สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลาดกระบัง

คุณลักษณะของระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

Characteristics of Bluetooth and Ultra-Wideband Systems

นายธัชพงศ์ คำพิทักษ์

นายธีรเดช คำรงตระกูลเจริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62451
วัน,เดือน,ปี 18 ส.ค. 2549

b 11625454
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics of Bluetooth and Ultra-Wideband Systems

BY

Mr. Thatpong Kampitak

Mr. Teeradat Domrongtrakuncharoen

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNILOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	คุณลักษณะของระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง
ชื่อนักศึกษา	นายธัชพงศ์ คำพิทักษ์ รหัสประจำตัว 45010343
	นายธีรเดช คำรงตระกูลเจริญ รหัสประจำตัว 45010351
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
	รศ. นิกร สุขุดมตันติ
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. นิกร สุขุดมตันติ)

ลิขสิทธิ์ของ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คุณลักษณะของระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

Characteristics of Bluetooth and Ultra-Wideband Systems

ชื่อนักศึกษา นายธัชพงศ์ คำพิทักษ์ รหัสประจำตัว 45010343

นายธีรเดช ดำรงตระกูลเจริญ รหัสประจำตัว 45010351

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์

รศ. นิกร สุขุตมตันติ

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลได้เป็นที่สนใจในวงกว้าง เพราะเป็นเทคโนโลยีที่สามารถอำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ในด้านต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งในอนาคตอันใกล้นี้จะมีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลตัวใหม่เข้ามาให้เลือกใช้เพิ่มขึ้น ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลตัวใหม่ที่จะเข้ามามีใช้งานกันในอนาคต อีกทั้งยังทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะของเทคโนโลยีตัวใหม่และเทคโนโลยีตัวที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้เห็นถึงข้อแตกต่าง ข้อดี-ข้อเสียของแต่ละระบบ และวิธีการใช้งานของแต่ละระบบ เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการเข้ามาของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลตัวใหม่ ที่จะเข้ามามีการใช้งานในอนาคตอันใกล้นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Characteristics of Bluetooth and Ultra-Wideband Systems
Student	Mr. Thatpong Kampitak ID. 45010343
	Mr. Teeradat Domrongtrakuncharoen ID. 45010351
Advisor	Sathaporn Promwong
	Assoc. Prof. Nikorn Sukutamatanti
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2005

ABSTRACT

Now, in today Wireless Personal Communication Technology is very to be interesting because Technology can help human to convenience in each another side and Near future it have a new wireless technology. Thus in this project to study about characteristics and comparison of new Wireless Personal Communication technology in near future and technology in present for display about advantage-disadvantage and how to use about each system and prepare for support a new arrival Wireless Personal Communication technology to be use in near future .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ต้องผ่านอุปสรรค์มากมาย แต่อย่างไรเสียก็ไม่อาจจะสำเร็จได้ หากไม่มีบุคคลต่างๆเหล่านี้ที่คอยให้การช่วยเหลือ ขอขอบคุณ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ และ รศ. นิกร สุขุตมตันติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยช่วยให้มีโครงงานนี้เกิดขึ้นได้ ขอขอบคุณ ผศ.พิชญ สุพรรณกูล อาจารย์ที่คอยให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ และขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้แก่พวกข้าพเจ้า

นอกเหนือจากอาจารย์ท่านด่างๆ ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแล้ว ยังต้องขอขอบคุณ คุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท และกลุ่มเพื่อนๆ ที่อยู่ภายในห้องทดลองเดียวกัน ที่คอยเหลือ ในการแลกเปลี่ยนความรู้ ความเห็นต่างๆ ที่เกี่ยวกับหัวข้อโครงงาน แม้บางครั้งอาจขัดแย้งกันบ้างก็ตาม

สุดท้ายที่ไม่อาจลืมได้ ขอขอบพระคุณพระคุณอันยิ่งใหญ่ของ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายธัชพงศ์ คำพิทักษ์

นายธีรเดช ดำรงตระกูลเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญภาพ ช

สารบัญตาราง ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ของโครงงาน 3

1.5 วิธีการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ระบบบลูทูธ (Bluetooth)

2.1 กล่าวนำ 4

2.2 สถาปัตยกรรมของระบบบลูทูธ 5

2.3 การทำงานของระบบบลูทูธ กับ OSI Model 7

2.4 การทำงานขั้นพื้นฐานของระบบบลูทูธ 8

2.5 รูปแบบการเชื่อมต่อกายภาพของระบบบลูทูธ 11

2.6 การมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบระบบบลูทูธ 14

2.7 ความน่าจะเป็นในความผิดพลาดสำหรับ GFSK modulation 16

2.8 Topologies 17

2.8.1 Piconet 18

2.8.2 Scatternet 19

2.9 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลข่าวสารบนระบบบลูทูธ 20

2.10 วงจรการสื่อสารที่ใช้ในระบบระบบบลูทูธ 22

2.11 ความปลอดภัยระบบบลูทูธ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

2.12 ตัวอย่างการใช้งานระบบบลูทูธ ในปัจจุบันและอนาคต 24
2.13 สรุประบบการสื่อสารแบบระบบบลูทูธ 25

บทที่ 3 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง
3.1 กล่าวนำ 27
3.2 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 28
3.3 สัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 29
3.3.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน 29
3.3.2 สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล 30
3.3.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเล็ท 31
3.4 การเข้าถึงช่องสัญญาณ 31
3.4.1 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา 32
3.4.2 วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ DS-CDMA 34
3.5 วิธีการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบ UWB 37
3.5.1 การมอดูเลตตามขนาด 37
3.5.2 การมอดูเลต On-Off Keying 38
3.5.3 การมอดูเลตแบบไบเฟส 38
3.5.4 การมอดูเลตตามตำแหน่ง 39
3.6 เครื่องรับสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 39
3.7 การใช้งานระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งในอนาคต 40
3.8 สรุปคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง 40

บทที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบบลูทูธ
และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง
4.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 ระบบ 42
4.2 ข้อดี-ข้อเสียของทั้ง 2 เทคโนโลยี 43
4.2.1 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

4.2.2 ระบบบลูทูธ 45

4.3 การประยุกต์การใช้งานระบบบลูทูธ 45

และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

4.3.1 การใช้งานระบบบลูทูธ 45

4.3.2 การใช้งานระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 46

บทที่ 5 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของทั้ง 2 ระบบ

5.1 เนื้อหาการทดลอง 47

5.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี 47

5.1.2 เสาอากาศไบโคนิคอล (Biconical) 48

5.1.3 อัตราการส่งข้อมูลผิด (Bit Error Rate) 49

5.1.4 Signal to noise ratio (SNR) 49

5.1.5 Throughput 50

5.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง 50

5.3 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง 51

5.3.1 สถานที่ทำการทดลอง 51

5.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง 51

5.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 51

5.5 โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการทดลอง 52

5.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง 52

5.7 วิธีการทดลอง 52

5.8 วิธีวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียเชิงวิถีโดยใช้โปรแกรม MATLAB 53

5.8.1 ระบบบลูทูธ 53

5.8.2 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 53

5.9 วิธีวิเคราะห์หาค่า Bit Error Rate โดยใช้โปรแกรม MATLAB 56

5.9.1 ระบบบลูทูธ 56

5.9.2 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 6 ผลการทดลอง

6.1 ผลการทดลองการหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี 58

6.1.1 ระบบบลูทูธ 58

6.1.2 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 60

6.2 ผลการทดลองการหาค่า Bit Error Rate 62

6.2.1 ระบบบลูทูธ 62

6.2.2 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 63

บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลองการหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี 65

7.2 สรุปผลการทดลองการหาค่า Bit Error Rate 65

7.3 สรุปผลการทดลองโดยรวม 67

7.4 ข้อเสนอแนะในการใช้ทั้ง 2 เทคโนโลยี 67

7.5 แนวทางการวิจัยในอนาคต 68

บรรณานุกรม 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

บทที่ 2 ระบบบลูทูธ

รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานขั้นพื้นฐานของระบบบลูทูธ 8
รูปที่ 2.2 ระดับชั้นการทำงาน และโปรโตคอลภายในมาตรฐานบลูทูธ 11
รูปที่ 2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่าง Master กับ Slave 12
รูปที่ 2.4 ลักษณะของ Time Slot ที่ทำงานแบบ Master กับ Slave 13
รูปที่ 2.5 ขนาด Time Slot ที่มีขนาดใหญ่และ เล็ก 13
ได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเชื่อมต่อทางกายภาพ
รูปที่ 2.6 วิธีการสร้าง Hop 15
รูปที่ 2.7 (a) เครื่องส่งสัญญาณในระบบบลูทูธ 15
(b) เครื่องรับสัญญาณในระบบบลูทูธ 16
รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อใน Piconet แบบ Master กับ Slaves 18
รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อใน Scatternet 19
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนสถานการณ์ทำงานของบลูทูธ 20
รูปที่ 2.11 ลักษณะการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลแบบ ARQ 21
รูปที่ 2.12 การใช้งานร่วมกับของวงจร VCO และ PLL 22

บทที่ 3 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

รูปที่ 3.1 UWB spectral mask และ FCC Part 15 limits. 28
รูปที่ 3.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน 30
รูปที่ 3.3 สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล 30
รูปที่ 3.4 รูปร่างของสัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเล็ท 31
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณพัลส์ในระบบ TH-CDMA 33
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และเวลาที่ใช้ในระบบ TH-CDMA 33
รูปที่ 3.7 เครื่องส่งระบบ DS-CDMA 35
รูปที่ 3.8 เครื่องรับระบบ DS-CDMA 36
รูปที่ 3.9 การมอดูเลตตามขนาด 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 3.10 On-Off Keying 38

รูปที่ 3.11 การมอดูเลตแบบไบเฟส 39

รูปที่ 3.12 การมอดูเลตตามตำแหน่ง 39

รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับในระบบการสื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่ง 40

บทที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบบลูทูธ
และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

รูปที่ 4.1 FCC Spectrum mask ของทั้ง 2 ระบบ 42

รูปที่ 4.2 (ก) วงจรภาคส่งของระบบบลูทูธ 43

(ข) วงจรภาคส่งของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 44

บทที่ 5 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของทั้ง 2 ระบบ

รูปที่ 5.1 Friis Transmission Formula 48

รูปที่ 5.2 Extension of Friis Transmission Formula 48

รูปที่ 5.3เสาอากาศไบโคนิคอล 49

รูปที่ 5.4 ทางโล่ง ระยะ 10 เมตร 51

รูปที่ 5.5 Biconical Antenna 51

รูปที่ 5.6 สัญญาณที่ใช้ส่ง (Passband rectangular pulse) ในโดเมนเวลา 54

รูปที่ 5.7 สัญญาณที่ใช้ส่ง (Passband rectangular pulse) ในโดเมนความถี่ 55

รูปที่ 5.8 รูปที่ 5.8 Simulink ของระบบ Bluetooth 56

บทที่ 6 ผลการทดลอง

รูปที่ 6.1 Bluetooth Path Loss Exponent 58

(Slope =2.0078, C = 44.6293) ของระบบ Bluetooth

รูปที่ 6.2 Bluetooth Path Loss & Distance 59

รูปที่ 6.3 UWB Path Loss Exponent (Slope =1.67502, C = 57.4639) 60

รูปที่ 6.4 UWB Path Loss & Distance 61

รูปที่ 6.5 BER of Bluetooth (1 Mbps) 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6.6 BER of Ultra-Wideband (100 Mbps) 63

รูปที่ 6.7 BER of Ultra-Wideband (500 Mbps) 64

บทที่ 7 ผลการทดลอง

รูปที่ 7.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วในการส่งที่ 100 Mbps & 500 Mbps 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

บทที่ 2 ระบบบลูทูธ

ตารางที่ 2.1 Class ของระบบบลูทูธ 4

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบระดับชั้น 7
การทำงานของระบบบลูทูธ กับ OSI Model

ตารางที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติของระบบบลูทูธ 26

บทที่ 3 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ตารางที่ 3.1 สรุปคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 41

บทที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบบลูทูธ
และระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

ตาราง 4.1 ความแตกต่างระหว่างบลูทูธ และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง 41

บทที่ 6 การทดลอง

ตารางที่ 6.1 การสูญเสียเชิงวิถีต่อระยะทางของระบบบลูทูธ 59

ตารางที่ 6.2 การสูญเสียเชิงวิถี ต่อระยะทางของ 61
ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ตารางที่ 6.3 BER of Bluetooth (1 Mbps) 62

ดารางที่ 6.4 BER of Ultra-Wideband (100 Mbps) 64

ตารางที่ 6.5 BER of Ultra-Wideband (500 Mbps) 64

บทที่ 7 การทดลอง

ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) ต่อระยะทาง ของ 2 ระบบ 65

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบค่า BER ของทั้ง 2 ระบบ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้ก้าวเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น การใช้โทรศัพท์มือถือ การเชื่อมต่อระบบเครื่องข่ายไร้สาย เป็นต้น เนื่องจากทุกวันนี้การเข้าถึง ข้อมูลเป็นสิ่งจำเป็น ใครที่มีข้อมูลมากกว่า และรู้ไวกว่า จะเป็นผู้ได้เปรียบในการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ โดยเฉพาะทาง ด้านธุรกิจ ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่สะดวกสบาย รวมทั้งความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารถึงกัน ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ๆขึ้นมามากมาย อาทิเช่น ระบบ Bluetooth, Wi-Fi , WLAN เป็นต้น โดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกงานใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน และสถานที่ต่างๆ

นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้น ที่เป็นอีกหนึ่งทางเลือกขององค์กรและสำนักงานที่ประสบปัญหาในการใช้ระบบเครือข่ายแบบใช้สาย ที่จะสามารถใช้เครือข่ายไร้สายดำเนินธุรกิจได้โดยสะดวก และในอนาคตอาจรวมถึงบ้านเรือนที่จะนำเอา เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้น มาใช้อำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสารและการปฏิบัติงานของสมาชิกในบ้านกันอย่าง กว้างขวาง เพราะมีแนวโน้มการพัฒนาด้านมาตรฐานของอุปกรณ์แบบไร้สายอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการพัฒนาผลิต ภัณฑ์ไร้สายใหม่ๆ ดังนั้นจึงคาดได้ว่า เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นจะต้องเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการดำเนินงานของ หน่วยงานและองค์กรต่างๆ อย่างแน่นอนในอนาคตอันใกล้

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระบบบลูทูธ เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นที่ปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอันดับสูง และถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในระบบการสื่อสารต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ, Notebook, PDA และ PC เป็นต้น อีกทั้งเทคโนโลยีการสื่อสารระบบบลูทูธ ยังมีข้อดีในเรื่องของการใช้พลังงานในการส่งต่ำ และสามารถถ่ายข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ส่วนข้อเสียของการสื่อสารในระบบบลูทูธ คือ มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะที่สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ในระยะที่จำกัด

ส่วนเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง ในช่วงแรกเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนามาจากการใช้งานในหน่วยงานทางทหารของสหรัฐอเมริกา โดยเทคโนโลยีดังกล่าวเคยถูกห้ามนำมาใช้งานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง อันเนื่องมาจาก ความกังวลว่าช่วงความถี่ของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งอาจส่งผลรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้อยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบัน แต่ด้วยระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง มีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth มากจึงคาดว่าในอนาคตอันใกล้นี้จะมีการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งมาใช้

ดังนั้นผู้จึงทำโครงงานจึงได้เล็งเห็นความสำคัญ และได้จัดทำโครงงานนี้ขึ้นเพื่อศึกษาระบบการทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นทั้ง 2 ระบบ นั้นคือ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระบบบลูทูธ และ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ข้อแตกต่างของคุณลักษณะของแต่ละระบบ ตลอดจนศึกษาหาเหตุผลถึงทำไมจึงแตกต่างกัน และแตกต่างกันแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นอย่างไร มี ข้อดี-ข้อเสีย ต่างกันยังไง เพื่อทำให้ผู้ที่อ่านผลงานวิจัยฉบับนี้ สามารถนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นทั้ง 2 ระบบ มาปรับใช้กับองค์กรหรือสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้าน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะ คุณสมบัติ และโครงสร้างการทำงานระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง
2. เพื่อหาลักษณะเฉพาะที่เป็นข้อดี-ข้อเสียในระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง
3. เพื่อหาความเหมาะสมในการใช้งานของระบบการสื่อสารไร้สายทั้ง 2 ระบบ ภายในสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้าน
4. เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยออกสู่สาธารณะชน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงงานนี้เป็นการศึกษา ทดลอง และเปรียบเทียบการทำงานระหว่างระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งได้กำหนดขอบเขตของโครงงานไว้ดังนี้

1. ศึกษาคุณลักษณะ คุณสมบัติ และโครงสร้างการทำงานของระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง
2. ทำการเปรียบเทียบเทคโนโลยี ระบบการทำงานและหาข้อดีข้อเสียของทั้ง 2 ระบบ
3. ทำการทดลองเพื่อศึกษาหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ระยะทางต่างๆ และค่าอัตราการผิดพลาด Bit Error Rate (BER) โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละระบบมาเปรียบเทียบหาข้อดี ข้อเสียของแต่ละระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง และเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยอ้างอิงกับทฤษฎี เพื่อหาความเหมาะสมของแต่ละระบบ ในการนำไปใช้ในสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้าน
5. นำเสนอผลงานวิจัยเข้าร่วมประชุมวิชาการ

1.4 ประโยชน์ของโครงงาน

1. ทำให้เกิดความพร้อมในการรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ที่กำลังจะเข้ามาในตลาดของระบบการสื่อสารไร้สาย
2. ทำให้สามารถเลือกใช้เทคโนโลยี บลูทูธ และเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับสถานที่ต่าง ๆ

1.5 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงงานนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งก็มีเรื่องหลัก ๆ อยู่ 3 เรื่องด้วยกัน คือ เทคโนโลยีการสื่อสารในระบบบลูทูธ เทคโนโลยีการสื่อสารในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และทฤษฎีของการสื่อสารไร้สาย ซึ่งมีรายละเอียดดังในบทที่ 2 และ 3 จากนั้นก็จะนำเอาความรู้ที่ได้ศึกษาทั้งหมดมาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อเสนออาจารย์ที่ปรึกษาโปรเจ็คดูว่า การทดลองนั้นเหมาะกับหัวข้อโปรเจ็คหรือเปล่า จากนั้นก็ทำการทดลองเพื่อหาค่า พารามิเตอร์ S_{21} จากเครื่อง Vector Network Analyzer โดยใช้เสาอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna) แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณใน โปรแกรม Matlab เพื่อหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) ที่ระยะทางต่างๆ และค่าอัตราการผิดพลาด Bit Error Rate (BER) ของทั้ง 2 ระบบ ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้เราสามารถนำมาบอกคุณลักษณะของแต่ละระบบได้ โดยมีรายละเอียดในบทที่ 5 และ 6 จากนั้นก็ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกัน เพื่อหาข้อดี-ข้อเสียของการสื่อสารทั้ง 2 ระบบ และให้ข้อคำแนะนำในการนำเทคโนโลยีทั้ง 2 ระบบมาใช้ พร้อมทั้งเสนอแนวทางวิจัย ที่ทำให้รุ่นน้องหรือผู้ที่สนใจมาทำงานวิจัยชิ้นนี้ต่อได้ ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบบลูทูธ (Bluetooth)

2.1 กล่าวนำ

บลูทูธ (Bluetooth) คือมาตรฐานของเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ที่ใช้คลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในระยะทางใกล้ๆ ไม่เกิน 10 เมตร วัตถุประสงค์ของการใช้บลูทูธ คือเพื่อใช้แทนสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อทั้งหมด คำว่า Bluetooth มาจากชื่อของกษัตริย์ของเดนมาร์ค Christian King, Harald Bluetooth ซึ่งเป็นกษัตริย์องค์ที่สำคัญมากของชาวเดนมาร์ค

มาตรฐานบลูทูธสร้างขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 1998 โดยการวิจัยร่วมกันระหว่างบริษัทยักษ์ใหญ่ทางด้านการสื่อสารทางไกล (Telecommunication) และด้านคอมพิวเตอร์คือ Ericsson, IBM, Intel, Nokia และ Toshiba ในปัจจุบันบลูทูธมีบริษัทต่างๆ เข้าร่วมเป็นสมาชิก (SIG: the Bluetooth Special Interest Group) ประมาณ 2500 บริษัท ในการร่วมกันสร้าง พัฒนา และผลักดันให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีเทคโนโลยีบลูทูธเป็นส่วนประกอบมาตรฐาน โดยร่วมทำการวิจัยบลูทูธในมาตรฐานIEEE 802.15.1

บลูทูธใช้ช่วงความถี่ในการส่งสัญญาณที่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นช่วงของ ISM Band (Industrial, Scientific and Medical) รองรับรัศมีการรับ-ส่ง 10 เมตร (สามารถขยายได้ถึง 100 เมตร) ซึ่งรองรับข้อมูลธรรมดา และข้อมูลเสียง เทคโนโลยีบลูทูธสามารถรองรับอุปกรณ์ต่อเชื่อมได้ถึง 8 อุปกรณ์ในเวลาเดียวกัน (ใน Piconet เดียวกัน) และจะสามารถทำการเชื่อมต่อมากสุด 10 Piconets ภายในระยะทาง 10 เมตร ซึ่งทุก Piconet สามารถรองรับการส่งข้อมูลเสียงพร้อมกันแบบ Full-duplex

บลูทูธใช้กำลังงานของการแพร่ออกของช่องสัญญาณการสื่อสารอยู่ที่ระดับ 0 dBm/MHz หรือ 1 มิลลิวัตต์ โดยเป็นมาตรฐานที่ FCC (Federal Communications Commission) กำหนด โดยมีการแบ่งกลุ่มของกำลังงานออกเป็น

ตารางที่ 2.1 Class ของระบบบลูทูธ

Power class	Maximum Output	Power
1	100 mW	20 dBm
2	2.5 mW	4 dBm
3	1 mW	0 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สถาปัตยกรรมของระบบบลูทูธ

เนื่องจากบลูทูธมีข้อจำกัดทางด้านแบนด์วิดท์ของข้อมูลที่กว้างเพียง 1 เมกะเฮิรตซ์ ต่อช่องสัญญาณ บวกกับความต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงสุด บลูทูธจึงได้เลือกใช้การมอดูเลตแบบ Guassian Frequency Shift Keying (GFSK) การมอดูเลตด้วยวิธีนี้สามารถส่งข้อมูลได้ 1 บิตต่อความยาวคลื่น 1 พาหะ 1 เฮิรตซ์ นั้นก็หมายความว่า แต่ละช่องสัญญาณสามารถส่งได้ที่ความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที (Mbit/s) โดยบิตข้อมูลที่เป็น 1 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ทางบวกจากความถี่พาหะ ในขณะที่บิตข้อมูล 0 ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางลบจากความถี่พาหะ การรับส่งข้อมูลของ บลูทูธมีการแบ่งข้อมูลออกเป็นแพ็คเก็ตย่อยๆ แล้วส่งในแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) เพื่อประหยัดช่องสัญญาณ (มิฉะนั้นต้องใช้สองช่องสัญญาณเพื่อส่งและรับข้อมูลได้พร้อมๆ กัน) จังหวะการรับส่งข้อมูลทั้งหมดกำหนดโดยอุปกรณ์ที่เป็นมาสเตอร์ ในลักษณะของโพล ซึ่งอุปกรณ์ที่เป็นสเลฟจะต้องตอบกลับมายังมาสเตอร์ในทุกๆ แพ็คเก็ตเพื่อให้มาสเตอร์รู้ว่ายังมาการติดต่อกับสเลฟอยู่ได้ การแบ่งข้อมูลออกเป็นแพ็คเก็ต ทำให้แต่ละแพ็คเก็ตต้องมีข้อมูลส่วนหัว (Header) เพิ่มเข้ามาเพื่อให้ทางฝั่งรับสามารถประกอบข้อมูลทั้งหมดเข้าด้วยกันได้อย่างถูกต้อง นอกจากนั้นก่อนการส่งแต่ละครั้งจะต้องมีการส่งข้อมูลเพื่อทำการซิงโครไนซ์สัญญาณนาฬิกาทางฝั่งส่งและฝั่งรับให้เท่ากันเพื่อให้การรับ-ส่งข้อมูลกันได้ถูกต้องซึ่งเมื่อรวมปริมาณข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นต้องส่งในแต่ละครั้งจะทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลลดลงจาก 1 เมกะบิตต่อวินาที เหลือ 723.2 กิโลบิตต่อวินาที ในทิศทางหนึ่งและ 57.6 กิโลบิตต่อวินาทีในอีกทางหนึ่ง

นอกจากความเร็วและความสะดวกสบายแล้ว สิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการสื่อสารข้อมูลในปัจจุบันก็คือความปลอดภัยของข้อมูล โดยเฉพาะ อุปกรณ์บลูทูธ ที่สามารถทำงานได้ทุกที่ยิ่งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลเป็นอย่างดี เทคนิคการส่งข้อมูลที่บลูทูธใช้คือ เทคนิคการกระโดดข้ามทางความถี่ (Frequency Hopping Spread Spectrum : FHSS) เทคนิค FHSS ที่บลูทูธใช้นี้จะแบ่งข้อมูลที่ต้องการส่งออกเป็นแพ็คเก็ต การส่งข้อมูลในแพ็คเก็ตแรกจะเลือกความถี่ของช่องสัญญาณช่องหนึ่งสำหรับการส่ง หลังจากส่งเสร็จสิ้นก็จะกระโดดไปเลือกใช้ช่องสัญญาณความถี่อื่นในการส่งแพ็คเก็ตที่สอง และจะกระโดดไปใช้ความถี่อื่นเรื่อยๆ ตลอดช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ การกระโดดไปใช้งานช่องความถี่ต่างๆ นี้เรียกว่า Hopping โดยบลูทูธมีวงจรแบ่งช่องสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง 2.402 GHz ถึง 2.480 GHz นี้ออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ โดยแบ่งใช้ช่องความถี่ละ 1 MHz และใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ในการส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที ตัวอย่างเช่น ใช้ช่องที่ 1 ช่องที่ 8 ช่องที่ 21 แล้วสลับไปมา 1,600 ครั้งใน 1 วินาที โดยระบบบลูทูธมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตโนมัติ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น

