวน ของ X-Bee

X-Bee นั้น ใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านเดียวกันกับ Bluetooth หรือ Wireless Lan สัญญาณมันจะกวนกัน ยกตัวอย่าง เช่น ที่ร้านThaiEasyElec มีwireless lan ใช้ Access Point 1 ตัว และ ก็ยังใช้เครื่องโทรศัพท์แบบถือไปมาได้ (2.4 GHz cordless telephones) ซึ่งก็ใช้ย่าน 2.4 GHz เช่นกัน แล้วทำการทดสอบการใช้งาน X-Bee ผลปรากฏว่า การรับส่งสัญญาณก็ขาดหายไปบ้าง แต่บางครั้งก็ครบถ้วน เป็นเพราะว่ากำลังส่งของ X-Bee และระยะทางของ node ที่เราทดสอบใกล้กันมาก

ช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz นี้เรียกว่าเป็นย่านไมโครเวฟ หลักสำคัญของย่านไมโครเวฟอย่างหนึ่งคือ การวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณนั้นต้องตั้งแบบ line of sight (ไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ) ถึงจะได้กำลังส่งสูงสุด สำหรับกำลังส่งของ X-Bee ในรุ่น Pro จะใช้ 50-60 mw ใน datasheet บอกว่าได้ไกลถึง 1.5 km. แต่ก็ต้องเป็นลักษณะ ของ line of sight หากไม่ใช่เงื่อนไขนี้เราจะได้ระยะการรับส่งสัญญาณที่ลดลง นอกเหนือจากเรื่อง line of sight แล้วยังมีเรื่อง สัญญาณรบกวนต่าง ๆ (Interference)

X-Bee Association

ในเครือข่าย X-Bee ต้องมีการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานในช่วงเวลาที่ไม่มีการทำงานรับ - ส่งข้อมูล ดังนั้นตัว X-Bee จึงมี Parameter ที่จะกำหนดการทำงานสำหรับ Sleep mode (Parameter A1, A2, SP, ST)

X-Bee Addressing

ตัว X-Bee จะสามารถกำหนดค่าประจำตัวอ้างอิงของมัน (Address) 2 แบบ คือ แบบ 16 bit address และ 64 bit addressปกติแล้ว X-Bee ทุกตัวจะถูกกำหนดค่ามาจากโรงงานเป็น Address 64 bit อยู่แล้ว ซึ่งจะสามารถอ่านค่าได้จาก parameter SH+SL การใช้งาน Address 64 bit สามารถทำได้ กำหนด parameter MY ให้มีค่า 0xFFFF หรือ 0xFFFE ส่วน การกำหนด 16 bit address นั้นทำได้ โดย กำหนด parameter MY ให้มีค่าน้อยกว่า 0xFFFE โดยจะเรียกเป็น mode การทำงาน 2 ประเภท คือ

1. Unicast Mode คือ การรับส่งข้อมูล โดยอาศัยหลักการ Acknowledgement หากทางด้านส่งนั้น ส่งข้อมูลไป แต่ไม่ได้รับ Ack ตอบกลับจากตัวรับ ก็จะทำการส่งข้อมูลใหม่

2. Broadcast Mode คือ การส่งข้อมูลไปยังปลายทางให้ได้รับข้อมูลทุกตัว

X-Bee Operation Mode

X-Bee จะสามารถแบ่งช่วงการทำงานได้เป็น 5 โหมด คือ

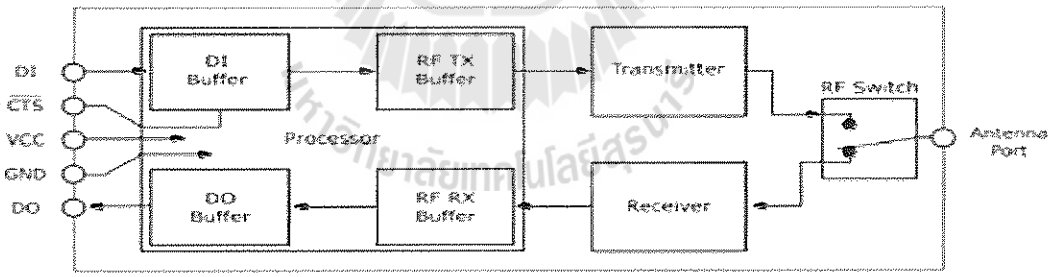
1. Idle Mode โหมดนี้จะเป็นโหมดที่ไม่ได้รับส่งข้อมูลตัว X-Bee เตรียมที่จะทำงานในโหมดอื่น ๆ ต่อไปทันที หากมีเงื่อนไขบางอย่าง