จุดเด่นของการใช้เทคนิคนี้ในการส่งสัญญาณมีอยู่ 2 ข้อ คือ

1. เกิดการชนกันของการเลือกใช้ช่องสัญญาณน้อย เนื่องจากช่วงความถี่ ISM ที่บลูทูธ ใช้นั้นเป็นช่วงความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาต ทำให้มีอุปกรณ์หลายชนิดที่ใช้ช่วงความถี่นี้อยู่ ประกอบกับรูปแบบการใช้งานอุปกรณ์บลูทูธ ส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะที่สามารถเคลื่อนที่ไปใช้งานตำแหน่งใดๆ ก็ได้ ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดการใช้ช่องสัญญาณที่ซ้ำกันได้ ถ้าอุปกรณ์เลือกจับช่องสัญญาณใดๆ สำหรับส่งสัญญาณแบบไม่เปลี่ยนช่อง แต่ถ้าใช้เทคนิค FHSS โดยที่กำหนดช่วงเวลาในการจับช่องสัญญาณของการส่งข้อมูลแต่ละครั้งให้สั้นก็จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการใช้งานช่องสัญญาณความถี่เดียวกันลดลงและถึงแม้จะเกิดการชนกันของข้อมูลขึ้นก็จะเสียข้อมูลไปเพียงแค่แพ็คเก็ตเดียว เมื่อส่งข้อมูลซ้ำในครั้งถัดไปก็จะเปลี่ยนไปใช้ความถี่อื่นซึ่งมีโอกาสที่จะไปใช้ความถี่ซ้ำกันอีกมิได้น้อยมาก เพราะรูปแบบในการกระโดดของอุปกรณ์แต่ละตัวจะไม่เหมือนกัน

2. มีความปลอดภัยของข้อมูลสูง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าอุปกรณ์ที่เป็นมาสเตอร์จะคอยควบคุมจังหวะการรับ-ส่งข้อมูลทั้งหมดนั้น หมายความรวมถึงรูปแบบการกระโดดเปลี่ยนช่องสัญญาณด้วย โดยรูปแบบการกระโดดนี้จะกำหนดจากแอดเดรสของอุปกรณ์ที่เป็นมาสเตอร์ซึ่งแอดเดรสนี้จะไม่มีทางซ้ำกันเลยในอุปกรณ์ทุกๆ ตัว นั่นหมายความว่าอุปกรณ์ที่เป็นสเลฟเท่านั้นที่จะรู้แอดเดรสของมาสเตอร์เพื่อไปคำนวณรูปแบบการกระโดดที่ถูกต้องเพื่อรับข้อมูลแต่ละแพ็คเก็ตในลำดับที่ถูกต้องแล้วประกอบขึ้นใหม่ให้เหมือนกับข้อมูลที่ส่งมา จากหลักการที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าเป็นการยากที่จะคาดเดารูปแบบการกระโดดที่ถูกต้องเพื่อรับข้อมูลได้ เทคนิคนี้ถูกคิดค้นเพื่อนำมาใช้สำหรับการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่ใช้ควบคุมตอร์ปิโดในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทำงานของระบบบลูทูธ กับ OSI Model (OSI : Systems Interconnection)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบระดับชั้นการทำงานของระบบบลูทูธ กับ OSI Model

OSI Reference Model	Bluetooth
Application Layer	Application Layer
Presentation Layer	RF COMM/SDP
Session Layer	L2 CAP
Transport Layer	Host Controller Interface(HCI)
Network Layer	Link Controller
Data Link Layer	Base Band
Physical Layer	Radio

จากตารางที่ 2.2 แม้ว่าระบบบลูทูธไม่ได้ทำงานบนพื้นฐานของ OSI Model แต่มันมีระดับชั้นการทำงานของมันเองอย่างไรก็ดี พยายามที่จะเปรียบเทียบให้เห็นว่าระดับชั้นที่แปลกแยกของบลูทูธมีการทำงานอย่างไรเช่นระดับชั้น Physical ของ OSI Model เป็นระดับชั้น Radio ของบลูทูธซึ่งจะเห็นได้ว่าในระดับชั้น Physical ของ OSI Model เป็นระดับชั้นของการอธิบายคุณสมบัติของสายสัญญาณแบบต่างๆ รวมทั้งอธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณที่วิ่งบนสายสัญญาณ รวมทั้งวิธีการเข้ารหัสสัญญาณ เพื่อให้การสื่อสัญญาณมีความเหมาะสมกับสายสัญญาณที่ใช้ ส่วนระดับชั้น Radio ของบลูทูธก็เช่นเดียวกัน ประกอบด้วยวิธีในหารเข้ารหัสข่าวสารภายในคลื่นวิทยุ รวมทั้งวิธีการผสมสัญญาณ

ระดับชั้น **Physical** ของ OSI Model ยังครอบคลุมบางส่วนของ Base Band บนบลูทูธอีกด้วย

ระดับชั้น **Data Link** รับผิดชอบอธิบายการทำงานใดๆที่เกี่ยวกับการสร้างเฟรมของข้อมูล วิธีการแพร่ข่าวสาร รวมทั้งการควบคุมความผิดพลาด ขณะที่มีการเชื่อมต่อระหว่างกัน ระดับชั้น Data Link นี้ ยังครอบคลุมบางส่วนของ Link Controller ของบลูทูธและบางส่วนของ Base Band ทำให้มีการตรวจสอบความผิดพลาด และแก้ไขความผิดพลาดข้อมูลข่าวสารได้

ระดับชั้น **Network** ของ OSI Model ตรงกับระดับชั้น Link Controller และบางส่วนของ Link Manager (LM) ของบลูทูธหน้าที่หลักของระดับชั้นนี้ ได้แก่ การแพร่ข้อมูลข่าวสารข้ามเครือข่าย โดยไม่นำพาต่อประเภทของสื่อสัญญาณหรือ รูปแบบการเชื่อมต่อโดยมี Link Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

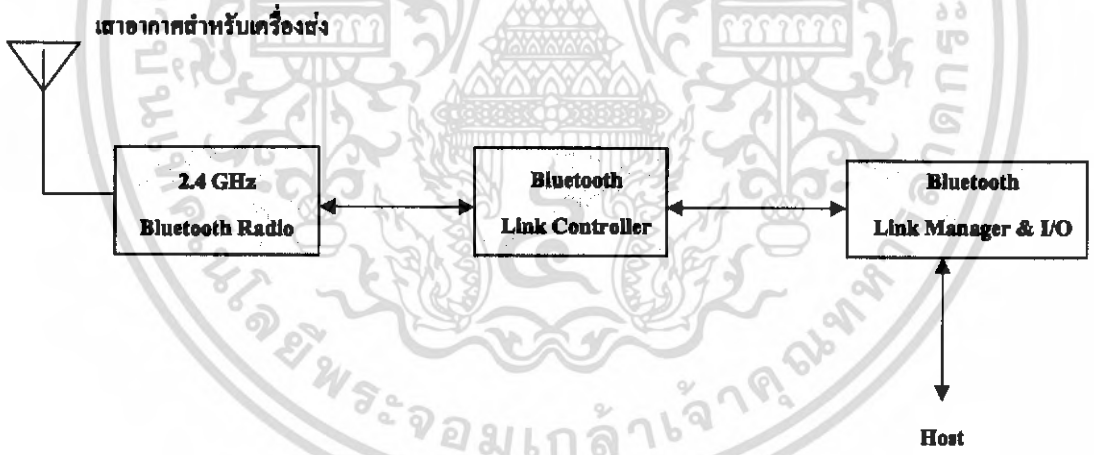
และ Link Manager (LM) ซึ่งทำหน้าที่ ดูแลการสถาปนาการเชื่อมต่อ ระหว่างจุดหรือ หลายๆจุด เกิดขึ้นได้พร้อมกัน

ระดับชั้น **Transport** ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อและการสื่อสารที่มีความน่าเชื่อถือ รวมทั้งการสื่อสารข้อมูลข่าวสารหลายประเภทแบบสลับกันไปมา (Multiplexing) และใช้กลไกการขนส่งข้อมูลข่าวสารที่เรียกว่า **"Host Controller Interface หรือ HCI"** ควบคุมการรับส่งข้อมูลอย่างมีเสถียรภาพ

ระดับชั้น **Session** รับผิดชอบดูแลเกี่ยวกับการบริหารจัดการการไหลของข้อมูลข่าวสารซึ่งทำงานโดย L2CAP และบางส่วนของ RFCOMM / SDP

ระดับชั้น **Presentation** ดูแลเกี่ยวกับการสื่อความหมายของ Application โดยการสอดแทรกโครงสร้างพื้นฐานของการให้บริการข้อมูลข่าวสารที่จะส่งออกไป และที่สุด คือ ระดับชั้น Application ดูแลเกี่ยวกับการบริหารจัดการเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่าง คอมพิวเตอร์ผ่านทาง Application

2.4 การทำงานขั้นพื้นฐานของระบบบลูทูธ



รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานขั้นพื้นฐานของระบบบลูทูธ

แบบ Ad – hoc

เครือข่ายแบบ Ad – hoc เป็นเครือข่ายแบบเรียบง่ายที่การสื่อสารถูกก่อตั้งขึ้นโดยระหว่างคอมพิวเตอร์ต่างๆ ในพื้นที่เดียวกัน โดยไม่ต้องใช้ Access Point หรือ Server ใดๆทั้งสิ้น มาตรฐานของ IEEE 802.11 ได้กำหนดให้เป็นหน้าที่ของสถานีเครือข่ายต่างๆ จะต้องคอยสอดส่องซึ่งกันและกัน เพื่อที่จะได้ค้นพบกัน และกัน เมื่อพบกันแล้วก็จะใช้เส้นทางที่ค้นพบระหว่างกันนั้นทำการติดต่อกันทางไร้สาย นอกจากนี้ IEEE ยังได้กำหนดให้สถานีต่างๆจะต้องมีการจัดส่งการร้องขอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้หลีกเลี่ยงการกระทบกระทั่งระหว่างกัน (CSMA / CA) เพื่อให้สามารถใช้ช่องสัญญาณได้อย่างเต็มที่

แบบ Client – Server

เครือข่ายแบบ Client / Server เป็นเครือข่ายที่ต้องการใช้ Access Point ที่สามารถควบคุมการสื่อสารระหว่างสถานีเครือข่าย แบบไร้สายกับเครือข่าย LAN รวมทั้งทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมการจราจรของเครื่อข่าย อีกทั้งยังสามารถต่อยอดการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่นอกรัศมีการเชื่อมต่อ ซึ่งเราเรียกว่าการ **"Roaming"**

บลูทูธเป็นเทคโนโลยีที่ใช้รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ Ad- hoc ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ หรือสื่อสาร จะต้องสังเกตกันและกัน จากนั้นจะถ้อยทีถ้อยอาศัยในการสื่อสารบนเครือข่ายเดียวกัน จากรูปด้านบนแสดงให้เห็นว่า บล็อกไดอาแกรมการเชื่อมต่อของบลูทูธประกอบด้วยส่วนที่เป็นวงจรเครื่องรับส่งวิทยุขนาดเล็ก และสามารถมีขนาดเล็กเท่ากับหัวนิ้วมือ รวมทั้งเสาอากาศที่มีขนาดเล็กมากจนสามารถซ่อนอยู่ในอุปกรณ์เล็กๆได้ นอกจากนั้นแล้วยังต้องพึ่งพาอาศัยโปรโตคอลอันเป็นแกนหลักในการทำงานได้แก่

- Logical Link Control และ Adaptation Protocol (L2CAP)
- Service Discovery Protocol (SDP)
- RFCOMM protocol

L2CAP

หน้าที่หลักของ L2CAP ได้แก่ การทำงานร่วมกันกับโปรโตคอลระดับสูงบนการสื่อสารแบบ Base band (การสื่อสารที่อยู่บนพื้นฐานข้อมูลดิจิตอลเป็นหลัก) L2CAP ยังทำหน้าที่ดูแลการให้บริการข้อมูลข่าวสารที่มาจากระดับบน (Application) และสามารถให้บริการขนส่งข้อมูลแก่ Application ต่างๆในรูปแบบการสลับการทำงาน (Multiplexing) รวมทั้งยังสามารถปรับขนาดของข้อมูลข่าวสารให้มีขนาดที่เหมาะสม (Segmentation) เพื่อให้สามารถส่งออกไปกับสัญญาณวิทยุอย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อข่าวสารไปถึงเครื่องรับปลายทาง L2CAP จะต้องทำหน้าที่รวมข่าวสาร (Reassembly) ที่ผ่านการปรับแต่งให้มีขนาดที่พอเหมาะจากเครื่องส่งเสียก่อนที่จะจัดส่งขึ้นไปยัง Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SDP

ข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ การให้บริการ และลักษณะพิเศษของการให้บริการสามารถตรวจสอบได้จาก SDP

RFCOMM

เป็นโปรโตคอลระดับบน ที่อยู่เหนือ L2CAP เป็นโปรโตคอลที่ให้บริการขนถ่ายแก่บริการในระดับสูง (เช่น OBEX Protocol) ที่ใช้สาย Serial เป็นกลไกในการขนถ่ายข้อมูล หรือ พูดง่ายๆ ก็คือ RFCOMM มีรูปแบบการขนถ่ายข้อมูลแบบ Serial Port หรือ RS-232

ความสัมพันธ์ในลักษณะการเชื่อมต่อบลูทูธที่มีต่อความว่างเปล่าของสายอากาศ อยู่บนพื้นฐานของการใช้กำลังส่งของสาอากาศขนาดกำลัง 0 dBm และมีการเพิ่มเติมระบบการทำงานของ Spread Spectrum เข้าไป เพื่อให้สามารถเอื้ออำนวยความสะดวกแก่การใช้บริการเสริมที่มีกำลังส่งสูงถึง 100 mW ได้ทั่วโลก ส่วนจะทำได้หรือไม่อยู่ที่การใช้เทคนิคที่เรียกว่า "Frequency Hopping" โดยมีการกระโดดถึง 79 Hop ต่อความถี่ 1 MHz โดยเริ่มต้นที่ความถี่ 2.402 GHz และสิ้นสุดที่ 2.480 GHz และเนื่องจากข้อจำกัดทางกฎหมายสื่อสารของแต่ละประเทศได้มีการลด Bandwidth ในบางประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส และ สเปน ซึ่งทำให้มีจำนวนครั้งของการกระโดดของช่องสัญญาณความถี่ได้ถึง 1600 Hop ต่อวินาที ระยะทางการเชื่อมต่อเริ่มตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ไปจนถึง 10 เมตร และยังสามารถยืดระยะทางการเชื่อมต่อออกไปได้มากกว่า 100 เมตร โดยการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ

ช่องสัญญาณของระบบบลูทูธ

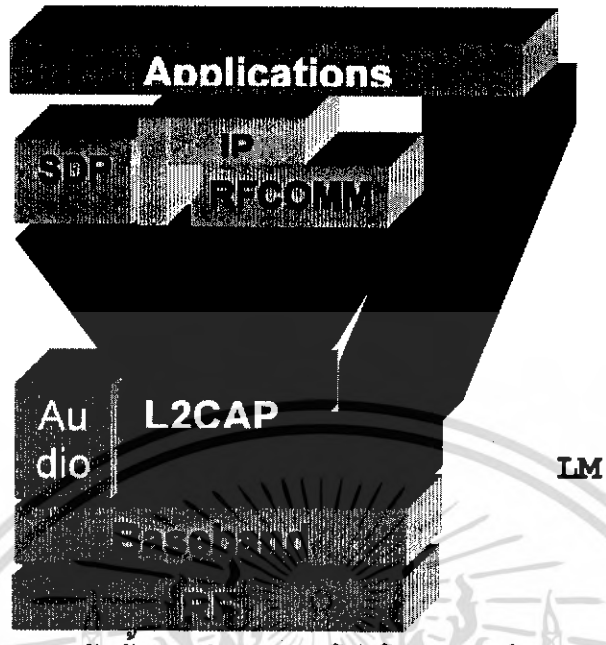
คำว่าช่องสัญญาณในที่นี้หมายถึง สามสิ่งที่แตกต่างกัน ได้แก่

1. ช่องสัญญาณวิทยุจำนวน 79 (หรือ 23) ช่อง โดยแต่ละช่องมีการดั่นช่องสัญญาณความถี่ 1 MHz

2. หมายถึงช่องสัญญาณสื่อสาร ที่ประกอบด้วยการกระโดดไปมาของช่องสัญญาณทั้ง 79 (หรือ 23) ช่อง โดยช่องสัญญาณเหล่านี้ทำงานเหมือนกับหน้าที่การทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์บนระดับชั้น Session ของ OSI Model

3. ช่องสัญญาณทางตรรก (Logical Channel) 5 ช่องทาง มีไว้เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระดับชั้นการทำงาน และโปรโตคอลภายในมาตรฐานบลูทูธ

ระดับกำลังงานของการเชื่อมต่อ

ศักยภาพทางคลื่นวิทยุของบลูทูธถูกสร้างให้มีขนาดที่เล็ก เท่าไมโครชิป และทำงานบนย่านความถี่มาตรฐานที่สำรองไว้ให้ใช้ทั่วโลกได้ เพื่อให้สามารถสื่อสารระหว่างกัน มีความเข้ากันได้ดี ดังนั้นจึงได้กำหนดให้มีระดับกำลังส่ง 2 ระดับ ได้แก่

1. ระดับกำลังส่งที่ต่ำที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็ก เหมาะสำหรับเครือข่ายส่วนตัว
2. ระดับกำลังส่งสูง ที่ครอบคลุมระยะทางปานกลาง อย่างเช่น ระยะทางที่ครอบคลุมรัศมีภายในบ้าน

โปรโตคอลการทำงานแบบ Base band ของบลูทูธเป็นการทำงานอย่างผสมผสานกันระหว่างวงจรทาง Hardware และ Packet Switch การกำหนดขนาดของ Time Slot ขึ้นอยู่กับการส่งข้อมูลบนช่องสัญญาณแบบ Synchronous โดยหนึ่ง Packet ของข้อมูลอาจใช้หนึ่ง Time Slot แต่ก็สามารถยืดหยุ่นออกจนสามารถครอบคลุมได้มากถึง 5 Slot ต่อหนึ่ง Packet

2.5 รูปแบบการเชื่อมต่อกายภาพของระบบบลูทูธ

รูปแบบการเชื่อมต่อทางกายภาพของบลูทูธได้ถูกนิยาม จัดตั้งขึ้น 2 แบบ ดังนี้

- **SCO** (Synchronous Connection -Oriented)

  SCO เป็นการเชื่อมต่อแบบ Point to Point ระหว่างเครื่องที่เป็น Master กับ Slave โดยที่ตัว Master จะดูแลการเชื่อมต่อโดยทำการสำรอง หรือจองช่องเวลา (Time Slot) ไว้ให้

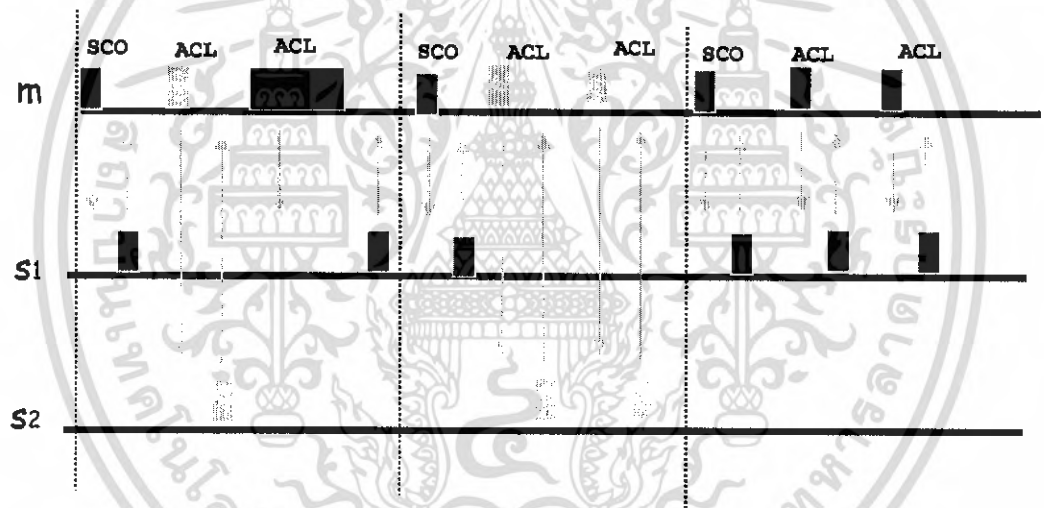
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจะมีการส่งข้อมูล การจับจองช่องเวลานี้ กระทำกันเป็นห้วงๆ ของเวลาปกติ นอกจากนี้การส่งข้อมูลซ้ำไม่สามารถทำได้ภายใต้การเชื่อมต่อในลักษณะนี้

- **ACL** (Asynchronous Connection-Less)

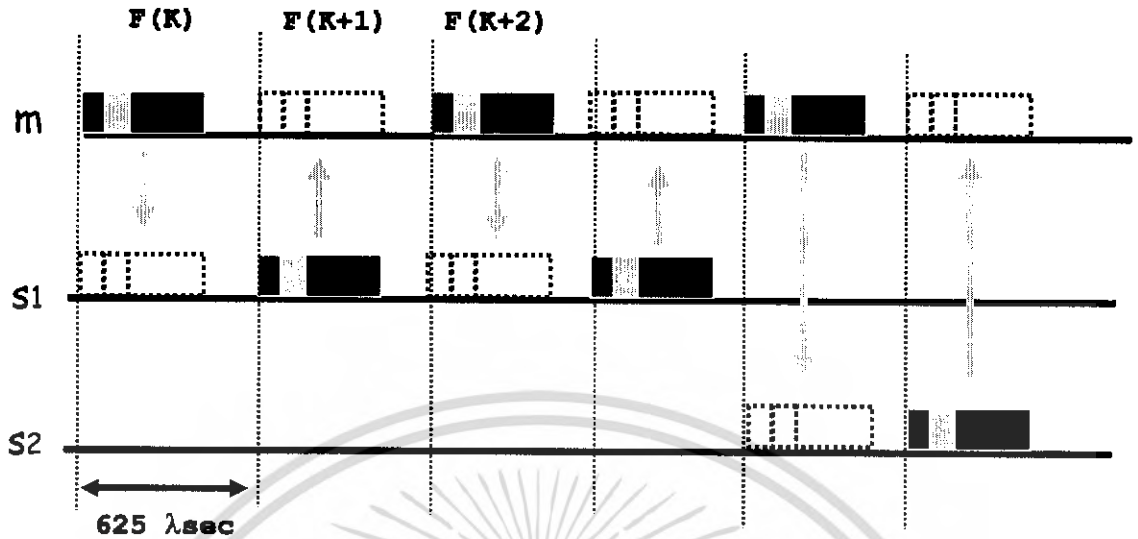
  ACL เป็นการเชื่อมต่อที่ทำให้สามารถที่จะมีการสื่อสารกันแบบ Packet Switching ระหว่าง Master กับเครื่องเครือข่ายที่เป็น Slave ทั้งหมดในระบบการเชื่อมต่อนี้ สามารถส่งข้อมูลซ้ำได้เพื่อเป็นหลักประกันความถูกต้อง และความปลอดภัยของข้อมูล

ในรูปแบบการเชื่อมต่อแต่ละแบบที่กล่าวมานี้ มีการใช้รูปแบบของ Packet ถึง 12 แบบ ประกอบด้วย 4 Packet ที่ใช้ควบคุมการเชื่อมต่อทั้ง 2 รูปแบบนี้

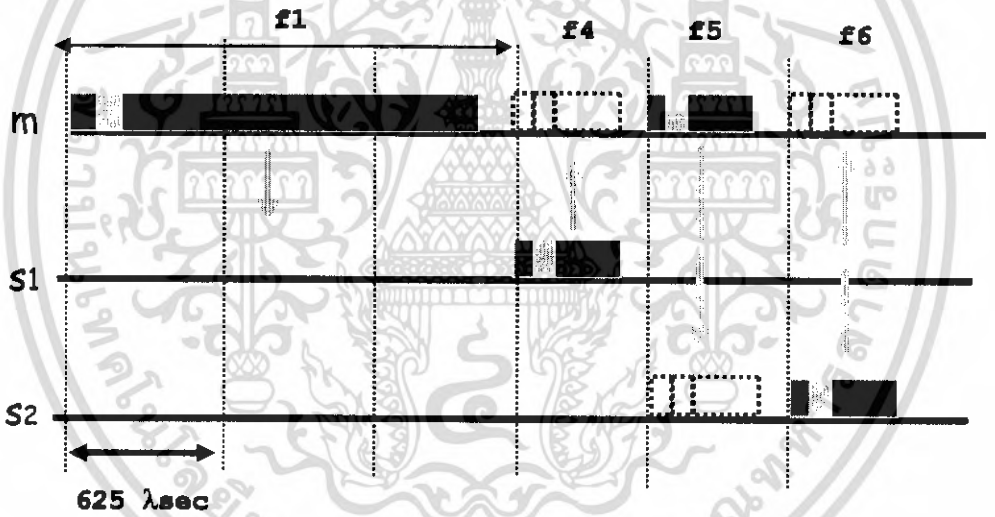


รูปที่ 2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่าง Master กับ Slave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลักษณะของ Time Slot ที่ทำงานแบบ Master กับ Slave



รูปที่ 2.5 ขนาด Time Slot ที่มีขนาดใหญ่และ เล็กได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเชื่อมต่อทางกายภาพ

บลูทูธใช้งาน Time Slot ในรูปแบบของ Frequency Hopping เนื่องจากบลูทูธถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถทำงานในสิ่งแวดล้อมของการกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุ และมีการใช้วิธีการตอบรับการติดต่อการส่งหรือการรับข่าวสารที่รวดเร็ว

หากเปรียบเทียบกับระบบอื่นที่อยู่ในย่านความถี่เดียวกัน การกระโดดของบลูทูธสามารถทำได้เร็วกว่า อีกทั้งมีการใช้ Packet ที่สั้นกว่า เนื่องจากการใช้ Packet ที่มีขนาดที่สั้นกว่าและการกระโดดที่รวดเร็ว ทำให้การทำงานมีความปลอดภัยและเสถียร สามารถรอดพ้นต่อภัยคุกคามของเครื่องใช้ไฟฟ้าความถี่สูงอย่างเตาอบไมโครเวฟ รวมทั้งแหล่งแพร่สัญญาณรบกวนอื่นๆ นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ระบบ Forward Error Correction (FEC) ทำให้สามารถลดปัญหาที่เกิดจากผลกระทบของสัญญาณรบกวนแบบเอาแน่นอนไม่ได้ ที่มาจากระยะทางไกลออกไป

ถึงแม้ว่าบลูทูธมีการทำงานแบบ Ad-hoc ก็ตาม แต่การสื่อสารทั้งหมดจะต้องกระทำผ่านส่วนที่เรียกว่า **"Master"** โดยสถานี Slave ไม่สามารถสื่อสารกันเองได้ โดยปราศจาก Master แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า เครื่องลูกข่ายด้วยกันจะไม่สามารถสื่อสารกันเองได้โดยอิสระเพียงแต่ว่าเครื่อง Slave ทั้งหลาย หากต้องการจะสื่อสารระหว่างกันมันจะต้องก่อตั้งเครือข่ายเล็กๆ ที่เรียกว่า **"Piconet"** โดยภายใต้ Piconet นี้ เครื่องที่เป็น Slave จะต้องกำหนดตัวเองขึ้นเป็น Master สักตัวหนึ่ง ลักษณะนี้จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลง Configuration หรือรูปแบบการเชื่อมต่อของบลูทูธสามารถกระทำได้แบบพลวัตร หรือยืดหยุ่นได้ อีกทั้งทำได้อย่างรวดเร็ว

ระบบบลูทูธสามารถให้การสนับสนุนช่องสัญญาณแบบใด

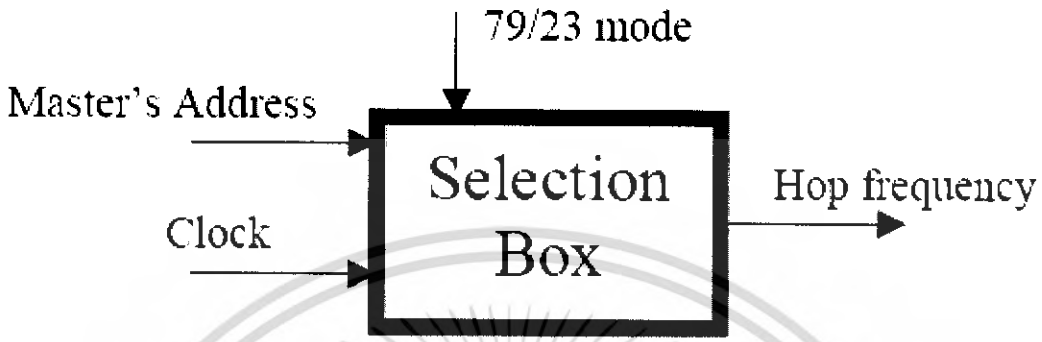
- ช่องสัญญาณข้อมูลแบบ Asynchronous
- 3 ช่องสัญญาณเสียงที่ทำงานแบบ Synchronous พร้อมกัน
- ช่องสัญญาณหนึ่งช่องที่สามารถสนับสนุนข่าวสารแบบ Asynchronous และ Voice แบบ Synchronous พร้อมกันที่เดียวทั้งสองช่อง

2.6 การมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบบลูทูธ

การทำงานของโครงข่ายบลูทูธจะประกอบขึ้นบนหลักการทำงานของเทคนิคการกระโดดของช่วงความถี่ (Frequency Hopping Technique) ด้วยการจัดลำดับสำหรับแต่ละพิโคเน็ทโดยจะมีการป้องกันการรบกวนจากแต่ละพิโคเน็ทอื่นๆที่อยู่ข้างเคียง จึงมีการนำการใช้การเลือกการกระโดดช่วงความถี่นำมาใช้ (frequency hop-selection) โดยจะมีการจัดหรือสุ่มความถี่ที่จะใช้งาน (carrier frequencies) โดยช่วงความถี่ที่เลือกจะต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดและจะใช้ส่งแพ็คเก็ตในความถี่ที่เลือกและจะสุ่มการกระโดดของความถี่ รูปแบบของการกระโดดของความถี่จะคำนวณจากตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่แสดงตัวเป็นมาสเตอร์ โดยจะใช้กับมาสเตอร์สำหรับแต่ละพิโคเน็ทและสัญญาณเวลาของเหตุการณ์ในการส่ง ซึ่งจะมีช่วงความถี่ที่ใช้งานอยู่ 10 ช่วง โดยจะแบ่งเป็น 5 ช่วงความถี่สำหรับระบบ 79 hop (ใช้ในสหรัฐอเมริกา , ยุโรป และประเทศอื่นๆ) และ 5 ช่วงความถี่สำหรับระบบที่เป็น 23 hop (ใช้ในญี่ปุ่น, สเปน และฝรั่งเศส อย่างไรก็ตามคาดว่าประเทศเหล่านี้จะปรับมาใช้ระบบ 79 hop ในระยะเวลาอันใกล้นี้) โครงสร้างในการเลือกจะ

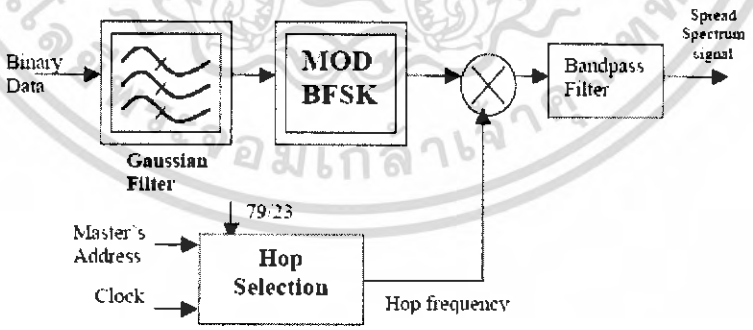
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ลำดับการเลือก 2) การ mapping โดยจะมีการลำดับตามช่วงความถี่ (Hop Frequency)



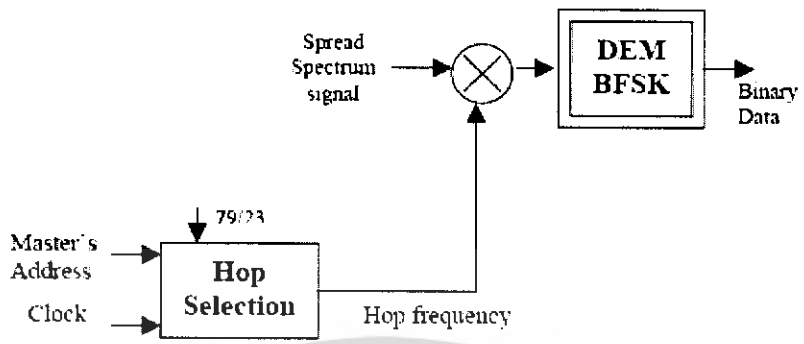
รูปที่ 2.6 วิธีการสร้าง Hop

โดยทั่วไปบล็อกไดอะแกรมของผังการเลือกช่วงความถี่ (Hop-Selection Scheme) โดยที่จะ mapping จากอินพุทของช่วงความถี่ hop frequency ในการดำเนินการในกล่องการเลือก (Selection Box) โดยการกำหนดอัตราช่วงกระโดด (Hop rate) คือ 1,600 hop/s ดังนั้นช่วงระยะเวลาของความห่างของแต่ละhop คือ 625ไมโครวินาที (μs) ในช่วงคาบเวลา บิทข้อมูลจะถูกส่งให้ตรงกับลำดับของช่วงสัญญาณที่ปรับขึ้นมาในรูปแบบของการสุ่มทั้งตัวส่งและตัวรับจะใช้การกระโดดที่เหมือนกันโดยปรับให้ตรงกับช่วงสัญญาณที่มีสัญญาณนาฬิกาตรงกัน



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

รูปที่ 2.7 (a) เครื่องส่งสัญญาณในระบบบลูทูธ
(b) เครื่องรับสัญญาณในระบบบลูทูธ

รูปแบบของบล็อกไดอะแกรมของคลื่นวิทยุที่ใช้ในบลูทูธจะใช้ความถี่ช่วงกระโดดและการมอดูเลตแบบจีเอฟเอสเค (GFSK modulation) ในโหมดการส่งข้อมูล ข้อมูลเลขฐาน 2 (Binary data) จะถูกส่งเข้าสู่ Modulator โดยการใช้ GFSK Scheme ซึ่งผลของการ Modulation จะอยู่ที่ประมาณศูนย์กลางของความถี่หลัก ต่อจากนั้นก็จะเลือกความถี่จาก Hop-Selection Box แล้ว Modulated กับสัญญาณเอาท์พุตที่มาจาก GFSK modulator แล้วจะ shift สัญญาณไปที่ประมาณศูนย์กลางของ selected hop frequency ส่วนทางด้านตัวรับ จะมี frequency-hopped spread-spectrum signal คือ pre-demodulated จะใช้หลักการเดียวกัน hop -frequency ที่ใช้ด้านตัวส่ง แล้วจะถูกส่งเข้าสู่ BFSK demodulation ดังนั้นข้อมูลเลขฐานสอง(binary data)จะถูกกู้คืนกลับมาที่ด้านสุดท้ายของเอาท์พุต

2.7 ความน่าจะเป็นในความผิดพลาดสำหรับ GFSK modulation

จากการที่ Bluetooth radio chip ใช้การ modulation แบบ GFSK modulation ด้วยค่า modulation index ระหว่าง 0.28–0.35 สำหรับการรักษาความสมดุลของผลกระทบของการรบกวนในช่วงความถี่ ระหว่างบิตที่เป็น “0” และ บิตที่เป็น “1” และ ค่า WT_B factor ของ Gaussian filter ที่ 0.5 โดยที่ในการ modulationแบบ GFSK นั้นเกือบจะคล้ายกับการ modulation แบบ FSK สิ่งที่แตกต่างกันของการ modulation นั้นก็คือ ก่อนที่ Base band pulse จะเข้าสู่ FSK modulator นั้นมันจะผ่าน Gaussian filter ก่อน ซึ่ง Gaussian filter จะทำให้รูปร่างของ pulse ถูกจำกัด ก็คือ spectral width นั่นเอง โดยที่ pulse shaping filter ควรจะมีการแก้ไขคุณสมบัติต่างๆดังนี้ คือทำให้ Frequency responses มี bandwidth ที่แคบ และ คุณลักษณะของ sharp cutoff ซึ่งควรจะตัดส่วนที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความถี่สูง(high-frequency)ของสัญญาณที่จะทำการส่งออกไป และควรที่จะทำให้impulse response สามารถหลีกเลี่ยง low overshoot ที่จะเกิดขึ้นในความถี่ของสัญญาณแบบ FM

ดังนั้น response g(t) ของฟิลเตอร์ จะถูกกำหนดโดย Gaussian transfer function และในการอ้างอิงถึง rectangular pulse ของ unit amplitude และ ช่วงระยะเวลาของ Tb (ศูนย์กลางบนจุดกำเนิด) โดยที่ g(t) จะหาได้จากสมการที่ 2.1

$$g(t)=\frac{1}{2}\left[\operatorname{erfc}\left(\pi\sqrt{\frac{2}{\log 2}}WT_b\left(\frac{t}{T_b}-\frac{1}{2}\right)\right)-\operatorname{erfc}\left(\pi\sqrt{\frac{2}{\log 2}}WT_b\left(\frac{t}{T_b}+\frac{1}{2}\right)\right)\right] \qquad (2.1)$$

ในการหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดของบิตโดยจะอ้างอิงถึงโครงสร้างการทำงานของ GFSK นั้น ก็จะคือ BER (Pe) ที่พัฒนามาจาก FSK โดยการปรับปรุงสมการที่ 2.2

$$P_e = Q(a,b) - \frac{1}{2}e^{-(a^2+b^2)/2}I_0(ab) \qquad (2.2)$$

โดยที่

$$a = \sqrt{\frac{vE_b/N_0}{2}(1-\sqrt{1-|p|^2})}$$

$$b = \sqrt{\frac{vE_b/N_0}{2}(1-\sqrt{1-|p|^2})}$$

$$|p| = \left|\frac{\sin(\Pi t\Delta f)}{\Pi t\Delta f}\right| = \left|\frac{\sin(\Pi h)}{\Pi h}\right|$$

h คือ modulation index ; Q(a,b) : Marcum's Q-function และ $I_0(a,b)$: Modified Bessel function of order zero.

2.8 Topologies

การติดต่อสื่อสารกันของระบบบลูทูธเกิดขึ้นระหว่าง Master และ Slaves นอกจากนี้อุปกรณ์ บลูทูธยังมีความสามารถในการจำลองตัวเองเป็น Master หรือ Slaves ก็ได้ โดยมี topologies ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกันอยู่ 2 วิธีคือ

62451
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 Piconet

การจัดตั้ง Piconet

Piconet สามารถถูกจัดตั้งด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งใน 4 วิธีนี้

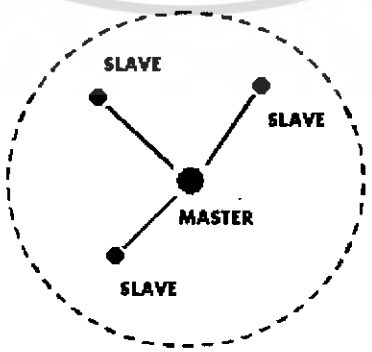
1. Page ที่ Master ใช้เพื่อการเชื่อมต่อกับ Slave
2. วิธีการทาง Page Scan (หน่วยทำงานที่ใช้เพื่อฟัง Access Code)
3. การสลับตำแหน่งไปมาระหว่าง Master กับ Slave
4. หน่วยทำงานที่แสดงให้เห็นว่ามี Slave ที่ไม่ได้พร้อมทำงานในขณะนั้น

เพื่อให้การจัดตั้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และราบลื่น จึงมีการใช้กระบวนการที่เรียกว่าการสอบถาม (Inquiry) และการเรียกร้องแบบ Paging (การทำ Paging เป็นการส่งเลขหมาย ID ของอุปกรณ์ไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการจะติดต่อสื่อสารด้วย) การสอบถามเป็นการส่งข่าวสารออกมาของอุปกรณ์บลูทูธมีจุดประสงค์เพื่อการค้นหาดูว่า ในรัศมีใกล้เคียงกับมันมีอุปกรณ์บลูทูธใดบ้างที่กำลังทำงานอยู่ในบริเวณนั้น หากบริเวณนั้น มีอุปกรณ์บลูทูธทำงานอยู่มันจะตรวจพบทันที เนื่องจากอุปกรณ์ที่อยู่ในบริเวณนั้น จะส่งข่าวสารตอบรับกลับมา จากนั้น จะมีการส่ง Paging ออกไป เพื่อแสดงตนระหว่างกันก่อน ที่ทำการสื่อสารระหว่างกันต่อไป

ความหมายของ Piconet

Piconet เป็นเครือข่ายเล็กๆที่ประกอบไปด้วยกลุ่มอุปกรณ์สื่อสาร และคอมพิวเตอร์ที่สื่อสารกันภายใต้บลูทูธและเป็นรูปแบบการเชื่อมต่อกันแบบ Ad-hoc โดย Piconet อุปกรณ์สามารถมีได้ไม่เกิน 8 หน่วย นี่เป็นเหตุผลที่ว่า เพราะเหตุใด Address ของอุปกรณ์ต่างๆภายใต้ Piconet สามารถมีขนาดไม่เกิน 3 บิตเท่านั้น

อุปกรณ์ต่างๆภายใต้บลูทูธทุกชิ้นจะต้องมีหลายเลขหรือรหัสที่ใช้แสดงความมีตัวตนของมัน อย่างไรก็ดี เมื่อมีการจัดตั้ง Piconet ขึ้นจะต้องมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Master ซึ่งทำหน้าที่ประสานจังหวะการทำงานกับอุปกรณ์ที่เป็น Slave อื่นๆ ดังรูปที่ 2.8



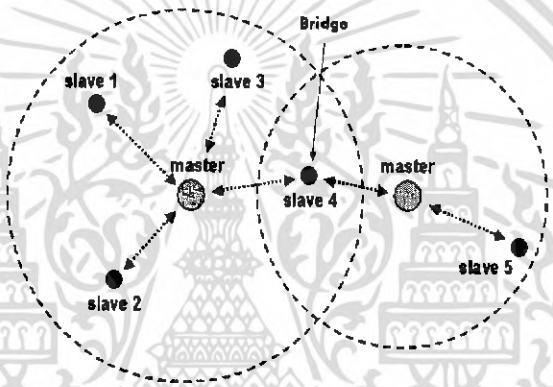
รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อใน Piconet แบบ Master กับ Salves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ Slave ไม่ทำงานจะซิงค์กับ Master แต่ไม่มีที่อยู่สมาชิกที่ทำงานอยู่ ซึ่ง Slaves ที่ไม่ทำงานจะอ้างว่าเป็น Parked ซึ่งมีสมาชิกได้ 8 บิต (PM_ADDR) หรือกำหนดได้ถึง 256 สมาชิก ซึ่งทั้ง active และ parked ทุกช่องจะถูกกำหนดโดย Master และอุปกรณ์ parked จะซิงค์กับเวลาของ Master ซึ่งสามารถทำให้ active อย่างรวดเร็วใน Piconet

2.8.2 Scatternet

Slaves ในหนึ่ง Piconet สามารถที่ติดต่อกับ Piconet อื่นๆ ซึ่ง Master หรือ Slave ผ่านการแบ่งเวลาโดยการ Multiplex เมื่อสอง Piconets มีความคาบเกี่ยวกัน จะเรียกว่า Scatternet ซึ่งบลูทูธมีหนึ่ง master ในหนึ่ง Piconet และหนึ่ง Slave ใน Piconet อื่นๆ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อใน Scatternet

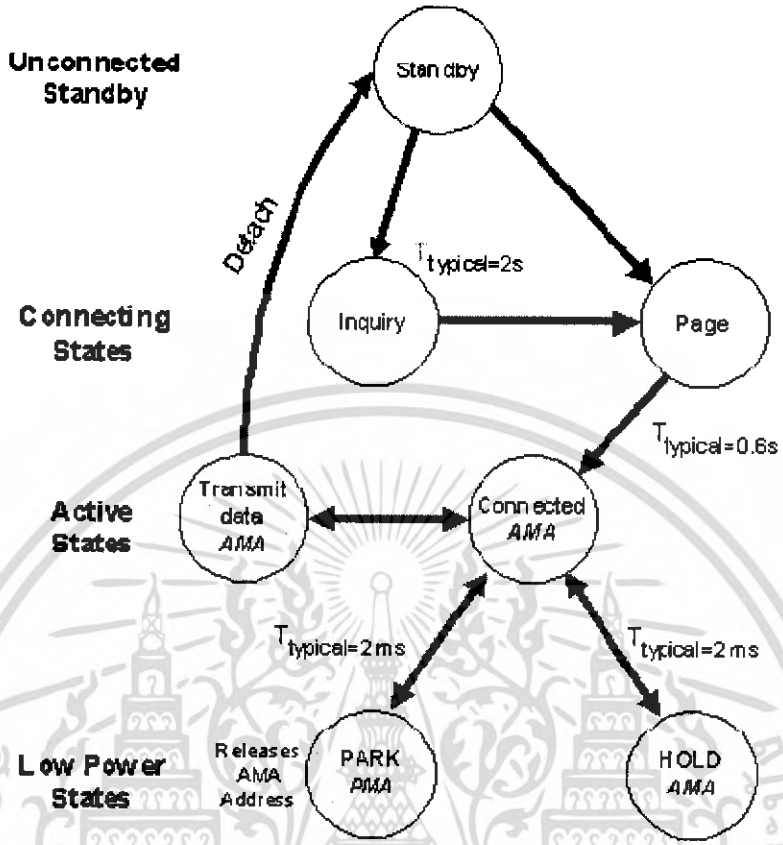
การป้องกัน Slaves จากการเข้ามีส่วนร่วมใน Piconet ซึ่งใกล้กับ Piconet อื่น สอง Piconets จะมีเวลา หรือไม่ก็ความถี่ที่ซิงค์กัน ซึ่งทุก Piconets จะทำงานในช่องการกระโดดความถี่ของตนเอง ซึ่งอุปกรณ์ใน Piconets ที่มีส่วนของเวลา และการแบ่งการส่งคลื่นที่เหมาะสม

นอกจากนี้บลูทูธยังรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ โดยจะแบ่งเป็น mode การทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 5 mode คือ

1. Standby คือ สถานะรอที่จะเข้าร่วมวง piconet
2. Inquire คือ สถานะถามเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อกัน
3. Page คือ สถานะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อย่างจำเพาะเจาะจง
4. Connected คือ สถานะทำงานบน piconet (Master หรือ Slave)
5. Park/Hold คือ สถานะเชื่อมต่อโดยใช้พลังต่ำ

โดยในการเปลี่ยน mode แต่ละ mode จะมีลักษณะการทำงานตามรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนสถานการณ์ทำงานของบลูทูธ

2.9 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลข่าวสารบนระบบบลูทูธ

การตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลข่าวสารเป็นเรื่องสำคัญมาก เนื่องจากเราไม่ต้องการให้ข้อมูลข่าวสารสามารถถูกดักฟังจากผู้ไม่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ระบบบลูทูธ จึงต้องมีองค์ประกอบหลายประการเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ ดังกล่าว ประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

- ระบบสร้างตัวเลขแบบสุ่ม(Random Number Generation) มีไว้เพื่อสร้างตัวเลขสำหรับการเข้ารหัสที่ไม่สามารถคาดเดาได้
- การเข้ารหัสข้อมูลข่าวสาร(Encryption)
- การบริหารจัดการกับกุญแจที่ใช้เข้ารหัส
- การพิสูจน์สิทธิ(Authentication)

แบบแผนการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบบลูทูธ

การใช้งานบลูทูธในบริเวณที่มีการกวนกันของสัญญาณเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้น เพื่อให้ข้อมูลข่าวสารมีความปลอดภัยไม่ผิดพลาด จึงจำเป็นต้องมีวิธีตรวจสอบและแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

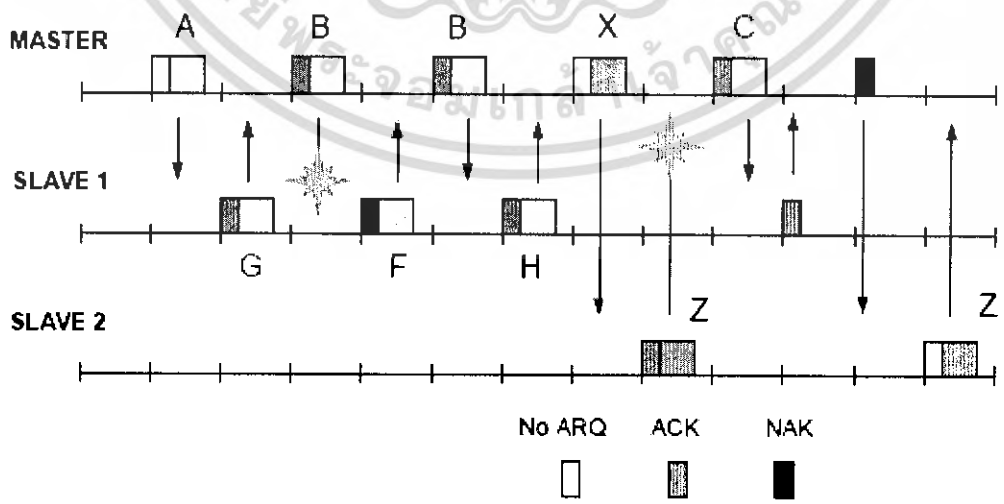
ข้อผิดพลาดของข่าวสาร วิธีการตรวจสอบหาความผิดพลาดของข้อมูลข่าวสาร ระบบบลูทูธการใช้การคำนวณเพื่อหาค่าผลรวมหลายๆ รูปแบบ และเมื่อใดที่ตรวจพบความผิดพลาด จะใช้แบบแผนการแก้ไขข้อผิดพลาดอย่างใดอย่างหนึ่งใน 3 วิธีการนี้

1. 1/3 Rate FEC (Forward Error Correction)
2. 2/3 Rate FEC
3. ARQ Unnumbered (Automatic Repeat for Request)