2.Transmit Mode และ 3. Receive Mode (พูดรวม 2 Mode) คือช่วงที่ X-Bee มีการรับหรือส่งข้อมูล โดยจะแบ่งลักษณะการทำงานย่อยออกเป็น Direct กับแบบ Indirect , การกำหนด Address ต้นทางและปลายทาง , Clear Channel Assessment และ การตอบรับ Acknowledgement

3. Sleep Mode คือ ช่วงที่ X-Bee อยู่ในสถานการณ์ทำงานพลังงานต่ำที่สุด เมื่อไม่มีการใช้งาน

4. Command Mode คือ เป็นส่วนการปรับ parameter ของ X-Bee ซึ่งจะมีการกำหนด 2 แบบ คือ แบบ AT command และ แบบ API Command

Data Throughput ของ X-Bee



รูปที่ 2.7 Internal Data Flow Diagram

โดยทั่วไปการใช้งาน RF Module ควรจะกำหนดให้มี Buffer ด้วยเพื่อการปรับอัตรารับส่งข้อมูลระหว่างตอนที่รับส่งทางอากาศกับตอนที่รับส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆ ได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลที่รับส่งระหว่าง MCU กับ X-Bee จะมีข้อจำกัดเรื่องเฟรมอาจถูก Drop ได้ เนื่อง มากจาก Data Over Flow โดยสำหรับด้านการส่งข้อมูลไปที่ Xbee เพื่อออกอากาศนั้น ที่ ขา DI จะมี Buffer อยู่ประมาณ 202 Bytes หากส่งเกิน Buffer จะเกิดการ Drop packet ทิ้ง ซึ่งทางฝั่งรับข้อมูลที่ ขา DO ก็มี Buffer อยู่เช่นกัน โดยจะมี Parameter ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลThroughput 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 ส่งออกอากาศทันที ดังนั้นเราจะมี Parameter RO และ BD ที่จะช่วยในการปรับข้อมูลรับส่งให้สามารถรับส่งกันได้ทัน ไม่ให้มีการ Drop Packet ได้ ในกรณีที่ส่งข้อมูลเกิน 200 Bytes

นอกจากนี้ยังมี PIN CTS(ขา12) และ RTS(ขา16) ช่วยเตือนเราเวลาที่ 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 ไบต์

2.4 คุณสมบัติของ X-Bee

X-Bee เป็นมาตรฐานการควบคุมสัญญาณเครือข่ายระดับโลกซึ่งได้รับการออกแบบโดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ประหยัดพลังงาน และง่ายต่อการพัฒนาปรับปรุง

2. มาตรฐาน X-Bee ตาม IEEE 802.15.4 กำหนดให้มีโหมดของการใช้พลังงาน 2 สถานะ คือ สถานะที่มีการรับและส่งของข้อมูลซึ่งเรียกว่า Active และอีกสถานะคือสถานะที่ไม่มีการทำงานชั่วขณะหนึ่ง หรือ เรียกว่า Sleep

3. อุปกรณ์หลักต้องใช้พลังงานตลอดเวลาอุปกรณ์ที่ใช้งานกับ X-Bee จะมีลักษณะเป็นนิเวศวิทยามากกว่าอุปกรณ์แบบเดิมๆที่ต้องใช้กำลังส่งถึงเมกะวัตต์ พิจารณาการใช้งานภายในบ้านในอนาคตโดยมีอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานไวร์เลส 100 ตัว

กรณีที่ 1 : 802.11 ใช้กำลังส่งไฟฟ้า 667 มิลลิวัตต์ (เปิดใช้งานตลอดเวลา) ใช้งานอุปกรณ์ 100 ตัวในแต่ละบ้าน ถ้ามีการใช้งาน 50,000 บ้าน จะต้องใช้กำลังส่งทั้งสิ้น 3.33 เมกะวัตต์

กรณีที่ 2 : 802.15.4 ใช้กำลังส่งไฟฟ้า 30 มิลลิวัตต์ (เปิดใช้งานตลอดเวลา) ใช้งานอุปกรณ์ 100 ตัวในแต่ละบ้าน ถ้ามีการใช้งาน 50,000 บ้าน จะต้องใช้กำลังส่งทั้งสิ้น 150 กิโลวัตต์

กรณีที่ 3 : 802.15.4 ใช้วงจรพลังงาน 0.1% (วงรอบพื้นฐาน) ใช้กำลังส่งทั้งสิ้น 150 วัตต์