จุดประสงค์ของการใช้ FEC กับข้อมูลข่าวสารที่บรรทุกมากับ Packet ก็เพื่อที่จะลดจำนวนครั้งของการส่งข้อมูลซ้ำ เพราะการส่งข้อมูลซ้ำเกิดขึ้นบ่อยๆ ไม่เป็นผลดีต่อเครือข่าย อีกทั้งยังเสี่ยงต่อความปลอดภัย แต่อย่างใดก็ตามในพื้นที่ๆไม่มีสัญญาณรบกวน และปราศจากเหตุที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของข้อมูลให้เลิกใช้ FEC เนื่องจากเป็นการเพิ่ม Overhead ให้กับการรับส่งข้อมูล ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายลดถอยลงได้

การใช้แบบแผน ARQ

ARQ มาจากคำว่า "Automatic Repeat For Request" เป็นระบบควบคุมความผิดพลาดของการรับส่งข้อมูลอย่างง่ายๆ เมื่อใดที่ผู้รับได้ตรวจพบความผิดพลาดในการส่งข้อมูล ผู้รับจะส่งสัญญาณกลับมาให้เพื่อขอให้ส่งข้อมูลกันใหม่ ส่วนทางด้านผู้ส่ง จะส่งข้อมูลซ้ำจนกระทั่งไม่มีข้อมูลผิดพลาด ซึ่งโดยทั่วไปผู้ส่งมักจะส่งข้อมูลซ้ำในส่วนที่ผิดพลาดเท่านั้น ถ้าจำนวนครั้ง ในการพยายามส่งข้อมูลไปให้ผู้รับมีจำนวนครั้งที่มากกว่าค่าสูงสุดที่ได้กำหนดตั้งไว้ โปรแกรมนั้นจะหยุดการติดต่อในทันที



รูปที่ 2.11 ลักษณะการส่ง packet ข้อมูลแบบ ARQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

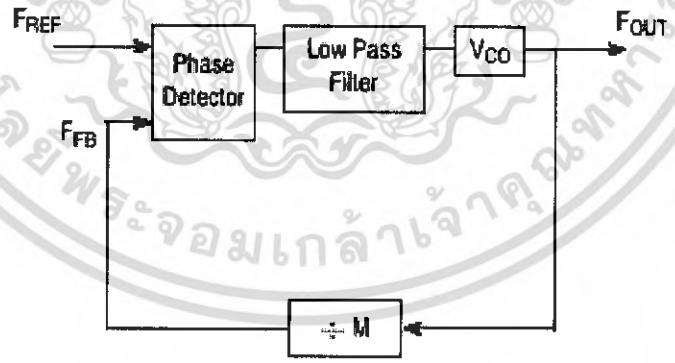
จากรูป 2.11 เป็นการแสดงเหตุการณ์ที่ต้องใช้ ARQ 2 เหตุการณ์ กล่าวคือ เมื่อใดข่าวสารในรูปแบบของบล็อกของข้อมูลมีความเสียหายเกิดขึ้น ที่ผู้รับได้ตรวจพบ ดังนั้นในคราวต่อไปที่ผู้รับมีโอกาสสื่อสารกับผู้ส่ง ผู้รับจะส่งสัญญาณที่เรียกว่า "**NAK**" (Negative Acknowledge) ออกมา ซึ่งการกระทำนี้ จะทำให้ผู้ส่งทำการส่งข้อมูลซ้ำ เฉพาะในส่วนที่มีปัญหาออกมาให้

2.10 วงจรการสื่อสารที่ใช้ในระบบบลูทูธ

โดยวงจรของเครื่องส่งประกอบด้วยวงจรสังเคราะห์ความถี่ 2.40-2.48 GHz วงจรมอดูเลเตอร์ วงจรกรองแบบเกาส์ และวงจรขยายกำลัง วงจรในเครื่องรับเป็นระบบซูเปอร์ เฮเทอไรดายน์ โดยมีความถี่กลางเท่ากับ 70 MHzวงจรเครื่องรับประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ , วงจรชิงเกิลบาลานซ์มิกเซอร์, วงจรสังเคราะห์ความถี่ 2.33-2.41 GHz และวงจรดีมอดูเลเตอร์ นอกจากนี้ยังได้สร้างวงจรกรองผ่านแถบความถี่กลาง 2.4 GHz ไว้ที่ส่วนหน้าของทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง เพื่อกรองสัญญาณเฉพาะความถี่ที่ต้องการ สำหรับวงจร T/R สวิตช์ สร้างขึ้นเพื่อใช้ตัดต่อวงจรกับสายอากาศ เครื่องรับส่งมีความไวในการรับสัญญาณประมาณ –70 dBm ที่ BER เท่ากับ 0.1 %

วงจร Voltage Control Oscillator (VCO)

ปกติจะทำงานร่วมในระบบ PLL (Phase Lock Loop) ซึ่งเป็นระบบที่ทำหน้าผลิตความถี่ที่มีความเที่ยงตรงและเปลี่ยนค่าความถี่ได้ตามต้องการ



$F_{OUT} = F_{REF} * M$

รูปที่ 2.12 การใช้งานร่วมกับของวงจร VCO และ PLL

ส่วนVCO จะทำหน้าที่ผลิตคลื่นความถี่ โดยค่าคลื่นความถี่ที่ผลิตได้ จะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนมาควบคุม โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมความถี่จะมาจากการเปรียบความถี่ที่ต้องการกับฐานความถี่อ้างอิง เช่นถ้าความถี่ที่ผลิตจาก VCO สูงเกินจากความถี่ที่ต้องการ ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกลดความถี่โดยปรับแรงดันไฟฟ้าควบคุมให้ลดลง หรือ ถ้าถ้าความถี่ที่ผลิตจาก VCO น้อยกว่าความถี่ที่ต้องการ ก็ถูกเพิ่มความถี่โดยปรับแรงดันไฟฟ้าควบคุมให้สูงขึ้น และ เมื่อความถี่ที่ได้ตรงกับความถี่ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าที่ความคุมจะถูกล็อคไว้ให้มีค่าคงที่ (โดยปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนควบคุมมีค่าน้อยมาก) ในวิทยุรับส่ง จะใช้ระบบ PLL ซึ่งมี VCO เป็นภาคที่ใช้สร้างความถี่ ที่ใช้ในการรับและส่งคลื่นวิทยุ ในภาคส่งจะใช้สัญญาณเสียงที่ขยายจากไมโครโฟนมามอดูเลต และขยายกำลังส่ง แล้วทำการออกอากาศ ในภาครับ จะใช้ ผลิตความถี่ที่ได้มิกเซอร์กับความถี่ที่รับได้จากสายอากาศ ลดความถี่ลงมาเป็นความถี่ IF และถอดสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณเสียงออกลำโพง

2.11 ความปลอดภัยระบบบลูทูธ

มีการเข้ารหัส 128 บิต Public/Private key authentication ซึ่งจะใช้ Cipher up ถึง 64 บิต และใช้ A5 Security ซึ่งการเข้ารหัสนี้ทำได้อย่างแข็งแกร่ง และมีการสร้างลิงค์ที่ปลอดภัย ซึ่งอาจมีปัญหาในการส่งออกนอกอเมริกา ซึ่งมีการกำหนดช่วงความยาวในการเข้ารหัส

ฟีเจอร์หลักที่ถูกฝังกับความปลอดภัย

- หน้าที่ของ Link-level ความถี่ที่กระโดด และช่วงการโอนถ่ายที่จำกัด การป้องกันแอบฟัง และฟีเจอร์ความปลอดภัย
- Random number (128 bits) เป็นการส่งการจัดการใหม่ที่แตกต่างกัน ซึ่งเลขจะสุ่ม และสร้าง Pseudo-random ในหน่วยของบลูทูธ
- Challeng-response routing รับรอง และป้องกันการหลอก และการเข้าใช้ที่ไม่ต้องการสำหรับเข้าใช้ข้อมูลสำคัญ และหน้าที่
- Stream cipher สำหรับการเข้ารหัส ป้องกันการแอบฟัง และการดูแลความเป็นส่วนตัว
- Session key generation อนุญาตให้คีย์เซสชั่นเปลี่ยนระหว่างที่ต่อเชื่อม ส่วนประกอบสามส่วนในอัลกอริทึมความปลอดภัย
- Bluetooth device address (BD_ADDR/48 bits) ซึ่งมีการกำหนดรายการ Public ทุกอุปกรณ์ ซึ่งที่อยู่ถูกเก็บไว้ผ่านกระบวนการถามข้อมูล
- Private user key (128 bits) เป็นรายการ Secret ที่ส่งระหว่างเริ่มมีการติดต่อ และไม่มีการเปิดเผย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ตัวอย่างการใช้งานระบบบลูทูธในปัจจุบันและอนาคต

ตัวอย่างการใช้งานบลูทูธในที่ทำงาน

- เครื่อง PDA จะทำการโอนย้ายข้อมูล (Synchronization) อีเมล์และตารางนัดหมาย (Schedule Information) ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์บนโต๊ะทำงานทันที เมื่ออยู่ในระยะ 10 เมตร โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องกดปุ่มใดเลย

- ในที่ประชุม ใช้ PDA ส่งข้อมูลที่นำเสนอ (Presentation File) ไปที่เครื่องฉายภาพ (LCD Projector) ได้โดยตรง

ตัวอย่างการใช้งานบลูทูธที่บ้าน

- ใช้เชื่อมคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องที่อยู่คนละห้องสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องใช้สาย และเครื่องพิมพ์สามารถวางที่ใดก็ได้ในห้อง

- กลับจากที่ทำงานมาที่บ้าน กุญแจแบบบลูทูธเพียงดอกเดียว จะเปิดประตูบ้านให้อัตโนมัติ เปิดไฟทางเดิน และเครื่องปรับอากาศ อุ่นอาหารเย็นในเตาไมโครเวฟ ตามที่ผู้ใช้งานได้ตั้งโปรแกรมไว้

- เด็กเล็กใส่กำไลบลูทูธและจะส่งสัญญาณเตือนทันทีที่เด็กออกนอกบ้าน ในขณะที่คุณแม่นอนหลับ

- อุปกรณ์ระบบรักษาความปลอดภัยทุกชนิดในบ้านสามารถทำงานร่วมกันได้ และสามารถย้ายหรือเพิ่มอุปกรณ์ได้สะดวกเพราะใช้เทคโนโลยีบลูทูธ

ตัวอย่างการใช้งานบลูทูธระหว่างเดินทาง

- ที่สนามบินในช่องรอคิวตรวจตั๋วเครื่องบินและเลือกที่นั่งที่มีคนรออยู่จำนวนมาก สามารถเลี่ยงการต่อคิวโดยใช้เครื่อง PDA ในการตรวจสอบตั๋วและเลือกที่นั่งได้ทันที

- ระหว่างรอเครื่องบินในห้องรับรองผู้โดยสาร สามารถใช้เครื่อง PDA หรือ โน้ตบุ๊ก เชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ตได้ และสามารถใช้เป็นอินเตอร์เน็ตโฟน (Internet Phone Voice-Over IP) เพื่อที่คุยกับคนอื่นได้โดยเสียค่าบริการราคาถูก

- เมื่อไปถึงที่โรงแรม เครื่อง PDA จะทำการลงทะเบียน (Check in) อัตโนมัติ และรับกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครื่อง PDA เพื่อใช้ในการเปิดห้องพัก และเมื่อเดินเข้าใกล้ห้องพัก ประตูจะเปิดอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่ออยู่ในรถยนต์ โทรศัพท์เคลื่อนที่จะอยู่ในการทำงานแบบใช้ระบบลำโพงและไมโครโฟนของรถยนต์ สามารถสนทนาทางโทรศัพท์กับผู้อื่นได้ทันทีโดยไม่ต้องจับโทรศัพท์

<u>ตัวอย่างการใช้งานบลูทูธในชีวิตประจำวันทั่วไป</u>

- ที่โรงภาพยนตร์ สามารถใช้เครื่อง PDA ในการจ่ายเงินจองตั๋วหนังและที่นั่งได้ทันที
- ในร้านอาหาร สามารถใช้เครื่อง PDA ในการดูเมนูทางร้าน สั่งอาหาร และจ่ายเงินได้
- ที่ร้านหนังสือ สามารถใช้เครื่อง PDA ในการซื้อหนังสือได้โดยจะอยู่ในรูปของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Book)

ในอนาคตใกล้บลูทูธจะเป็นมาตรฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์ เครื่อง PDA โน้ตบุ๊ก รวมไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ทำให้ตลาดการสื่อสารเปลี่ยนรูปแบบใหม่ มีการค้นคิดวิจัยเพิ่มมากขึ้นในการพัฒนาสินค้าและการบริการ การติดต่อสื่อสารทำได้สะดวกและเร็วขึ้นในโลกของดิจิตอล ดังนั้นบลูทูธ จึงเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่เติบโตเร็วที่สุดในประวัติศาสตร์

2.13 สรุประบบการสื่อสารแบบระบบบลูทูธ

ในปัจจุบัน ระบบการสื่อสารแบบบลูทูธเป็นระบบการสื่อสารที่ได้รับความนิยมอย่างสูงอยู่ในขณะนี้ เนื่องจากเป็นระบบการสื่อสารที่มีอุปกรณ์ขนาดเล็ก ราคาถูก และยังมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่เร็วเพียงพอกับความต้องการในปัจจุบัน ดังนั้นจึงเหมาะกับนำไปใช้กับอุปกรณ์สื่อสารขนาดเล็กที่เคลื่อนที่ได้ เพราะระบบสื่อสารแบบบลูทูธมีการใช้พลังงานที่น้อย อีกทั้งยังมีระยะการใช้งานได้มากถึง 10 เมตร เพียงพอกับการใช้งาน โดยมีคุณสมบัติ ลักษณะเฉพาะตังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติของระบบบลูทูธ

คุณสมบัติของระบบบลูทูธ	
ช่วงความถี่	2.4 GHz ซึ่งเป็นช่วงของ ISM band
การมอดูเลต	Gaussian- shaped frequency shift keying (GFSK)
ระยะการส่งสัญญาณ	10 -100 เมตร
Physical layer	Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
ลักษณะการแพร่กระจายคลื่น	Omni-directional. Non line of sight transmission
อัตราเร็วในการส่งข้อมูล	1 Mbps/723 Kbps
อัตราในการกระโดด	1600 hops/sec โดยส่ง 1 hop/packet
จำนวนของช่องสัญญาณ	79 หรือ 23 ช่องสัญญาณ
Channel length	625 microseconds long
Data packet	มากกว่า 2,745 bits ในความยาว
Reliable and secure	ดี. Link layer มีความน่าเชื่อถือและสามารถเข้ารหัสได้
Cost	20 เหรียญสหรัฐโดยมีจุดมุ่งหมายลดให้เหลือเพียง 5 เหรียญสหรัฐ
Power	0.1 W (Active)
Acceptance	SIG มีสมาชิกเกือบทั้งหมด 2500 บริษัท
Data / Voice support	One asynchronous data channel (732.2 kbps and reverse 57.6 kbps) หรือ Three simultaneous synchronous voice channels (64 kbps) หรือ Simultaneous asynchronous and synchronous channels.
Piconet	1 master and 7 slaves
Scatternet	มากถึง 10 piconets in a scatternet
Links	SCO and ACL links

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

3.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในปี 1980 ซึ่งเริ่มมีการใช้งานในระบบเรดาห์เป็นหลัก เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณสมบัติในการใช้แบนวิดท์ที่มาก ทำให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่สูง และมีความเที่ยงตรงในการระบุตำแหน่ง

จนกระทั้งปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งมาใช้ในระบบการสื่อสารมากขึ้น อันเนื่องมาจากข้อดีของเทคโนโลยีที่มีความเร็วในการส่งสูง นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มพันธมิตร MultiBand OFDM Alliance (MBOA) ซึ่งได้เริ่มก่อตั้งเมื่อเดือนมิถุนายน 2003 และปัจจุบันมีสมาชิกมากกว่า 50 ราย

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกจัดให้อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ Federal Communications Commission (FCC) กำหนด และเป็นย่านความถี่ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารไปในระบบการสื่อสารได้เป็นจำนวนมาก โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของระบบการสื่อสารกับแบนวิดท์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนี้ สามารถคำนวณได้จากกฎของ Shannon ซึ่งแสดงในสมการที่ 3.1

$$C = B\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right) \qquad (3.1)$$

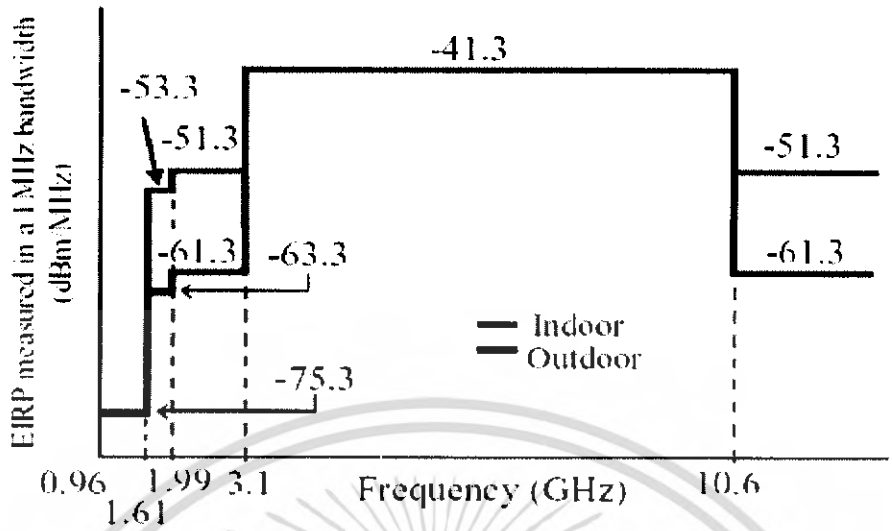
โดยที่ C คือ ความจุของช่องสัญญาณ (Channel capacity) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps)

B คือ แบนวิดท์ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูล มีหน่วยเป็น (Hz)

$\frac{S}{N}$ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

นอกจากนี้ FCC ยังได้กำหนดมาตรฐานกำลังงานการแพร่ออกมาของช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารประเภทนี้ไว้ที่ระดับ -41.3 dBm /MHz หรือ 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ (Part 15 Limit) ดังรูปที่ 3.1 และมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดถึงประมาณ 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และมีความเร็วประมาณ 110 Mbps ที่ระยะทาง ประมาณ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 UWB spectral mask และ FCC Part 15 limits.

3.2 มาตราฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

มาตราฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง สามารถแบ่งได้เป็น 2 มาตราฐาน ดังนี้

1. **OFDM-UWB :** กลุ่ม Multiband OFDM Alliance (MBOA) จะใช้เทคโนโลยี orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับเทคโนโลยีไร้สาย อย่าง 802.11g และ 802.11a กลุ่ม MBOA นำโดยสมาชิกกว่า 160 บริษัท ประกอบด้วย Hewlett-Packard Intel Sony Texas Instruments และ UWB-กลุ่มผู้สนับสนุนเทคโนยี ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เช่น Staccato and Alereon โดยในการสาธิต MBOA ได้แสดงอุปกรณ์อย่าง wireless USB ที่สามารถส่งความเร็วได้สูงสุดถึง 480 mbps

2. **DS-UWB :** อีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ถูกเสนอมาใช้โดยบริษัท Motorola subsidiary Freescale Semiconductor คือ direct sequence (DS) technology สำหรับการส่งสัญญาณวิทยุ Freescale's XtremeSpectrum UWB chipset มีวางขายในปัจจุบันแล้วโดยสามารถส่งความเร็วได้ที่ 110 mbps

ทั้ง 2 เทคโนโลยี ได้กำหนดมาตราฐานไว้ที่ IEEE 802.15 ซึ่งเป็นมาตราฐานในการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง ในขณะนี้คงยังไม่สามารถบอกได้ว่าเทคโนโลยีทั้ง 2 แบบ แบบไหนจะเป็นฝ่ายชนะ แต่อาจจะเป็นไปได้ที่ทั้ง 2 เทคโนโลยี จะกลายเป็นมาตราฐานทั้งคู่ อย่าง เทคโนโลยี 802.11a และ 802.11b/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นการสื่อสารที่ไม่ใช้สัญญาณพาห์ ในการนำพาสัญญาณข้อมูลจากภาคส่งไปภาครับ โดยที่สัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจะใช้สัญญาณที่มีรูปแบบเป็นสัญญาณอิมพัลส์ โดยสัญญาณอิมพัลส์มีลักษณะแคบมาก (ประมาณ 10 ถึง 1000 pico-seconds) ดังนั้นเมื่อทำการแปลงสัญญาณที่ส่งจะได้สัญญาณที่มีแถบความถี่กว้างมาก โดยการแปลงสัญญาณจาก โดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่จะมีสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt \qquad (3.2)$$

รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลในการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้น สัญญาณพัลส์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของการส่งจะไม่เหมือนกัน เพราะคุณลักษณะของเสาอากาศที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่งนั้น เสาอากาศจะมีทำการ Difference Phase เมื่อสัญญาณพัลส์แพร่ผ่านออก (ภาคส่ง) หรือรับสัญญาณเข้ามาในเสาอากาศ (ภาครับ) ซึ่งมีผลทำให้รูปแบบของสัญญาณพัลส์เปลี่ยนไป โดยมีลักษณะของสัญญาณอยู่ 3 ประเภท เช่น สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล และสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลิท โดยสัญญาณที่ใช้ในการส่งในแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกันอยู่ข้อหนึ่งคือ เป็นสัญญาณอิมพัลส์ที่สอดคล้องกับช่วงความถี่ที่ FCC กำหนด

3.3.1. สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนเป็นสัญญาณที่ใช้ส่งเข้าไปในสายอากาศ มีรูปร่างเหมือนการแจกแจงข้อมูลที่มีลักษณะแบบปกติ (Normal distribution) โดยที่สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนสามารถหาได้จากสมการที่ 3.3 และรูปแบบของสัญญาณที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.2

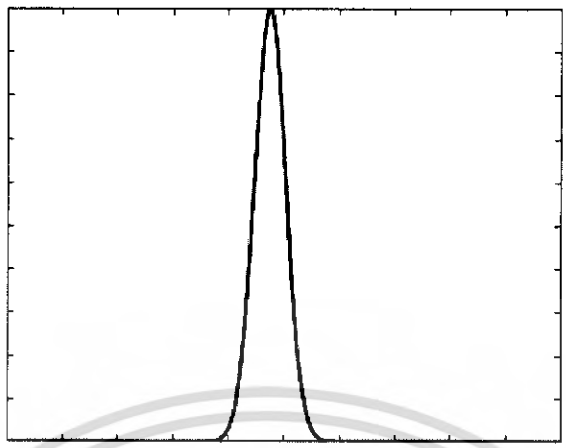
$$s(t) = Ae^{-\left[(t-T_c)/\tau\right]^2} \qquad (3.3)$$

A คือ ขนาดของสัญญาณ

τ คือ ค่าตัวแปรของสัญญาณพัลส์

T_C คือ คาบเวลาของสัญญาณชิป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

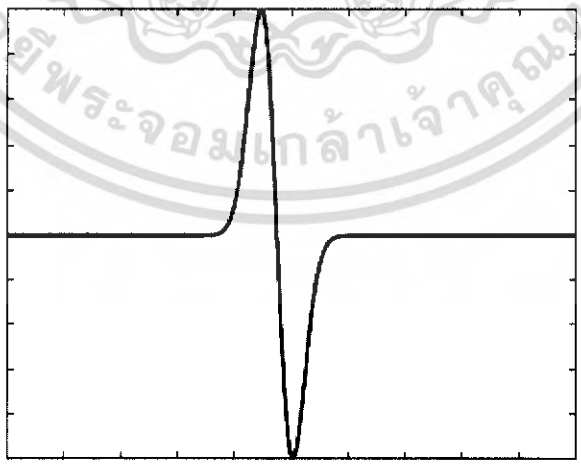


รูปที่ 3.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน

3.3.2. สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล

สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล (First Derivative of a Gaussian Pulse) เป็นสัญญาณที่ผ่านเสาอากาศออกไป และแผ่กระจายอยู่ในอากาศ รูปร่างของสัญญาณกลายเป็นสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนอันดับที่ 1 โดยที่สัญญาณพัลส์นี้สามารถสร้างได้จากสมการที่ 3.4 และรูปแบบของสัญญาณที่ได้จะเป็นรูปที่ 3.3

$$s(t) = \frac{2A}{\tau}(t - T_c) \times e^{-2\left[\frac{(t-T_c)}{\tau}\right]^2} \tag{3.4}$$



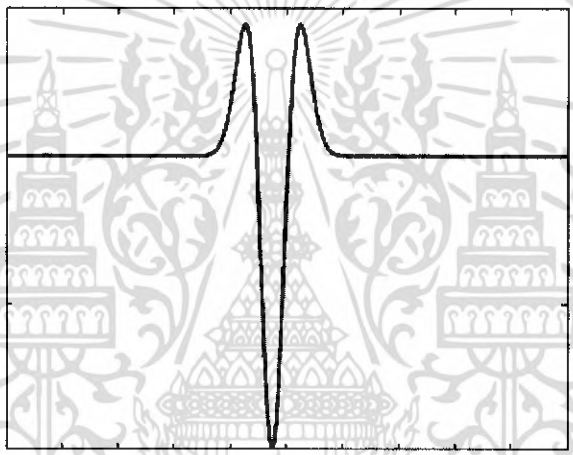
รูปที่ 3.3 สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3. สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเล็ท