4.ราคาประหยัดอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาถูกเสียค่าติดตั้งและดูแลน้อยเนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบบ primarycell ซึ่งมีราคาถูกและอายุการใช้งานนานไม่ใช่แบตเตอรี่ที่สามารถนำมาชาร์ต เพื่อใช้งานใหม่ได้

5. ในแต่ละเครือข่ายสามารถมีจำนวนโหนดได้มาก

6. Simple protocol , global implementation

2.4.1 คุณสมบัติโดยทั่วไป

อัตราการส่งข้อมูลมี 3 ระดับ คือ 250 kbps (ที่ความถี่ 2.4 GHz) 40 kbps (ที่ความถี่ 915 MHz) และ 20 kbps (ที่ความถี่ 868 MHz)

1. มีประสิทธิภาพในเรื่องของวงรอบของการใช้งานของแต่ละแอพพลิเคชั่นต่ำ(< 0.1%)
2. ใช้งานเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยวิธี CSMA-CA
3. ประหยัดพลังงาน
4. ใช้ Multiple Topology คือ สตาร์ (star) เพียร์ทูเพียร์ (peer-to-peer) เมช (mesh)
5. รองรับอุปกรณ์ได้มากถึง 18,450 x 1015 ตัว (address ขนาด 64 บิต) 65,535 networks
6. การทำงานของแอพพลิเคชั่นใช้หลักการแบบแบ่งเวลา โดยใช้เวลาแฝงน้อย
7. โปรโตคอลมีการทำ Fully hand-shaked เพื่อความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล
8. ตามปกติใช้งานได้ในช่วง 50 เมตร (ระยะทางในการใช้งานอยู่ในช่วง 5-500 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม)

2.4.2 คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูล

1. การส่งข้อมูลของ X-Bee

การส่งข้อมูลแบบ RF ของแต่ละแพ็กเกจในส่วนของ header จะประกอบไปด้วย Source Address และ Destination Address โดยที่ IEEE 802.15.4 จะมีโครงสร้าง 2 แบบ นั่นคือแบบ short 16-bit addresses และแบบ long 64-bit addresses ซึ่ง64-bit จะสามารถอ่านคำสั่ง SL (Serial Number Low) และ SH (Serial Number High) และการส่งข้อมูลแบบ RF จะส่งได้ 2 โหมด คือ Unicast Mode และ Broadcast Mode

- การส่งแพ็คเกจโดยใช้โครงสร้าง 16-bit addressing ให้ตั้งค่า ตัวแปร DL (DestinationAddress Low) ให้เท่ากับตัวแปร MY และตั้งค่าตัวแปร DH (Destination Address High)เป็น '0'

- การส่งแพ็คเกจโดยใช้โครงสร้าง 64-bit addressing ให้ตั้งค่า Destination Address (DL+DH) ให้เข้ากับ Source Address (SL + SH) ของปลายทางที่เราจะส่งแพ็คเกจไป
- สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์และสเลฟได้
- อัตราถ่ายทอดข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ : 250,000 บิตต่อวินาที
- อัตราการถ่ายทอดข้อมูลอนุกรม (บอดเรต) : 1,200 ถึง 115,200 บิตต่อวินาที
- รูปแบบโครงข่ายข้อมูลที่รองรับ : จุดต่อจุด (Point-to-Point), จุดต่อหลายจุด (Point-to-multipoint) และ เข้ากันได้กับอุปกรณ์ตามมาตรฐานรหัส 802.15.4

- ทางเลือกแอดเดรส : PAN ID, ช่อง(Channel) และแอดเดรส (Address) สำหรับแอดเดรสสามารถกำหนดรหัสแอดเดรสได้มากถึง 65,000 รหัส

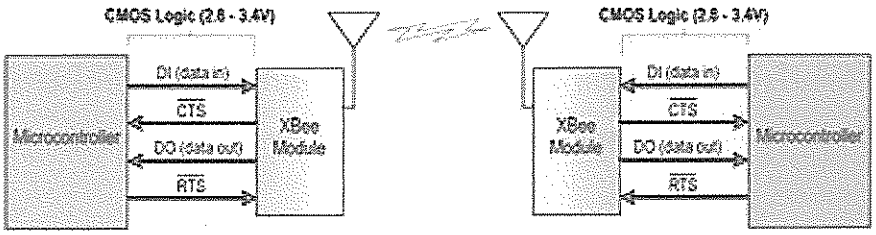
- เทคโนโลยีการกระจายคลื่น : DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

- รองรับการทำงานทั้งแบบ API และ AT command สามารถกำหนดได้ผ่านทางซอฟต์แวร์ X- CTU

- การรับรองมาตรฐาน : สหรัฐอเมริกา (FCC Part 15.247) OUR-XBEEPRO
  แคนาดา (IC) 4214A XBEEPRO
  ยุโรป (CE) ETSI (ที่กำลังส่งสูงสุด 10dBm)
  ญี่ปุ่น 005NYCA0378 (ที่กำลังส่งสูงสุด 10dBm)

2. การติดต่อสื่อสารของซิกบีผ่านทางพอร์ตอนุกรม

X-Bee อินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ผู้ใช้ (Host) ผ่านทางพอร์ตอนุกรม อะซิงโครนัส ระดับตรรกะส่งผ่านโมดูลทางพอร์ตอนุกรมโมดูลสามารถติดต่อสื่อสารกับตรรกะต่างๆเข้ากับ UART หรือระดับตัวแปรกับอุปกรณ์อนุกรมต่างๆ UART การไหลของข้อมูลอุปกรณ์มีอินเตอร์เฟส UART สามารถติดต่อโดยตรงกับพินของ RF โมดูล ดังรูป



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อโมดูล X-Bee กับ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

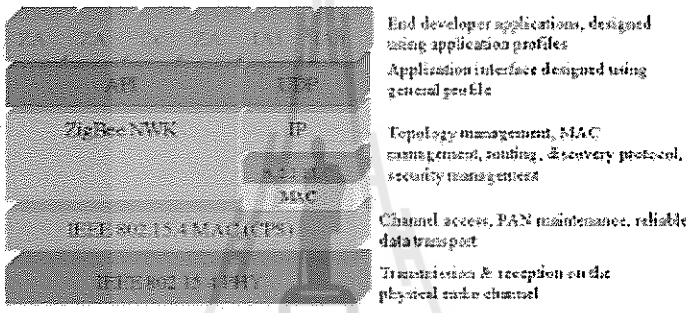
ข้อมูลส่งขาเข้า UART โมดูล ผ่านขา Data In (ขา 3) ด้วยสัญญาณอนุกรมอะซิงโครนัสสัญญาณจะว่าง เมื่อไม่มีข้อมูลถูกส่งแต่ละข้อมูลไบต์ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (บิตต่ำ) 8 ข้อมูลบิตและบิตหยุด (บิตสูง) ตามรูป อธิบายแผนบิตอนุกรมของการผ่านข้อมูลของโมดูล

3. X-Bee โปรโตคอลสแตก

ชั้นสแตกซิกบประกอบด้วย ชั้นเครือข่ายชั้นแอปพลิเคชั่นและการให้บริการรักษาความปลอดภัย (SSP) อุปกรณ์แต่ละตัวของซิกบีควรมีลักษณะพิเศษที่สามารถใช้งานได้ ทั้งแบบสาธารณะและส่วนตัว ซึ่งรูปแบบนั้นจะถูกนิยามตามสภาพแวดล้อมของแอปพลิเคชั่นชนิดของอุปกรณ์คลัสเตอร์ถูกใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารรูปแบบการติดต่อแบบสาธารณะรับรองการให้บริการที่ต่างกันของผู้ให้บริการสำหรับที่ว่างแอปพลิเคชั่นเดียวกันอุปกรณ์ถูกนิยามโดยรูปแบบและถูกประกอบ ด้วยวัตถุแอปพลิเคชั่นต่างๆแต่ละวัตถุแอปพลิเคชั่นถูกติดต่อกับส่วนพักของสแตก X-Bee โดย endpoint ซึ่งมีที่อยู่องค์ประกอบในอุปกรณ์ การติดต่อสื่อสารถูกสร้างจาก endpoint ไปยัง endpoint และส่งผ่านโครงสร้างข้อมูลที่ถูกเรียกโดย คลัสเตอร์คลัสเตอร์จะมีกลุ่มของแอททริบิวต์ที่จำเป็น สำหรับการใช้ข้อมูลร่วมกันระหว่างวัตถุแอปพลิเคชั่นคลัสเตอร์ ถูกใช้ในแอปพลิเคชั่นพิเศษ ซึ่งถูกนิยามลงในรูปแบบของตัวมันเองแต่ละอินเตอร์เฟสสามารถส่งหรือรับข้อมูลในรูปแบบของคลัสเตอร์ได้ 0 และ 255 เป็น endpoint พิเศษถูกใช้สำหรับการตั้งค่าและการจัดการของการเข้าถึงอุปกรณ์ X-Bee แอปพลิเคชั่นสามารถติดต่อสื่อสารกับชั้นอื่น ๆ ของสแตก X-Bee ที่ติดตั้ง และตั้งค่าไว้แล้วได้ การเพิ่ม endpoint 0 เป็นวัตถุของอุปกรณ์ XBee (XBee Device Object) endpoint 255 ถูกใช้เพื่อส่งไปยังทุก ๆ endpoint ขณะที่ endpoint 241-254 ถูกจองไว้ แอปพลิเคชั่นที่สนับสนุนชั้นที่ต่ำกว่าที่ติดต่อกับ endpoint กับชั้นเครือข่าย และ SSP เป็นตัวช่วยให้ endpoint ทั้งหมดกับการส่งข้อมูล การรักษาความปลอดภัย และการ Binding (การ Binding เป็นความสามารถในการจับความแตกต่างแต่ละอุปกรณ์เข้าด้วยกัน เช่น สวิตซ์)ชั้นเครือข่ายใช้อุปกรณ์ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ ในการหาเส้นทางของข้อความและการค้นหาเครือข่ายการสนับสนุนแอปพลิเคชั่นในชั้นที่ต่ำกว่าถูกให้บริการในชั้นนี้แอปพลิเคชั่น สามารถคอนฟิกและส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ของชั้นเครือข่ายผ่านทาง ZDO