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเล็ท (Second Derivative of a Gaussian Pulse) เป็นสัญญาณที่รับได้โดยใช้เสาอากาศ ซึ่งสามารถหาได้จากการทำอนุพันธ์อันดับที่สองของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน ซึ่งสัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเล็ท นั้นสามารถสร้างได้จากสมการที่ 3.5 และรูปแบบของสัญญาณที่ได้จะเป็นรูปที่ 3.4

$$s(t) = \left[1 - 4\pi\left(\frac{t}{\tau_m}\right)^2\right] \exp\left[-2\pi\left(\frac{t}{\tau_m}\right)^2\right] \qquad (3.5)$$



รูปที่ 3.4 รูปร่างของสัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเล็ท

3.4 การเข้าถึงช่องสัญญาณ

การเข้าถึงช่องสัญญาณนั้นเป็นวิธีการเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณ และเป็นวิธีการที่ทำให้ผู้ใช้หลาย ๆ คนสามารถใช้ช่องสัญญาณได้พร้อมกัน โดยที่ในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นมีวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณหลัก ๆ อยู่ 2 วิธี ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบการแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA) คือ

1. วิธีการกระโดดทางเวลา (Time Hopping) สัญญาณข้อมูลของผู้ใช้แต่ละรายจะส่งในช่วงเวลา (time slots) ที่แตกต่างกันในแต่ละเฟรมเวลา โดยที่ช่วงเวลาที่ส่งของผู้ใช้แต่ละรายจะถูกกำหนดโดยรหัสของผู้ใช้แต่ละราย

2. วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence) ในการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบนี้สัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายจะถูกคูณด้วยสัญญาณรหัสแผ่ความถี่โดยตรง โดยที่ผู้ใช้แต่ละคนจะใช้รหัสสัญญาณแผ่ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการในการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบการแบ่งรหัสนั้น ผู้ใช้แต่ละรายจะใช้ความถี่ในการส่งสัญญาณข้อมูลความถี่เดียวกัน และใช้รหัสสัญญาณแผ่เป็นตัวแยกสัญญาณที่รับได้ว่าเป็นของใคร ซึ่งผู้ใช้แต่ละรายจะมีรหัสเฉพาะที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสแผ่ใด ๆ จะมีค่าที่ต่ำ และภาครับสัญญาณจะทราบรหัสแผ่ที่ใช้ในภาคส่ง โดยการซิงโครไนซ์ระหว่างภาครับและส่ง ซึ่งระบบจะอาศัยคุณสมบัตินี้ในการแยกเอาสัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณที่รับได้

เนื่องจากแบนวิดท์ของรหัสแผ่จะมีขนาดที่มากกว่ารหัสของสัญญาณข้อมูลมาก ดังนั้นกระบวนการในการเข้ารหัสนี้เป็นการขยายแบนวิดท์ของสัญญาณจะเรียกกระบวนนี้ว่า การมอดูเลตแผ่สเปกตรัม (Spread-spectrum (SS) modulation) และสัญญาณที่ได้จากกระบวนการนี้จะถูกเรียกว่าสัญญาณแผ่สเปกตรับ (spread-spectrum signal) และกระบวนการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งรหัสนั้นบางครั้งจะเรียกว่า วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแผ่สเปกตรัม (spread-spectrum multiplex access)

ข้อกำหนดในการที่จะสามารถบอกได้ว่าเป็นการมอดูเลตแบบแผ่สเปกตรัม นั้นจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไข 2 ข้อคือ

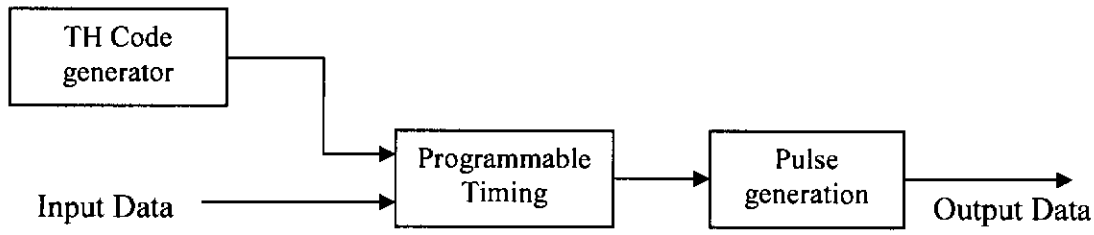
1. แบนวิดท์ของสัญญาณที่ส่งออกไปในช่องสัญญาณต้องมากกว่าแบนวิดท์ของสัญญาณข้อมูลที่ยังไม่เข้ารหัสแผ่สเปกตรัม

2. แบนวิดท์ของสัญญาณที่ส่งออกไปต้องไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูลข่าวสารที่ยังไม่ได้เข้ารหัสแบบแผ่สเปกตรัม

3.4.1 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา (Time Hopping)

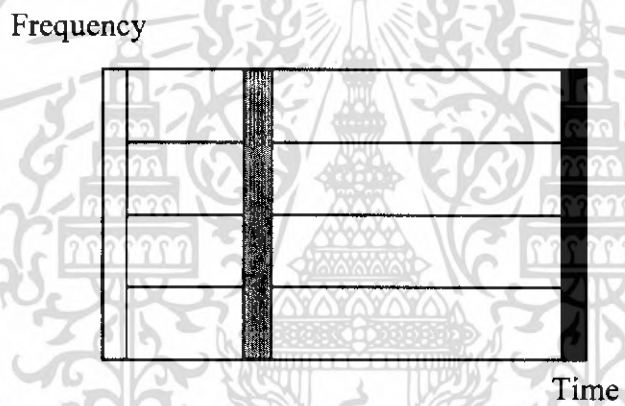
ในระบบการสื่อสารแบบก้าวกระโดดทางเวลา (TH-CDMA) สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งในช่วงเวลาที่กำหนด โดยรหัสของผู้ใช้งานแต่ละคน โดยวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณในลักษณะนี้แกนเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม และในแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น M ไทม์สล็อต โดยที่ช่วงเวลาที่จะอนุญาตให้ผู้ใช้แต่ละคนส่งสัญญาณออกไปในแต่ละไทม์สล๊อต นั้นจะถูกกำหนดโดยรหัสของแต่ละคนซึ่งผู้ใช้แต่ละรายจะใช้ไทม์สล็อตที่แตกต่างกันในแต่ละเฟรม และในการส่งสัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายจะสามารถส่งข้อมูลทั้งหมดได้ใน 1 ไทม์สล็อต แทนที่จะเป็น M ไทม์สล็อต ดังนั้นความถี่ในการส่งที่เพิ่มขึ้นด้วยตัวประกอบ M โดยที่บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งแบบ TH-CDMA นั้นแสดงรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณพัลส์ในระบบ TH-CDMA

ในรูปที่ 3.6 แสดงกราฟในแกนเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA จากรูปจะพบว่าในการส่งสัญญาณข้อมูลในระบบ TH-CDMA จะใช้แถบความถี่ที่กว้างมาก แต่ใช้เวลาในการส่งของผู้ใช้แต่ละรายที่สั้นๆ ในทุกช่วงเวลา



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และเวลาที่ใช้ในระบบ TH-CDMA

คุณสมบัติของระบบ TH-CDMA

1. การเข้าถึงหลายทาง

จากการที่มีการกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันมีค่าที่ต่ำ อันเนื่องมาจากการที่ผู้ใช้แต่ละคนใช้รหัสในการกระโดดของช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และหากเกิดเหตุการณ์ที่ผู้ใช้หลายคนส่งสัญญาณข้อมูลในเวลาเดียวกัน การนำการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาดมาใช้เพื่อที่จะทำให้มั่นใจในการที่จะสามารถนำเอาสัญญาณที่ต้องการกลับคืนมาจากสัญญาณที่รับได้

2. การแทรกสอดแบบแถบแคบ (Narrowband interference)

สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบ TH-CDMA นั้นจะถูกส่งในช่วงเวลาที่น้อยลง ซึ่งการลดลงนั้นจะเท่ากับ $1/G_P$ ซึ่งตัวแปร G_P จะแทนการขยายการประมวลผล และที่เครื่องรับจะรับสัญญาณแทรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดในช่วงเวลาที่เป็น $1/G_p$ เปอร์เซ็นต์ของเวลา ซึ่งกำลังของสัญญาณแทรกสอดจะถูกลดลงด้วยตัวแปร G_p

3. ความน่าจะเป็นของการถูกดับจับของสัญญาณมีค่าต่ำ (Low probability of interception)

ในระบบ TH-CDMA ความถี่ของสัญญาณที่ส่งของผู้ใช้แต่ละคนมีค่าคงที่ แต่จะแตกต่างกันที่เวลาที่ใช้ในการส่งและช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งจะสั้นในกรณีที่ในระบบมีผู้ใช้หลายคนทำให้เครื่องรับยากในการหาช่วงเริ่มต้นและช่วงสิ้นสุดของการส่งและยากที่จะรู้ว่าผู้ใช้งานรายใดส่งมา

จากคุณสมบัติดังกล่าวในข้างต้นสามารถแสดงข้อดีและข้อเสียของระบบสื่อสารแบบ TH-CDMA ได้ดังนี้

ข้อดีของระบบ TH-CDMA

1. ง่ายในการสร้างและนำไปใช้งาน

2. มีประโยชน์ในระบบการสื่อสารที่กำลังเฉลี่ยของสัญญาณข้อมูลจะส่งถูกจำกัด แต่ไม่ได้จำกัดกำลังงานสูงสุด (Peak power) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ข้อมูลถูกส่งออกไปในช่วงเวลาสั้นๆ ที่กำลังงานสูง

3. ระบบ TH-CDMA จะลดผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-far effect)

ข้อเสียของระบบ TH-CDMA

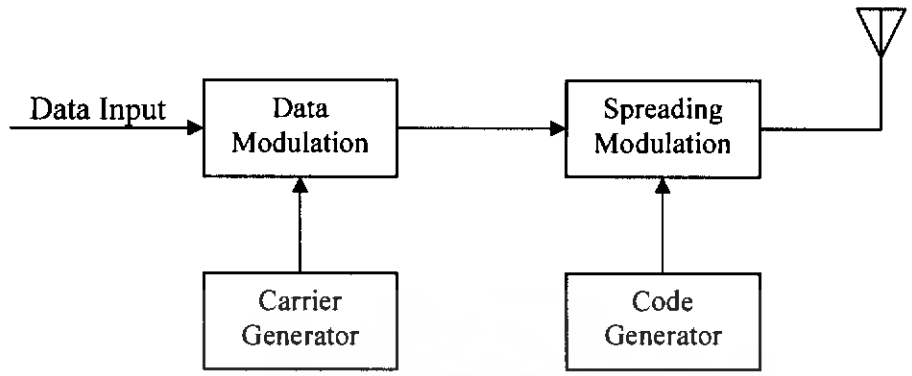
1. ใช้เวลาในการซิงโครไนซ์รหัสมากและช่วงเวลาในการรับสัญญาณนั้นจะเป็นปัญหาสำหรับการซิงโครไนซ์รหัสอันเนื่องมาจากช่วงเวลาในการรับสัญญาณมีค่าน้อย

2. เมื่อมีผู้ใช้ในระบบมากขึ้นอาจจะเกิดการสูญเสียของข้อมูลได้ ดังนั้นการนำเอารหัสแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลและการวางสลับ (Interleave) จึงมีความจำเป็น

3.4.2 วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ DS-CDMA

ในระบบ DS-CDMA สัญญาณข้อมูลจะถูกนำมามอดูเลตกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมโดยตรง โดยสัญญาณข้อมูลที่นำมาทำการมอดูเลตอาจเป็นสัญญาณดิจิตอลหรืออนาลอกก็ได้ สัญญาณข้อมูลจะถูกนำมาคูณกับสัญญาณรหัสแผ่ ทำให้ได้สัญญาณหลังการมอดูเลตแผ่สเปกตรัมมีแบนวิดท์กว้างกว่าสัญญาณข้อมูล ซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้ระบบนี้มีชื่อว่า DS-CDMA โดยที่ในรูป 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งแบบ DS-SS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

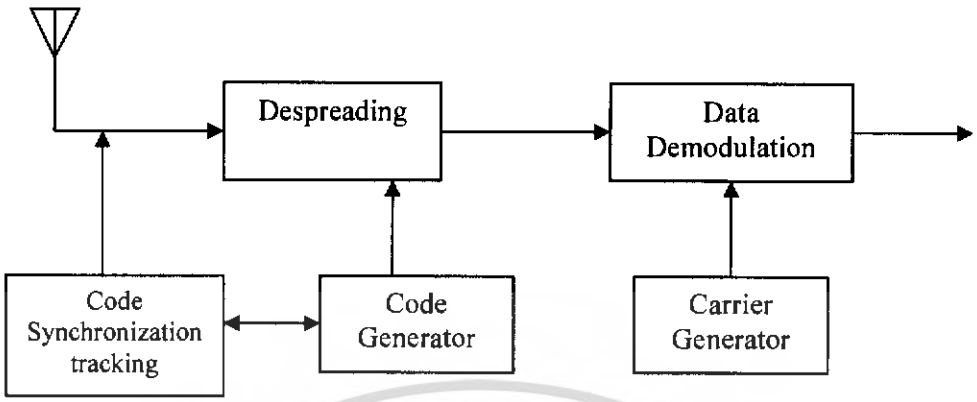


รูปที่ 3.7 เครื่องส่งระบบ DS-CDMA

จากรูปสัญญาณข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไบนารีจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณแบบอิมพัลส์ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ส่งในระยะการสื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่ง จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปมอดูเลตกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัม โดยที่สัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมนั้นประกอบด้วยบิตรหัส หรือ ชิป (Chips) ที่มีค่าเป็น +1 หรือ -1 โดยที่วิธีการมอดูเลตสัญญาณแผ่สเปกตรัมนั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่น BPSK D-BPSK QPSK หรือ MPSK เป็นต้น

เครื่องรับของสัญญาณในระบบ DS-CDMA นั้นจะแสดงในรูปที่ 3.8 โดยที่เครื่องรับจะทำการสร้างสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมจากตัวกำเนิดรหัส เพื่อใช้ในการนำเอาสัญญาณข้อมูลกลับคืนมาจากสัญญาณที่รับได้ โดยกระบวนการนี้จะเรียกว่ากระบวนการ ดีมอดูเลตสเปกตรัมแผ่ (despread) ซึ่งที่เครื่องรับต้องทราบรหัสสัญญาณแผ่ที่ใช้ที่ภาคส่ง และรหัสที่สร้างได้ที่เครื่องรับและเครื่องส่งจะต้องซิงโครไนซ์กัน โดยที่การซิงโครไนซ์จะต้องเริ่มตั้งแต่รับสัญญาณได้จนกระทั่งได้รับสัญญาณหมด ซึ่งส่วนของการซิงโครไนซ์และการติดตามรหัส (Synchronize / tracking code) จะทำหน้าที่ดังกล่าว และหลังจากผ่านกระบวนการดีมอดูเลตสเปกตรัมแผ่ (despread) และดีมอดูเลตแล้วจะได้สัญญาณเดิมกลับคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เครื่องรับระบบ DS-CDMA

คุณสมบัติของระบบ DS-CDMA

1. การเข้าถึงหลายทาง

เมื่อผู้ใช้งานหลายคนใช้งานช่องสัญญาณพร้อมกันในเวลาเดียวกัน สัญญาณ DS จะเกิดการซ้อนทับกันในทางเวลาและความถี่ ที่เครื่องรับจะทำการดีมอดูเลตสเปกตรัมแผ่ เพื่อนำเอาสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมออก ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำการรวมกำลังงานของสัญญาณที่ต้องการในช่วงแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล และถ้าค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่ต้องการกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่ไม่ต้องการมีค่าน้อยแล้ว การตรวจจับแบบร่วมนัย (Coherent detection) จะทำให้กำลังของสัญญาณแทรกสอดมีค่าน้อยในช่วงของแบนวิดท์ของสัญญาณข้อมูล

2. การแทรกสอดหลายวิถี

ถ้าลำดับรหัสมีคุณสมบัติอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) เป็นแบบอุดมคติ ซึ่งจะมีค่าเป็น 0 เมื่ออยู่นอกช่วง [$-T_C$, T_C] โดยที่ T_C คือคาบเวลาของสัญญาณชิป นั้นคือถ้าสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณหลายวิถีการประวิงเวลามากกว่า 2 T_C การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยจะให้สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณแทรกสอด ซึ่งทำให้กำลังงานในแบนด์วิดท์ของข้อมูลมีขนาดที่ต่ำ

3. การแทรกสอดแบบแถบแคบ

การตรวจวัดแบบร่วมนัยที่เครื่องรับจะรวมถึงการคูณสัญญาณที่รับได้ด้วยสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่สร้างที่ภาครับของระบบการสื่อสาร อย่างไรก็ดีที่ภาคส่งของระบบการสื่อสารเมื่อนำสัญญาณข้อมูลที่มีแบนวิดท์น้อยมาคูณกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก จะทำให้สัญญาณข้อมูลที่ได้มีแบนวิดท์เท่ากับสัญญาณที่นำมาคูณ ซึ่งจะส่งผลทำให้กำลังงานของสัญญาณในแบนด์วิดท์มีขนาดลดลงโดยตัวประกอบที่มีค่าเท่ากับอัตราขยายการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถสรุปถึงข้อดีและข้อเสียของวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ DS-CDMA ได้ดังนี้

ข้อดีของระบบ DS-CDMA

1. ในการสร้างสัญญาณรหัสนั้นสามารถทำได้ง่าย
2. สามารถนำไปใช้กับการดีมอดูเลตแบบร่วมนัยได้
3. การซิงโครไนซ์ระหว่างผู้ใช้ไม่มีความจำเป็น

ข้อเสียของระบบ DS-CDMA

1. การได้มาและรักษาสภาพการซิงโครไนซ์ระหว่างสัญญาณที่รับได้และสัญญาณรหัสทำได้ยาก เนื่องจากคาบเวลาของสัญญาณรหัสที่มีขนาดที่เล็กมาก

2. กำลังสัญญาณที่รับได้ จากผู้ใช้ที่อยู่ใกล้สถานีฐาน (base station) จะมีค่ามากกว่ากำลังของสัญญาณที่อยู่ไกลกว่าทำให้ผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้สถานีฐานจะสร้างสัญญาณแทรกสอดให้กับสัญญาณของผู้ใช้งานที่อยู่ไกลออกไปทำให้รับสัญญาณได้ยากขึ้น ซึ่งผลที่เกิดขึ้นจะเรียกว่าเกิดผลกระทบของความใกล้ (Near – far effect) ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังงาน เพื่อให้ทุกสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานมีขนาดของกำลังงานที่เท่ากัน

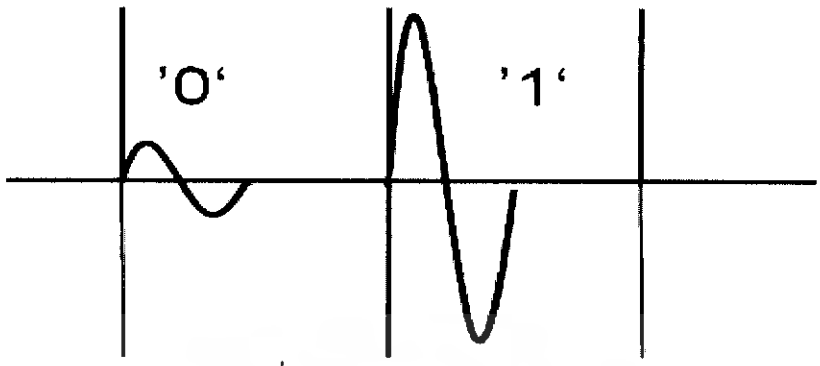
3.5 วิธีการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบ UWB

ในการส่งสัญญาณข่าวสารในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นสามารถทำการมอดูเลตได้หลายวิธีแต่ที่นิยมนำมาใช้มีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี คือ การมอดูเลตตามขนาดของสัญญาณพาห์ (Pulse Amplitude Modulation) การมอดูเลตแบบเปิด-ปิด (On-Off Keying) การมอดูเลตแบบไบเฟส (Bi – Phase Modulation) และการมอดูเลตตามตำแหน่ง (Pulse Position Modulation) เป็นต้น

3.5.1 การมอดูเลตตามขนาด (Pulse Amplitude Modulation : PAM)

การมอดูเลตตามขนาดของสัญญาณพัลส์ เป็นพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่บิต 1 และบิต 0 มีความต่างกันที่ขนาดของสัญญาณ ซึ่งการมอดูเลตตามขนาดนั้นจะมีข้อเสียในด้านความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งการมอดูเลตตามขนาดสามารถแสดงได้ดังรูป 2.12

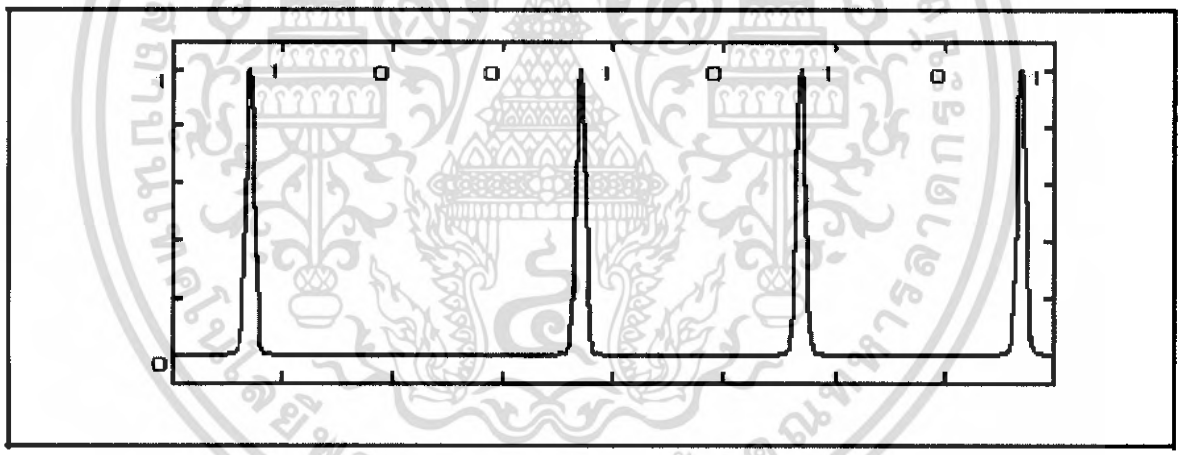
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การมอดูเลตตามขนาด

3.5.2 การมอดูเลตแบบเปิด-ปิด (On-Off Keying : OOK)

การมอดูเลตแบบเปิด-ปิด เป็นการเข้ารหัสสัญญาณโดยการเปิด(สัญญาณมีขนาดไม่เท่ากัน 0) หรือปิดสัญญาณ (สัญญาณมีขนาดเท่ากัน 0) ซึ่งการมอดูเลชันแบบนี้มีลักษณะของสัญญาณคล้ายกับแบบ PAM ซึ่งการมอดูเลตแบบเปิด-ปิดสามารถแสดงได้ดังรูป 2.13

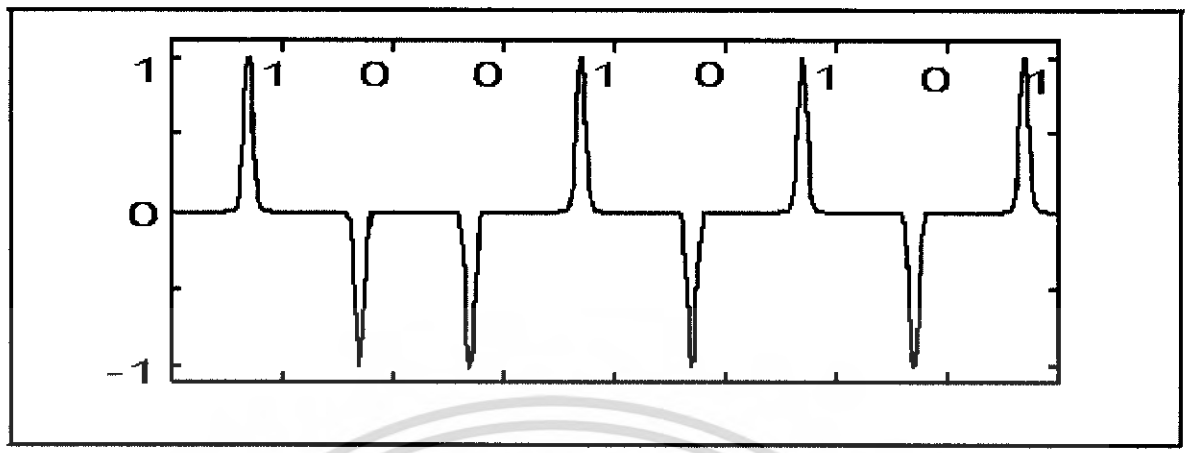


รูปที่ 3.10 On-Off Keying

3.5.3 การมอดูเลตแบบไบเฟส (Bi – Phase Modulation : BPSK)

การมอดูเลตสัญญาณแบบไบเฟสนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์โดยในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่นโดยบิต 1 และบิต 0 จะต่างเฟสกับ 180 องศา ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบไบเฟสสามารถแสดงได้ดังรูป 2.14