4. มาตรฐาน IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานของระดับชั้น Physical (PHY) และ Media Access Control (MAC) สำหรับอุปกรณ์ส่งข้อมูลไร้สายที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำออกแบบมา เพื่อให้ใช้พลังงานน้อย สำหรับอุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูง การส่งข้อมูลมีความเชื่อถือได้ เพราะมีความถูกต้องสูงและสามารถใช้ได้ทั้งในเครือข่ายแบบ star และ peer-to-peer มีระยะทางที่สามารถส่งข้อมูลได้ประมาณ 10 - 75 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังที่ใช้ในการส่งข้อมูลและสภาพแวดล้อมตอนที่ส่งและสามารถเลือกความถี่ที่ใช้ได้สามช่วงเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานมีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลที่จะส่งโดยใช้ระบบ Advance Encryption system (AES)



รูปที่ 2.9 มาตรฐานของระดับชั้น

5. IEEE 802.15.4 Physical Layer

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่ถูกกำหนดไว้ใน ชั้น Physical layer มีอยู่ 3 ความถี่คือ 2.4-2.4835 GHz bit rate 250 kb/s มีอยู่ 16 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณที่ 11-26 , 868-870 MHz bit rate 20 kb/s มีอยู่ 1 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณที่ 0 และ 902-928 MHz bit rate 40 kb/s มีอยู่ 10 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 1-10 โดยความถี่ 2.4-2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก และความถี่ 868-870 MHz และ 902-928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ , ยุโรป , ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ระยะทางในการส่งขอมูลอยู่ที่ 10 ถึง 75 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังงานและสิ่งแวดล้อมในชั้นนี้จะใช้วิธี Direct Sequence Spread spectrum (DSSS) โดยย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้การ มอดูเลชั่นแบบ O-QPSK ความกว้างของช่องสัญญาณ 2-5 MHz ส่วนย่านความถี่ 868-900 MHz ใช้การมอดูเลชั่นแบบ BPSK กลไกในการเข้าถึงช่องสัญญาณทั้งสองอยู่ในมาตรฐาน 802.15.4 สำหรับเครือข่าย non-beacon ซึ่งเป็นมาตรฐาน ALOHA CSMA-CA เป็นการสื่อสารที่มีการแจ้งเมื่อได้รับข้อมูล ในเครือข่าย beacon-enable โครงสร้างของ super frame ใช้สำหรับควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ ซึ่งตั้งขึ้นโดย network coordinator เพื่อใช้ในการส่ง beacon

ในช่วงเวลาที่กำหนดและมี 16 time slots ระหว่าง beacon เพื่อใช้ในการช่วงชิงในการเข้าถึงช่องสัญญาณในแต่ละ time slot อย่างไรก็ตาม network coordinator สามารถ บอกได้มากถึง 7 time slotsในแต่ละช่วงเวลาของ beacon เพื่อคุณภาพของการให้บริการ

6. IEEE 802.15.4 MAC Layer

ในชั้นของ MAC สามารถรองรับขนาดแพกเก็จได้สูงสุด 128 ไบต์ ภายในประกอบด้วย payload ขนาด 104 ไบต์ไว้ และมี address ของแต่ละ Node ที่มีความยาว 64 บิต และ16 บิต (รองรับได้ 65,000 nodes) ทั้งนี้ในชั้น MAC จะมีทั้งส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายและไม่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายที่มี beacons ในโครงสร้างของ super frame สำหรับการซิงโครไนซ์ และยังมีกลไกแบบ GTS (Guaranteed Time Slot) สำหรับการสื่อสารที่มีความสำคัญสูง ส่วนการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะใช้วิธี Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA)