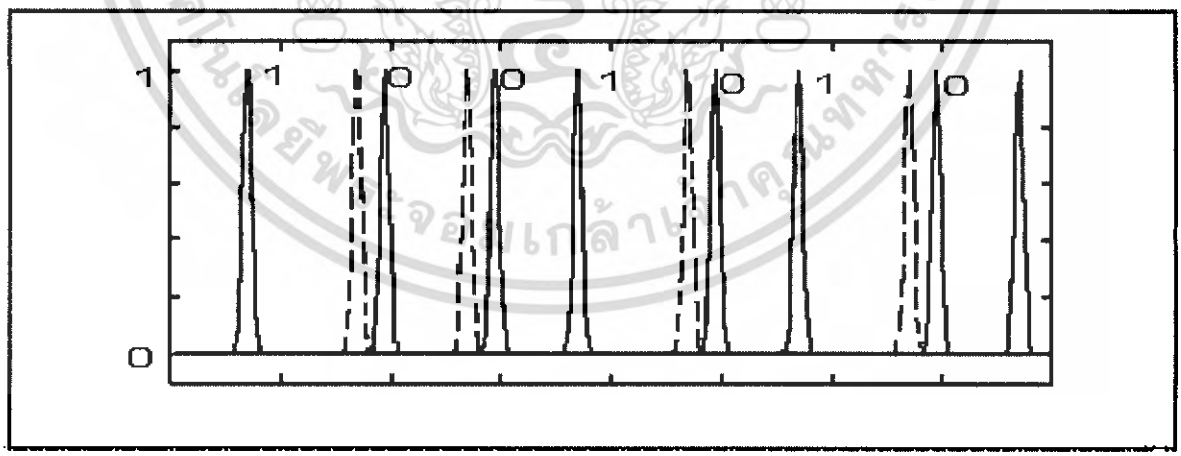
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การมอดูเลตแบบไบเฟส

3.5.4 การมอดูเลตตามตำแหน่ง (Pulse Position Modulation : PPM)

การมอดูเลตสัญญาณตามตำแหน่ง เป็นการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ โดยสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยบิต "0" จะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่หลังตำแหน่งปกติ (Normal-Position) และบิต "1" จะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์ โดยการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งแบบ 2 ตำแหน่ง สามารถแสดงในรูปที่ 2.15



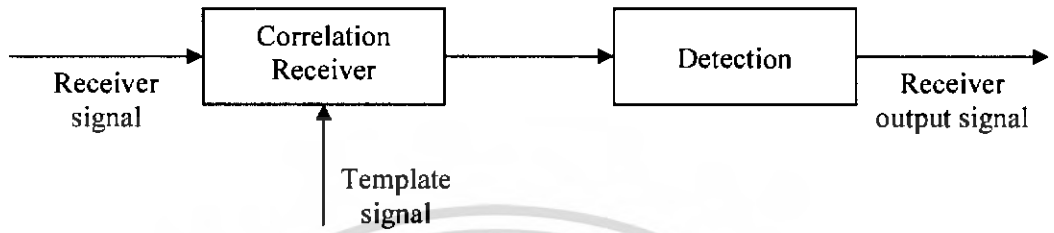
รูปที่ 3.12 การมอดูเลตตามตำแหน่ง

3.6 เครื่องรับสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

เครื่องรับสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นโดยปกติแล้วจะใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ซึ่งหลักการของเครื่องรับประเภทนี้จะทำการนำเอาสัญญาณข่าวสารที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผ่านช่องสัญญาณมาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบ (Template signal) เพื่อทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทั้ง 2 โดยที่บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง จะแสดงในรูป 2.16



รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับในระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่ง

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้น จะใช้สัญญาณพัลส์ที่มากกว่า 1 รูปคลื่นสัญญาณ ดังนั้นที่ภาครับของระบบจะต้องใช้จำนวนของสัญญาณพัลส์ที่เท่ากันในการตัดสินใจว่าข้อมูลที่รับได้เป็นบิต 1 หรือ บิด 0 ที่ภาคตรวจจับสัญญาณ (Detection)

3.7 การใช้งานระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งในอนาคต

ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทโฮมเอนเตอร์เทนต์เมนท์ภายในบ้าน โดยตัวอย่างที่เราจะเห็นได้ในอนาคตอันใกล้นี้ก็คือ การที่โทรทัศน์สามารถส่งรายการไปยังหน้าจอโทรทัศน์เครื่องอื่นๆ ได้แบบไร้สายโดยไม่มีปัญหาการกระตุกของสัญญาณภาพ, การเชื่อมต่อเพื่อถ่ายโอนภาพจากกล้องวีดิโอไปยังคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย และหากเป็นการใช้งานภายในสำนักงาน ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจะเข้ามาช่วยลดความยุ่งยากในการติดตั้งสายเคเบิลต่างๆ ได้เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ Ultrawideband ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการค้นหาวัตถุ โดยมันมีความสามารถในการอ่านตำแหน่งของวัตถุด้วยความแม่นยำในระดับเซนติเมตร ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยี GPS ที่ให้ความแม่นยำเพียงแค่หน่วยเมตรเท่านั้น นอกจากนี้ มันยังสามารถใช้เป็นเครื่องเรดาห์ตรวจสอบใต้ผิวดิน รวมไปถึงความสามารถในการจับภาพทะลุกำแพงที่อาจจะนำมาเป็นเป็นอุปกรณ์ของตำรวจที่ใช้ในการตรวจสอบก่อนเข้าจับกุมคนร้ายได้

3.8 สรุปคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบการสื่อสารที่กำลังได้รับความสนใจกับอยู่ในขณะนี้ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ในด้านต่างๆ ในการใช้งานในระบบการสื่อสารที่ต้องการอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งข้อมูลที่สูง หรืองานที่ต้องการความแม่นยำในเรื่องของตำแหน่ง เนื่องจากระบบการสื่อสารประเภทนี้สามารถส่งผ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว โดยระบบการสื่อสารประเภทนี้เป็นการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล จึงไม่มีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาห์ ทำให้สามารถประหยัดได้ทั้งพลังงานและเงิน เนื่องจากไม่ต้องมีวงจรมอดูเลกับสัญญาณพาห์ แต่ยังมีการมอดูเลตของสัญญาณพัลส์อยู่ซึ่งสามารถดูได้จากตารางคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

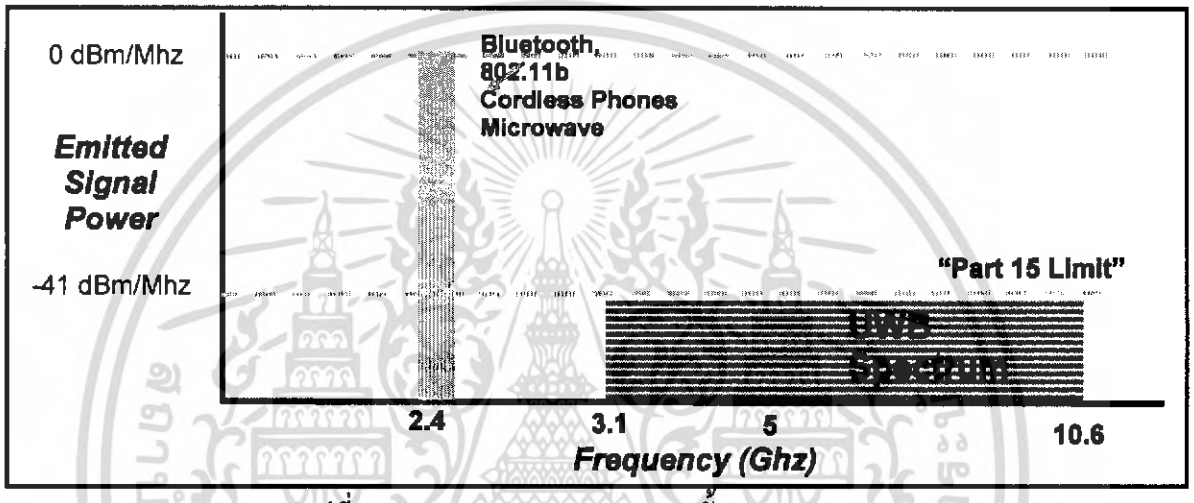
ตารางที่ 3.1 สรุปคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

Ultra Wideband	
องค์กรสนับสนุน	MBOA (MultiBand OFDM Alliance)
มาตรฐาน	802.15.3a
ช่วงความถี่	3.1-10.6 GHz
อัตราการส่งข้อมูล	480 Mbps ที่ระยะ 2 เมตร และ 110 Mbps ที่ระยะ 10 เมตร
FCC Spectrum mask	-41.25 dbm/MHz หรือ0.0001 mwatt/MHz
สัญญาณ	พัลส์ (Pulse)
Spread Spectrum	Direct Sequence Spread Spectrum Pulse
การเข้าถึงช่องสัญญาณ	- DS-CDMA : Direct Sequence - Code Division Multiple Access - TDD : time-division duplex
การมอดูเลตชัน	-Pulse Amplitude Modulation (PAM) - On-Off Keying (OOK) - Pulse Position Modulation(PPM) - Bi – Phase Modulation
ความจุ	ได้มากกว่า 256 อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบบลูทูธและระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

4.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 ระบบ



รูปที่ 4.1 FCC Spectrum mask ของทั้ง 2 ระบบ

ตาราง 4.1 ความแตกต่างระหว่างบลูทูธ และการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

	Bluetooth	**Ultra Wideband**
องค์กรสนับสนุน	SIG (Special Interest Group)	MBOA (MultiBand OFDM Alliance)
มาตรฐาน	802.15.1	802.15.3a
ช่วงความถี่	2.4 GHz	3.1-10.6 GHz
อัตราการส่งข้อมูล	1 Mbps	480 Mbps ที่ระยะ 2 เมตร และ 110 Mbps ที่ระยะ 10 เมตร
FCC Spectrum mask	0 dbm/MHz หรือ1 mwatt/MHz	-41.25 dbm/MHz หรือ0.0001 mwatt/MHz
สัญญาณ	คลื่นพาห์ (Carrier)	พัลส์ (Pulse)
Spread Spectrum	Frequency-Hopping Spread Spectrum	Direct Sequence Spread Spectrum Pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้าถึงช่องสัญญาณ	- FH-CDMA : Frequency Hopping - Code Division - TDD : time-division duplex	- DS-CDMA : Direct Sequence - Code Division Multiple Access - TDD : time-division duplex
การมอดูเลตชัน	Gaussian-shaped frequency shift keying (GFSK)	-Pulse Amplitude Modulation (PAM) - On-Off Keying (OOK) - Pulse Position Modulation(PPM) - Bi – Phase Modulation
ความจุ	8 อุปกรณ์ (1 master 7 slave)	ได้มากกว่า 256 อุปกรณ์

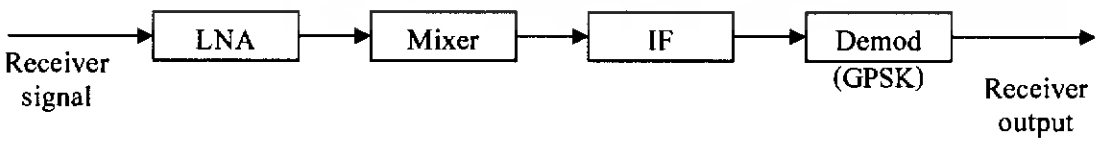
4.2 ข้อดี-ข้อเสียของทั้ง 2 เทคโนโลยี

4.2.1 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

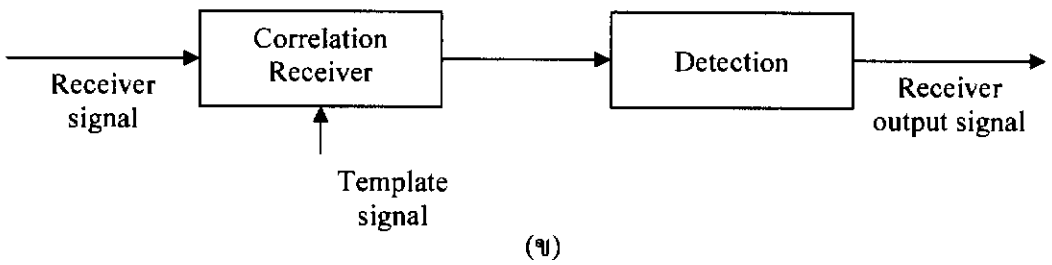
1. มีการใช้พลังงานน้อยในการส่งสัญญาณ เพราะระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกกำหนดค่ากำลังงานการแพร่กระจายออกของสัญญาณไว้ที่ -41.25 dbm/MHz เพื่อที่ไม่ให้สัญญาณไปกวนกับระบบของ IEEE 802.11a หรือ Wi-Fi นอกจากนี้การส่งสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจะใช้พลังงานก็ต่อเมื่อมีการส่งสัญญาณเท่านั้น ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมานั้นจะอยู่ในรูปแบบของ Pulse ที่ไม่ต่อเนื่องกันซึ่งแตกต่างกับสัญญาณของ Bluetooth ที่ส่งสัญญาณแบบต่อเนื่อง ดังนั้น Bluetooth จึงใช้พลังงานไปมากกว่า

2. มีราคาถูกกว่า เพราะที่วงจรภาครับของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งไม่มีวงจร Mixer (VCO, PLL), IF และ LNA เนื่องจาก Ultra- wideband ใช้การส่งแบบสัญญาณพัลส์ ซึ่งสัญญาณที่ออกมานั้นใกล้เคียงกับสัญญาณดิจิตอล จึงมีวงจรแปลงสัญญาณระหว่าง อนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog-digital converter) ดังรูป 4.2



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูป 4.2 (ก) วงจรภาครับของระบบ Bluetooth

(ข) วงจรภาครับของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

3. มีความสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี ไม่ว่าจะเป็นกำแพง หรือมนุษย์ เพราะระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งมีการส่งผ่านช่องสัญญาณที่เป็นลักษณะของ Slow Fading เนื่องจาก มีช่วงแบนวิดท์กว้างมาก ในขณะที่ Bluetooth มีแบนวิดท์ที่แคบ จึงเกิดการส่งผ่านช่องสัญญาณแบบ fast fading ซึ่งทำให้ไม่มีความสามารถในการทะลุผ่านกำแพงได้

4. มีอัตราการส่งของข้อมูลได้สูงกว่าและรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่า เพราะระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งมีแบนวิดท์กว้าง และการส่งแบบ Pulse ของสัญญาณที่แคบมาก จึงทำให้การส่งสัญญาณเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และมีความสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมาก โดยสามารถคำนวณได้จากกฎของ Shannon

5. ยากต่อการขโมยข้อมูล เพราะระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งมีการใช้ช่วงความถี่ที่กว้างมาก และช่วงของสัญญาณพัลส์ที่แคบมากๆ อีกทั้งยังส่งแบบไม่ต่อเนื่อง เหมือน Bluetooth ดังนั้นการที่จะสร้างวงจรตรวจจับสัญญาณทำได้ยาก

6. มีความสามารถในการลดMultipath เพราะ Multipath สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากการส่งในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งรูปแบบพัลส์ที่เกิดจาก Multipath จะเดินทางช้ากว่าเส้นทางปกติ ทำให้เครื่องรับสามารถแยกแยะสัญญาณที่ภาครับได้ (ระยะทางระหว่างสัญญาณพัลส์กับ multipath ประมาณ $d = vt = 3*10^{8}*1*10^{-9} = 30$ cm)

<u>ข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง</u>

1. เกิด Distortion ได้ในการส่ง เนื่องจากการส่งแบบ Pulse อาจจะเกิด Distortion ได้

2. ระดับสัญญาณที่อยู่ใกล้เคียงกับ noise ซึ่งอาจจะทำให้เกิด Mismatch กันได้

3. อุปกรณ์ อาจจะไม่สามารถใช้งานได้ทั่วโลก เนื่องจากช่วงความที่ Ultra-wideband มีช่วงความถี่ที่กว้าง ทำให้ผู้ผลิตในแต่ละประเทศออกแบบอุปกรณ์ของตนให้สามารถรับความถี่ในช่วงต่างๆที่แตกต่างกัน ทำให้อุปกรณ์ของประเทศหนึ่ง อาจจะไม่สามารถใช้ในอีกประเทศหนึ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน และยังมีอุปกรณ์หรือโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ที่มาสนับสนุนระบบยังมีน้อยอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งผู้ผลิตรายต่างๆ ก็กำลังแข่งขันกันพัฒนาอุปกรณ์หรือโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เพื่อให้เทคโนโลยีบริษัทตนเป็นที่ยอมรับในในวงกว้าง และเพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้ ดังนั้น อุปกรณ์ของบริษัทต่างๆ ที่ผลิตมาจะไม่สามารถรองรับอุปกรณ์ของอีกบริษัทหนึ่งได้ จนกว่า เทคโนโลยี จะเป็นรูปแบบเดียวกันหมด ซึ่งคงอาจจะต้องใช้เวลาอีกหลายปี

4.2.2 ระบบบลูทูธ (Bluetooth)

ข้อดีของระบบ Bluetooth

1. มีมาตรฐานเป็นแบบเดียวกันทั่วโลก ที่ความถี่ 2.4 GHz ช่วงการสื่อสาร ISM Band ทำให้ผู้บริโภคซื้ออุปกรณ์ Bluetooth แล้วสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก และสามารถใช้ได้ทั่วโลก

2. มีการทำโปรแกรมประยุกต์ อุปกรณ์ต่างๆ และเทคโนโลยีมาสนับสนุนมากกว่า

3. มีความปลอดภัยมากกว่า Ultra-wideband เนื่องจากระบบ Bluetooth มีช่วงความถี่ที่ต่ำกว่าระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง และมีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ

ข้อเสียของระบบ Bluetooth

1. มีความเร็วในการส่งข้อมูลที่ช้ากว่าระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เนื่องจาก Bluetooth ช่วงความถี่ในการส่งข้อมูลที่น้อยกว่า และ Bluetooth เป็นการส่งข้อมูลในลักษณะของ Narrowband ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็ว

2. ใช้พลังงานมากกว่า เนื่องจากต้องสูญเสียพลังงานไปในการทำการมอดูเลตสัญญาณ

3. สามารถรองรับการเชื่อมต่อได้จำกัดที่ 8 อุปกรณ์ (1 Master 7 Slave) เนื่องจากมีแบนวิดท์น้อย หรือมีแค่เพียง 79 MHz

4.3 การประยุกต์การใช้งานระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

4.3.1 การใช้งานระบบบลูทูธ

เมื่อมีเทคโนโลยีใหม่ที่ดีกว่าอย่าง Ultra-wideband เข้ามา เทคโนโลยีที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันอย่าง Bluetooth จะทำถูกแทนที่ไหม ในปัจจุบัน เราจะเห็นได้ว่ามีอุปกรณ์มากมายหลายชนิด ที่ใช้เทคโนโลยี Bluetooth เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือ ในคอมพิวเตอร์ ผู้บริโภคจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ทุกอย่างไปเป็นเทคโนโลยีใหม่ไหม คำตอบคือ ไม่จำเป็น เพราะในปัจจุบันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี Bluetooth สามารถรองรับการใช้งานบางอย่างได้อย่างสมบูรณ์ต่อการใช้งาน เช่น คีย์บอร์ดและเมาร์ไร้สายที่เชื่อมด้วย Bluetooth เพราะฉะนั้น อุปกรณ์ที่เทคโนโลยี Ultra-wideband จะเข้ามาแทนที่น่าจะเป็นพวกอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลได้มากขึ้นกับความต้องการ

4.3.2 การใช้งานระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

เมื่อจะมีเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เข้ามาในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า เทคโนโลยีใหม่นี้สามารถจะทำอะไรได้บ้าง อย่างแรกสุดเลย คือ การมาแทนที่ของสายเคเบิล เพื่อการเชื่อมต่อด้วยความเร็วสูง เช่น การเชื่อมต่อระหว่างโทรทัศน์ที่มีความละเอียดสูงกับเครื่องเล่นวิดีโอละเอียดสูง ซึ่งการมาแทนที่นี้จะช่วยลดค่าต้นทุนไปได้จำนวนมาก การเกิดอุปกรณ์ชนิดใหม่ๆ เช่น Wireless Universal serial bus (Wireless USB) ที่สามารถให้ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จากที่ไหนก็ได้ในระยะการเชื่อมต่อด้วย Ultra-wideband หรือ ใน Home-network คุณอาจจะทำเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (wireless personal area network =WPAN) ที่มีความเร็วสูงกว่าระบบไร้สายแบบอื่น หรือใน สำนักงาน เทคโนโลยีนี้ก็จะช่วยลดความยุ่งยากของการเชื่อมสายเคเบิล ช่วยพัฒนาความเร็วในการส่งข้อมูลแบบดิจิตอลคุณภาพสูงในโทรศัพท์มือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลองหาค่าคุณลักษณะของทั้ง 2 ระบบ

5.1 เนื้อหาการทดลอง

5.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) เป็นการสูญเสียที่เกิดจากสัญญาณไปแพร่กระจายไปในอากาศ คือเมื่อเราส่งสัญญาณผ่านไปในอากาศ สัญญาณที่ส่งไปนั้นจะมีการสูญเสียเนื่องจากเหตุการณ์ต่างๆ ไปว่าจะเป็น กรณีของความหนาแน่นของอากาศที่มาก ในอากาศมีคลื่นรบกวนเยอะ หรือระหว่างเสารับ-ส่งมีวัตถุบัง และขวางกั้นทางแพร่กระจายของคลื่น เหตุการณ์ต่างเหล่านี้จะส่งผลต่อการสูญเสียเชิงวิถีทั้งสิ้น โดยสามารถหาได้จากกฎของ Friis (Friis Transmission Formula) ตามสมการที่ 5.1 ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel)

$$PL = \frac{P_t}{P_r} = G_t G_r G_f = G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi d}\right]^2 \qquad (5.1)$$

โดย $G_f = \left(\lambda/4\pi d\right)^2$ แต่ $d > 2D^2/\lambda$ ซึ่งเป็นระยะการใช้งาน (Far-field)

d คือ ระยะทางระหว่างเสารับกับเสาส่ง

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาอากาศรับและส่ง

λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณที่ใช้ส่ง

G_T คือ อัตราขยายของเสาอากาศที่ใช้ส่ง

G_R คือ อัตราขยายของเสาอากาศที่ใช้รับ

PL คือ การสูญเสียเชิงวิถี

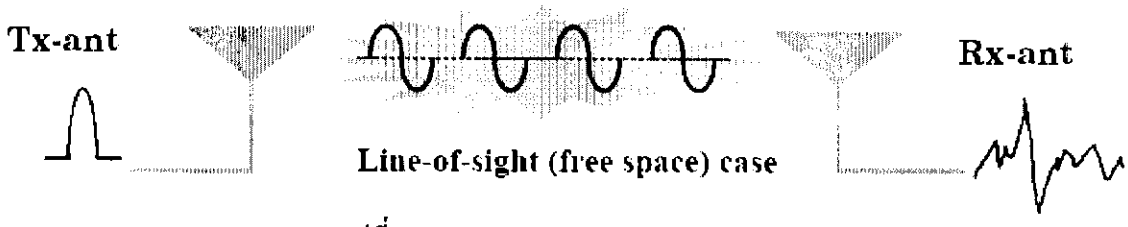
P_r คือ กำลังที่สามารถรับที่ฝั่งรับ

P_t คือ กำลังที่ใช้ส่งสัญญาณ

นอกจากนี้สูตรการสูญเสียเชิงวิถียังสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 สูตร คือ สูตรของ Narrowband (Friis Transmission Formula) ซึ่งแสดงอยู่ในสูตรที่ 5.2

$$PL_f(f,d)[dB] = 20\log\left(\frac{4\pi df}{c}\right) \qquad (5.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



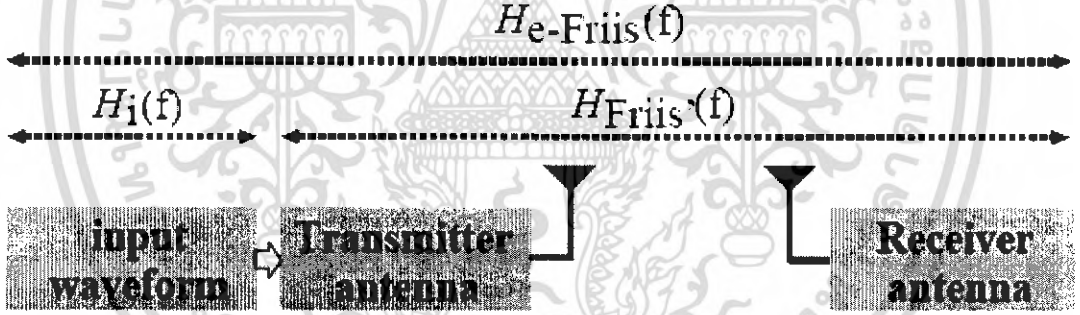
รูปที่ 5.1 Friis Transmission Formula

และสูตรของ Ultra-Wideband (Extension of Friis Transmission Formula) ซึ่งแสดงอยู่ในสูตรที่ 5.3

$$PL(d)[dB] = 20\log\frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t)|} \qquad (5.3)$$

โดย vt(t) คือ Voltage Signal ที่ใช้ในการส่ง

vr(t) คือ Voltage Signal ที่สามารถรับได้



รูปที่ 5.2 Extension of Friis Transmission Formula

5.1.2 เสาอากาศไบโคนิคอล (BICONICAL)

เสาอากาศไบโคนิคอลเป็นเสาอากาศที่สามารถใช้กับคุณสมบัติของบรอดแบนด์ ซึ่งมีรูปร่างของสายอากาศเป็นรูปทรงกรวย 2 ใบวางชนกัน ดังในรูปที่ 5.3 ซึ่งมีลักษณะการแพร่การจากแบบ Omni-Directional