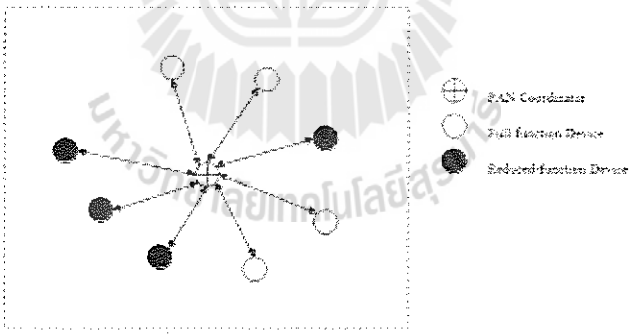
ใน MAC sub layer จะทำหน้าที่ 2 อย่างคือ MAC data service และ MAC management service โดยมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

- Beacon management
- Channel access
- GTS management
- Frame validation
- Acknowledgement frame delivery
- Association and Disassociation

ระบบเน็ตเวิร์กแบบ LR-WPAN สามารถที่จะเลือกใช้ Super Frame Structure ได้ โดยรูปแบบของ Super Frame จะถูกกำหนดโดย PAN Coordinator Super Frame จะถูกแบ่งออกเป็น 16 slot ซึ่งในการส่ง Beacon จะส่งไปกับเฟรมแรกของ Super Frame นี้ และหาก Coordinator ไม่ต้องการใช้ Super Frame Structure Coordinator จะไม่ทำการส่ง Beacon มากับเฟรมแรก Beacon จะใช้ในการ Synchronize กับอุปกรณ์อื่นๆ , ใช้ในการระบุ PAN และ ใช้อธิบายโครงสร้างของ Super Frame การทำงานโดยใช้ Super Frame นั้นจะมีสองสถานะคือ Active และ Inactive ในการทำงานแบบ Inactive นั้น Coordinator จะไม่ติดต่อกับ PAN และจะปรับตัวเองเข้าสู่ Low-Power mode ส่วนในสถานะ Active นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงเวลา คือ Contention Access Period (CAP) และ Contention Free Period (CFP)

7. IEEE 802.15.4 Piconets

ชั้น MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.15.4 จัดเตรียมการเพื่อ support ระหว่างสอง wireless network topology เช่น การเชื่อมต่อแบบ star และ peer-to-peer โดยสำหรับการใช้งานในบ้านนั้นจะเป็นแบบ star ด้านอุตสาหกรรมและธุรกิจใช้การเชื่อมต่อแบบ peer-to-peer สำหรับโครงสร้างแบบ star การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย(network) จะถูกควบคุมด้วย PAN coordinator เพียงอันเดียว โดย PAN coordinator นี้จะทำหน้าที่เป็นเหมือนผู้ดูแลเครือข่าย (network master) ทำหน้าที่ initialize เครือข่าย จัดการ node ในเครือข่ายและเก็บข่าวสารของ node ในเครือข่าย เพียงอุปกรณ์แบบ FFD (full-function device) สามารถส่ง beacon frame ก็อาจกลายเป็น PAN coordinator ได้ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์แบบ RFDs (Reduced-function device) อาจมีส่วนร่วมในเครือข่ายแบบ star ได้ ยิ่งกว่านั้น เครือข่ายแบบ star จะทำงาน independent กับเครือข่ายอื่นๆใน IEEE 802.15.4 FFD อาจจะสร้าง เครือข่าย star หลังจากทำ scan channel ถ้า FFD ไม่สามารถตรวจพบการส่ง beacon frame และเริ่มต้นทำหน้าที่ PAN coordinator โดยการส่ง beacon frame ที่มี unique network identifier หรือ ID ทุกอุปกรณ์ที่มีส่วนร่วมอยู่ใน LR-WPANs ต่างใช้ IEEE 64-bit Address ที่ unique เมื่อมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งเริ่มทำการส่ง beacon frame อุปกรณ์อื่นก็อาจจะมีการติดต่อเข้าเพื่อขอมีส่วนร่วมโดยส่ง association message เข้ามาที่ ad hoc network