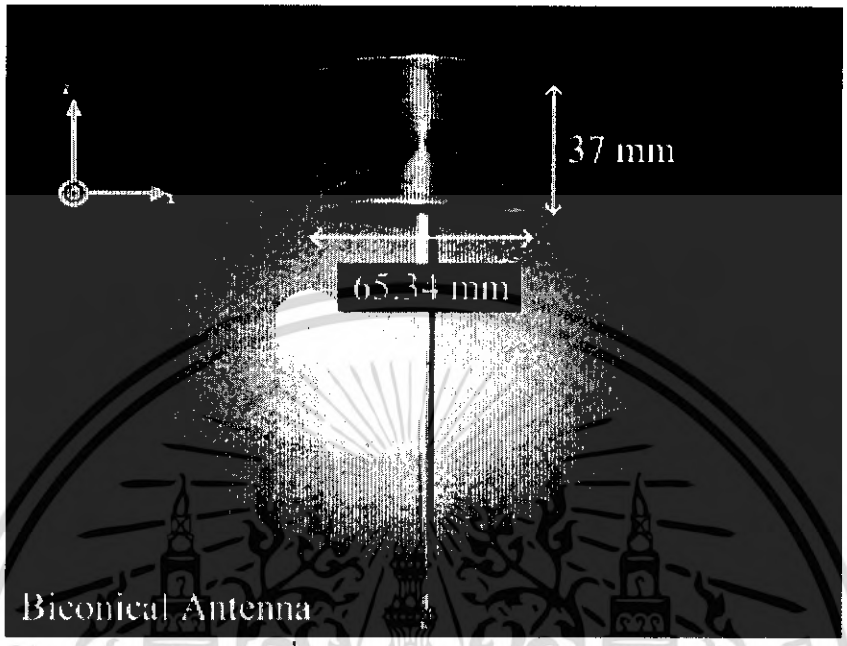
โดยสามารถคำนวณหาระยะการใช้งาน (Far-field) ได้จากสมการที่ 5.4

$$d > \frac{2(D_t + D_r)^2}{\lambda} \qquad (5.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Dt คือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาอากาศส่ง มีค่าเท่ากับ 75.0887 มิลลิเมตร

Dr คือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาอากาศรับ มีค่าเท่ากับ 75.0887 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3 เสาอากาศไบโคนิคอล

5.1.3 อัตราการส่งบิตข้อมูลผิด (Bit error Rate - BER)

อัตราการส่งบิตข้อมูลผิด (Bit error Rate - BER) เป็นค่าความน่าจะเป็นที่เกิดบิตผิดพลาดจากการส่งข้อมูลออกไปทั้งหมด โดยอัตราการส่งบิตข้อมูลผิด หรือ Bit error Rate (BER) มีค่ามากเท่าไร ข้อมูลที่ส่งไปนั้นจะมีความผิดพลาดมากเท่านั้น โดยอัตราการส่งบิตข้อมูลผิด (Bit error Rate - BER) สามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{Bit error rate} = \text{Errors/ total number of Bit} \qquad (5.5)$$

ค่าอัตราการส่งบิตข้อมูลผิด (Bit error Rate - BER) ทำให้สามารถรู้ได้ว่าในการส่งข้อมูลแต่ละครั้งมีความผิดพลาดเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ดังนั้นในการส่งข้อมูลครั้งต่อไปจะต้องหาสาเหตุในการเกิดความผิดพลาดเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดหรือเกิดขึ้นน้อยที่สุด

5.1.4 Signal-to noise ratio – SNR

Signal-to noise ratio (SNR) คือการหาอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูล โดยค่าอัตราส่วนนี้จะสามารถบอกได้ถึงคุณภาพของการส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SNR = P_{signal} / P_{noise} \quad (5.6)$$

โดยปกติค่า Signal-to noise ratio (SNR) จะถูกแสดงอยู่ในหน่วย เดซิเบล(decibel) ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

$$\mathrm{SNR(dB)} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) = 20\log_{10}\left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}}\right) \quad (5.7)$$

โดย ค่า P = ค่าเฉลี่ยของพลังงาน

A = ค่า root mean square ของ Amplitude

5.1.5 Throughput

Throughput คือค่าที่แสดงถึงความสามารถที่แท้จริงในการส่งข้อมูลนั้นโดยหาได้จากสูตร

$$\text{Throughput} = \text{Bit rate} * (1 - \text{BER}) \quad (5.8)$$

โดยถ้าค่า Throughput มีค่ามากแสดงให้เห็นว่าการส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพสูงเพราะมีการเกิดความผิดพลาดของข้อมูลน้อย ข้อมูลที่ได้มีความเที่ยงตรง

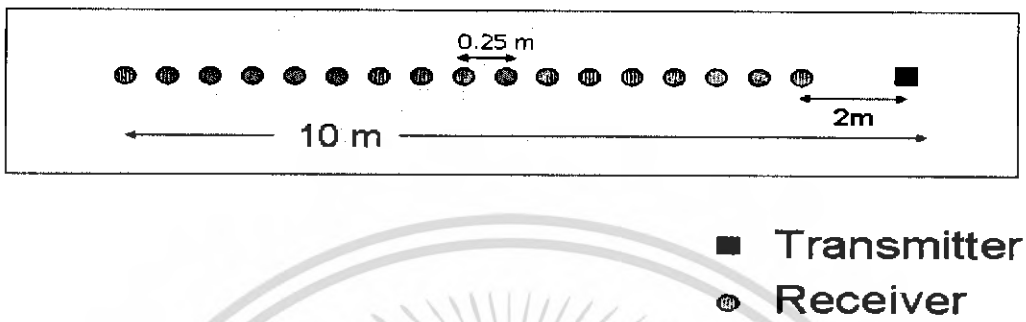
5.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อหาค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณหรือค่า S_{21} ของแต่ละระบบ
2. เพื่อหาค่าหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทางต่างๆ และค่าอัตราการผิดพลาด หรือ Bit Error Rate (BER) ของทั้งระบบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน
3. นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบคุณลักษณะ คุณสมบัติ และประสิทธิภาพการทำงานของระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

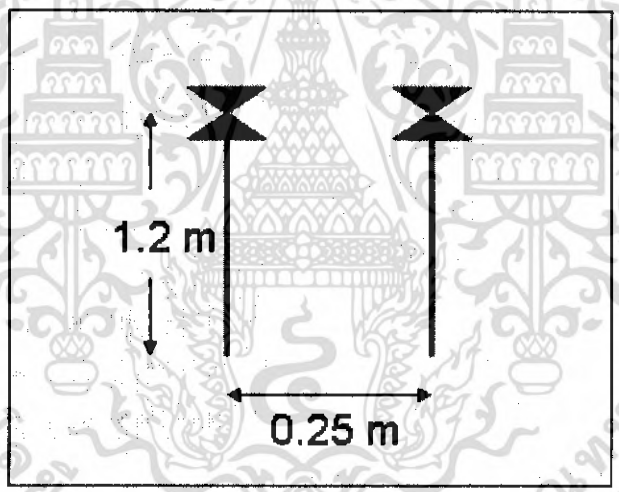
5.3 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง

5.3.1 สถานที่ทำการทดลอง



รูปที่ 5.4 ทางโล่ง ระยะ 10 เมตร

5.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.5 Biconical Antenna

5.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

1.	เครื่อง Vector Network Analyzer : VNA	1 เครื่อง
2.	เสาอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)	1 คู่
3.	Coaxial Cable แบบ semi-rigid	1 ชุด
4.	Connector	1 ชุด
5.	personal Computer and GPIB Interface	1 ชุด
6.	แผ่นลดการสะท้อน (Absorber)	1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โปรแกรม MATLAB

5.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1.	Frequency range of Bluetooth	2 – 3 GHz
2.	Frequency range of Ultra-Wideband	3 – 11 GHz
3.	Number of frequency points	801
4.	Dynamic power range	80 dB
5.	Antenna height	1.2 m
6.	Distance between each location	0.5 m

5.7 วิธีการทดลอง

1. จัดการหา และเตรียมสถานที่ตามแบบจำลองต้องการวัด
2. ทำการ Warm up เครื่อง VNA ประมาณ 180 นาที
3. จัดวางแผ่นลดการสะท้อนที่เครื่อง VNA เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากเครื่องมือวัด
4. ทำการ Calibrate แบบ full-2 port ที่ความถี่ 2-3 GHz ร่วมกับสายเคเบิลและต่อสายอากาศเข้ากับ Port 1 และ Port 2 พร้อมทั้ง save ค่าที่ทำการ Calibrate
5. ติดตั้งสายอากาศตามแบบจำลองของสายอากาศทั้งตัวส่งและตัวรับในแนวดิ่ง เพื่อการแพร่กระจายแบบ Omni-directional
6. เริ่มทำการวัดช่องสัญญาณ โดยเลือกเก็บค่า S_{21} Parameter โดยเริ่มที่ระยะห่างของเสาอากาศรับ – ส่ง ที่ระยะ 2 เมตร แล้วบันทึกผลการทดลอง
7. ทำการเลื่อนระยะของเสาอากาศ โดยขยับเลื่อนทีละ 25 เซนติเมตร
8. สังเกตและบันทึกผลของระบบ Bluetooth จนครบทุกตำแหน่ง
9. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 ถึง 8 โดยทำการ Calibrate ที่ความถี่ 3-11 GHz และบันทึกผลของระบบ UWB ทุกตำแหน่ง
10. วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) ที่ระยะทางต่างๆ และค่าอัตราการผิดพลาด Bit Error Rate (BER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 วิธีวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียเชิงวิถีโดยใช้โปรแกรม MATLAB

5.8.1 ระบบบลูทูธ

1. ทำการจับช่องสัญญาณที่ความถี่ 2.4 GHz ออกจากช่องสัญญาณที่ทำการวัดในช่วง 2-3 GHz

2. ทำการหาค่า Gain ของช่องสัญญาณที่ความถี่ 2.4 GHz และทำการแปลงหน่วยเป็น dB

3. ทำการหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี โดยใช้สมการ 5.9

$$PL(dB) = -Gain(dB) \tag{5.9}$$

5.8.2 ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

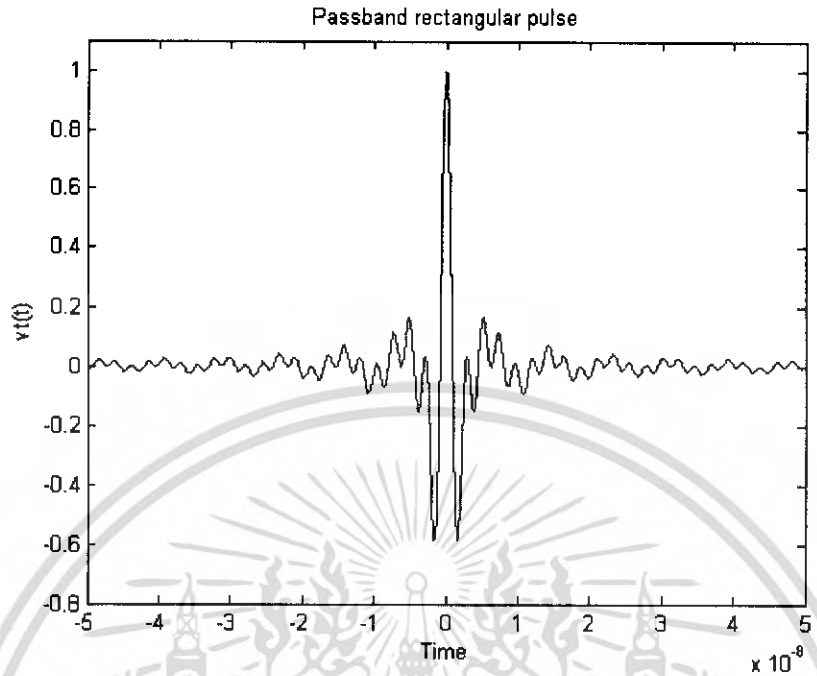
1. ทำการจำลองสัญญาณ Passband rectangular pulse ขึ้น เพื่อจำลองสัญญาณที่ใช้ส่ง โดยใช้สมการตามสมการที่ 5.10 และ 5.11 เพื่อจำลองสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในโดเมนเวลาดังรูป 5.4 และผลลัพธ์ในโดเมนความถี่ดังรูป 5.5

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b}\left[f_{\max}\,\sin c(2f_{\max}t) - f_{\min}\,\sin c(2f_{\min}t)\right] \tag{5.10}$$

โดยกำหนดให้ fmax = 11GHz

fmin = 3GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



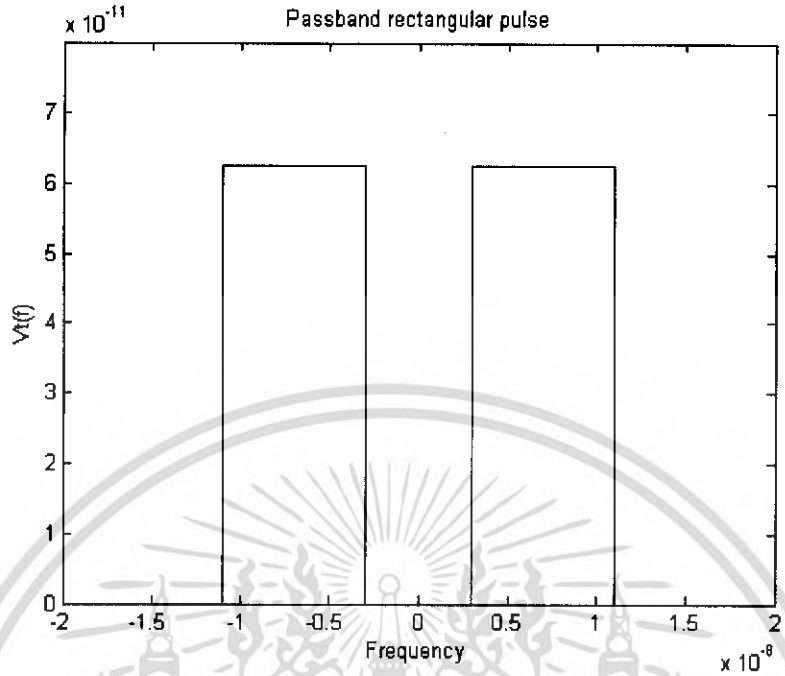
รูปที่ 5.6 สัญญาณที่ใช้ส่ง (Passband rectangular pulse) ในโดเมนเวลา

$$V_t(f) = \begin{cases} \dfrac{1}{2f_b} & \left|\,|f| - f_c\,\right| \le \dfrac{f_b}{2} \\ 0 & \left|\,|f| - f_c\,\right| > \dfrac{f_b}{2} \end{cases} \qquad (5.11)$$

โดยกำหนดให้ fb = fmax - fmin

fc = (fmax + fmin)/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 สัญญาณที่ใช้ส่ง (Passband rectangular pulse) ในโดเมนความถี่

2. ทำการส่งสัญญาณ Passband rectangular pulse ในโดเมนความถี่เข้าไปในช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด โดยสามารถคำนวณผ่านสมการ Convolution ใน MATLAB ดังสมการที่ 5.12

$$V_r(f) = H(f) \cdot V_t(f) \tag{5.12}$$

3. จากการคำนวณจะได้สัญญาณทางภาครับสัญญาณในโดเมนของความถี่ ซึ่งไม่สามารถแทนค่าลงในสมการหาการสูญเสียเชิงวิถีได้

4. ทำการแปลงสัญญาณที่รับได้จากในโดเมนความถี่ เป็นโดเมนเวลา ด้วยวิธีการทำ Inverse Fourier โดยใช้สามารถทำได้ดังสมการที่ 5.13 ทำให้สามารถหาค่า Vr(t)

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{-j2\pi ft} dt \tag{5.13}$$

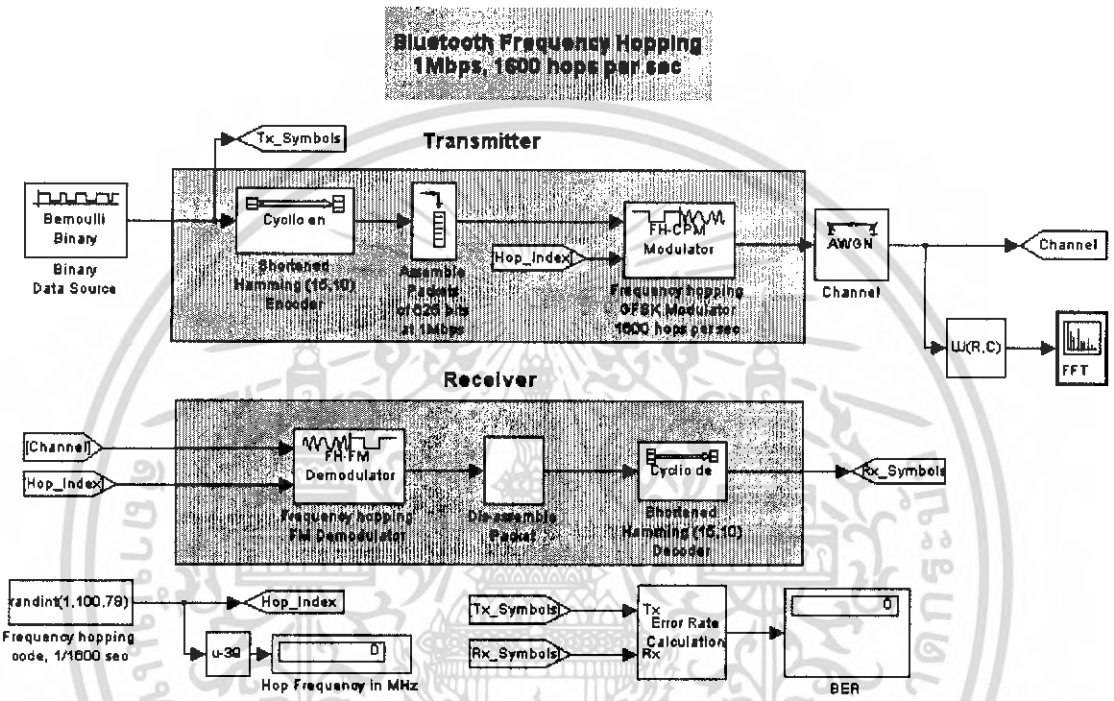
5. นำค่าสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลามาหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี โดยใช้สมการที่ 5.3 และกำหนดให้ค่า Vt(t) มีค่าเท่ากับ 1 หรือสามารถตัดทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 วิธีวิเคราะห์หาค่า Bit Error Rate โดยใช้โปรแกรม MATLAB

5.9.1 ระบบบลูทูธ

1. จำลองระบบBluetooth โดยใช้ Simulink ในโปรแกรม MATLAB ดังรูป



รูปที่ 5.8 Simulink ของระบบ Bluetooth

2. ส่งบิตข้อมูลจำนวน 200,000 บิต แล้วหาค่าอัตราการส่งบิตข้อมูลผิด

3. ทำการเปลี่ยนค่า SNR ตั้งแต่ -30 dB จนถึง 10 dB โดยทำการเพิ่มค่าทีละ 5 dB ที่ 1 Mbps

4. บันทึกผลการทดลอง

5. นำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟ BER & SNR

5.9.2 ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

1. ทำตามขั้นตอนการทดลองการหาค่า การสูญเสียเชิงวิถี ในหัวข้อการวิเคราะห์ด้วย MATLAB ตั้งแต่ข้อ 1 จนถึงข้อ 4

2. สร้างสัญญาณรบกวน และบวกเข้ากับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากข้อ 1 โดยใช้คำสั่ง AWGN (Additive white Gaussian noise)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการตัดสินสัญญาณที่ทำการบวกสัญญาณรบกวนแล้ว หรือ z

โดย z เป็น 1 เมื่อกำลังของ z มีค่ามากกว่า 0

เป็น 0 เมื่อกำลังของ z มีค่าน้อยกว่า 0

4. นับจำนวนบิตที่ผิดพลาด แล้วนำมาคำนวณในสมการที่ 5.5

5. พล็อตกราฟ BER & SNR

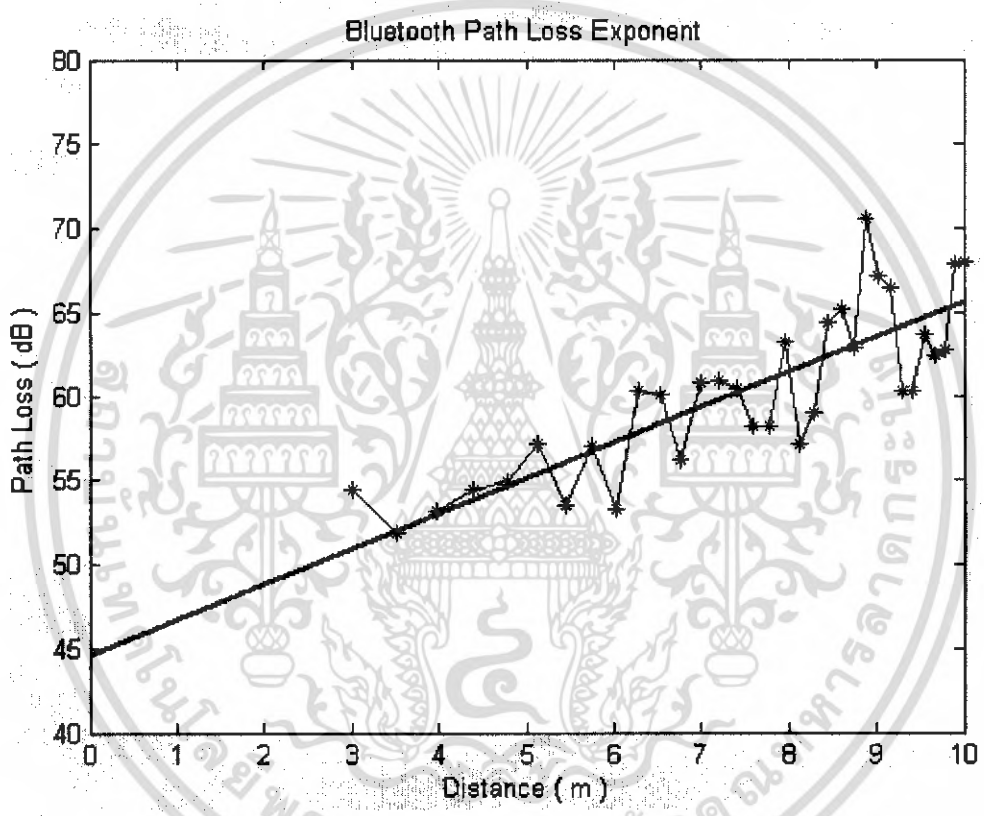
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 ผลการทดลองการหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี

6.1.1 ระบบบลูทูธ



รูปที่ 6.1 Bluetooth Path Loss Exponent (Slope =2.0078, C = 44.6293) ของระบบ Bluetooth

จากสูตรการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) สมการที่ 6.1

$$PL(d) = P(d_0) + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right) \qquad (6.1)$$

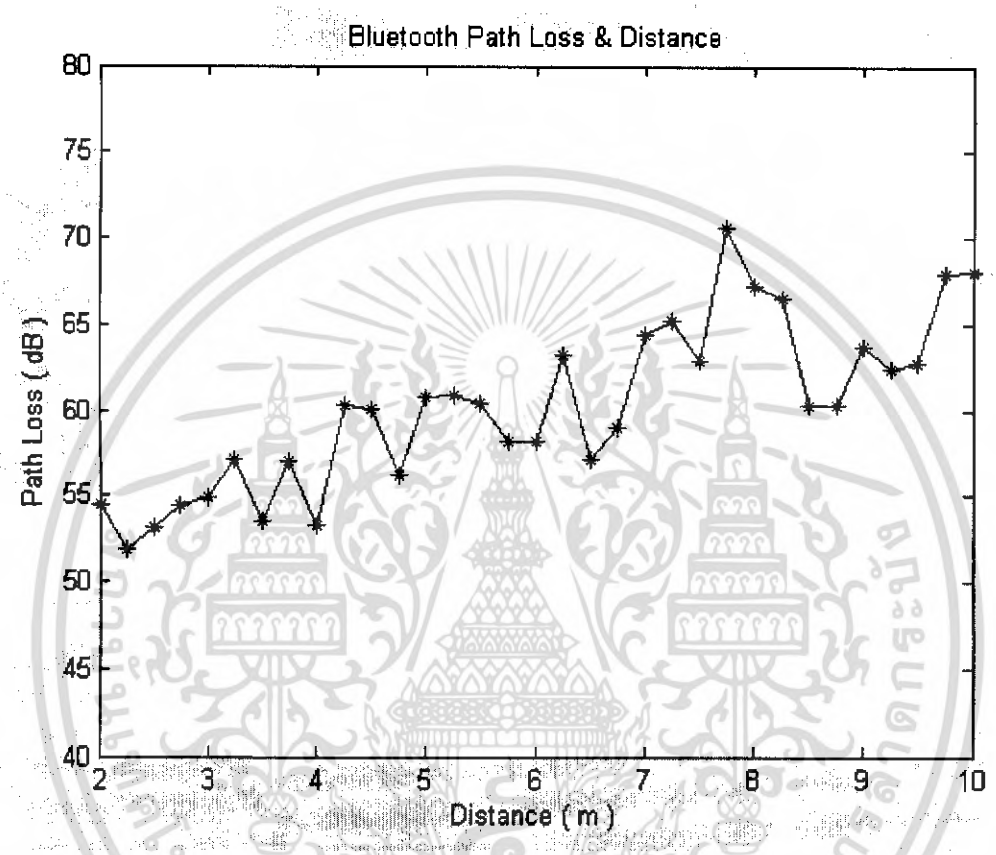
โดยที่ $PL(d)$ คือ การสูญเสียเชิงวิถี

$PL(d_0)$ คือ กำลังงานที่สูญเสียที่ระยะทางอ้างอิง (1 เมตร)

n คือ ค่า Path Loss Exponential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.1 และสมการ 6.1 สามารถสรุปได้ว่าค่า n (Path Loss Exponent) ของช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับ 2.0078 และกำลังงานที่สูญเสียที่ระยะทางอ้างอิง (1 เมตร) มีค่าเท่ากับ 44.6293 dB