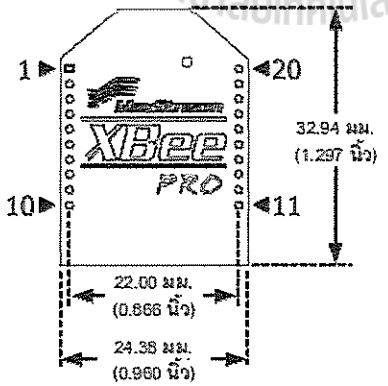


รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อแบบ star

เครือข่ายแบบ Peer-to-peer ซึ่งเป็นการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ จะอนุญาตให้อุปกรณ์ FFD ติดต่อกับ FFD อื่นที่อยู่ภายในอาณาเขตของตัวมันเองและส่ง message ไปยัง FFD ที่อยู่นอกเขตอีกด้วย ซึ่งเครือข่ายแบบ peer-to-peer นี้สามารถทำให้ ad hoc wireless network ซับซ้อนขึ้นด้วยการเพิ่มการครอบคลุมพื้นที่เนื่องจาก multihop และ mesh network จะกำหนดคุณสมบัติที่อนุญาตในการส่ง message ส่วน RFDs อาจจะสามารถเข้ามาร่วมในเครือข่าย peer-to-peer แต่จะไม่สามารถทำ relay ได้

อีกหนึ่งชนิดของเครือข่ายแบบ peer-to-peer เครือข่าย cluster-tree ซึ่งจะเป็นการรวมกันของแบบ Star และ Mesh เพื่อที่จะได้ประโยชน์จากทั้งสองแบบสามารถรองรับจำนวนของ node และสามารถใช้งานจากแบตเตอรี่ได้นาน โดยเครือข่ายชนิดนี้จำนวนของอุปกรณ์เครือข่ายจะอยู่บนหลักการ “cluster heads” โครงสร้างนี้จะจัดหา path ให้กับอุปกรณ์เครือข่ายชนิดต่างๆและสามารถมีการขยายเครือข่ายออกไปให้กว้างขึ้น ในหลายๆ กรณีเครือข่ายแบบ peer-to-peer จะเลือกอุปกรณ์ตัวหนึ่งให้ทำหน้าที่ PAN coordinator ระหว่างการสร้างเครือข่ายแบบ peer-to-peer จะต้องมีตรวจสอบแล้วว่าการทำงานต่างๆนั้นรองรับการทำงานและ service ของอุปกรณ์เครือข่ายทำให้สามารถทำงานได้ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 รองรับโครงสร้าง superframe ที่ดูแลจัดการโดย PAN coordinator รูปแบบของ superframe โดย superframe เริ่มจากการส่ง beacon frame ที่ใช้โดยอุปกรณ์เพื่อ synchronize เครือข่าย , จัดหา network ID , และข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของ superframe สำหรับ superframe นี้จะแบ่งออกเป็น 16 timeslots เพื่อจัดเตรียมไว้สำหรับ contention access period (CAP) การใช้ CSMA/CA , อุปกรณ์เครือข่ายพยายามที่จะเชื่อมต่อกันด้วย PAN coordinator ระหว่างคาบนี้ผู้ประสานงานเครือข่าย (network coordinator) สามารถที่จะใช้ส่วนแบ่งของ superframe เพื่อทำการ request อุปกรณ์เครือข่ายได้ และ guaranteed timeslots (GTS) จะอยู่ส่วนท้ายของ superframe และจาก CAP

2.5 การจัดขาการทำงานของ X-Bee



ขาที่	ชื่อขา/การทำงาน
1	Vcc : ขาต่อไฟเลี้ยง +3.3V
2	DOUT : ขาเอาต์พุตส่งข้อมูลอนุกรม