รูปที่ 6.2 Bluetooth Path Loss & Distance

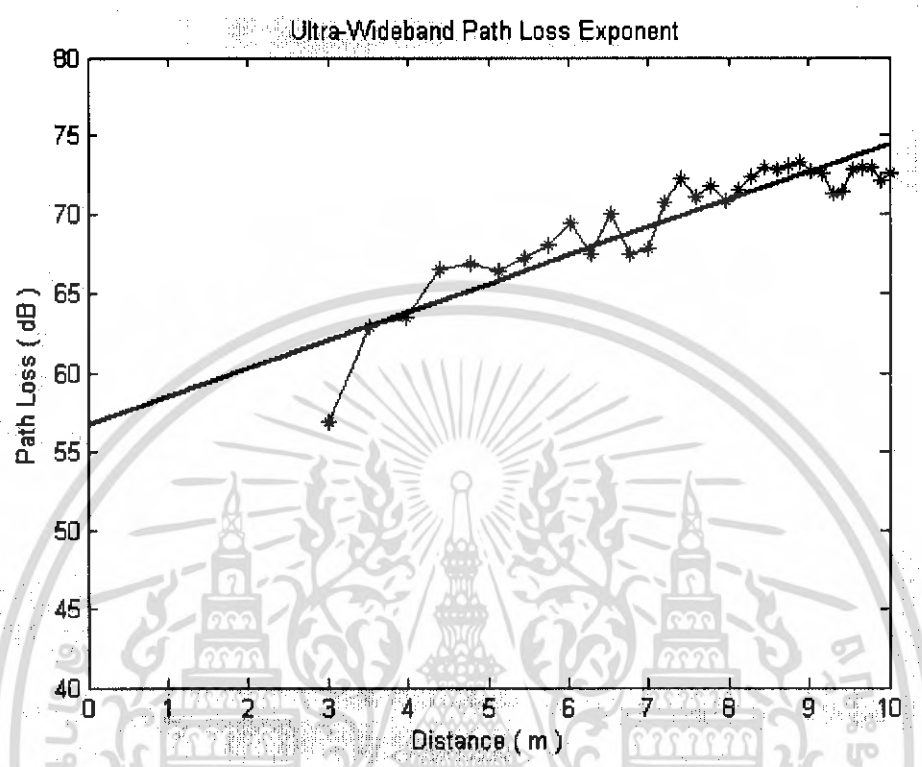
จากรูปที่ 6.2 สามารถเขียนเป็นตารางการสูญเสียเชิงวิถี ต่อระยะทางได้ดังนี้

ตารางที่ 6.1 การสูญเสียเชิงวิถีต่อระยะทางของระบบบลูทูธ

ระยะทาง (m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Path Loss(dB)	54.446	54.875	53.249	60.804	58.146	64.417	67.184	63.658	67.993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

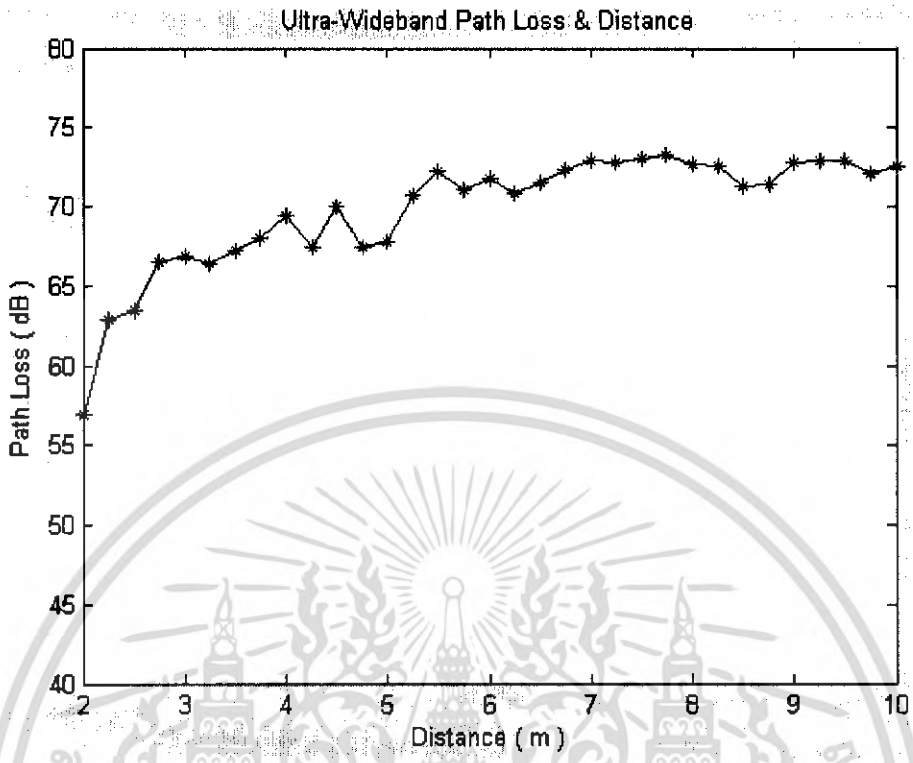
6.1.2 ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 6.3 UWB Path Loss Exponent (Slope =1.67502, C = 57.4639)

จากรูปที่ 6.3 และสมการ 6.1 สามารถสรุปได้ว่าค่า n (Path Loss Exponent) ของช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับ 1.67502 และกำลังงานที่สูญเสียที่ระยะทางอ้างอิง (1 เมตร) มีค่าเท่ากับ 57.4639 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 UWB Path Loss & Distance

จากรูปที่ 6.4 สามารถเขียนเป็นตารางการสูญเสียเชิงวิถี ต่อระยะทางได้ดังนี้

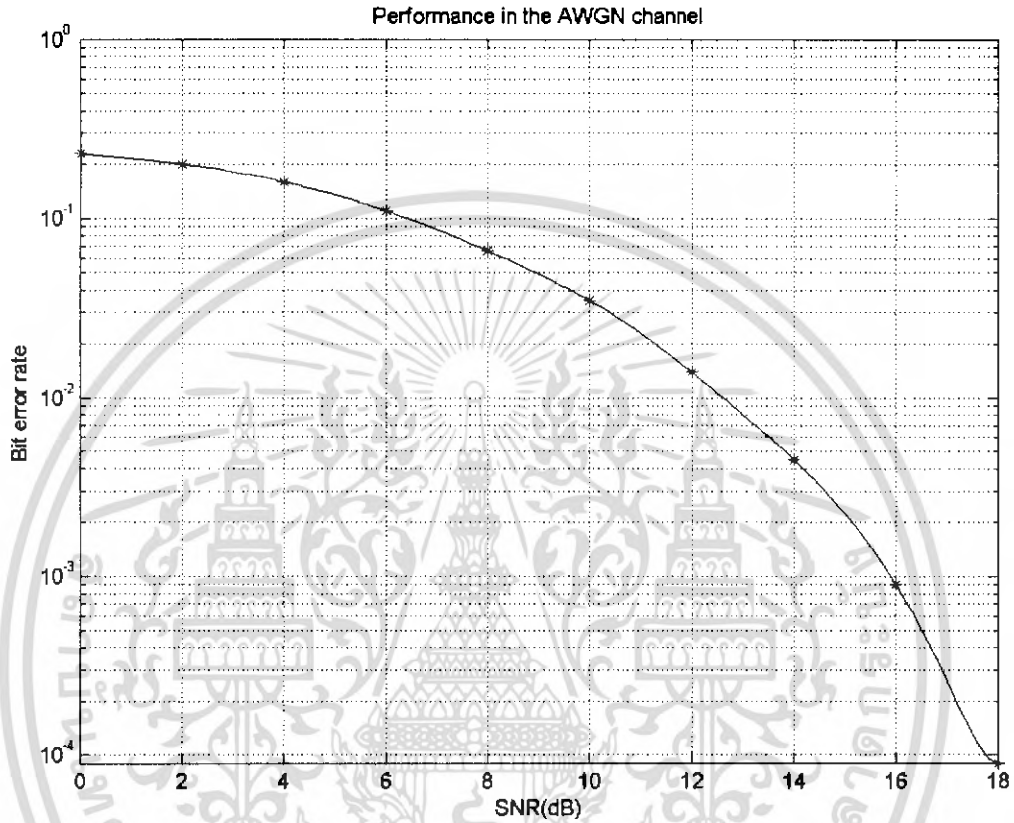
ตารางที่ 6.2 การสูญเสียเชิงวิถี ต่อระยะทาง ของระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

ระยะทาง (m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Path Loss(dB)	56.861	66.882	69.376	67.807	71.743	72.888	72.712	72.848	72.567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองการหา Bit Error Rate

6.2.1 ระบบบลูทูธ



รูปที่ 6.5 BER of Bluetooth (1 Mbps)

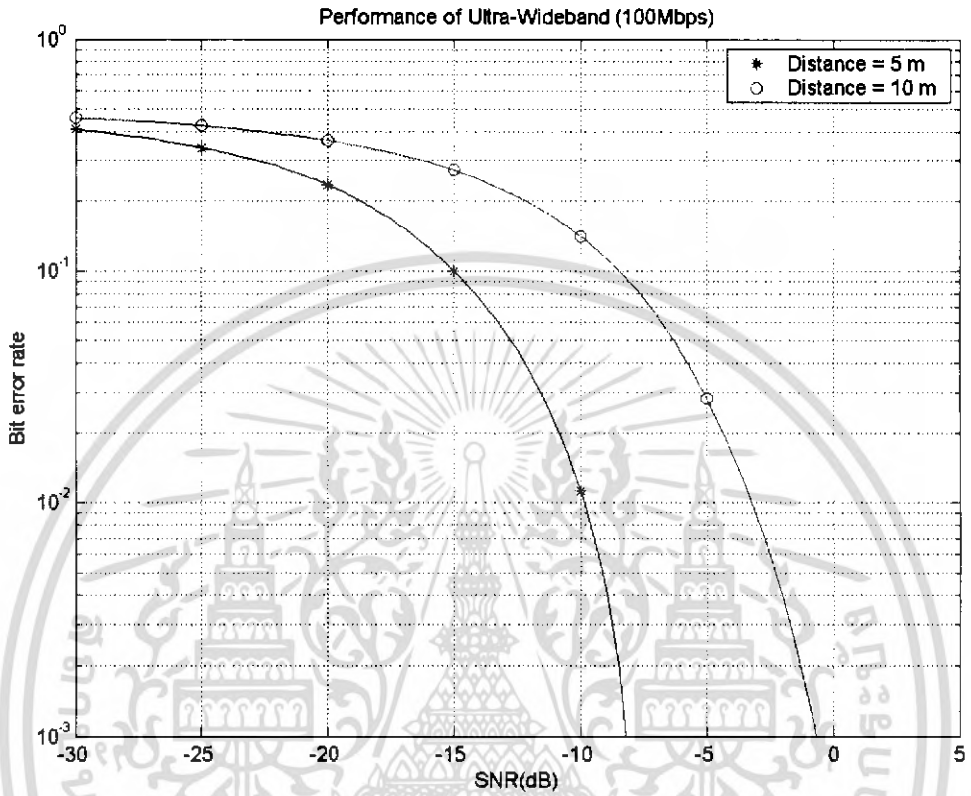
จากรูปที่ 6.5 สามารถเขียนเป็นตาราง Bit Error Rate ของระบบบลูทูธได้ดังนี้

ตารางที่ 6.3 BER of Bluetooth (1 Mbps)

Snr (dB)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
BER	0.23	0.2	0.18	0.11	0.065	0.035	0.015	0.0047	0.0009	9e-5

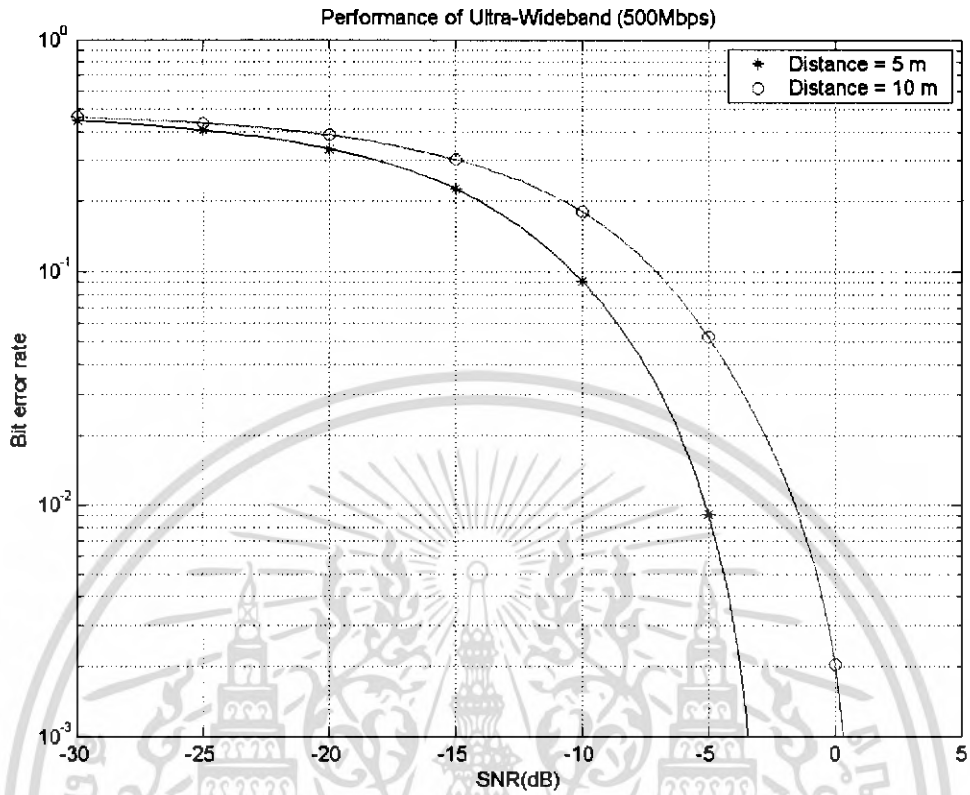
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 6.6 BER of Ultra-Wideband (100 Mbps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 BER of Ultra-Wideband (500 Mbps)

จากรูปที่ 6.6 และ 6.7 สามารถเขียนเป็นตาราง Bit Error Rate ของระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งยวดที่ 100 Mbps และ 500 Mbps ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.4 BER of Ultra-Wideband (100 Mbps)

ระยะทาง \ snr (dB)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
BER ที่ 5 เมตร	0.40967	0.34086	0.23552	0.10002	0.0112	1.5e-005	0
BER ที่ 10 เมตร	0.45836	0.42472	0.36572	0.27304	0.14143	0.028115	0.00036

ตารางที่ 6.5 BER of Ultra-Wideband (500 Mbps)

ระยะทาง \ snr (dB)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
BER ที่ 5 เมตร	0.44827	0.40574	0.33764	0.22609	0.090725	0.0091	5e-006
BER ที่ 10 เมตร	0.46286	0.43566	0.38649	0.30256	0.18052	0.052425	0.00203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลองการหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) ต่อระยะทาง ของ 2 ระบบ

ระยะทาง (m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bluetooth PL(dB)	54.446	54.875	53.249	60.804	58.146	64.417	67.184	63.658	67.993
UWB PL(dB)	56.861	66.882	69.376	67.807	71.743	72.888	72.712	72.848	72.567

จากตารางที่ 7.1 สามารถสรุปได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีของระบบบลูทูธมีค่าน้อยกว่าระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีในสมการของ Friis ตามสมการที่ 5.2 โดยจะเห็นว่าค่าสูญเสียเชิงวิถีนั้นก็มีค่าแปรผันตามค่าของความถี่ของสัญญาณที่ใช้ส่งในช่องสัญญาณ (ความถี่ของระบบบลูทูธมีค่าน้อยกว่าความถี่ของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง จึงทำให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีมีน้อยกว่าตามไปด้วย)

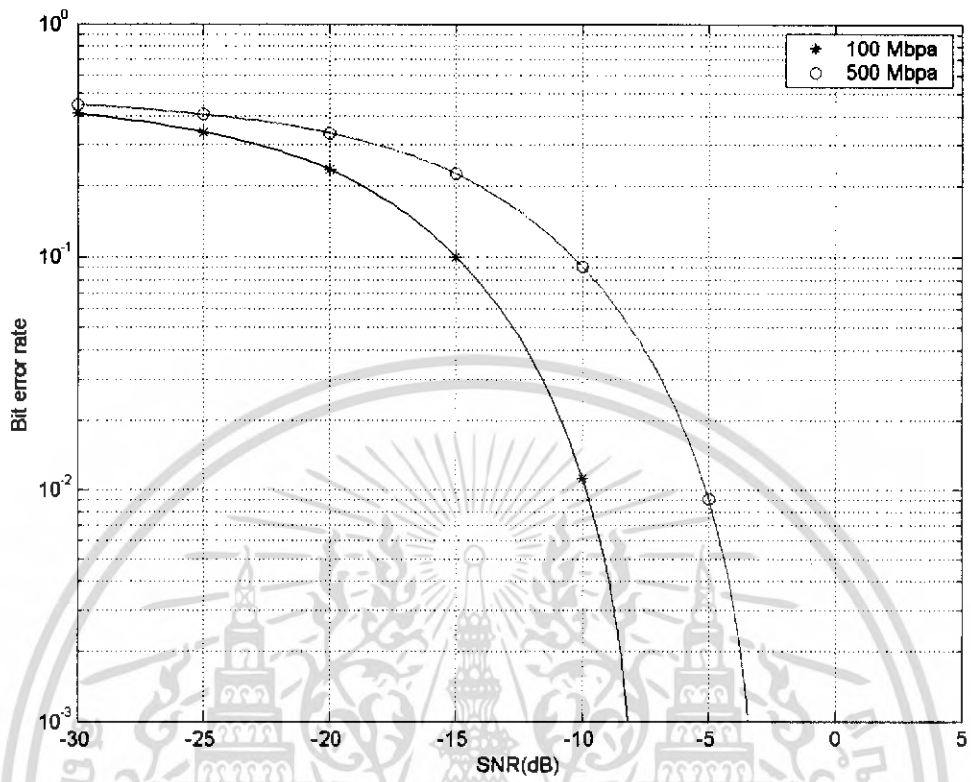
และจากรูปที่ 6.2 เราสามารถสรุปได้ว่าช่องสัญญาณของระบบ Bluetooth เป็นช่องสัญญาณที่เกิด fading มาก (Fast Fading) และในขณะเดียวกัน จากรูปที่ 6.4 สามารถแสดงว่าช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เป็นช่องสัญญาณที่ fading น้อย (Slow Fading) ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง นั้นสามารถลด fading ได้

นอกจานี้ยังเป็นการพิสูจน์ว่าระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง มีช่องสัญญาณเป็นแบบ Slow Fading ซึ่งทำให้ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งมีคุณสมบัติในการทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้

7.2 สรุปผลการทดลองการหาค่า Bit Error Rate

จากรูปที่ 6.6 และ 6.7 สังเกตได้ว่าค่าอัตราการส่งบิตข้อมูลผิดมีค่าขึ้นกับระยะทาง โดยระยะทางเพิ่มขึ้น ทำให้โอกาสในการที่ส่งข้อมูลแล้วเกิดบิตผิดพลาดมีมากขึ้น ในทุกๆ ค่าการเพิ่มของสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วในการส่งที่ 100 Mbps & 500 Mbps

จากกราฟรูป 7.1 สังเกตได้ว่าค่าอัตราการส่งบิตข้อมูลผิดมีค่าขึ้นกับ อัตราเร็วของการส่งสัญญาณ โดยอัตราเร็วของการส่งสัญญาณเพิ่มขึ้น ยิ่งทำให้ความน่าจะเป็นในการเกิดบิตผิดพลาดมีมากขึ้น ในทุกๆ ค่าการเพิ่มของสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบค่า BER ของทั้ง 2 ระบบ

snr (dB)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
BER Bluetooth	0.4888	0.4673	0.4056	0.2901	0.1115	0.002812	0
BER UWB	0.40967	0.34086	0.23552	0.10002	0.0112	1.5e-005	0

จากตารางที่ 7.1 สังเกตได้ว่า การส่งสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า ในระบบของบูลทูธที่มีอัตราเร็วในการส่ง 1 Mbps โดยสังเกตได้ชัดเจนในจากตารางที่ 7.1 เนื่องจาก มีค่า BER น้อยกว่าระบบบลูทูธ (วัดแบบอิงมาตรฐาน) เพราะในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งมีการส่งข้อมูลแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การสื่อสารในระบบนี้มีความสามารถในการที่จะหลบสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าใน ระบบของบูลทูธที่มีการส่งข้อมูลแบบ Frequency-hopping spread spectrum (FHSS)

7.3 สรุปผลการทดลองโดยรวม

จากหัวข้อในข้อ 7.1 และ 7.2 สามารถสรุปคุณลักษณะโดยรวมของทั้ง 2 ระบบ ได้ดังนี้

1. ระบบบลูทูธ มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยกว่า ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง ดังนั้น ในระยะทางที่เท่ากัน ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งมีค่าการสูญเสียมากกว่าระบบ บลูทูธ

2. ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง มีค่า Bit Error Rate ช่วงลบ ส่วนระบบบลูทูธ มีค่า Bit Error Rate ช่วงบวก ดังนั้น ในการส่งแต่ละครั้งระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง มี Errer เนื่องจากการส่งน้อยกว่าในระบบของบลูทูธ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น Error ในระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งขึ้นกับอัตราเร็วในการส่งข้อมูลด้วย โดยถ้าเพิ่มอัตราเร็วในการส่งข้อมูล ก็จะทำให้ค่า Error เพิ่มตามมาด้วย

7.4 ข้อเสนอแนะในการใช้ทั้ง 2 เทคโนโลยี

7.4.1 เทคโนโลยีบลูทูธ

จากการที่ได้ศึกษาทดลองในโปรเจ็คนี้ เห็นได้ว่าเทคโนโลยีบลูทูธเป็นเทคโนโลยีที่มีมาตรฐานในระดับสากล ดังนั้นทางผู้จัดทำโปรเจ็คนี้ จึงขอแนะนำการใช้เทคโนโลยีบลูทูธ ออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ใช้เป็นเทคโนโลยีหลักในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้น เช่น การติดต่อระหว่างโน๊ตบุก หรือการติดต่อระหว่างมือถือ

2. ใช้ในแอพพลิเคชันที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำ เช่น ข้อมูลที่เป็นรูปภาพ หรือเสียง

7.4.2 ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

จากการศึกษาทดลอง เห็นได้ว่ามาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งนั้นส่วนมากมีข้อดีมากกว่าระบบบลูทูธทั้งสิ้น เพราะเป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาใหม่ แต่มีข้อเสียอยู่ประการเดียว คือ ยังไม่เป็นมาตรฐานสากล ดังนั้นทางผู้จัดทำโปรเจ็คนี้ จึงขอแนะนำการใช้งานระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง ออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งมีความเร็วในการส่งข้อมูลมากกว่าระบบบลูทูธ ทำให้เหมาะสมกับแอพพลิเคชันที่ต้องการความเร็วสูงและต่ำ เช่น ข้อมูลภาพ เสียง หรือวีดีโอ เป็นต้น

2. ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งมีความสามารถในการทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ ทำให้เหมาะกับการใช้งานระหว่างห้อง หรือภายในพื้นที่ ที่มีสิ่งกีดขวางได้

3. ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งใช้พลังงานต่ำในการส่งและการทำงาน ทำให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการสำรองพลังงานไว้ได้นาน ๆ เช่นในระบบของมือถือ

4. ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งสามารถรองรับจำนวนคนและการใช้งานได้มากกว่าในระบบบลูทูธ ทำให้เหมาะกับการใช้งานแบบ Multi-user เช่น การ Chat หรือการประชุม Online เป็นต้น

5. ระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่งมีชิพเซ็ตที่มีราคาถูก ดังนั้นจึงเหมาะกับการเพิ่มเติมเข้าไปในระบบต่าง ๆ ที่ต้องการใช้งานแบบระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้น

7.5 แนวทางการวิจัยในอนาคต

จากหัวข้องานวิจัย *"คุณลักษณะของระบบบลูทูธ (Bluetooth) และระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra-Wideband) สำหรับระบบไร้สายระยะสั้น"* สามารถนำไปทำงานเป็นวิจัยต่อได้ในอนาคต เช่น

1. วิเคราะห์วิจัยมาตรฐานต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง โดยหามาตรฐานที่ดีที่สุด เช่น มาตรฐานการมอดูเลชัน มาตรฐานของอัตราเร็วในการส่งข้อมูลให้ได้อัตราเร็วมากที่สุดที่มีการผิดพลาดของบิตผิดน้อยที่สุด

2. ศึกษาวิเคราะห์การใช้งานร่วมกันของแอพพลิเคชันที่ใช้ในระบบบลูทูธ และระบบการสื่อสารแบบความถี่แถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Jennifer Bray, Charles F. Sturman. Bluetooth: Connect Without Cables (Hardcover). Prentice Hall PTR; 1st edition (December 15, 2000)

2. Nathan J Muller. Bluetooth Demystified. McGraw-Hill Professional Date Published: September 2000

3. E-Book.An Introduction.to.Ultra.Wideband.Communication.Systems.Apr.2005

4. Settapong Malisuwan, Thippawan Iamsinthorn . Performance Improvement of Bluetooth in the Presence of WLAN DS 802.11

5. N.P Kontakos, J.K. Pollard. Bluetooth RF Layer Performance Evaluation. University College London

6. A. Soltanian and R. E. Van Dyck. Performance of the Bluetooth System in Fading Dispersive Channels and Interference.

7. เอกสารจากเวปไซต์ www.bluetooth.org

8. เอกสารจากเวปไซต์ www.bluetooth.com

9. เอกสารจากเวปไซต์ www.uwbforum.org/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้