3	DIN : ขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรม
4	DO8 : ขาเอาต์พุตดิจิตอล ช่อง 8
5	RESET : ขารีเซตหลัก (แอกทีฟ “0”)
6	PWM0/RSSI : ขาอินพุต PWM ช่อง 0 และขาเอาต์พุตแสดงความแรงของการรับสัญญาณ
7	PWM1 : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 1
8	ไม่ใช้งาน
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8 : ขาอินพุตรับสัญญาณให้หยุดทำงานเข้าสู่โหมดสลีป หรือเป็นขาอินพุตดิจิตอล ช่อง 8
10	GND : ขาต่อกราวด์
11	AD4/DIO4 : ขาอินพุตอะนาลอก 4 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 4
12	CTS/DIO7 : ขาอินพุตรับสัญญาณแจ้งการส่งข้อมูลจากโฮสต์ (Clear-to-Send) ใช้ในการควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือ เป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 7
13	ON/SLEEP : ขาแสดงสถานการณ์ทำงาน “1” : อยู่ในโหมดทำงานปกติ “0” : อยู่ในโหมดสลีป
14	VREF : ขาต่อแรงดันอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลภายใน X-Bee-PRO
15	Associated/AD5/DIO5 : ขาแสดงสถานการณ์เชื่อมต่อ หรือ ขาอินพุตอนาลอก 5 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 5
16	RTS/AD6/DIO6 : ขาเอาต์พุตแจ้งความพร้อมในการส่งข้อมูล (Ready-To-Send) ใช้ควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือเป็นขาอินพุตอนาลอก หรือ เป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 6
17	AD3/DIO3 : ขาอินพุตอนาลอก 3 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 3
18	AD2/DIO2 : ขาอินพุตอนาลอก 2 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 2
19	AD1/DIO1 : ขาอินพุตอนาลอก 1 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 1
20	AD0/DIO0 : ขาอินพุตอนาลอก 0 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 0

2.6 รีจิสเตอร์ที่ควรทราบของโมดูล X-Bee PRO รุ่น Series2

การส่งข้อมูลและควบคุมระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์กับโมดูล X-Bee PRO นั้น จะใช้การสื่อสารแบบอนุกรม UART ซึ่งโมดูล X-Bee PRO สามารถใช้ความเร็วในการส่งข้อมูล (Baud rate) ได้ตั้งแต่ 1,200 จนถึง 115,200 บิตต่อวินาที (bps : bit per second) และสามารถเปลี่ยนความเร็วในการส่งข้อมูลได้ที่รีจิสเตอร์ BD

ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล X-Bee PRO สามารถจัดเครือข่ายได้หลายรูปแบบ โดยการแยกช่องสัญญาณและเครือข่าย รีจีสเตอร์ที่ใช้สำหรับจัดการเกี่ยวกับเครือข่าย มีดังนี้

1. **รีจีสเตอร์ CH (Channel) ใช้กำหนดช่องสัญญาณ** เลือกได้ตั้งแต่ช่องที่ 0x0C ถึง 0x17 แต่ละช่องไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามช่องสัญญาณกันได้

2. **รีจีสเตอร์ ID (PAN ID/Personal Area Network ID)ใช้กำหนดหมายเลขเครือข่าย** เลือกค่าได้ตั้งแต่ 0x0000 จนถึง 0xFFFE โดยแต่ละเครือข่ายจะไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายได้ ยกเว้นกำหนดด้วยค่า 0xFFFE จะสามารถส่งข้อมูลไปทุกเครือข่ายได้ แต่จะไม่สามารถรับข้อมูลจากเครือข่ายได้ แต่จะไม่สามารถรับข้อมูลจากเครือข่ายอื่นได้

3. **รีจีสเตอร์ MY (16-bit Source Address) ใช้กำหนดแอดเดรส 16 บิตของแต่ละโมดูล** เลือกค่าได้ตั้งแต่ 0x0000 จนถึง 0xFFFD และสามารถยกเลิกแอดเดรส 16 บิตนี้เพื่อไปใช้แอดเดรสขนาด 64 บิตที่รีจิสเตอร์ SH และ SL แทนได้ เพื่อขยายให้มีจำนวนโมดูลลูกข่ายได้มากขึ้น โดยกำหนด MY เป็น 0xFFFE และ 0xFFFF

4. **รีจีสเตอร์ SH และ SL (Serial Number High/Low) เป็นรีจีสเตอร์เก็บค่าหมายเลขเฉพาะหรือ Serial ของแต่ละโมดูล** สามารถใช้แอดเดรส 64 (SH รวมกับ SL) โดยต้องยกเลิกแอดเดรส 16 บิตที่รีจีสเตอร์ MY ก่อนค่าในรีจีสเตอร์ SH และ SL ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

5. **รีจีสเตอร์ DH และ DL (Destination Address High/Low) ใช้กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวรับ**

5.1 ถ้าโมดูลตัวรับใช้รีจีสเตอร์ MY (แอดเดรส 16 บิต) ให้กำหนดค่าของรีจีสเตอร์ DH เป็น 0x0000 และ DL เป็นค่า MY ของโมดูลตัวรับ

5.2 ถ้าโมดูลตัวรับใช้รีจีสเตอร์ SH ร่วมกับ SL (แอดเดรส 64 บิต)ให้กำหนดค่าของรีจีสเตอร์ DH เป็นค่าของ SH และค่ารีจีสเตอร์ DL เป็นค่าของโมดูลตัวรับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี