

การพัฒนาต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลในห้องเรียนสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยิน



นาย ภาควัฒน์ ดับโศก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

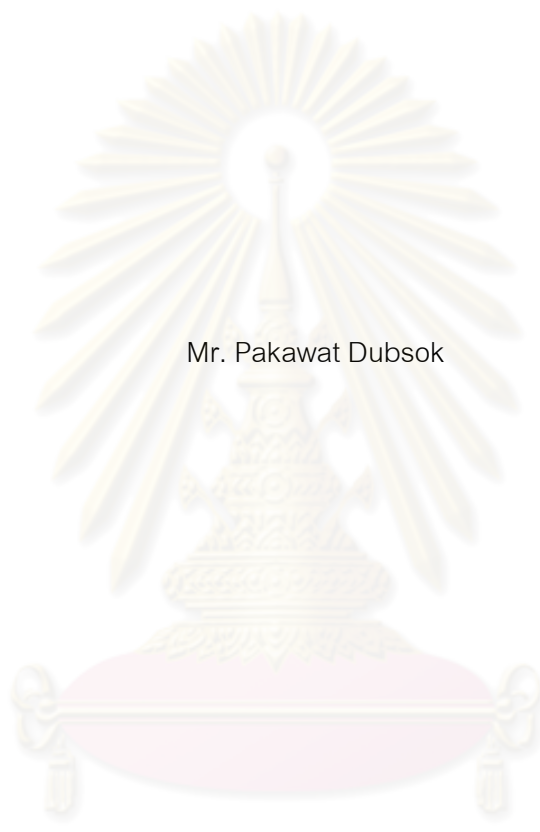
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of A Digital Wireless System prototype for Hearing Impaired Person



Mr. Pakawat Dubsok

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลในห้องเรียน สำหรับผู้ที่ยกพร่องทางการได้ยิน
โดย	นาย ภควัฒน์ ดับไศก
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา


---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อติวงศ์ สุชาโต)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. อภิชาติ อินทรพานิชย์)

ภาควัฒน์ ดับโคก : การพัฒนาต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลในห้องเรียนสำหรับผู้  
 บกพร่องทางการได้ยิน. (DEVELOPMENT OF A DIGITAL WIRELESS SYSTEM  
 PROTOTYPE FOR HEARING IMPAIRED PERSON) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :  
 ผศ.ดร. เศรษฐา ปานงาม, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา,  
 112 หน้า.

ในปัจจุบันเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินบางกลุ่มเป็นเด็กหูตึงเมื่อสวมเครื่องช่วยฟัง  
 สามารถทำการเรียนการสอนได้ ดังนั้นเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินสามารถทำการเรียนการสอน  
 โดยใช้ภาษาพูดได้ ซึ่งในห้องเรียนสามารถมีอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ช่วยให้  
 ประสิทธิภาพการได้ยินนั้นดีขึ้นและสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องช่วยฟังเป็นอุปกรณ์เสริมได้ แต่  
 เนื่องจากอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายดิจิทัลต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้อุปกรณ์นั้นมีราคา  
 สูง งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลในห้องเรียนสำหรับผู้บกพร่อง  
 ทางการได้ยินให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าและมีราคาต่ำกว่าอุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดย  
 จะออกแบบให้ระบบส่งข้อมูลแบบแพร่สัญญาณ ที่ความถี่คลื่นวิทยุ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์รับส่ง  
 สัญญาณไร้สายนั้นใช้การรับส่งสัญญาณเป็นแบบดิจิทัล มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงและ  
 ปรับปรุงคุณภาพการรับส่งข้อมูลไร้สายได้ง่าย ผลการทดลองพบว่าสามารถพัฒนาต้นแบบ  
 ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพในการรับฟังที่ระยะห่างออกไปจากตำแหน่งต้นเสียงถึง  
 10 เมตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการรับฟังนั้นไม่ต่างแตกต่างกับการรับฟังที่ตำแหน่งต้นเสียง และได้  
 ทำทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรับฟังกับเครื่องรับสัญญาณไร้สายที่ใช้อยู่จริงใน  
 โรงเรียน พบว่าที่ระยะ 5 เมตร ประสิทธิภาพเครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบสื่อสารไร้สาย  
 ดิจิทัลกับประสิทธิภาพเครื่องรับสัญญาณไร้สายที่ใช้อยู่ในโรงเรียนนั้นไม่ได้มีประสิทธิภาพในการ  
 รับฟังที่แตกต่างกันและระบบที่พัฒนานี้ใช้กระแสไฟต่ำกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ..... ลายมือชื่อนิสิต ภาควัฒน์  
 สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 16/5/2553  
 ปีการศึกษา 2553 ..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ๒๗

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5070389021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : ALS / ALD / WIRELESS TECHNOLOGY / FM / ISM BAND / RF  
TRANSCEIVER / MICROCONTROLLER

PAKAWAT DUBSOK : DEVELOPMENT OF A DIGITAL WIRELESS SYSTEM  
PROTOTYPE FOR HEARING IMPAIRED PERSON. ADVISOR : ASST.PROF.  
SETHA PAN-NGUM, Ph.D., CO-ADVISOR : PASIN ISRASENA, Ph.D., 112 pp.

Hearing impaired Students can use Hearing Aids, to study by oral method. RF transceiver device makes the hearing efficiency better, and it can be connected to the hearing aid. However, the imported transceiver device is expensive. The thesis is to develop a digital wireless system prototype for Hearing Impaired Person. It was designed to meet the specifications of the commercial RF transceiver device. Moreover, it was designed to be cheaper than the imported model. The wireless transmission system is digitally encoded and broadcasted at 2.4 GHz, so that it can be easily transformed, and this also improved the quality of the wireless signaling. The tests result show that The Digital Wireless System prototype developed can work up 10 meter range, and the quality of sound is not different from the one at the source. Moreover, compared to the commercial RF transceiver device which is used in schools at 5 meter range developed prototype performance is not statistically different. The developed prototype also has lower power consumption.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Computer Engineering.....

Student's Signature : ..... 

Field of Study : Computer Engineering.....

Advisor's Signature : ..... 

Academic Year : 2010.....

Co-advisor's Signature : ..... 

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะความช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. เศรษฐา ปานงาม และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา เสนอแนะแนวทางการวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อติวงศ์ สุชาโต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. อภิชาติ อินทรพานิชย์ ที่ให้ความกรุณาเสนอคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนถึงตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ นายอภิสิทธิ์ เหมาคม และ นายอนุกุล น้อยไม้ ที่ช่วยให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ นางสาววัลลภา อินทรงค์, นางสาวกนกวรรณ เตชะสีไพฑูรย์, นายนำโชค ชนะแก้ว, นายวรวิทย์ ออวัฒนา, นายวสันต์ ออวัฒนา, นายสังวรณ์ สีสุทัศน์, นายญาณวิช สุพานกุลศักดิ์, นายบุญทิพกร ภูรีเสถียร และนายชัชพล เลิศฤทธิ์กรชัย ร่วมทำการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจมาตลอด

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่มอบทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย เพื่อใช้ในการศึกษาตลอดทั้งหลักสูตร

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่ช่วยสนับสนุนให้ได้รับการศึกษาอย่างดีมาตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ระบบช่วยการได้ยิน (ALSs: Assistive listening systems).....	8
2.1.1 ระบบไอแอล (IL: Induction loop).....	9
2.1.2 ระบบไออาร์ (IR: Infrared).....	10
2.1.3 ระบบคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม (FM: Frequency modulation).....	10
2.1.4 ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Digital Wireless System).....	11
2.2 อุปกรณ์ช่วยการได้ยิน (Hearing devices).....	16
2.2.1 เครื่องช่วยฟัง (Hearing aids).....	16
2.2.2 การผ่าตัดหูชั้นในเทียม (Cochlear implant).....	18
2.3 ส่วนต่างๆของระบบช่วยการได้ยิน (ALSs: Assistive Listening Systems)	
โดยโทรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	19
2.3.1 เครื่องส่งสัญญาณไร้สาย(Transmitter).....	19
2.3.2 เครื่องรับสัญญาณไร้สาย(Receiver).....	20

2.3.3 เทคโนโลยีที่ใช้ของระบบช่วยการได้ยิน.....	20
2.4 ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลสำหรับผู้พิการทางการได้ยินในห้องตลาด.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 ทดสอบแนวคิดการทำงานของโพรโทคอลออกแบบเอง	
โดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล(Proprietary Digital Wireless protocol).....	27
3.1.1 โพรโทคอลใช้ในการสื่อสาร (Communication protocol).....	28
3.1.2 การแก้ไขสำหรับการทำงานแบบแพร่สัญญาณ (Modification for Broadcasting Mode).....	29
3.1.3 ทดสอบและผลที่ได้รับ (Test and Result Discussion).....	30
3.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง (Results analysis).....	30
3.2 ต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	30
3.3 อุปกรณ์และส่วนประกอบของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สาย.....	38
3.3.1 ไมโครโฟน (Microphone).....	38
3.3.2 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ (Battery Chargers).....	39
3.3.3 วงจร Pre-amp และ วงจร Low-pass.....	40
3.3.4 วงจรลดแรงดัน (Low dropout voltage).....	41
3.3.5 วงจร Audio Amplifier.....	42
3.3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล MSP430.....	43
3.3.7 อาร์เอฟมอดูล (RF Module).....	50
3.4 การออกแบบการทดลอง.....	54
3.4.1 การทดลองวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเสียงของต้นแบบ ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	54
บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	56
4.1 การทดสอบวิเคราะห์ประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำในขณะไม่สวมใส่เครื่องรับ สัญญาณไร้สาย.....	58
4.2 การทดสอบวิเคราะห์ประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำในขณะสวมใส่เครื่องรับ สัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล.....	61



4.3 การทดสอบวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเสียงในขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณ ไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลกับเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริง ในโรงเรียน.....	65
4.4 การประเมินความพึงพอใจของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	69
บทที่ 5 บทสรุป.....	70
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
5.3 การดำเนินงานในอนาคต.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ.....	79
ภาคผนวก ข ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนา.....	80
ภาคผนวก ค โค้ดที่ใช้ในการทดสอบการทดลองและคำนวณค่าต่างๆ บนโปรแกรม MATLAB.....	81
ภาคผนวก ง ตารางแสดงค่า Degrees of freedom ของค่าสถิติ T-test.....	84
ภาคผนวก จ โค้ดที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัว MSP430.....	85
ภาคผนวก ฉ คำมาตรฐาน Phonetic balanced ที่ใช้ในการทดสอบ.....	109
ภาคผนวก ช คำศัพท์ที่ใช้.....	110
ภาคผนวก ซ แสดงวงจรที่ใช้ทั้งหมด.....	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงฮาร์โมนิคที่ 3 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 800 MHz ที่มีผลต่อการรบกวนต่อการส่งข้อมูลของบลูทูธที่ช่องสัญญาณต่างๆ.....	5
2	เปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของความผิดพลาดระหว่างโพทอคอลหนึ่งต่อหนึ่ง กับโพทอคอลแพร์สัญญาณ.....	30
3	เปรียบเทียบคุณสมบัติของชิปรับส่งสัญญาณไร้สาย CC1010 กับชิปรับส่งสัญญาณไร้สาย รุ่น CC2500.....	31
4	เปรียบเทียบคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่าง PIC16F877 กับ MSP430F169.....	36
5	ค่าข้อมูลใช้สำหรับการเข้ารหัสและถอดรหัสด้วย DPCM.....	46
6	แสดงค่าที่ใช้กำหนดจำนวนของตัวเบื้องต้น.....	51
7	แสดงค่าที่ใช้กำหนดโหมดการทำงานของ Sync-word.....	52
8	แสดงค่าที่ใช้กำหนด PATABLE.....	53
9	แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย ฟังจากระยะและที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)...	59
10	แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน.....	60
11	แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล ฟังจากระยะและที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์).....	63
12	แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน.....	64

ตารางที่		หน้า
13	แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลกับเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน ฟังจากระยะ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์).....	67
14	แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน โดยเทียบกันระหว่างสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลกับระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงอยู่ในโรงเรียน ที่ระยะ 5 เมตร และที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน.....	68
15	แสดงค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	69
16	แสดงสามารถของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	70

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงงานวิจัยการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง เมาส์, dongle และคีย์บอร์ด.....	6
2	แสดงการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบช่วยการได้ยิน.....	8
3	แสดงระบบไอแอล (IL: Induction loop).....	9
4	แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบไออาร์ (IR: Infrared).....	10
5	ระบบคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม (FM: Frequency modulation).....	11
6	แสดงการเปลี่ยนช่องสัญญาณ(Frequency hopping) และการเกิดการชน(Collision).....	14
7	เครื่องช่วยฟังแบบพกพากระเป๋.....	17
8	เครื่องช่วยฟังแบบทัดหลังใบหู.....	17
9	เครื่องช่วยฟังแบบใส่ในช่องหู.....	18
10	เครื่องช่วยฟังแบบการผ่าตัดหูชั้นในเทียม.....	19
11	เทคโนโลยีที่ใช้ทางฝั่งเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย.....	19
12	เทคโนโลยีที่ใช้ทางฝั่งเครื่องรับสัญญาณไร้สาย.....	20
13	สัญลักษณ์ของออปแอมป์.....	20
14	วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverter amplifier).....	21
15	Phonak EasyLink ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	24
16	SmartLink ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	24
17	Campus SX ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	25
18	Comfort Contego ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	25
19	fmGenie ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	26
20	แสดงการทำงานของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	27
21	แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ใช้ในการทดสอบแนวคิดการทำงานของ โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล.....	28
22	ผังการทำงานโพรโทคอลแบบหนึ่งต่อหนึ่ง(one-to-one protocol flowcharts).....	29
23	ผังการทำงานโพรโทคอลแพร่สัญญาณ(one-to-many protocol flowchart).....	29
24	แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.....	32
25	แสดงการตั้งค่าโหมดการทำงาน SPI ของ PIC.....	32

ภาพที่	ฐ หน้า
26	แสดงการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (TX: Transmitter)..... 34
27	แสดงการทำงานของเครื่องรับสัญญาณไร้สาย (RX: Receiver)..... 35
28	แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F169..... 36
29	แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ใช้ในการทดสอบจริง..... 37
30	แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ใช้ในการทดสอบจริงพร้อมกล่องบรรจุภัณฑ์..... 37
31	อุปกรณ์และส่วนประกอบของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สาย..... 38
32	แสดงวงจรไมโครโฟน (Microphone)..... 39
33	แสดงวงจรชาร์ตแบตเตอรี่ (Battery Chargers)..... 39
34	แสดงวงจรของอุปกรณ์ MAX1551..... 40
35	แสดงวงจร pre-amp และวงจร low-pass..... 40
36	แสดงวงจรของอุปกรณ์ MAX7427..... 41
37	แสดงวงจรลดแรงดัน (Low dropout voltage)..... 41
38	แสดงวงจรอุปกรณ์ MAX1806..... 42
39	แสดงวงจรอุปกรณ์ Audio Amplifier..... 42
40	แสดงการเก็บข้อมูลโดยใช้พีเพอร์ 2 ตัว..... 45
41	แสดง DPCM-encoder..... 46
42	แสดง DPCM-decode..... 46
43	แสดงการทำงานของ SPI ของ CC2500..... 48
44	แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง MSP430 กับ CC2500..... 49
45	แสดงการทำงานของ SPI ของ MSP430..... 50
46	รูปแบบแพ็คเกจของ CC2500..... 51
47	แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการ ตอบคำถามจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน..... 61

ภาพที่

- 48 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการ  
ตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน  
โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลเทียบระยะที่ 0  
เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน..... 64
- 49 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการ  
ตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน  
โดยเทียบกันระหว่างสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล  
กับระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงอยู่ในโรงเรียน ที่ระยะ 5 เมตร และที่เสียง  
สัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน..... 68



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เด็กหรือเยาวชนทุกคนล้วนแล้วแต่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประเทศชาติ ไม่ว่าจะเป็นเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินหรือเด็กที่มีการได้ยินปกติทั่วไปล้วนเป็นอนาคตของชาติทั้งสิ้น ดังนั้นการให้การศึกษาแก่เด็กเหล่านี้จึงเป็นสิ่งสำคัญลำดับต้นที่เด็กควรได้รับ เพื่อจะได้ใช้ความรู้ความสามารถมาพัฒนาศักยภาพของตนเองและสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสังคมได้ ด้วยเหตุนี้จึงไม่ควรมัวอะไรมาเป็นอุปสรรคต่อการศึกษาของเด็กโดยเฉพาะอย่างยิ่งความบกพร่องทางการได้ยิน การศึกษาจะเป็นพื้นฐานที่ช่วยให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยิน นั้นสามารถพัฒนาศักยภาพของตนเองเพื่อให้เทียบเท่าหรือดีกว่าเด็กทั่วไปได้ ทำให้สามารถอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุข ในอนาคตเด็กที่ได้รับการศึกษาจะสามารถนำความรู้จากการศึกษาไปประกอบอาชีพเลี้ยงตัวเองได้ ซึ่งทำให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินนั้นไม่รู้สึกรู้ว่าตนเองเป็นผู้ไร้ความรู้ความสามารถหรือรู้สึกว่าคุณค่าตนเองด้อยกว่าผู้อื่น เป็นผลให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินไม่คิดว่าตนเองเป็นภาระของสังคม และหากเด็กมีความบกพร่องทางการได้ยินนั้นได้รับการศึกษา ในอนาคตอาจมีการพัฒนาศักยภาพของตนเองจนเติบโตไปเป็นเสาหลักของครอบครัวทำให้สามารถดูแลคนในครอบครัวได้รวมไปถึงสามารถดูแลผู้ที่มีร่างกายปกติได้ อย่างไรก็ตามการเริ่มให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินนั้นได้รับการศึกษานั้น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยเหลือ อุปกรณ์เหล่านี้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่เด็กที่ความบกพร่องทางการได้ยินได้รับ เนื่องจากอุปกรณ์ช่วยเหลือเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินใช้นั้นมีราคาค่อนข้างสูงในตลาดตอนนี้

งานวิจัยนี้ได้สนใจเกี่ยวกับเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินเป็นพิเศษ เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินนั้นอาจเป็นได้ทั้งเด็กหูตึงและหูหนวก ถ้าเป็นเด็กที่หูหนวกนั้นจะหมายถึง เด็กที่สูญเสียการได้ยิน 90 เดซิเบลขึ้นไป ส่วนถ้าเป็นเด็กหูตึงจะหมายถึงเด็กที่สูญเสียการได้ยินระหว่าง 26-89 เดซิเบล ซึ่งเด็กหูตึงนั้นสามารถได้ยินจากเครื่องช่วยฟัง(Hearing Aid) ดังนั้นเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินจึงสามารถทำการเรียนการสอนโดยใช้วิธีสอนพูด(Oral Method) ได้ การทำการเรียนการสอนโดยวิธีสอนพูดนั้นครูจะไม่ใช้ภาษามือในการสื่อสารกับนักเรียนแต่จะใช้การพูดกับเด็กนักเรียนโดยเด็กเรียนแต่ละคนจะมีเครื่องช่วยฟัง ช่วยขยายเสียงที่ครูพูด ซึ่งทำให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินได้ใช้ชีวิตประจำวันได้เหมือนกับคนปกติทั่วไป เริ่มต้นการเรียนการสอนวิธีนี้ครูต้องทำการเตรียมเครื่องขยายเสียงให้มีเสียงพอเหมาะกะกับขนาดของห้องเรียน จำนวนของนักเรียน และ

สภาพแวดล้อมของห้องเรียน แต่ปัญหาที่พบส่วนมากคือเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินอาจจะฟังเสียงที่สื่อสารจากครูไม่ชัดเจนเนื่องจากสภาพแวดล้อมของห้องเรียน หรืออาจเกิดจากที่นั่งของนักเรียนแต่ละคนห่างจากลำโพงไม่เท่ากัน รวมไปถึงปัญหาที่เกิดจากคุณภาพของลำโพงที่ใช้ จากปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดความยากลำบากในการเข้าใจต่อการศึกษาของเด็กโดยทำให้เด็กมีพัฒนาการที่ช้าลง และอาจทำให้การเรียนการสอนโดยใช้วิธีสอนพูดนั้นไม่ได้ผล แต่หากในชั้นเรียนมีอุปกรณ์ไร้สายดิจิทัล โดยให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินได้สวมเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัล ซึ่งสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องช่วยฟังได้ โดยเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลจะทำการรับเสียงจากเครื่องส่งสัญญาณไร้สายที่มีครูเป็นผู้พูด ช่วยให้สามารถตัดปัญหาต่างๆที่เกิดระหว่างเสียงที่ครูพูดไปสู่เด็กที่บกพร่องทางการได้ยิน ลดปัญหาที่เกิดระยะห่างระหว่างผู้พูดกับผู้ฟังหรือปัญหาที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนทำให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินนั้นมีพัฒนาการในการเรียนรู้ทางด้านการฟังได้รวดเร็วและดีขึ้น และอีกทั้งเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลแต่ละตัวสามารถปรับระดับเสียงให้พอเหมาะกับแต่เด็กแต่ละคน อย่างไรก็ตามเรื่องราคาของอุปกรณ์สำหรับเด็กที่บกพร่องทางการได้ยินที่สูงก็ยังคงเป็นปัญหาที่ทำให้เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินนั้นไม่สามารถรับการเรียนการสอนด้วยวิธีนี้ทุกคน

ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่เด็กที่บกพร่องทางการได้ยินให้มากที่สุด ในชั้นเรียนจึงควรมีอุปกรณ์ ไร้สายดิจิทัล ซึ่งจะเป็นเครื่องช่วยในการสื่อสารจากครูไปสู่เด็กนักเรียน และได้มีการยอมรับถึงประโยชน์ของอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างกว้างขวาง แต่ทั้งนี้อุปกรณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศจึงทำให้มีราคาสูง(เครื่องรับสัญญาณไร้สาย 30,000 บาท ต่อตัวซึ่งยังเป็นราคาไม่ได้รวมค่านำเข้า)[1] ทำให้หลายๆโรงเรียนมีความยากลำบากในการจัดซื้อ น่าจะมีการวิจัยพัฒนาอุปกรณ์ไร้สายดิจิทัล ที่สามารถผลิตได้ในประเทศ ให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งให้มีราคาที่ถูกลงเพื่อให้สามารถดำเนินการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำงานพัฒนาร่วมกับ ครูและนักเรียนจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกสมโภช ในพระราชูปถัมภ์ของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทำการทดลองใช้อุปกรณ์ไร้สายดิจิทัลจากงานวิจัยนี้ในห้องเรียน โดยโรงเรียนนี้มีความเหมาะสมเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นโรงเรียนที่สอนเน้นการให้นักเรียนสามารถใช้ภาษาพูดและเขียน โดยไม่ใช้ภาษามือ นักเรียนทุกคนจะต้องใส่เครื่องช่วยฟัง ปัจจุบันโรงเรียนมีนักเรียนที่พิการทางหูอยู่ประมาณ 180 คน



## 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[2] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่าง โพรโทคอลบลูทูธ (Bluetooth), โพรโทคอล ZigBee และโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Proprietary Digital Wireless protocol) โดยใช้ชิปของบริษัท Nordic Semiconductor เป็นรุ่น nRF24E1 มาใช้ในการส่งข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ข้อมูลการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ข้อมูลระดับความดัน เป็นต้น โดยเบื้องต้นได้ทำการส่งข้อมูลจากเครื่องวัดออกซิเจนทำการสุ่มข้อมูล 300 samples/s ทำการวัดทุกๆ 3.3 ms โพรโทคอลบลูทูธต้องการที่จะทำการประสานเวลากันระหว่างอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมโดยทำการส่งแพ็คเกจทุก 675 us (1,600 packet/s) ซึ่งจะทำให้เพิ่มดีวตีไซเคิล (Duty cycle) แต่ถ้าหากไม่มีการประสานเวลากันระหว่างอุปกรณ์บลูทูธจะต้องทำการค้นหาอุปกรณ์ใหม่โดยใช้เวลาประมาณ 3 วินาที ส่วนโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลนั้นทำการประสานเวลากันระหว่างอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมโดยทำการส่ง 30 packets/s แสดงได้ว่าโพรโทคอลบลูทูธนั้นใช้พลังงานมากกว่าโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลต่อมาได้ทำการวัดการใช้พลังงานของระบบโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้พลังงานทั้งหมดประมาณ 0.4 mA ส่วนโพรโทคอล ZigBee ใช้พลังงานทั้งหมดประมาณ 1.4 มิลลิแอมป์

จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่าหากใช้โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Proprietary Digital Wireless protocol) ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาระบบให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ ได้และทำให้ได้ประสิทธิภาพในด้านที่ผู้พัฒนานั้นต้องการ โดยมีการพลังงานที่น้อยกว่าทั้งโพรโทคอลบลูทูธและ โพรโทคอล ZigBee

[3] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบตรวจทางสรีรภาพ (Physiological monitoring System) โดยทำการส่งและวิเคราะห์คลื่นสัญญาณจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งสามารถทำการแจ้งเตือนไปยังส่วนควบคุมส่วนกลางได้ ทำการทดสอบและวัดผลของสัญญาณคลื่นหัวใจ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมการทำงานแล้วแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วมีเครื่องรับส่งสัญญาณไร้สาย ใช้ชิปของบริษัท Texas Instruments (TI) เป็นรุ่น CC2500 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไร้สายสัญญาณความถี่วิทยุที่ช่วง 2.4 GHz ระบบนี้พบว่าการส่งข้อมูลที่ระยะ 0 ถึง 20 เมตร นั้นไม่มีอัตราความผิดพลาดของแพ็คเกจ (PER: Packet Error Rate) เกิดขึ้นเลยและใช้แหล่งจ่ายไฟ 3 โวลต์ กินกระแสไฟสูงสุดเท่ากับ 26 มิลลิแอมป์ โดยใช้การส่งใช้การมอดูเลชันแบบทูเอฟเอสเค (2-FSK: Binary frequency shift keying) มีอัตราการส่งข้อมูล 250 kbps ส่งด้วยกำลังส่ง 0 dBm

[4] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สาย โดยมีเซนเซอร์เป็นตัววัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแล้วส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัส MSP430 ทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยความถี่ 500 ครั้งต่อวินาที มีความละเอียดที่ระดับ 12 บิต และใช้วงจรเครื่องรับสัญญาณไร้สายส่งข้อมูลใช้ชิปของบริษัท Texas Instruments(TI) เป็นรุ่น CC2500 ที่รับส่งคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz ไปยังเกตเวย์ โดยมีระยะห่างประมาณ 10 เมตร โดยจำนวนตัวอย่างของสัญญาณจะถูกเก็บขึ้นมา 1000 ตัวอย่างต่อการร้องขอจากเกตเวย์ 1 ครั้ง

จากหลายงานวิจัยที่ศึกษาพบว่ามีการใช้ชิปของบริษัท Texas Instruments(TI) เป็นรุ่น CC2500 ที่รับส่งคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เป็นเครื่องรับส่งสัญญาณไร้สาย โดยสามารถทำงานได้ที่ระยะทางไม่น้อยกว่า 10 เมตร[3][4] และใช้กระแสไฟสูงสุด 26 มิลลิแอมป์[3]

[5] ได้นำเสนอการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายต้นแบบในชั้นเรียนสำหรับเด็กพิการทางหู ใช้โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล(Proprietary Digital Wireless protocol) โดยใช้ชิปของบริษัท Texas Instruments(TI) เป็นรุ่น CC1010 ส่งที่คลื่นความถี่วิทยุ 915 MHz มีอัตราการส่งของข้อมูล(Data rate) อยู่ที่ 76.8 kbps และความถี่ในการสุ่มข้อมูล(Sampling frequency) อยู่ที่ 8kHz ความละเอียด 8 บิต ทำการทดสอบคุณภาพโดยการฟังพบว่าเสียงที่ได้ยินจากเอ็มพีสาม(MP3: MPEG-1 Audio Layer 3) นั้นมีเสียงรบกวนอยู่บ้าง และทำการทดสอบเพื่อหาความผิดพลาดในการส่งข้อมูลโดยทำการส่งข้อมูลสลับระหว่างค่า 0 กับ ค่า 1 พบว่ามีอัตราส่วนของความผิดพลาด(BER: Bit error ratio) มีอยู่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะการส่งข้อมูลที่ 10 เมตร

จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่าได้มีการใช้โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล(Proprietary Digital Wireless protocol) และสามารถนำมาเพื่อใช้ส่งสัญญาณเสียงได้จริง และการส่งสัญญาณนั้นก็เป็นแบบการแพร่สัญญาณ(Broadcasting) (ครูหนึ่งคนสวมใส่เครื่องส่งสัญญาณ นักเรียนหลายคนสวมตัวรับสัญญาณ) โดยหากเปลี่ยนไปใช้การส่งข้อมูลที่ 2.4 GHz และที่อัตราการส่งรับข้อมูลที่มากขึ้นเพื่อสามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพเสียงโดยการเพิ่มส่วนของ FEC: Forward error correction coding

[6] ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงความน่าจะเป็นของการสูญเสียแพ็คเก็จข้อมูลในการสื่อสารของบลูทูธ จากผลของพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่มาจากฮาร์โมนิคที่ 3 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 800 MHz ( $800 \text{ MHz} * 3$  ประมาณ 2.45 GHz) ซึ่งบลูทูธเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณความถี่วิทยุที่ช่วง 2.4 GHz การมอดูเลชันแบบจีเอฟเอสเค(GFSK modulation) ซึ่งตรงกับงานวิจัยนี้ที่ใช้ อุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณความถี่ช่วงเดียวกับบลูทูธคือช่วง 2.4 GHz โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล(Proprietary Digital Wireless protocol) แบ่งช่องสัญญาณได้ 83

ช่องสัญญาณ[2] โพรโทคอลบลูทูธมีช่องสัญญาณ 79 ช่องสัญญาณ แสดงฮาร์โมนิกที่ 3 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 800 MHz ที่มีผลต่อการรบกวนต่อการส่งข้อมูลของบลูทูธที่ช่องสัญญาณต่างๆ ดังตารางที่ 1 โดยสามารถรบกวนการสื่อสารของบลูทูธได้ ในช่วงเวลาที่มีการทำงานของบลูทูธ(Active time) ผลของอัตราการผลิตของเฟรม(FER: Frame error rate) ของแต่ละแบบจำลอง (Model) ในตารางจะมีค่าประมาณ 0.013

ตารางที่ 1 แสดงฮาร์โมนิกที่ 3 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 800 MHz ที่มีผลต่อการรบกวนต่อการส่งข้อมูลของบลูทูธที่ช่องสัญญาณต่างๆ[6]

Model	800 TX Mode (MHz)	3 <sup>rd</sup> Harmonic (GHz)	Interference on the channel
A	806.0125	2.4180	14-15
B	806.0625	2.4182	14-15
C	813.5125	2.4405	36-37
D	813.5625	2.4407	36-37
E	820.9875	2.4629	59-60
F	824.9875	2.4749	71-72

จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่าการส่งสัญญาณที่ 2.4 GHz ด้วยตัวบลูทูธซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์ที่ส่งที่สัญญาณ 2.4 GHz เหมือนกัน แต่หากใช้โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล(Proprietary Digital Wireless protocol) นั้นถูกรบกวนได้จากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 800 MHz สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้การเปลี่ยนช่องสัญญาณ(Frequency hopping)[7]

[7] ได้นำเสนอการกันการชนกันของรับส่งข้อมูลไร้สาย ที่ความถี่ 2.4 GHz เนื่องจากที่ความถี่นี้มีการใช้งานกันกว้างขวางทั้งทางด้านอุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการแพทย์ ทำให้ในบางครั้งอาจมีการใช้งานอุปกรณ์ชนิดอื่นพร้อมกันหลายอุปกรณ์ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของการเลือกช่องสัญญาณได้ ดังนั้นได้มีการทำเสนอการเปลี่ยนช่องสัญญาณ(Frequency hopping) โดยให้มีการทำงานของอุปกรณ์ ที่ประกอบด้วย อุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Dongle), เมาส์ และคีย์บอร์ด แต่ละอุปกรณ์จะใช้ชิปของบริษัท Nordic Semiconductor เป็นรุ่น nRF24E1 เป็นตัวโดยส่งข้อมูลไร้สาย หลักการทำงานเริ่มต้นโดยเมาส์ทำการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ถ้าหากไม่ได้อยู่ในช่องทำงานเดียวเมาส์จะทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณไปเรื่อยๆจนพบกับช่องสัญญาณที่อุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์อยู่ แล้วอุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จะทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณไปเรื่อยๆจนกว่าเมาส์จะหยุดการทำงาน

ส่วนคีย์บอร์ดนั้นเวลาที่ส่งข้อมูลไป dongle นั้นหากไม่ได้อยู่ในช่องสัญญาณเดียวกับอุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ก็ให้ทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณไปเรื่อยๆ



รูปที่ 1 แสดงงานวิจัยการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง เมาส์, dongle และคีย์บอร์ด[7]

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อได้ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยในการฟัง โดยใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลในห้องเรียนสำหรับผู้ที่มีบกพร่องทางการได้ยิน ที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าอุปกรณ์ที่ใช้จริงในชั้นเรียน โดยมีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่าหรือเทียบเท่า มีราคาที่ถูกกว่า และนำไปทดลองใช้จริงในโรงเรียน โดยมีครู และนักเรียนเป็นผู้ทดลองใช้ นำผลทดสอบของผู้ใช้มาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้อยู่จริงในชั้นเรียนจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกสมโภช ในพระราชูปถัมภ์ของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ระบบที่จะพัฒนามจะมีคุณสมบัติดังนี้

1. สื่อสารทางเดียว แบบแพร่สัญญาณ (one-to-many) (ครู ถึง นักเรียน)
2. เลือกช่องสื่อสารได้ไม่น้อยกว่า 40 ช่อง
3. ระยะการทำงานได้ถึง 10 เมตร
4. สื่อสารกับเครื่องช่วยฟังผ่านลูปคัลลิ่งคอ (Neck loop)
5. กินไฟต่ำกว่า 450 มิลลิแอมป์ (หรือใช้งานได้นานกว่า 4 ชม)
6. มีปุ่มปรับ ความดังที่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย
7. รองรับสัญญาณได้ถึง 8 KHz และความดังได้ถึง 125 dB SPL (จำกัดได้)
8. สัญญาณไฟบอกเมื่อออกนอกระยะ

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยในการฟัง โดยใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลในห้องเรียนสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยิน ที่มีคุณภาพเสียงและประสิทธิภาพเทียบเท่ากับหรือดีกว่าอุปกรณ์ที่ขายในตลาด และออกแบบให้เหมาะสมกับเด็กนักเรียนที่ใส่เครื่องช่วยฟังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเด็กนักเรียนในการเรียนในห้องเรียน โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ จึงทำให้มีราคาค่อนข้างสูง (เครื่องรับสัญญาณไร้สาย 30,000 บาท ต่อตัวซึ่งยังเป็นราคาไม่ได้รวมค่านำเข้า) [12] ซึ่งได้นำอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศผลิตเครื่องต้นแบบ และทำให้ราคาที่ใช้มันถูกลง

### 1.6 วิธีดำเนินการทำวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อของงานวิจัย
2. ศึกษาลักษณะการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ใช้ และศึกษาการประยุกต์ใช้
3. ออกแบบโพรโทคอล (Protocol)
4. พัฒนาโปรแกรมเพื่อให้ใช้แบบการแพร่สัญญาณได้ (Broadcasting) ได้
5. พัฒนาประสิทธิภาพและคุณภาพของข้อมูลเสียง
6. ทดสอบและตรวจสอบประสิทธิภาพ
7. ปรับปรุง
8. สรุปผลการวิจัย และตีพิมพ์ผลการวิจัย
9. เรียบเรียง และจัดทำวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

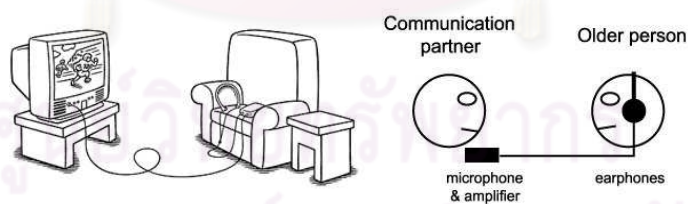
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบช่วยการได้ยิน (ALSs: Assistive listening systems) [8]

อุปกรณ์ไร้สายดิจิทัลนั้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบช่วยการได้ยิน(ALSs: Assistive listening systems) โดยออกแบบมาเพื่อให้สามารถพัฒนาการสื่อสารสำหรับผู้ที่มีบกพร่องทางการได้ยินให้ดีขึ้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถเข้าใจในงานวิจัยนี้ จึงควรเริ่มรู้จักกับระบบช่วยการได้ยิน

ในระบบช่วยการได้ยินได้จะมี อุปกรณ์ช่วยในการได้ยิน(ALDs: Assistive listening devices) เป็นอุปกรณ์เพื่อช่วยในการฟังในสถานการณ์ที่ยากลำบาก โดยไม่จำเป็นว่าผู้ที่สวมใส่ อุปกรณ์นั้นจะเป็นผู้ที่มีบกพร่องทางการได้ยิน ซึ่งอุปกรณ์ช่วยการได้ยินอาจจะให้ผลการได้ยินที่ดีกว่าการได้ยินของผู้ที่ไม่มีบกพร่องทางการได้ยินที่ไม่ได้สวมใส่อุปกรณ์นี้ อุปกรณ์ช่วยการได้ยินสามารถช่วยให้โฟกัสเสียงที่ต้องการฟังได้ ในกรณีที่ผู้พูดอยู่ห่างกับผู้ฟัง เช่น ในห้องเรียนเสียงจากอาจารย์ ในสถานการณ์ที่โรงเรียน ที่ทำงาน ในห้องประชุม และที่บ้าน ช่วยลดเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม เช่น จากเสียงเพลง เสียงคนพูดคุยกัน หรือเสียงยานพาหนะ ทำให้การเข้าใจการสื่อสารจากการฟังมากกว่าการที่ผู้ฟังนั้นพยายามคาดเดาว่าผู้พูดนั้นกำลังพูดอะไร รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการใช้งานของระบบอุปกรณ์ช่วยการฟังโดยแสดงการเชื่อมต่อเข้ากับโทรศัพท์และการสนทนาระหว่างผู้พูดกับผู้ฟัง



รูปที่ 2 แสดงการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบช่วยการได้ยิน[9]

#### ชนิดของระบบช่วยการได้ยิน (ALSs: Assistive listening systems)

- ระบบไอแอล (IL: Induction loop)
- ระบบไออาร์ (IR: Infrared)
- ระบบคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม (FM: Frequency modulation)
- ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Digital Wireless System)

### 2.1.1 ระบบไอแอล (IL: Induction loop)

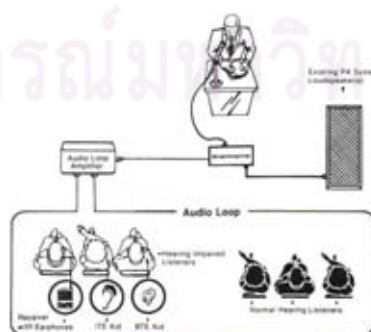
อุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบเป็นวงขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้า เครื่องจะขยายเสียงให้ดังแล้วป้อนส่งไปยังวงขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้าโดยวงขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้าถูกติดตั้งไว้รอบห้องเพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic signal) ไปยังเครื่องช่วยฟัง(Hearing aid) หรือการผ่าตัดหูชั้นในเทียม(Cochlear implant) ที่มีขดลวดโทรศัพท์(Telephone coil) ซึ่งตัวขดลวดโทรศัพท์นั้นจะทำหน้าที่ดักรับเสียงในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวงขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้า หากมีผู้ที่ไม่มีความบกพร่องทางการได้ยินอยู่ในบริเวณวงขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งไม่ได้ทำการสวมใส่เครื่องช่วยฟังอยู่นั้นก็สามารถฟังเสียงได้จากลำโพงได้เช่นกัน แสดงระบบไอแอลดังรูปที่ 3

#### ข้อดีของระบบไอแอล

- ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องรับสัญญาณ(Receiver) สามารถที่จะส่งข้อมูลได้โดยตรงจากผู้พูดไปเครื่องช่วยฟังหรือการผ่าตัดหูชั้นในเทียม ที่มีอุปกรณ์ขดลวดโทรศัพท์อยู่ในตัว

#### ข้อด้อยของระบบไอแอล

- มีข้อจำกัดเกี่ยวกับระบบนี้โดยผู้ฟังจำเป็นต้องอยู่ในลูบคือต้องอยู่ในวงที่มีสายไฟล้อมรอบสถานที่นั้นเพื่อรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งมายังเครื่องช่วยฟังหรือการผ่าตัดหูชั้นในเทียมที่มีขดลวดโทรศัพท์(Telephone coil)
- ยากในการติดตั้งระบบนี้เนื่องจากต้องทำการนำสายไฟมาล้อมรอบสถานที่ที่ต้องการใช้ระบบนี้
- ค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งระบบนี้และต้องคำนึงถึงสถานที่ว่าสะดวกที่จะติดตั้งระบบนี้หรือไม่หากใช้สถานที่ไม่บ่อยอาจทำให้ไม่คุ้มที่ใช้ระบบนี้
- หากนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ผู้ฟังคือนักเรียนซึ่งนักเรียนแต่ละคนไม่สามารถปรับระดับความดังให้เหมาะสมในแต่ละคนได้
- ผู้ฟังสามารถเลือกฟังได้จากผู้พูดได้เพียงแหล่งเดียวในหนึ่งลูบ



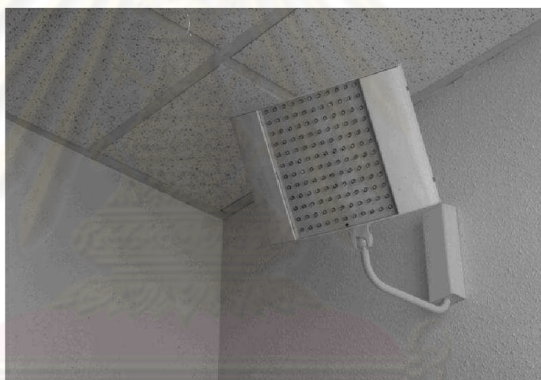
รูปที่ 3 แสดงระบบไอแอล (IL: Induction loop)[10]

### 2.1.2 ระบบอินฟราเรด (IR: Infrared)

อินฟราเรดเป็นคลื่นวิทยุแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและแสงมีความถี่ในช่วง 95 kHz ในการใช้แสงอินฟราเรดสำหรับการเชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลในระยะทางสั้นๆ ระหว่างอุปกรณ์ โดยใช้แสงเป็นสื่อในการเชื่อมต่อข้อมูลและอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อจะสามารถเชื่อมต่อกันได้ก็ต่อเมื่อมีลำแสงส่องอยู่ในแนวเดียวกัน รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบอินฟราเรด

#### ข้อจำกัดของอินฟราเรดใช้เป็นสื่อการส่ง

- ระยะทางในการเชื่อมต่อข้อมูลนั้นมีระยะน้อยมาก ซึ่งไม่เกิน 1 เมตร ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้จริงในห้องเรียนที่มีระยะการส่งข้อมูลที่มากได้
- เป็นการยากจะทำส่งข้อมูลเป็นแบบแบบการแพร่สัญญาณ(Broadcasting) เนื่องจากในการเชื่อมต่อของอินฟราเรดนั้นจะเชื่อมต่อข้อมูลกันได้ก็ต่อเมื่อมีลำแสงส่องอยู่ในแนวเดียวกับอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อด้วย



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบอินฟราเรด (IR: Infrared)

### 2.1.3 ระบบคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม (FM: Frequency modulation)

แก้ไขปัญหาด้านได้ยินไม่ชัดเนื่องจากระยะห่างจากผู้พูด และอาจจะได้ยินเสียงน้อยลงซึ่งจะจากเสียงรบกวน จากเสียงคนอื่นพูดแทรกขึ้นมา ระบบเอฟเอ็ม จะประกอบด้วย

- 1) เครื่องส่งสัญญาณ (Transmitter)
- 2) เครื่องรับสัญญาณ (Receiver)

ผู้พูดจะมีเครื่องส่งสัญญาณจะประกอบด้วยไมโครโฟนและจะอยู่ใกล้กับแหล่งที่เกิดเสียงจะนำเสียงที่ได้ส่งไปยังผู้ฟังที่มีเครื่องรับสัญญาณ และเครื่องรับสัญญาณสามารถเสียบอยู่กับหูฟังชนิดคล้องคอ(Neck loop) ได้โดยจะทำการส่งเสียงไปให้กับผู้ที่สวมเครื่องช่วยฟัง(Hearing aid) หรือผู้ที่ทำการผ่าตัดหูชั้นในเทียม(Cochlear implants) ที่มีอุปกรณ์ขดลวดโทรศัพท์(Telephone coil) อยู่ในตัว ระบบนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องช่วยฟังโดยตรงได้และหากไม่มีเครื่องช่วยฟัง



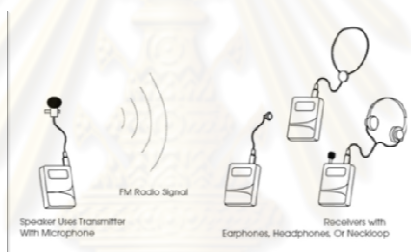
จะมีตัวหูฟังเสียบเข้ากับเครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุโดยตรง(DAI: Direct Audio Input) แสดงดังรูปที่ 5

### ข้อดีของระบบคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม

- ไม่ยุ่งยากในการติดตั้ง พกพาสะดวก
- มีช่องการส่งข้อมูลหลายช่อง ทำให้ระบบสามารถส่งข้อมูลได้พร้อมกันหลายห้องที่ติดกัน
- มีระยะการส่งข้อมูลได้มากถึง 30 เมตร
- หากผู้ฟังนั้นต้องการฟังผู้พูดจากแหล่งอื่น ผู้ฟังสามารถฟังได้โดยเปลี่ยนช่องสัญญาณให้ตรงกับช่องสัญญาณที่ผู้พูดคนนั้นกำลังพูด

### ข้อด้อยของระบบคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม

- ต้องมีเครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุจึงจะสามารถรับข้อมูลจากเครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุได้



รูปที่ 5 ระบบคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม (FM: Frequency modulation)

#### 2.1.4 ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Digital Wireless System)

การสื่อสารข้อมูลนั้นมีการใช้โปรโตคอล(Protocol) ในการสื่อสาร การมอดูเลชันเป็นส่วนหนึ่งของโปรโตคอลเพื่อจะทำการสื่อสารสามารถใช้สัญญาณที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดใดชนิดหนึ่งในการนำพาข้อมูลจากภาคส่งไปยังภาครับได้ โดยภาคส่งต้องทำการมอดูเลชัน (Modulation) สัญญาณกับข้อมูลที่ต้องการส่ง และทางภาครับต้องทำการดีมอดูเลชัน (Demodulation) กลับเพื่อสามารถค้นกรองข้อมูลออกมาจากสัญญาณที่ภาคส่งนั้นส่งมา

ดังนั้นการมอดูเลชัน(Modulation) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร โดยให้ลักษณะต่างๆ ของสัญญาณเป็นตัวแทนของข้อมูล เพื่อความเข้าใจที่ตรงกันระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยการมอดูเลชันได้แบ่งไว้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1) การมอดูเลชันแบบอะเนลล็อก (Analog Modulation) คือการมอดูเลชันโดยที่ข้อมูลเป็นแบบต่อเนื่อง(Continuous) ไม่มีการแบ่งเป็นระดับไว้ มีการแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- 1.1) การมอดูเลชันแอมพลิจูด (AM: Amplitude Modulation) คือการเปลี่ยนแอมพลิจูดของสัญญาณให้มีขนาดต่างๆกันเพื่อใช้แทนข้อมูล
- 1.2) การมอดูเลชันความถี่ (FM: Frequency Modulation) คือการใช้สัญญาณที่มีความถี่ต่างกันเพื่อใช้แทนข้อมูล
- 1.3) การมอดูเลชันเฟส (PM: Phase Modulation) คือการใช้สัญญาณเดียวกันแต่ถูกส่งออกไปในจังหวะที่ต่างกัน คือส่งก่อนหรือส่งหลังเพื่อใช้แทนข้อมูล

2) การมอดูเลชันแบบดิจิทัล (Digital Modulation) คือการมอดูเลชันโดยที่ข้อมูลถูกแบ่งเอาไว้เป็นระดับต่างๆ อย่างชัดเจน โดยระดับที่แบ่งไว้จะต้องมีจำนวนที่แน่นอน (Discrete) มีการแบ่งย่อยออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

- 2.1) ออน-ออฟคีย์อิง (OOK: On-Off Keying) คือการใช้ช่วงเวลาการเปิดปิดการส่งสัญญาณที่แตกต่างกันในการแทนข้อมูล โดยใช้หลักการเดียวกับการส่งรหัสมอส (Mourse Code)
- 2.2) เฟสชิฟท์คีย์อิง (PSK: Phase shift keying) คือการใช้รูปแบบของสัญญาณที่มีแอมพลิจูด และความถี่เดียวกัน แต่ส่งออกมาจังหวะต่างๆ กัน ในการแทนข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง
- 2.3) ฟรีควนซ์ชิฟท์คีย์อิง (FSK: Frequency shift keying) คือการใช้สัญญาณที่มีความถี่ต่างกัน ในการแทนข้อมูลแบบต่างๆ
- 2.4) แอมพลิจูดชิฟท์คีย์อิง (ASK: Amplitude shift keying) คือการใช้สัญญาณแบบเดียวกัน แต่มีแอมพลิจูดต่างกันออกไป

การมอดูเลชันแบบดิจิทัลนั้น มีโปรโตคอลที่นิยมใช้ได้แก่

- โปรโตคอลบลูทูธ
- โปรโตคอล ZigBee
- โปรโตคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

#### 2.1.4.1 โปรโตคอลบลูทูธ

บลูทูธ(Bluetooth)[11] ใช้การมอดูเลชันแบบดิจิทัลโดยวิธี GFSK: Gaussian Frequency Shift Keying เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อไร้สายของอุปกรณ์เคลื่อนที่ระยะสั้น ด้วยคลื่นวิทยุ ส่วนใหญ่มักพบในอุปกรณ์พีดีเอ(PDA: Personal Digital Assistants), พ็อกเก็ตพีซี(Pocket PC), โทรศัพท์มือถือ, คีย์บอร์ด และอุปกรณ์อื่นๆ

บลูทูธใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4 GHz อุปกรณ์ที่ใช้ในย่านนี้มีมากมายรวมทั้งเครื่องไมโครเวฟ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงจากการรบกวนจากอุปกรณ์อื่นๆ โปรโตคอล

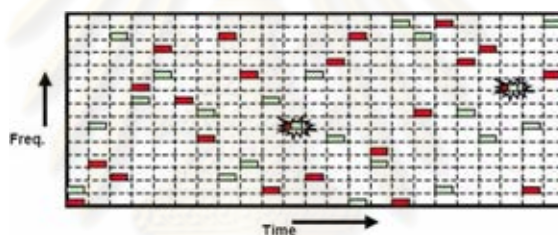
บลูทูธ(Bluetooth protocol) ได้ช่องแบ่งช่องสัญญาณไว้มากถึง 79 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 1 MHz และมีการเปลี่ยนช่องสัญญาณ(FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) ถึง 1,600 ครั้งต่อวินาที ระยะการส่งข้อมูลของบลูทูธนั้นขึ้นอยู่กับคลาส(Class) ของอุปกรณ์ โดยที่คลาส3ระยะการส่งข้อมูลประมาณ 1 เมตร คลาส2ระยะการส่งข้อมูลประมาณ 10 เมตร และคลาส1ระยะการส่งข้อมูลสามารถส่งได้ไกลถึง 100 เมตร ส่วนอัตราการส่งข้อมูล(Data rate) ในเวอร์ชัน 1.2 ส่งข้อมูลที่อัตราการส่ง 723.1 Mbps ส่วนเวอร์ชันต่อมาคือ เวอร์ชัน 2.0 + (EDR: Enhanced Data Rate) สามารถส่งข้อมูลได้ที่อัตราการส่ง 2.1 Mbps

### ข้อจำกัดของโปรโตคอลบลูทูธ ใช้เป็นสื่อการส่ง

- พิคเน็ต (Piconet)[12] ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ตัวขึ้นไปสามารถเชื่อมต่อระหว่างกัน อุปกรณ์ตัวที่เริ่มต้นการเชื่อมต่อ เรียกว่าโหนดแม่(Master) และอุปกรณ์อื่นๆบนเครือข่ายเรียกโหนดลูก(Slave) โดยโหนดแม่ 1 ตัวสามารถเชื่อมต่อกับโหนดลูกได้แค่ 7 ตัวเท่านั้น
- อัตราการส่งข้อมูลโดยบลูทูธ เวอร์ชัน 1.x เมื่อส่งข้อมูลแบบพิคเน็ตที่มีโหนดลูก 7 ตัว จะมีความเร็วประมาณ 100 kbps[13] (เนื่องจากโหนดแม่จะส่งสัญญาณให้โหนดลูกได้ที่ละตัว ถ้ามีโหนดแม่มากก็จะส่งข้อมูลได้น้อยลง)
- มีการศึกษาพบปัญหาการรบกวนกันของพิคเน็ตมากกว่าสามพิคเน็ตในบริเวณเดียวกัน[14] ซึ่งในระบบที่จะพัฒนาอาจจะมีพิคเน็ตถึง 9 พิคเน็ต (ต้องการที่จะใช้อุปกรณ์พร้อมกันถึงสามห้องและแต่ละห้องต้องการที่มีโหนดลูกประมาณ 20 ตัว) เมื่อรวมระบบจากห้องเรียนข้างเคียง จึงอาจพบปัญหานี้ได้
- อย่างไรก็ตาม[15] พบว่าเมื่อมีจำนวน โหนดลูกในพิคเน็ตมากขึ้นโอกาสที่โหนดแม่จะค้นหาโหนดลูกไม่เจอจะสูงขึ้นด้วยซึ่งข้อนี้อาจจะสร้างปัญหาการใช้งานที่สำคัญของระบบที่จะพัฒนา
- เวลาที่อุปกรณ์บลูทูธใช้ในการค้นหาอุปกรณ์อื่น(Discovery time) เพื่อต้องการที่จะทำการเชื่อมต่อ โดยสิ่งนี้เป็นข้อบกพร่องของบลูทูธซึ่งได้ทำการทดสอบโดยใช้ บลูทูธ เวอร์ชัน 1.x เวลาที่ใช้ในการค้นหาไม่ต่ำกว่า 16 วินาที [16]
- Peterson[15] ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการค้นหาโหนดต่างๆเพื่อสร้างพิคเน็ตและพบว่าจะมีเวลาหน่วง (Delay time) ในการหาโหนดลูก

จำนวนหนึ่ง โดยในการทดสอบพบว่าไม่สามารถที่จะค้นพบโหนดทั้งหมดภายในบริเวณได้ในการทำงานในครั้งแรก ซึ่งความเสี่ยงที่เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนด

- ทำให้อัตราการส่งข้อมูลลดลง เนื่องจากโหนดแม่ทำการส่งข้อมูลแบบการแพร่สัญญาณ(Broadcasting) นั้นจริงๆแล้วจะเป็นการทำแบบหนึ่งต่อหนึ่ง(Unicast) คือโหนดแม่จะส่งข้อมูลให้โหนดลูกได้ที่ละตัวเท่านั้น[13] เพราะฉะนั้นเมื่อมีโหนดลูกหลายตัวก็จะส่งข้อมูลเดียวกันหลายๆครั้งเท่ากับจำนวนโหนดลูก
- มีงานวิจัยแนะนำว่าไม่ควรส่งทำการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์พร้อมกันหลายพีโคเน็ตเพราะจะทำให้อุปกรณ์แต่ละตัวนั้นรบกวนกันและอาจเกิดการชนกัน (Collision) เนื่องจากบลูทูธนั้นมีการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Frequency hopping) ถึง 1,600 ครั้งต่อวินาที[14] ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนช่องสัญญาณ(Frequency hopping) และการเกิดการชน(Collision)[17]

#### 2.1.4.2 โปรโตคอล ZigBee [18]

ZigBee ใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สำหรับ(WPANs: Wireless Personal Area Network) ใช้การมอดูเลชันแบบดิจิทัลโดยวิธี OQPSK: Offset Quadrature Phase-shift keying สามารถใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ 915 MHz, 868 MHz และ 2.4 GHz (มี 16 ช่องสัญญาณ)โดยโปรโตคอลZigBee ถูกออกแบบมาให้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำประหยัดพลังงานซึ่งใช้แบตเตอรี่ได้เป็นปี และมีระยะทางในการส่งข้อมูล 10 ถึง 75 เมตร

##### ข้อจำกัดของโปรโตคอลZigBee ใช้เป็นสื่อการส่ง

- อัตราการส่งข้อมูลนั้นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับโปรโตคอลออกแบบเองโดยระบบเอฟเอ็มและบลูทูธ เพียงแค่ 250 kbps เท่านั้นจึงทำให้ไม่สามารถที่จะปรับปรุงเสียงโดยใช้เทคนิคอื่นเพิ่มไม่ได้จึงอาจไม่ได้เสียงที่คุณภาพที่ดีเท่าที่ต้องการ

- มีช่องสัญญาณให้ส่งเพียงแค่ 16 ช่องสัญญาณ
- เหมาะใช้ในงานตรวจจับสัญญาณที่มีขนาดข้อมูลไม่มาก

### 2.1.4.3 โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Proprietary Digital Wireless protocol)

เป็นการออกแบบโพรโทคอล(Protocol) ในการส่งรับข้อมูลเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณไร้สายกับเครื่องรับสัญญาณไร้สาย ด้วยความถี่คลื่นวิทยุ โดยโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลนั้นสามารถนำมาใช้ในการส่งข้อมูลระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลได้จริง [2][3][4][5][7]

#### ข้อดีของโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

- สามารถทำงานเหมาะกับการใช้งานตามที่คุณผลิตนั้นต้องการ เช่น ถ้าต้องการที่จะออกแบบให้มีการส่งรับของข้อมูลที่มีความปลอดภัยสูงก็ให้มีการเข้ารหัสและถอดรหัสโดยใช้วิธีการที่ซับซ้อน หรืออาจจะต้องการออกแบบการส่งรับข้อมูลให้มีคุณภาพสูงให้ออกแบบให้มีการส่งข้อมูลแบบหนึ่งต่อหนึ่งแล้วทำการตรวจสอบข้อมูลหากมีความผิดพลาดก็ให้ส่งข้อมูลชุดเดิมกลับไปได้ตลอดจนให้มีส่งรับข้อมูลแบบการแพร่สัญญาณ(Broadcasting) เพื่อให้เหมาะสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้ออกแบบให้มีเครื่องรับสัญญาณหลายตัว(นักเรียนหลายคนสวมใส่) และสามารถออกแบบให้มีการใช้พลังงานต่ำเพื่อยืดการใช้งานของแบตเตอรี่

#### ข้อด้อยของโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

- ใช้เวลานานในการทำงานตอนเริ่มต้น เนื่องจากต้องทำการศึกษารูปร่างการใช้งานตั้งแต่เริ่มต้น

จากการศึกษาข้างต้นได้ทำการศึกษาระบบแต่ระบบของระบบช่วยการได้ยิน(ALSs: Assistive Listening Systems) พบว่าชนิดของระบบช่วยการได้ยินที่เหมาะสมกับระบบสื่อสารไร้สายในห้องเรียนของนักเรียนที่บกพร่องทางการได้ยิน คือ โพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล(Proprietary Digital Wireless protocol) เนื่องจากมีช่องการส่งข้อมูลหลายช่องทำให้ระบบสามารถส่งข้อมูลได้พร้อมกันหลายห้องเรียนที่ติดกัน มีระยะการส่งข้อมูลได้มากถึง 20 เมตร[3] ซึ่งสามารถครอบคลุมห้องเรียนทั้งห้องได้ ไม่ต้องทำการติดตั้งที่ยุงยากมากเพียงแค่มีเครื่องส่งสัญญาณกับเครื่องรับสัญญาณจากนั้นก็เสียบไมโครโฟนที่เครื่องส่งและเสียบหูฟังคล้องคอกับเครื่องรับสัญญาณก็สามารถใช้งานได้เลย ง่ายต่อการใช้งานแบบแพร่สัญญาณ

(Broadcasting) ในห้องเรียนนั้นต้องการให้มีการส่งสัญญาณแบบแพร่สัญญาณด้วยมีเครื่องส่งสัญญาณไร้สายตัวเดียวสวมโดยครูส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณไร้สายหลายตัวที่นักเรียนแต่ละคนสวม ส่วนโพโทคอลที่ใช้ก็คือ โพโทคอลลอกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล คือสามารถพัฒนาระบบได้เหมาะสมกับคุณสมบัติที่ต้องการคือ สื่อสารทางเดียวแบบแพร่สัญญาณ (ครู ถึง นักเรียน), สื่อสารกับเครื่องช่วยฟังผ่านลูบชนิดคล้องคอ, ออกแบบกินไฟต่ำกว่า 450 มิลลิแอมป์ (หรือใช้งานได้นานกว่า 4 ชม.)[3] รวมไปถึงให้มีสัญญาณไฟบอกเมื่อออกนอกระยะ สิ่งเหล่านี้สามารถออกแบบได้ง่ายหากใช้การสื่อสารแบบดังกล่าวดังกล่าว

## 2.2 อุปกรณ์ช่วยการได้ยิน (Hearing devices)

- เครื่องช่วยฟัง (Hearing aids)
- การผ่าตัดหูชั้นในเทียม (Cochlear implant)

2.2.1 เครื่องช่วยฟัง (Hearing aids) คือ เครื่องขยายเสียงให้สูงขึ้น มีขนาดเล็กที่สามารถพกพาติดตัวหรือติดไว้ที่หูได้ ประกอบด้วย

- ไมโครโฟนเป็นตัวรับสัญญาณเสียง
  - แอมป์ไฟร์ทำหน้าที่เป็นตัวขยายเสียง
  - ลำโพงทำหน้าที่เป็นตัวปล่อยเสียงออก
- แบ่งเครื่องช่วยฟังตามรูปลักษณะเครื่องได้ 3 แบบ

### 2.2.1.1 แบบพกกระเป๋า (Pocket aid)

เครื่องชนิดนี้มีขนาดใหญ่เท่ากับมือถือ ผู้ใช้มักเหน็บตัวเครื่องไว้ที่กระเป๋า มีสายต่อจากตัวเครื่องเข้าหูฟัง เหมาะสำหรับผู้ที่มิประสาหูเสื่อมมากถึงรุนแรงมาก ผู้สูงอายุ ดังรูปที่ 7

#### ข้อดี

- เครื่องมีขนาดใหญ่เหมาะมือสำหรับผู้สูงอายุ ทำให้ปรับเสียงได้ง่าย
- ราคาถูกกว่าแบบอื่น
- มีกำลังขยายมากจึงทำให้เหมาะกับผู้ที่สูญเสียการได้ยินอย่างรุนแรง
- แบตเตอรี่ที่ใช้งานนั้นหาซื้อได้ง่าย

#### ข้อเสีย

- เคลื่อนไหวได้ไม่สะดวกเนื่องจาก มีสายรุงรัง
- การได้ยินไม่เป็นธรรมชาติ เนื่องจากไมโครโฟนของเครื่องรับสัญญาณไม่ได้อยู่บริเวณหู

- อาจมีเสียงรบกวนจากการเคลื่อนไหวของเครื่องรับสัญญาณ เช่น เสียงเสียดสีกับเสื้อผ้า
- สังเกตเห็นได้ง่ายว่ามีการสวมใส่เครื่องช่วยฟัง



รูปที่ 7 เครื่องช่วยฟังแบบพกพากระเป๋า[19]

### 2.2.1.2 แบบทัดหลังใบหู (BTE: Behind The Ear hearing aid)

เครื่องชนิดนี้มีขนาดเล็ก ตัวเครื่องเรียวยาวโค้งเกาะอยู่ที่บริเวณหลังหู โดยเสียงจะขยายมาจากตัวเครื่องผ่านท่อเล็กเข้ารูหู เหมาะสำหรับผู้ที่ มีประสาทหูเสื่อมปานกลางถึงมาก ดังรูปที่ 8

#### ข้อดี

- การได้ยินเป็นธรรมชาติ เพราะไมโครโฟนอยู่ที่บริเวณหู
- เคลื่อนไหวได้ง่ายเนื่องจากไม่มสายหูฟัง
- ขนาดเล็กไม่ต้องพกพาสามารถติดไว้ที่หูได้เลย

#### ข้อเสีย

- ปุ่มปรับมีขนาดเล็ก ทำให้ลำบากในการปรับเสียง
- ต้องใช้แบตเตอรี่เฉพาะของเครื่องช่วยฟัง ที่มีขนาด 1.4 โวลท์
- สังเกตเห็นได้ง่ายว่ามีการสวมใส่เครื่องช่วยฟัง



รูปที่ 8 เครื่องช่วยฟังแบบทัดหลังใบหู[19]

### 2.2.1.3 แบบใส่ในช่องหู ซึ่งสามารถแบ่งได้อีก 3 แบบ ตามขนาด

- 1) **แบบจี้วใส่ในรูหู (CIC: Completely In the Canal)** เหมาะสำหรับผู้ที่ มีประสาทหูเสื่อมเล็กน้อยถึงปานกลาง มีขนาดเล็กคนรอบข้างจะสังเกตเห็น ยาก อาจทำงานด้วยใช้รีโมทควบคุมได้ หรือมีปุ่มปรับความดัง
- 2) **แบบเล็กใส่ในช่องหู (ITC: In the Canal)** เหมาะสำหรับผู้ที่ มีประสาทหู เสื่อมปานกลางถึงมาก มีขนาดเล็กคนรอบข้างจะสังเกตเห็นยาก อาจทำงาน ด้วยใช้รีโมทควบคุมได้ หรือมีปุ่มปรับความดัง
- 3) **แบบใหญ่ใส่ในช่องหู (ITE: In the Ear)** มีกำลังขยายมาก เหมาะสำหรับ ผู้ที่มีประสาทหูเสื่อมปานกลางถึงมาก เวลาสวมใส่จะสังเกตเห็นได้ อาจทำงาน ด้วยใช้รีโมทควบคุมได้ หรือมีปุ่มปรับความดัง

#### ข้อดี

- การได้ยินเป็นธรรมชาติ เพราะไมโครโฟนอยู่ในหู
- สังเกตเห็นได้ยากกว่ามีความพิการเนื่องจากเครื่องช่วยฟังนั้นมีขนาดเล็ก
- เคลื่อนไหวได้ง่ายเนื่องจากไม่มสายหูฟัง
- ขนาดเล็กไม่ต้องพกพาสามารถติดไว้ที่หูได้เลย

#### ข้อเสีย

- ใช้ได้เฉพาะผู้ที่มีการสูญเสียการได้ยินน้อยกว่า 70 เดซิเบล
- ปุ่มปรับมีขนาดเล็ก ทำให้ลำบากในการปรับเสียง
- ต้องใช้แบตเตอรี่เฉพาะของเครื่องช่วยฟัง ที่มีขนาด 1.4 โวลท์
- ราคาสูง เนื่องจากต้องสั่งทำเฉพาะบุคคล



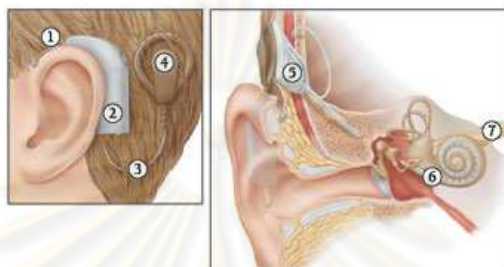
รูปที่ 9 เครื่องช่วยฟังแบบใส่ในช่องหู[19]

### 2.2.2 การผ่าตัดหูชั้นในเทียม (Cochlear implant)

เป็นเครื่องช่วยการได้ยินอีกชนิดหนึ่งซึ่งจะต้องอาศัยการผ่าตัดเพื่อฝังอุปกรณ์เข้าไปใน อวัยวะรับเสียงโดยทำหน้าที่แทนเซลล์ประสาทในโคเคลีย(Cochlea) ของหูชั้นในของผู้ป่วยที่ไม่ สามารถทำงานได้แล้ว เป็นการแปลงพลังงานเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในระดับที่ไม่เป็นอันตราย ต่อมนุษย์เพื่อกระตุ้นเส้นประสาทการได้ยินและสมองได้รับรู้ อุปกรณ์นั้นมีส่วนประกอบ 2 ส่วน



ได้แก่ อุปกรณ์ภายนอกเป็นอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเสียงเรียกว่า ตัวประมวลเสียง(Sound processor) และอุปกรณ์ภายในที่ต้องผ่าตัดฝังไว้ในกะโหลกศีรษะ เรียกว่า วัสดุฝัง(Implant) บุคคลที่เหมาะสมในการผ่าตัดฝังประสาทหูเทียม คือ เด็กที่สูญเสียการได้ยินตั้งแต่เกิดที่ประสาทหูพิการมากกว่า 90 เดซิเบล ซึ่งหลังจากทำการผ่าตัดฝังอุปกรณ์แล้วจะช่วยให้ผู้ป่วยกลับมาได้ยินอีกครั้ง สำหรับเด็ก ก็จะช่วยให้เด็กมีพัฒนาการทางภาษาและการพูด สามารถเรียนร่วมกับเด็กปกติได้โดยไม่ต้องใช้ภาษามือ หากได้รับการผ่าตัดและการฟื้นฟูที่ถูกต้อง เหมาะสม



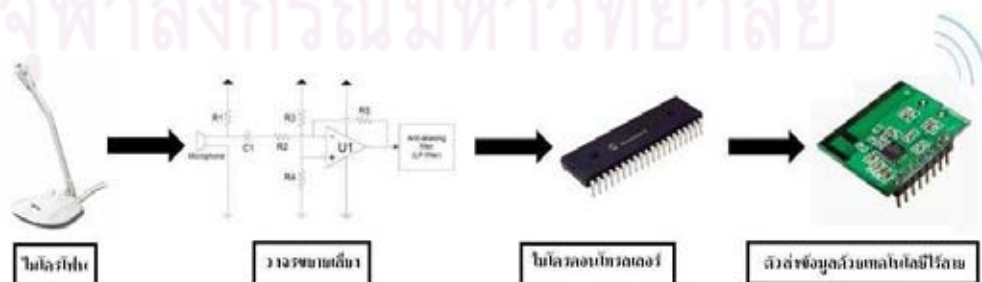
รูปที่ 10 เครื่องช่วยฟังแบบการผ่าตัดหูชั้นในเทียม[20]

### 2.3 ส่วนต่างๆของระบบช่วยการได้ยิน (ALSs: Assistive Listening Systems) โดยพรโทคอลลอกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

- เครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (Transmitter)
- เครื่องรับสัญญาณไร้สาย (Receiver)

#### 2.3.1 เครื่องส่งสัญญาณไร้สาย(Transmitter) เทคโนโลยีที่ใช้ทางฝั่งเครื่องส่งสัญญาณไร้สายประกอบด้วย ดังรูปที่ 11

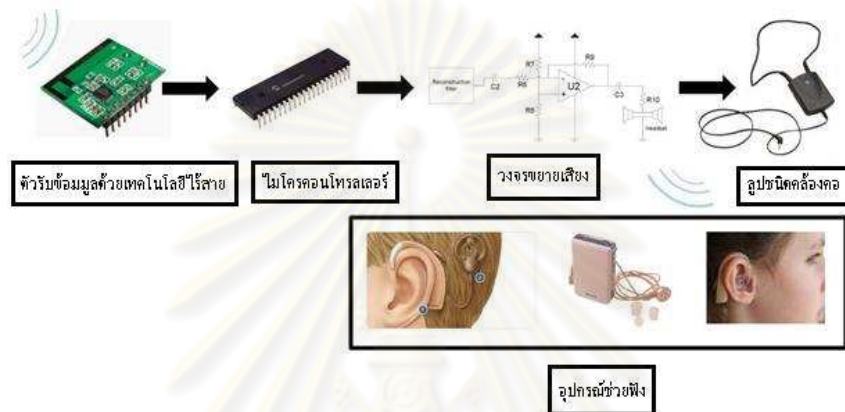
- วงจรรขยายสัญญาณเสียงโดยใช้ออปแอมป์ (Op-Amp: Operational Amplifiers)
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- การรับส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยีไร้สาย



รูปที่ 11 เทคโนโลยีที่ใช้ทางฝั่งเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย [21][22][23]

## 2.3.2 เครื่องรับสัญญาณไร้สาย(Receiver) เทคโนโลยีที่ใช้ทางฝั่งเครื่องรับสัญญาณไร้สาย ประกอบด้วย ดังรูปที่ 12

- การรับส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยีไร้สาย
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- วงจรขยายสัญญาณเสียงโดยใช้ออปแอมป์ (Op-Amp: Operational Amplifiers)
- เทคโนโลยีอุปกรณ์ช่วยระบบการฟัง

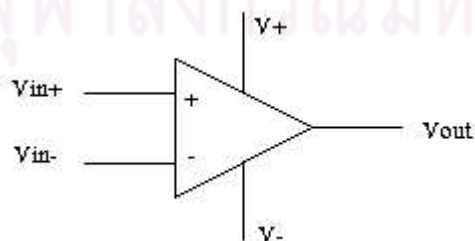


รูปที่ 12 เทคโนโลยีที่ใช้ทางฝั่งเครื่องรับสัญญาณไร้สาย [19][20][21][22][23]

## 2.3.3 เทคโนโลยีที่ใช้ของระบบช่วยการได้ยิน

### 2.3.3.1 วงจรขยายสัญญาณเสียงโดยใช้ออปแอมป์ (Op-Amp: Operational Amplifiers) [24][25]

สัญลักษณ์ของออปแอมป์ ออปแอมป์มีขาอินพุท 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขา + และขาเข้ากลับเฟส(Inverting Input) หรือขา - ส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศา จากสัญญาณทางด้านเข้า



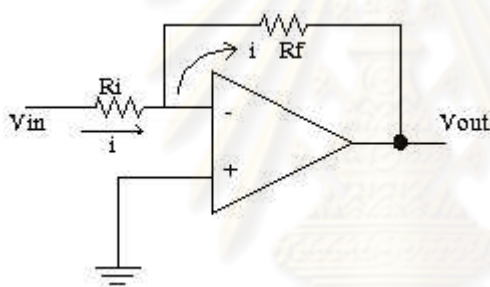
Vin+ = Non-inverting Amplifier

Vin- = Inverting Amplifier

V+,V- = แหล่งจ่ายไฟฟ้า

รูปที่ 13 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

ในวงจรขยายออปแอมป์นั้นสามารถที่จะกำหนดอัตราขยายของวงจรได้ โดยการใช้ วงจรป้อนกลับแบบลบ(Negative feedback) เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางขา กลับเฟส(ขาลบ -) แรงดันด้านทางออกจะมีมุมเฟสต่างไปจากแรงดันทางเข้า 180 องศา ซึ่งมีลักษณะตรงข้าม สัญญาณตรงกันข้ามนี้จะถูกป้อนกลับผ่าน  $R_f$  เข้ามายังขาอินเวอร์ตี อีกครั้งหนึ่ง ตรงจุดนี้จะทำให้สัญญาณเกิดการหักล้างกันอัตราขยายก็จะลดลง ถ้า ตัวต้านทานที่เป็นตัวป้อนกลับมีค่ามาก จะทำให้สัญญาณป้อนกลับมีขนาดเล็กอัตรา การขยายออกจึงสูง ถ้าตัวต้านทานที่ป้อนกลับมีค่าน้อยสัญญาณป้อนกลับไปได้มากอัตรา การขยายก็จะลดลง เพราะฉะนั้นอัตราส่วนของความต้านทาน  $R_f$  และ  $R_i$  จะเป็น ตัวกำหนดอัตราขยายของวงจรโดยไม่ขึ้นกับอัตราขยายของออปแอมป์ ซึ่ง สามารถหาอัตราขยายแรงดันได้จากสูตร



ความต่างศักย์ระหว่าง  $V_{in+}$

และ  $V_{in-} = 0$  ดังนั้น

ศักดาไฟฟ้าที่ขา  $V_{in-} = 0$

กระแสผ่าน  $R_i$  และ  $R_f$  มีค่า  $i$

$$V_{in} = iR_i ; V_{out} = iR_f$$

$$AV = V_{out}/V_{in} ; -iR_f/iR_i = -$$

$$R_f/R_i$$

เพราะฉะนั้น  $AV = -R_f/R_i$

รูปที่ 14 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverter amplifier)

### 2.3.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) นั้นมาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโคร (Micro) หมายถึง ขนาดเล็ก และคำว่าคอนโทรลเลอร์(Controller) หมายถึง ตัวควบคุม หรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงหมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ภายในตัวจะประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู(CPU: Central Processing Unit) เป็นส่วน สำคัญมากการทำงานจะเกิดขึ้นได้เมื่อหน่วยประมวลผลกลางตีความคำสั่งที่อ่าน จากหน่วยความจำ ซึ่งเปรียบได้กับสมองของคน ซึ่งภายในซีพียูนั้นยังมีหน่วยที่ ทำงานทางด้านตรรกศาสตร์และด้านลอจิก(ALU: Arithmetic Logic Unit)

- หน่วยความจำ(Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก(Program memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล(Data memory) ใช้เป็นหน่วยความจำที่จะใช้เก็บข้อมูลที่เกิดจากการประมวลผลจากหน่วยประมวลผลกลาง แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม(RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM: Erasable Electrically Read-Only Memory) เพิ่มขึ้นมาซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
- ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต(Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต(Output port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก พอร์ตอินพุตใช้เพื่อรับสัญญาณ เพื่อนำไปประมวลผลและอาจใช้ส่งไปพอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผล เช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
- ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส(Bus) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็น
  - บัสข้อมูล(Data Bus) เป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูล เพื่อการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง สำหรับในงานทั่วไป ขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น 8 บิต และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาจนถึง 16, 32 และ 64 บิต
  - บัสแอดเดรส(Address Bus) เป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น หน่วยประมวลผลกลางต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน ดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมาก ยิ่งมากเท่าไร ก็จะเป็นการแสดงผล ขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อได้ โดยสามารถคำนวณได้จาก
  - บัสควบคุม(Control Bus) เป็นกลุ่มของสายสัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของซีพียูกับหน่วยความจำและพอร์ต สำหรับสายสัญญาณเลือก

ควบคุมหลักได้แก่ สายสัญญาณเลือก-อ่าน-เขียนหน่วยความจำ  
สายสัญญาณเลือกเลือก อ่าน-เขียน ข้อมูล กับพอร์ต

- วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา การทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์จ็วขึ้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

### 2.3.3.3 เทคโนโลยีการส่งข้อมูลไร้สาย

เทคโนโลยีการส่งข้อมูลนั้นได้เลือกใช้อุปกรณ์อาร์เอฟมอดูลเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ โดยส่วนใหญ่อาร์เอฟมอดูลที่ทำออกมาขายนั้นจะมีชิปภายในที่ทำหน้าที่ส่งรับคลื่นสัญญาณวิทยุอยู่ของบริษัทคือ Texas Instrument(TI) และ Nordic Semiconductor ใช้คลื่นวิทยุตั้งแต่ 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz จนถึง 2.4 GHz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่สาธารณะ เนื่องจากต้องการส่งข้อมูลเสียงแบบทันกาล(Real-time) จึงเลือกใช้ชิปที่รับส่งสัญญาณวิทยุที่มีความถี่ที่ 2.4 GHz ที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดได้ถึง 500 kbps[26] เพราะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าตัวรับส่งสัญญาณวิทยุที่มีความถี่ที่ 433/868/915 MHz (มีอัตราการส่งข้อมูลประมาณ 76.8 kbps)[23]

ดังนั้นจากการศึกษาข้อมูลทำให้พบว่าอาร์เอฟมอดูล ทำงานที่ย่านความถี่ที่ 2.4 GHz ในท้องตลาดนั้นพบว่ามีราคาอยู่ประมาณ 500 บาท[22][27][28] ต่อหนึ่งตัว โดยใช้ อาร์เอฟมอดูลที่มีชิปภายในเป็นของบริษัท Texas Instrument(TI) มี Application note เพื่อใช้ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมให้ง่ายขึ้นด้วย และคุณสมบัติทั่วไปของอาร์เอฟมอดูลเหมาะสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ ชิปภายในเป็นชิปรุ่น CC2500[26] โดยคุณลักษณะทั่วไป มีดังนี้

ทำงานที่ย่านความถี่ที่ 2.4 GHz (ISM band: Industrial, Scientific and Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะใช้สำหรับทางด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และทางการแพทย์ และสามารถใช้มอดูเลตได้ทั้งเทคโนโลยี 2-FSK (Binary Frequency Shift Keying) โดยอัตราการส่งข้อมูล(Data rate) มากถึง 500 kbps, (GFSK : Gaussian shaped Frequency Shift Keying) โดยอัตราการส่งข้อมูล (Data rate) 250 kbps และ (MSK : Minimum Shift Keying) โดยอัตราการส่งข้อมูล (Data rate) มากถึง 500 kbps ซึ่งการมอดูเลชัน(Modulation) คือการรวมคลื่นความถี่ของข้อมูล ซึ่งมีความยาวคลื่นน้อย เข้ากับคลื่นความถี่พาหะ ซึ่งมีความยาวคลื่นมากเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลให้ได้ระยะทางที่ไกลขึ้น โดยถ้ายิ่งคลื่นมีความยาวคลื่นมากยิ่งส่งได้ระยะทางไกล ในการสื่อสารหลักการ

ทำงานคือแบ่งช่องสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง 2.400 GHz ถึง 2.4835 GHz มีระยะทำงานที่มีประสิทธิภาพทำงานได้ถึง 20 เมตร[3] ใช้กระแสไฟในการรับส่งข้อมูลสูงสุดเพียง 21.5 มิลลิแอมป์ ที่ใช้กำลังส่ง 1.5 dBm มีวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม(SPI: Serial Peripheral Interface)

## 2.4 ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลสำหรับผู้พิการทางการได้ยินในท้องตลาด

### 2.4.1 Phonak EasyLink [29]

ใช้สายคล้องคอเป็นเสาอากาศ(Neck loop) ในตัว สะดวกในการใช้งาน ด้วยการกดปุ่มเพียงครั้งเดียว ไมโครโฟนจะรับแต่เสียงของผู้พูดโดยไม่ขยายเสียงรบกวนรอบข้าง ชาร์จครั้งละ 1 ถึง 2 ชั่วโมง ใช้งานได้ถึง 10 ชั่วโมง สามารถใช้ที่ชาร์จในรถได้ ใช้ไมโครโฟนเสริมได้ต่อเชื่อมกับวิทยุ เครื่องเล่นเทป โทรทัศน์ ซีดี และเอ็มพีสาม(MP3: MPEG-1 Audio Layer 3) ได้ ตั้งการทำงานได้หลายช่องความถี่ความถี่ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 Phonak EasyLink ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล[29]

### 2.4.2 SmartLink [30]

สามารถใช้เป็นรีโมทคอนโทรลควบคุมเครื่องช่วยฟัง มีระบบเชื่อมต่อกับ บลูทูธของมือถือ ปรับมุมการรับฟังเสียงได้ 3 ระดับ มุมกว้างเพื่อรับเสียงรอบทิศทาง มุมแคบเพื่อรับเสียงรอบทิศทางมุมแคบเพื่อรับเสียงจากผู้พูดที่อยู่ตรงหน้า 2-3 คน หรือ มุมแคบสุดเพื่อรับเสียงเฉพาะผู้พูดที่อยู่ตรงหน้าเท่านั้น ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 SmartLink ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล[30]

### 2.4.3 Campus SX [31]

เหมาะสำหรับใช้ในห้องเรียน ตั้งคลื่นความถี่ได้มากกว่า 30 ช่อง จูนคลื่นเอฟเอ็มในเครื่องช่วยฟังได้อัตโนมัติ ไมโครโฟนปรับมุมการรับเสียงแบบรอบทิศทางหรือเฉพาะคนพูด มีไมโครโฟนให้เลือก 4 แบบ ใช้ถ่านแบบโทรศัพท์มือถือ ชาร์จไฟครั้งเดียว ใช้ได้ทั้งวัน พกพาง่ายหรือใช้เหน็บติดเข็มขัดได้ ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 Campus SX ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล[31]

### 2.4.4 Comfort Contego [32]

เป็นเครื่องส่งสัญญาณไร้สายสัญญาณเสียงไร้สายดิจิทัลโดยสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องช่วยฟังที่มีขดลวดโทรศัพท์(Telephone coil) ได้หรือใช้เสียบเข้ากับหูฟังแบบธรรมดาได้ เหมาะใช้สำหรับในโรงเรียน ที่ทำงาน ร้านอาหาร และอาจใช้กับระบบโทรทัศน์ จะแบ่งส่งสัญญาณเสียงกับเครื่องรับเสียงไว้คนละตัว โดยเครื่องส่งสัญญาณไร้สายจะมีไมโครโฟนในตัว และสามารถรับเสียงได้โดยเครื่องรับสัญญาณไร้สาย ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 Comfort Contego ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล[32]

### 2.4.5 fmGenie [33]

มีการออกแบบโดนแยกเป็นเครื่องส่งสัญญาณไร้สายสัญญาณกับเครื่องรับสัญญาณไร้สายสัญญาณ ดังรูปที่ 19 เครื่องส่งสัญญาณไร้สายมีไมโครโฟนภายในตัวเองหรือสามารถต่อไมโครโฟนภายนอกได้ ส่วนเครื่องรับสัญญาณไร้สายสามารถตัวเข้ากับหูฟังโดยตรงได้เลยหรืออาจจะต่อเข้ากับอุปกรณ์คล้องคอเพื่อให้สามารถใช้กับเครื่องช่วยฟังได้ ใช้แบตเตอรี่ขนาด AA 2 ก้อน ถ้าหากใช้แบตเตอรี่ชาร์จขนาด 1300 mAh สามารถเปิดใช้ได้ยาวนานสูงสุดถึง 40 ชั่วโมง



รูปที่ 19 fmGenie ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล[33]



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

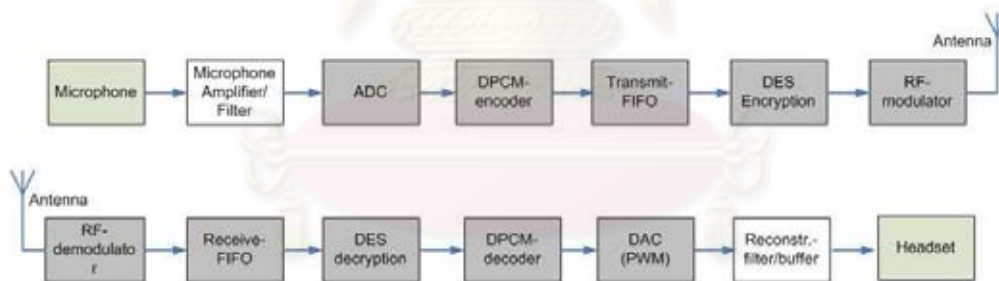


### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 ทดสอบแนวคิดการทำงานของโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Proprietary Digital Wireless protocol)

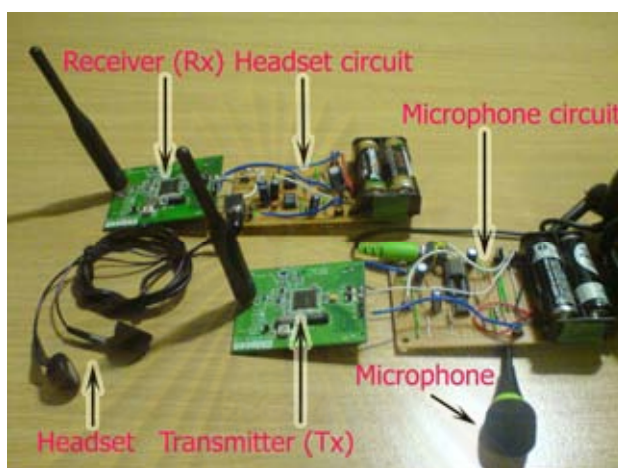
ระบบการทำงานโดยรวมเริ่มจากการทำงานฝั่งเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (TX: Transmitter) มีไมโครโฟนทำหน้าที่เป็นตัวรับเสียงสัญญาณมาจากแหล่งกำเนิด จากนั้นนำสัญญาณเสียงได้ส่งผ่านไปยังตัวแปลงสัญญาณ ทำการแปลงสัญญาณด้วยวิธีการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC: Convert analog to digital) ขั้นตอนการบีบอัดสัญญาณเสียง (Compression of speech data) ด้วยวิธีดีพีซีเอ็ม (DPCM: Differential Pulse Code Modulation) เพื่อลดการใช้อัตราการส่งของข้อมูล (Data rate) มีการ Encrypt ข้อมูลด้วยวิธีดีเอส (DES: Data Encryption Standard) ส่วนฝั่งการทำงานของเครื่องรับสัญญาณ (RX: Receiver) นั้นทำงานเหมือนการทำงานของโหนดแม่แต่จะมีลำดับตรงข้ามกัน และระบบดังกล่าวนี้เป็นทำงานเป็นแบบ Fully duplex แสดงดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 แสดงการทำงานของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล[29]

ในการทดสอบแนวคิดการทำงานของโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล (Proprietary Digital Wireless protocol) ใช้ชิปของบริษัท Texas Instruments (TI) ซึ่งเป็นตัว CC1010DK จะประกอบด้วย CC1010EB evaluation board และ CC1010EM evaluation module โปรแกรมใช้ในการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (TX: Transmitter) สามารถใช้ได้ จาก application note [24] และในส่วนของเครื่องรับสัญญาณไร้สาย (RX: Receiver) ก็ใช้ CC1010EM evaluation module เช่นกัน โดยประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล 8051 ของ ใช้ชิปรับส่งสัญญาณไร้สายเป็นของบริษัท Texas

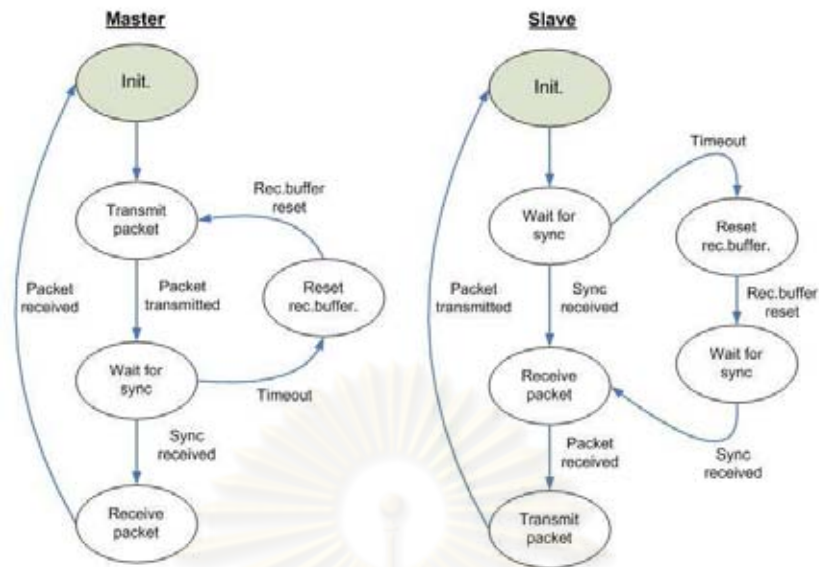
Instruments(TI) รุ่น CC1010 และสร้างวงจรขึ้นมาเพิ่มคือ วงจรตัวขยาย(Amplifier Circuit), วงจรตัวกรอง(Filter Circuit) และ วงจรบัฟเฟอร์(Buffer Circuit) บนบอร์ดทดลองดังแสดงรูปที่ 21 การโปรแกรมลงบน CC1010EM evaluation module นั้นได้ทำบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC: Personal computer) โดยเชื่อมต่อข้อมูลผ่านทางพอร์ตขนาน (Parallel port) ใช้โปรแกรม KEIL ในการพัฒนาโปรแกรมการทำงานของเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย



รูปที่ 21 แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ใช้ในการทดสอบแนวคิดการทำงานของโพรโทคอลออกแบบเองโดยระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

### 3.1.1 โพรโทคอลใช้ในการสื่อสาร (Communication protocol)

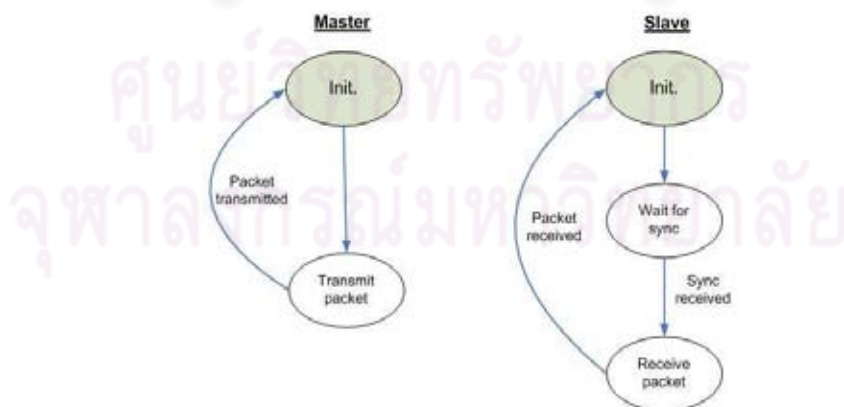
ใน Application note ได้ออกแบบโพรโทคอลเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่ง(one-to-one) โดยทำการแบ่งเวลาในการส่งข้อมูลนั้นเท่ากันในการส่งข้อมูลของเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย(TX: Transmitter) และเครื่องรับสัญญาณไร้สาย(RX: Receiver) เครื่องส่งสัญญาณไร้สายเริ่มการติดต่อโดยทำการส่งแพ็คเกจ(Packet Transmission) ไปยังเครื่องรับสัญญาณไร้สายและเครื่องรับสัญญาณไร้สายทำการรอรับแพ็คเกจที่จะส่งกลับมาโดยวนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งมีการรอปิดประสานเวลา(Synchronous bit) จากแพ็คเกจและเมื่อสามารถตรวจพบปิดประสานเวลา ก็จะมีการถอดรหัสข้อมูลและทำการส่งแพ็คเกจกลับไปยังเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย โดยแสดงดังรูปที่ 22 ในกรณีนี้เครื่องส่งสัญญาณไร้สายไม่มีการแจ้งรับทราบ(Acknowledgement) เวลาที่ทำการรอเมื่อถึงเวลาที่กำหนดก็จะทำการส่งข้อมูลแพ็คเกจในครั้งต่อไป เวลาที่รอทั้งสองระหว่างเครื่องส่งสัญญาณไร้สายกับเครื่องรับสัญญาณไร้สายมีการกำหนดค่าใหม่เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลล่าสุดนั้นไม่ค้างอยู่ในหน่วยความจำ(Memory) ซึ่งเป็นสาเหตุจะทำให้เกิดการอ่านสัญญาณเสียงซ้ำๆขึ้นเมื่อแพ็คเกจใหม่ไม่สามารถพบโดยระบบ



รูปที่ 22 ผังการทำงานโพรโทคอลแบบหนึ่งต่อหนึ่ง(one-to-one protocol flowcharts)

### 3.1.2 การแก้ไขสำหรับการทำงานแบบแพร่สัญญาณ (Modification for Broadcasting Mode)

มีการออกแบบระบบทำให้การใช้งานได้เหมาะสมกับงานแบบแพร่สัญญาณ (Broadcasting Application) ซึ่งต้องการส่งข้อมูลแบบหนึ่งต่อหลายๆตัว(one-to-many) ทำการแก้ไขจากการส่งข้อมูลโพรโทคอลหนึ่งต่อหนึ่ง(one-to-one) แสดงดังรูปที่ 23 โดยเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย จะไม่มีการรอการตอบรับแพ็คเกจการแจ้งรับทราบ(Acknowledgement) จากเครื่องรับสัญญาณไร้สาย ซึ่งโพรโทคอลนี้ง่ายและเหมาะสมอย่างมากสำหรับการทำงานแบบประหยัดพลังงาน



รูปที่ 23 ผังการทำงานโพรโทคอลแพร่สัญญาณ(one-to-many protocol flowchart)

### 3.1.3 ทดสอบและผลที่ได้รับ (Test and Result Discussion)[6]

ทดสอบโดยใช้ชุดหูฟัง(Headset) ซึ่งคุณภาพที่ได้นั้นไม่ต่างกันระหว่างโพรโทคอลหนึ่งต่อหนึ่ง(one-to-one) กับโพรโทคอลแพร่สัญญาณ(one-to-many) โดยใช้เอ็มพีสาม(MP3: MPEG-1 Audio Layer 3) เล่นเสียงจากตัวส่งสัญญาณไร้สาย

จากนั้นทำการทดสอบโดยวิธีการวัดเชิงปริมาณ(Quantitative) โดยทำการส่งข้อมูลสลับระหว่าง 0 กับ 1 ทำการรับส่งข้อมูลอย่างแต่เนื่อง โดยฝั่งรับทำการนับข้อผิดพลาดบิต(Bit error) จากหนึ่งล้านบิต ซึ่งอัตราส่วนของความผิดพลาด(BER: Bit Error Ratio) แต่ละโพรโทคอลนั้นได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของความผิดพลาด ระหว่างโพรโทคอลหนึ่งต่อหนึ่ง กับโพรโทคอลแพร่สัญญาณ[6]

	โพรโทคอลหนึ่งต่อหนึ่ง	โพรโทคอลแพร่สัญญาณ
อัตราส่วนของความผิดพลาด BER measured (%)	2.2	2.0
ระยะที่ใช้วัด Range (metres)	10	10

### 3.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง (Results analysis)

ผลของอัตราส่วนของความผิดพลาด(BER: Bit Error Ratio) ทั้งสองโพรโทคอลมีเปอร์เซ็นต์เกือบเท่ากัน[6] ระบบที่แก้ไขให้สามารถทำงานโพรโทคอลแพร่สัญญาณ (Broadcasting) แม้จะมีคุณภาพสัญญาณที่ลดลงแต่ก็น้อยมาก และในส่วนถัดไปเพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณให้ดีขึ้นก็จะทำการเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ไปใช้ในความถี่ที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มอัตราส่งที่มากขึ้น

## 3.2 ต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

การพัฒนาการทำงานของตัวต้นแบบด้วยชุดพัฒนาของ Texas Instrument (CC1010) แต่อย่างไรก็ตามราคาของชุดพัฒนาที่ใช้ทำการทดลองนั้นมีราคาค่อนข้างสูง แต่งานวิจัยนี้จำเป็นต้องการที่จะพัฒนาให้ต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลให้มีราคาต่ำมากที่สุด จึงได้ทำการเลือกใช้อาร์เอฟมอดูล (RF Module) แทนในส่วนของชุดพัฒนา ซึ่งในตัวอาร์เอฟมอดูลนั้นมีชิปที่ทำหน้าส่งและรับข้อมูลทางสัญญาณไร้สาย (wireless) และจากการศึกษาข้อมูลทำให้พบว่าอาร์เอฟมอดูลทำงานที่ย่านความถี่ที่ 2.4 GHz ในท้องตลาดนั้นมีราคาไม่เกิน 500 บาทต่อหนึ่งตัว[22][27][28] ซึ่งทางผู้พัฒนาได้เลือกใช้อาร์เอฟมอดูลที่มีชิปภายในเป็นของ Texas Instrument เพราะเนื่องจากคุณสมบัติทั่วไปของอาร์เอฟมอดูลเหมาะสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ และทั้งนี้ในการพัฒนาตัวอาร์เอฟ

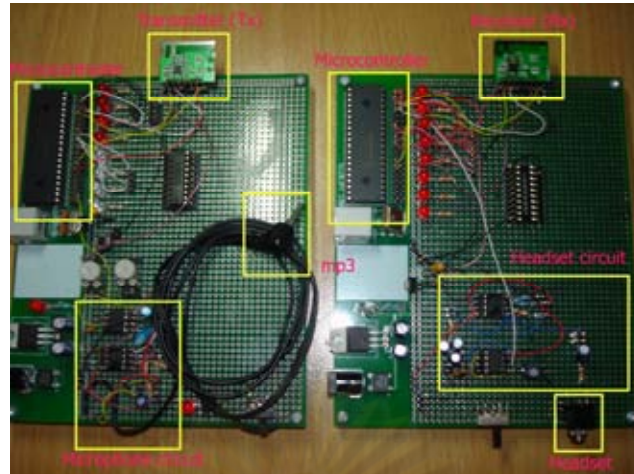
ยังมี Application note เพื่อใช้ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมให้ง่ายขึ้นด้วย นอกจากนี้อาร์เอฟมอดูลของ Texas Instrument ชิปปภายในเป็นชิปรุ่น CC2500[27]

อาร์เอฟมอดูลที่เลือกใช้มีชิปปภายในเป็นชิปรุ่น CC2500 ความถี่ที่ 2.4 GHz ทำให้ผู้พัฒนาสามารถจะเพิ่มอัตราการส่งของข้อมูล (Data rate) ให้มากกว่าเดิมได้ เนื่องจากตัวต้นแบบนั้นได้ใช้ชิปที่ทำการส่งข้อมูลไร้สาย (wireless) ซึ่งต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลตัวที่หนึ่งได้นำเสนอชิปของ Texas Instruments โดยชิปรับส่งสัญญาณไร้สาย รุ่น CC1010 ส่งที่คลื่นความถี่วิทยุ 915 MHz มีอัตราการส่งของข้อมูล(Data rate) อยู่ที่ 76.8 kbps ใช้กระแสไฟ 11.9 มิลลิแอมป์ ส่วนชิปรับส่งสัญญาณไร้สาย รุ่น CC2500 ส่งที่คลื่นความถี่วิทยุ 2.4 GHz มีอัตราการส่งของข้อมูล (Data rate) อยู่ที่ 500 kbps ซึ่งมากกว่าชิปส่งสัญญาณไร้สาย รุ่น CC1010 ถึงประมาณ 6 เท่า ใช้กระแสไฟ 17 มิลลิแอมป์

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของชิปรับส่งสัญญาณไร้สาย CC1010 กับชิปรับส่งสัญญาณไร้สายรุ่น CC2500 [24][27]

	ชิปรับส่งสัญญาณไร้สาย รุ่น CC1010	ชิปรับส่งสัญญาณไร้สาย รุ่น CC2500
1.บริษัท	Texas Instruments	Texas Instruments
2.ย่านความถี่ที่ใช้	300 – 1000 MHz	2400 – 2483.5 MHz
3.อัตราการส่งของข้อมูล	76.8 kbps	500 kbps
4.กินกระแสสูงสุด	11.9 มิลลิแอมป์ ที่ 76.8 kbps	17.0 มิลลิแอมป์ ที่ 500 kbps

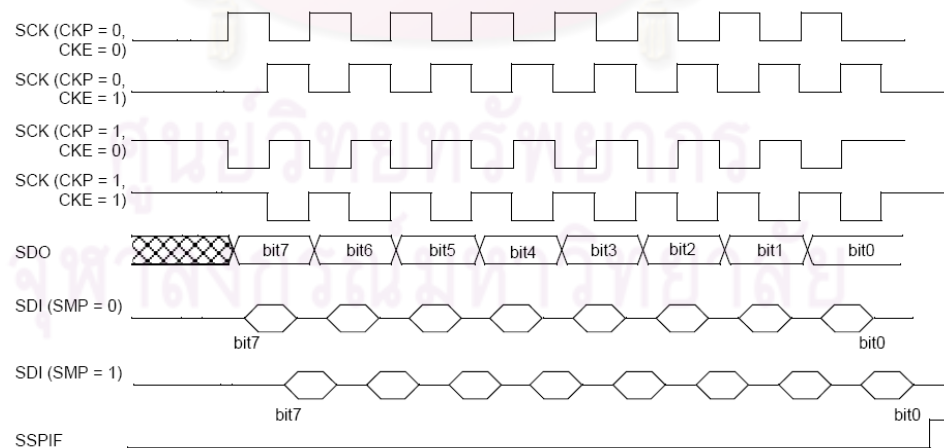
ต่อจากนั้นในขั้นต้นได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เป็นตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำการรับสัญญาณแอนะล็อกซึ่งเป็นเสียงพูดมาจากวงจรฮาร์ดแวร์และมีไมโครโฟนทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณเสียงมาจากแหล่งกำเนิดและนำเสียงที่เข้ามาส่งผ่านไปยังตัวแปลงสัญญาณซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC: Convert analog to digital) โดยใช้ความถี่ในการสุ่มข้อมูลที 8 kHz ความละเอียดของข้อมูลเท่ากับ 8 บิต อัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 64 kbps ซึ่งจะได้คุณภาพเสียงที่ใกล้เคียงกับเอ็มพีสาม (MP3: MPEG-1 Audio Layer 3) แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

### PIC16F877

การเชื่อมระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอาร์เอฟมอดูล ทำการส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังตัวอาร์เอฟมอดูล CC2500 ผ่านทางการเชื่อมต่อการเชื่อมต่อแบบอนุกรม (SPI: Serial Peripheral Interface) จากนั้นตัวอาร์เอฟมอดูล ที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณไร้สายจะทำการส่งข้อมูลผ่านทาง การส่งไร้สาย การส่งข้อมูลด้วยวิธีแบบอนุกรม ต้องทำการตั้งค่าช่วงที่ทำการอ่านเขียนข้อมูลให้ถูกต้อง โดยที่ตัวอาร์เอฟมอดูลนั้นจะทำการอ่านเขียนข้อมูลที่ขอหาขึ้นโดยทำการอ่านเขียนช่วงกลางของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นจึงต้องทำการตั้งค่าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ให้อยู่ในโหมด SCK (CKP = 0 CKE = 1) แสดงดังรูปที่ 25 จะทำให้การอ่านและเขียนข้อมูลกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC กับอาร์เอฟมอดูล นั้นถูกต้อง



รูปที่ 25 แสดงการตั้งค่าโหมดการทำงาน SPI ของ PIC [22]

จากนั้นตัวอาร์เอฟมอดูลที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณไร้สายจะทำการส่งข้อมูลผ่านทาง การส่งไร้สาย(wireless) ไปยังตัวอาร์เอฟมอดูลที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย ในส่วนของ

เครื่องรับสัญญาณไร้สายนั้นจะมีหลักการทำงานคล้ายกับหลักการทำงานของเครื่องรับสัญญาณไร้สายแต่มีการกลับการทำงานให้ตรงข้ามกันกับตัวส่ง

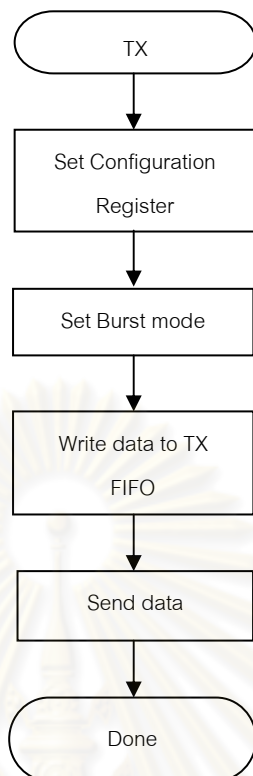
การทำการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อกด้วยวิธี (PWM : Pulse Width Modulation) การทำการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อกนั้นโดยใช้ความละเอียด 8 บิต (0-255) โดยนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องรับสัญญาณ (Read data) มาเป็นดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ของสัญญาณ

และนอกจากนี้ได้มีการออกแบบการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (TX: Transmitter) และเครื่องรับสัญญาณไร้สาย (RX: Receiver) โดยออกแบบการทำงานให้เหมาะสมกับการใช้งานในห้องเรียนโดยมีอาจารย์หนึ่งคนใส่อุปกรณ์ตัวส่งข้อมูลและมีนักเรียนหลายคนใส่อุปกรณ์ตัวรับข้อมูล ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลแบบแพร่สัญญาณ (Broadcasting) โดยเครื่องส่งสัญญาณไร้สายจะทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มทำการเชื่อมต่อการส่งข้อมูล เริ่มต้นจะทำการส่งแพ็คเกจ (Packet Transmission) ไปยังเครื่องรับสัญญาณไร้สาย จากนั้นเครื่องส่งสัญญาณไร้สายมีการทำงานแสดงดังรูปที่ 26

Set Configuration Register จะทำการกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อของเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย

Set Burst mode ใช้สำหรับเขียนข้อมูล 1 ไบต์หรือมากกว่า ไปในตำแหน่งรีจิสเตอร์ของ CC2500 ที่ถูกกำหนดด้วยตัวนำที่อยู่ (Address Header)

Write data to TX FIFO ทำการเขียนข้อมูลลงไป TX FIFO เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลต่อไปยังเครื่องรับสัญญาณไร้สายต่อไป



รูปที่ 26 แสดงการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (TX: Transmitter)

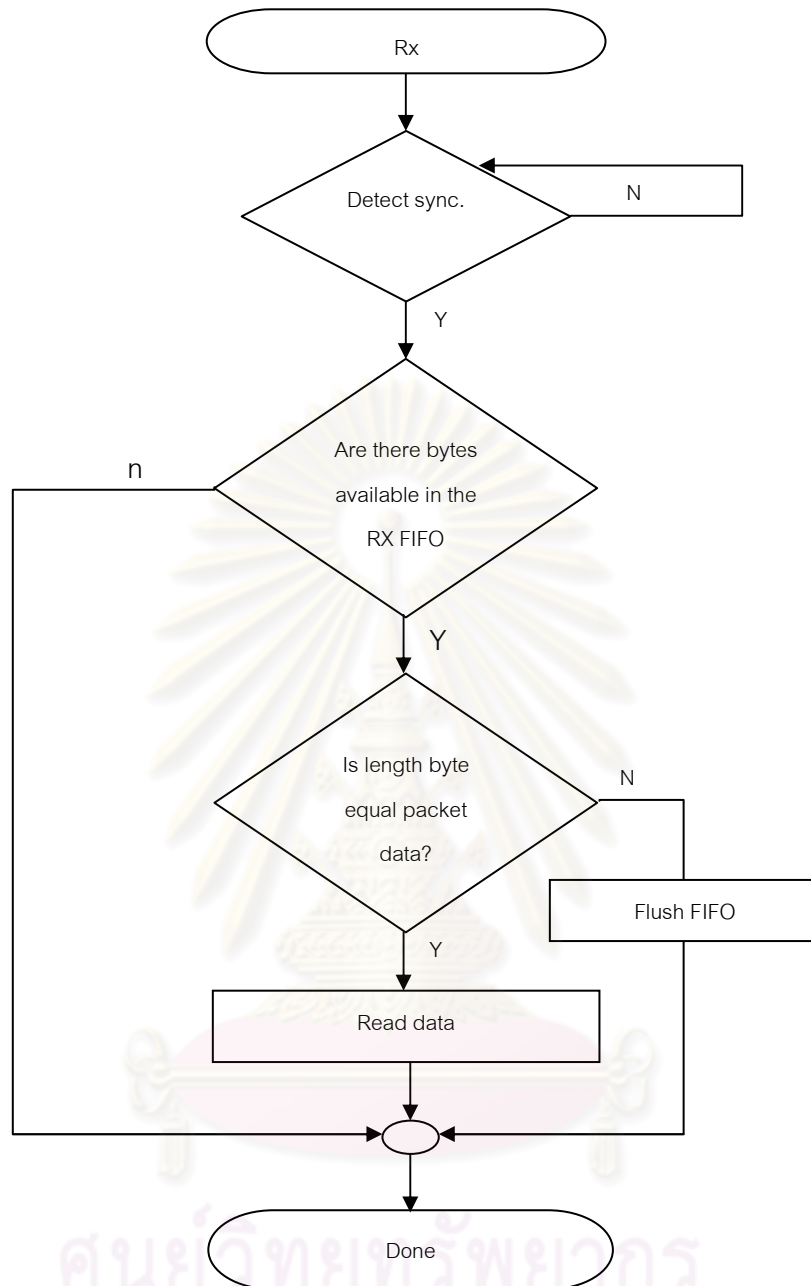
ในส่วนเครื่องรับสัญญาณไร้สาย (RX: Receiver) จะทำการรอรับแพ็คเกจที่ทำการส่งมาจากเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (TX: Transmitter)

Detect sync. จะทำการรอบิตซิงโครนัส (Synchronous bit) และตัวรับนั้นจะไม่ทำการส่งข้อมูลใดๆหรือการแจ้งรับทราบ (acknowledgement) กลับไปยังเครื่องส่งสัญญาณไร้สายเมื่อเครื่องรับสัญญาณไร้สายนั้นได้รับแพ็คเกจแล้ว

Are there bytes available in RX FIFO คือ เครื่องรับสัญญาณไร้สายจะทำการตรวจสอบว่า RX FIFO ที่ได้รับข้อมูลจากการส่งมาจากเครื่องส่งสัญญาณไร้สายนั้นมีข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าไม่มีข้อมูลอยู่ก็จะจบการทำงานแล้วทำการรอแพ็คเกจถัดไปจากเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย แต่ถ้ามีข้อมูลอยู่ก็จะทำงานในส่วนถัดไป

Is length byte equal packet data คือทำการตรวจแพ็คเกจข้อมูลที่ได้รับมานั้นมีขนาดความยาวของแพ็คเกจเท่ากับขนาดความยาวของแพ็คเกจที่เครื่องส่งสัญญาณไร้สายส่งมาหรือไม่ ถ้าแพ็คเกจมีขนาดเท่ากันก็จะทำการอ่านข้อมูล (Read data) จากแพ็คเกจนั้น แต่ถ้าแพ็คเกจนั้นไม่ได้มีขนาดเท่ากันก็จะทำการเคลียร์ข้อมูล (Flush FIFO) ที่อยู่ใน RX FIFO แล้วทำการรอแพ็คเกจถัดไปจากเครื่องส่งสัญญาณไร้สายแสดงการทำงานของตัวรับดังรูปที่ 27





รูปที่ 27 แสดงการทำงานของเครื่องรับสัญญาณไร้สาย (RX: Receiver)

จากการที่ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ทำให้ต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด AA 2 ก้อน กินกระแสไฟสูงสุดถึง 2 มิลลิแอมป์ และทำการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อกด้วยวิธี (PWM : Pulse Width Modulation) ซึ่งไม่มีมอดูล (DAC: Digital to Analog Converter) ให้เลือกใช้ ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนมาเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F169 เพื่อแก้ปัญหาที่พบและให้ได้ต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลมีคุณสมบัติตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ตั้งแต่แรก เพราะฉะนั้นทำให้สามารถเปลี่ยนมาใช้แบตเตอรี่ lithium-ion(Li+) ขนาด 1000 mAh 3.7 โวลต์ ได้ สิ้นเปลืองกระแสไฟลดลงเหลือ 600 ไมโครแอมป์ และสามารถให้

มอดูล (DAC: Digital to Analog Converter) ได้ซึ่งมีคุณภาพสัญญาณดีกว่าวิธี PWM แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F169 ดังรูปที่ 28

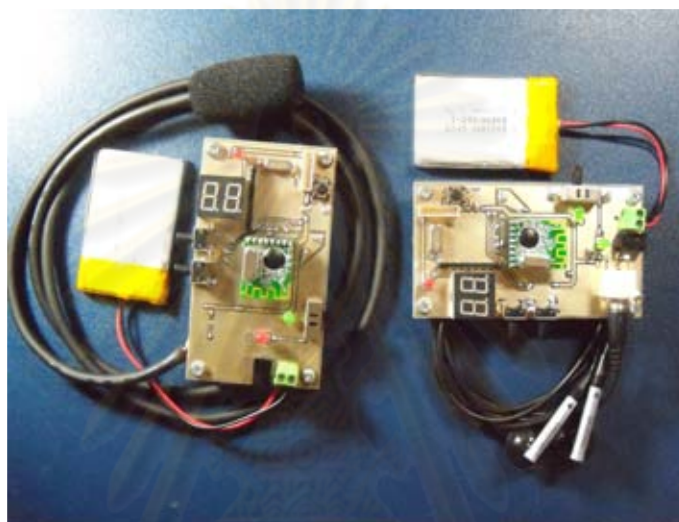
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ระหว่าง PIC16F877 กับ MSP430F169[22][34]

	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F169
บริษัท	Microchip	Texas Instruments
ขนาด	8 บิต	16 บิต
ทำงานที่แรงดัน	5 โวลต์	3.3 โวลต์
กินกระแสสูงสุด	2 มิลลิแอมป์	600 ไมโครแอมป์
1 Cycle time ของคำสั่งใช้เวลา	50 ns (20MHz)	125 ns (8MHz)
ADC, DAC ละเอียด	ADC 10 บิต, DAC ไม่มี	12 บิต
สื่อสารแบบอนุกรม SPI	ได้	ได้
Flash Memory	15.625 KB + 256 B, RAM 368 B	60 KB + 256, RAM 2 KB



รูปที่ 28 แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F169

แต่เนื่องจากขนาดของบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F169 มีขนาด 9 มม. x 15 มม. x 2.5 มม. ซึ่งไม่สะดวกสำหรับใช้พกพาติดตัวและมีน้ำหนัก 98 กรัม (ไม่รวมน้ำหนักแบตเตอรี่) ดังนั้นผู้พัฒนาจึงได้ทำการลดขนาดของบอร์ดโดยการออกแบบวงจรเอง แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ในการทดสอบจริง ดังรูปที่ 29 และรูปที่ 30 นั้นแสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ในการทดสอบจริงพร้อมกล่องบรรจุภัณฑ์

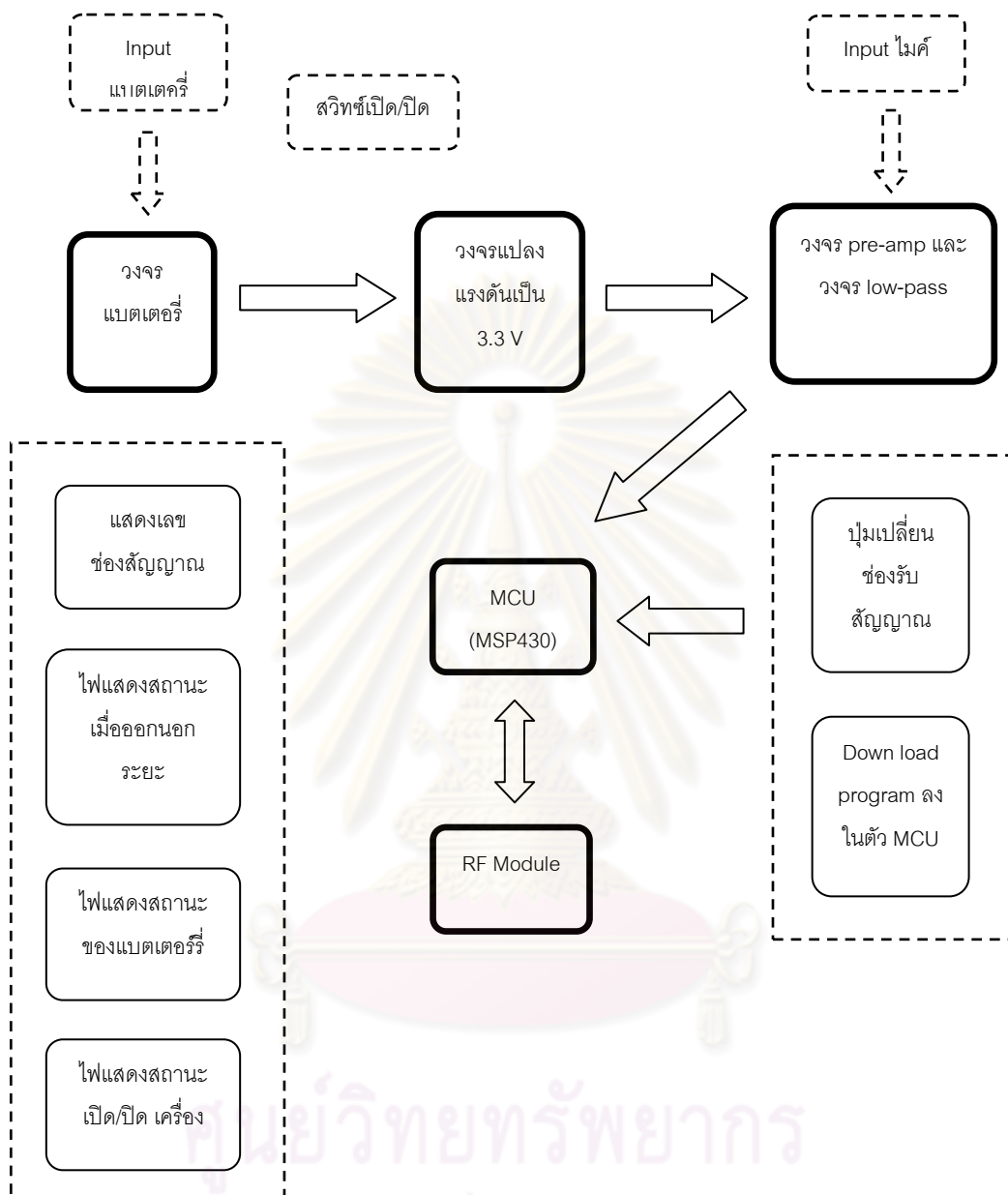


รูปที่ 29 แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ในการทดสอบจริง



รูปที่ 30 แสดงบอร์ดและอุปกรณ์ของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลใช้ในการทดสอบจริงพร้อมกล่องบรรจุภัณฑ์

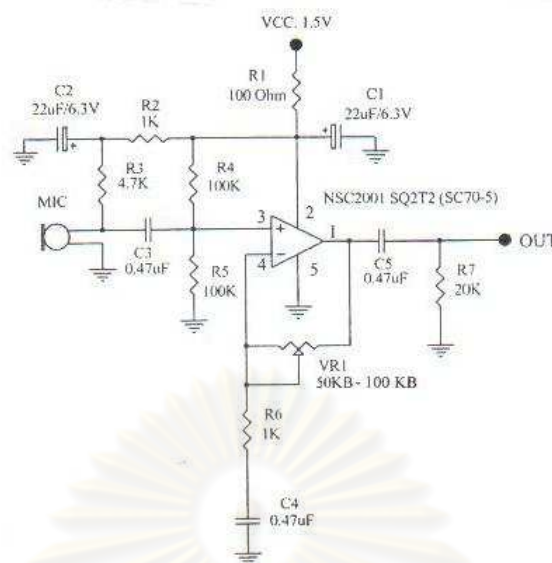
### 3.3 อุปกรณ์และส่วนประกอบของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สาย



รูปที่ 31 อุปกรณ์และส่วนประกอบของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สาย

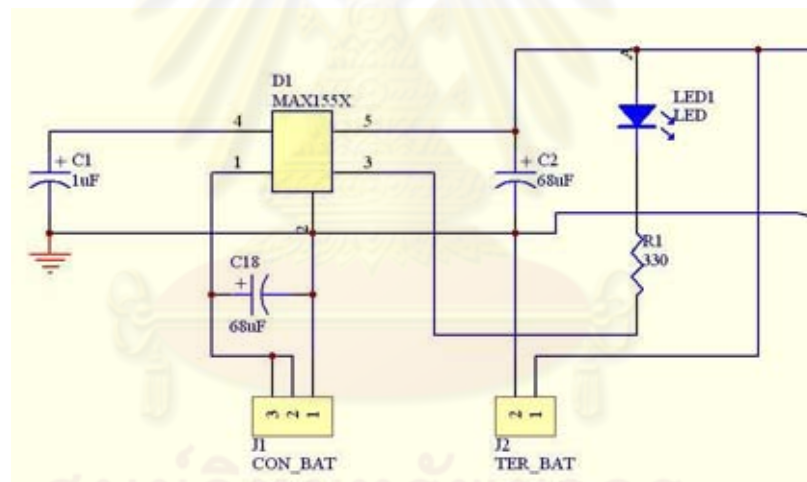
#### 3.3.1 ไมโครโฟน (Microphone)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ชุดไมโครโฟนของบริษัท XYCON รุ่น A06 แสดงดังรูป โดยมีไมโครโฟนขนาด 6 มิลลิเมตร ทำหน้าที่รับเสียงพูดจากผู้พูด ชุดไมโครโฟนนี้ทำงานได้ที่แรงดัน 0.9-6.0 โวลต์ และกินกระแสไฟฟ้า 900 ไมโครแอมป์ ไอซีหลักที่ทำหน้าที่เป็นแอมป์ในชุดไมโครโฟนนี้คือ ไอซีเบอร์ NCS2001 สามารถปรับอัตราขยายได้ด้วยตัวต้านทานปรับค่าถึง 100 กิโลโอมป์



รูปที่ 32 แสดงวงจรไมโครโฟน (Microphone) [35]

### 3.3.2 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ (Battery Chargers)

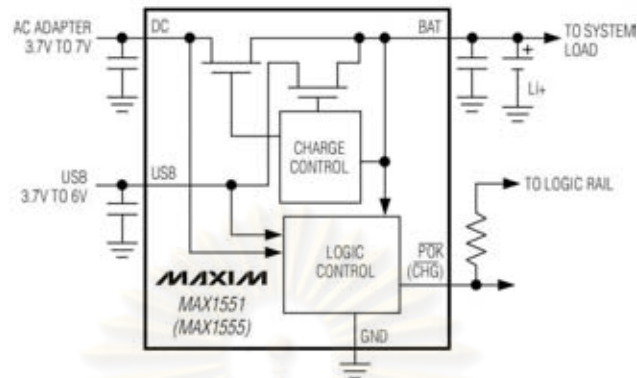


รูปที่ 33 แสดงวงจรชาร์จแบตเตอรี่ (Battery Chargers) [36]

วงจรสามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ lithium-ion(Li+) ทาง AC adapter โดยใช้ AC adapter Input 100-240 โวลต์ 50-60 Hz 150 มิลลิแอมป์ Output DC 5.7 โวลต์ 800 มิลลิแอมป์ มีไฟแสดงสถานะหากมีการชาร์จแบตเตอรี่เต็ม โดยใช้ตัว MAX1551/MAX1555 TER\_BAT สำหรับเสียบแบตเตอรี่ ซึ่งใช้แบตเตอรี่ lithium-ion(Li+) ขนาด 1000 mAh 3.7 โวลต์ CONBAT ใช้สำหรับเสียบ AC adapter ซึ่งใช้เป็นตัวที่ใช้ชาร์จมือถือโนเกียรุ่น 3310 ซึ่งให้  $V_{dc} = 5.7$  โวลต์

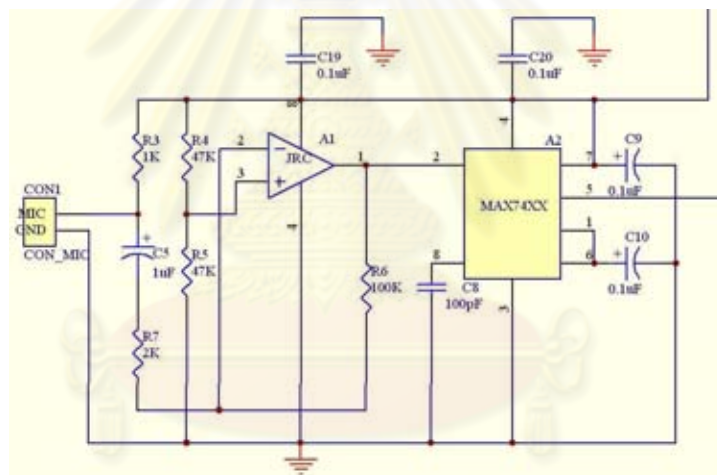
MAX1551/MAX1555 สามารถใช้ได้กับแรงดันถึง 7 โวลต์ มักนำมาใช้อุปกรณ์ PDAs, Wireless Application, Cell Phones และ Digital Cameras มีช่องสำหรับเลือกชาร์จแบตเตอรี่ได้

ทั้งทาง USB พอร์ต และ DC Supply โดย USB ชาร์จแบตเตอรี่ 100 มิลลิแอมป์ ที่  $V_{usb} > 3.95$  โวลต์ ส่วน DC นั้นชาร์จ 280 มิลลิแอมป์ ที่  $V_{dc} > 3.95$  โวลต์



รูปที่ 34 แสดงวงจรของอุปกรณ์ MAX1551 [36]

### 3.3.3 วงจร Pre-amp และ วงจร Low-pass

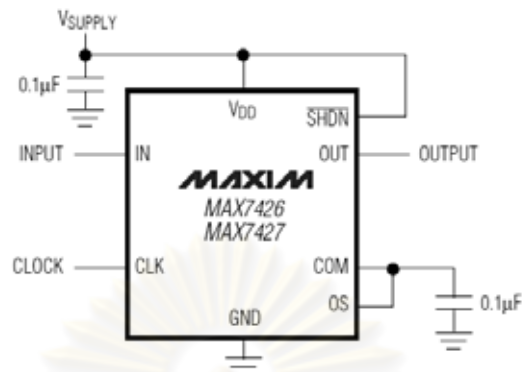


รูปที่ 35 แสดงวงจร pre-amp และวงจร low-pass [37]

จากชุดไมโครโฟนแล้ว ได้มีวงจรสำหรับการจัดการเสียงความถี่สูงจากไมโครโฟนโดยมีวงจรใช้ preamp และ Low pass filter โดยวงจร preamp นั้นได้ใช้ inverting amplifier ขยายสัญญาณ โดยจากวงจร  $A_v = 100k/2k = 50db$

ต่อมาวงจร low pass filter โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ MAX7427 ของบริษัท MAXIM เป็น 5th-Order Low Pass Filter ทำงานที่แรงดัน 3.0 โวลต์ วงจรแสดงในรูปที่ 35 ทำหน้าที่กรองเสียงความถี่สูงจากไมโครโฟนแต่ละตัวออกไป เพื่อป้องกันการเกิดเอเลียตซิง (Aliasing) ที่เกิดจากการใช้ค่าอัตราสุ่ม (Sampling Rate) น้อยเกินไป ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าอัตราสุ่มที่ 8000 Hz จากทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ จะได้ว่าสัญญาณแอนะล็อกควรมีความถี่สูงสุดน้อยกว่า 4000 Hz จึง

จำเป็นต้องการความถี่ที่สูงกว่านี้ออกไป โดยค่าความถี่ตัด ( $f_c$ ) สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนขนาดของตัวเก็บประจุ (C) ซึ่งคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

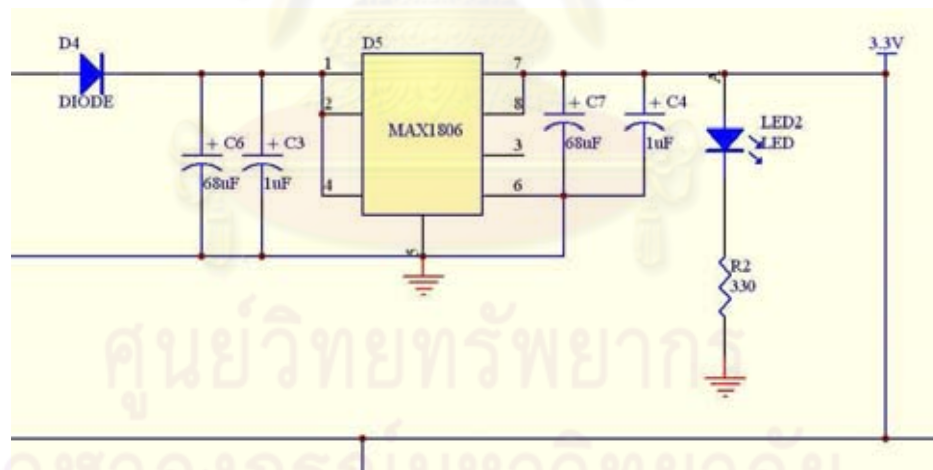


รูปที่ 36 แสดงวงจรของอุปกรณ์ MAX7427 [37]

$$f_c = \frac{f_{CLK}}{100}$$

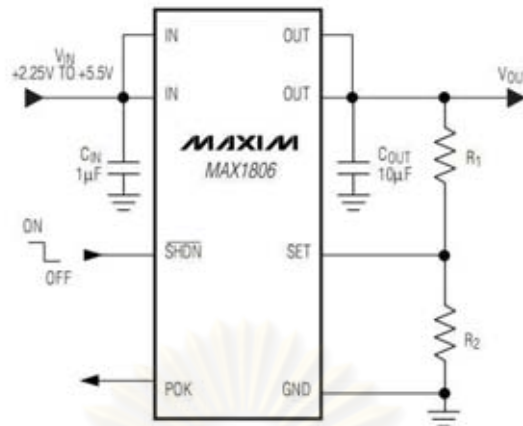
$$f_{CLK} \text{ (kHz)} = \frac{17.5 \times 10^3}{C \text{ (pF)}}$$

### 3.3.4 วงจรลดแรงดัน (Low dropout voltage)



รูปที่ 37 แสดงวงจรลดแรงดัน (Low dropout voltage) [38]

วงจรมีทำหน้าที่ ปรับแรงดันจาก 3.7 โวลต์จากแบตเตอรี่ lithium-ion(Li+) เป็นแรงดัน 3.3 โวลต์ เพื่อให้ง่ายกระแสไฟให้อุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ในวงจร เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller), 7-segment, led และ อาร์เอฟมอดูล (RF Module) ใช้แรงดัน 3.3 โวลต์ ทั้งหมด



รูปที่ 38 แสดงวงจรอุปกรณ์ MAX1806 [38]

ใช้ MAX1806 เป็น low-dropout liner regulator ให้กระแส 500 มิลลิแอมป์ มักนิยมใช้กับ Notebook Computer, Cellular and Cordless Telephones, PDAs, Palmtop Computer, Base Stations, USB Hubs และ Docking Stations สามารถปรับแรงดันโดยใช้สมการนี้ได้

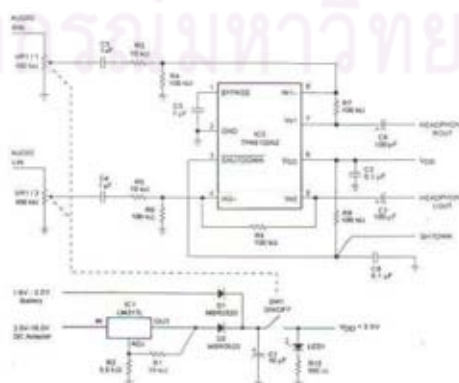
$$R_1 = R_2 \cdot \left[ \left( \frac{V_{out}}{V_{set}} \right) - 1 \right]$$

แต่เนื่องจากต้องการใช้แรงดันที่ 3.3 โวลต์ จะมีอุปกรณ์ให้เลือกใช้ได้เลย เป็น MAX1806 เบอร์ MAX1806EUA33 จะให้  $V_{out} = 3.3$  โวลต์

### 3.3.5 วงจร Audio Amplifier

งานวิจัยนี้เลือกใช้ชุดวงจร Amplifier รุ่น A16 ของบริษัท XYCON ทำงานที่แรงดัน 3-18 โวลต์ ทำหน้าที่ขยายเสียงก่อนออกหูฟัง โดยสามารถปรับระดับความดังของเสียงได้

กินกระแสไฟฟ้า 900 ไมโครแอมป์ ไอซีหลักที่ทำหน้าที่เป็นแอมป์ในชุดไมโครโฟนนี้คือ ไอซีเบอร์ TPA6100A2 มีตัวปรับความดังใช้ความต้านทาน 50 K



รูปที่ 39 แสดงวงจรอุปกรณ์ Audio Amplifier[39]



### 3.3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล MSP430

#### 3.3.6.1 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC: Analog-to-Digital Converter)

การใช้งาน (ADC: Analog-to-Digital Converter) ADC12 นี้มีรีจิสเตอร์ควบคุม อยู่ด้วยกันสองตัวใช้กำหนดคุณสมบัติของการทำงาน คือ ADC12CTL0 และ ADC12CTL1 ใช้กับ Port P6 เลือกใช้ A0 คือ พอร์ต P6.0 แปลงสัญญาณได้ละเอียด 12 บิต แต่เลือกใช้ 8 บิตบน MSB 8 บิตแรก ส่วน 4 บิตล่าง LSB ได้ทำการตัดทิ้ง สามารถเลือกแรงดันอ้างอิงจากภายนอกหรือภายในได้ (1.5 โวลต์ หรือ 2.5 โวลต์) ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้แรงดันอ้างอิงจากภายใน สามารถเลือกแหล่งกำเนิดของสัญญาณ Clock ที่ใช้ในการ Conversion ได้ กำหนดไว้ 512 Cycle

1. Preamble Single-Channel Single-Conversion Mode การ Sample และการ Convert สัญญาณที่เข้ามาเพียงครั้งเดียวและช่องสัญญาณที่เลือกไว้ ช่องสัญญาณเดียว
2. Repeat-Single-Channel Mode การ Sample และการ Convert สัญญาณที่เข้ามา 1 ช่องสัญญาณ ซ้ำไปเรื่อยๆ
3. Sequence-of-Channels Mode การ Sample และการ Convert สัญญาณที่เข้ามาของแต่ละช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดใช้งานไว้ตามลำดับ
4. Repeat-Sequence-of-Channel Mode การ Sample และการ Convert สัญญาณที่เข้ามาของแต่ละช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดใช้งานไว้ตามลำดับ ซ้ำไปเรื่อยๆ

ผลของการ conversion จะถูกเก็บไว้ Buffer โดยถูกโหลดเข้าไปเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์หน่วยความจำ ADC12MEMx การอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์หน่วยความจำ ADC12MEMx นั้น ได้ใช้การอินเตอร์รัพท์ โดยต้องทำการเซตรีจิสเตอร์ ADC12IEx และ GIE เท่ากับ 1 เสียก่อน

รีจิสเตอร์ที่สำคัญมีดังนี้

#### 1. ADC12 Control Register 0 (ADC12CTL0)

ประกอบไปด้วย

- SHT1x และ SHT0x – Sample-and-hold time ใช้กำหนดจำนวน Cycle ของการ Sampling ข้อมูล

- REF2\_5V- Reference generator voltage ใช้กำหนดแรงดันอ้างอิงว่าต้องการใช้แรงดันอ้างอิงภายใน หรือภายนอก
- ADC12ON- ADC on ใช้สำหรับเปิดหรือปิดการทำงาน ADC
- ADC12TOVIE- ADC12MEMx overflow-interrupt enable เป็นการเปิดการใช้งานอินเทอร์รัพท์เพื่อให้อ่านข้อมูลจาก ADC12MEMx
- ENC- Enable conversion ใช้เปิดการทำงาน convert
- ADC12- Start convert ใช้กำหนดให้ Sample และ Conversion เริ่มทำงาน

## 2. ADC12 Control Register 1 (ADC12CTL1)

- SHSx- Sample-and-hold source select ใช้เลือกแหล่งสัญญาณการ Sample
- SHP- Sample-and-hold pulse-mode select ใช้เลือกแหล่งของสัญญาณ Sampling
- ISSH- Invert sinal sample-and-hold ใช้สำหรับกลับสถานะของสัญญาณ Sample-input
- ADC12SELx- ADC12 clock source select ใช้เลือกแหล่งของสัญญาณ Clock
- CONSEQx- Conversion sequence mode select ใช้เลือกโหมดในการ Conversion
- ADC12BUSY- ADC12 busy ใช้แสดงการทำงานของการทำงาน sample หรือการ conversion ว่ามีการทำงานอยู่หรือไม่

## 3. ADC12 Conversion Memory Register (ADC12MEMx) ใช้ได้เพียง 12 บิต ทำหน้าที่เก็บผลของการ conversion

## 4. ADC12 Conversion Memory Control Register (ADC12MCTLx)

- EOS- End of sequence ใช้แสดงการสิ้นสุดของการ conversion
- SREFx- Select reference ใช้เลือกจุดอ้างอิงให้กับ Vr+ และ Vr-
- INCHx- Input channel select ใช้สำหรับเลือกแชนแนลของสัญญาณ input ที่จะใช้งาน

## 5. ADC12 Interrupt Enable Register (ADC12IE) ใช้สำหรับ enable หรือ disable อินเทอร์รัพท์ในแต่ละบิตของ ADC12IFG

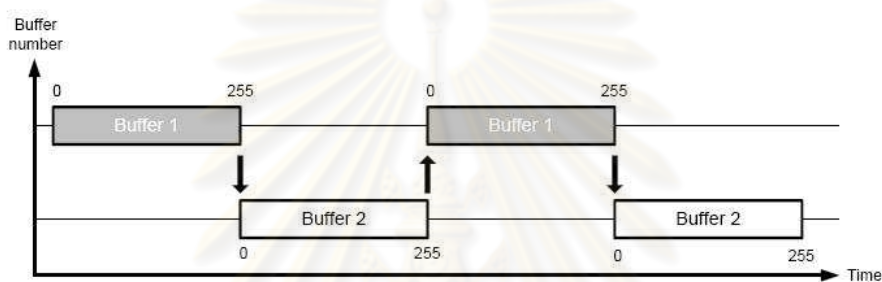
## 6. ADC12 Interrupt Flag Register (ADC12IFG)

- ADC12IFGx- ADC12MEMx Interrupt flag จะทำการเซตเมื่อผลของการ Conversion ถูกไหลดเข้าไปยัง ADC12MEMx เรียบร้อยแล้ว และ ADC12IFGx จะทำการ Reset ถ้ามีการอ่านค่าในรีจิสเตอร์ ADC12MEMx แล้ว

- ADC12IVx- ADC12 Interrupt vector value ใช้อ่านค่าตำแหน่งแอดเดรสของแหล่งกำเนิดสัญญาณ interrupt ขึ้น

### 3.3.6.2 ทำหน้าที่เก็บข้อมูลลงบัฟเฟอร์

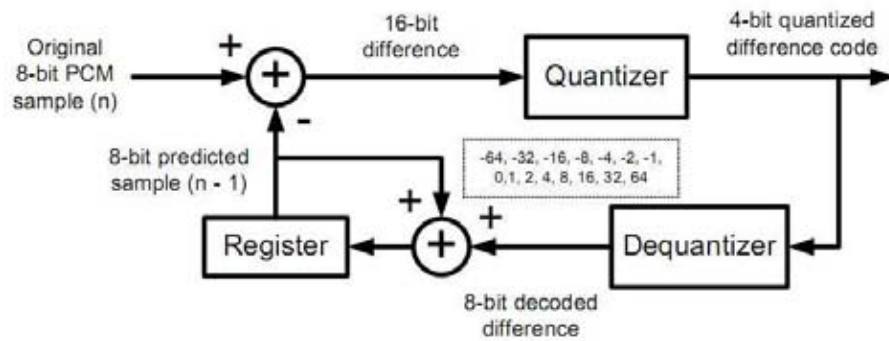
หลังการทำการเปลี่ยนสัญญาณจากการใช้งาน Analog-to-Digital Converter เรียบร้อยแล้วนั้น โปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ ADC12MEMx ไปยัง Buffer ที่ถูกจองพื้นที่ไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ มี Flash Memory : 60 KB+ 256B และ RAM 2 KB ซึ่งการเก็บข้อมูลนั้นใช้บัฟเฟอร์ 2 ตัว โดยใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลตัวละ 256 Byte =  $256 * 2 = 512$  Byte ซึ่งพอสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาด RAM เท่ากับ 2 KB



รูปที่ 40 แสดงการเก็บข้อมูลโดยใช้บัฟเฟอร์ 2 ตัว [24]

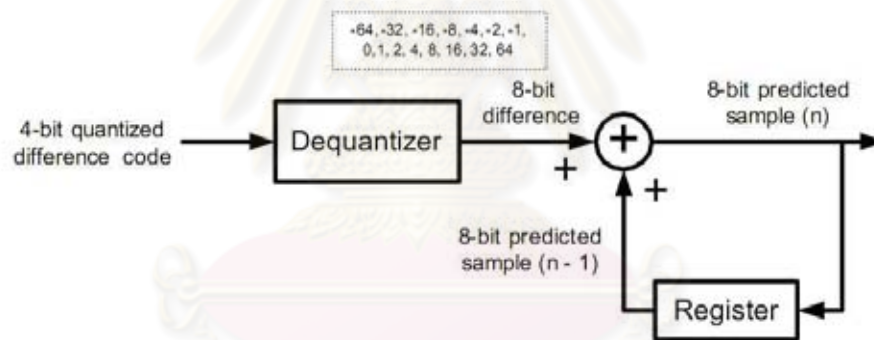
### 3.3.6.3 ทำหน้าที่บีบอัดสัญญาณเสียง (Compression of speech data)

หลังจากได้ข้อมูลที่เป็นดิจิทัลแล้วทำการบีบอัดสัญญาณเสียง (Compression of speech data) ด้วยวิธีดีพีซีเอ็ม (DPCM: Differential Pulse Code Modulation) เพื่อลดการใช้ data bit-rate โดยให้การหลักการพีซีเอ็ม (PCM: Pulse Code Modulation) คือเริ่มจากสุ่มตัวอย่างของสัญญาณจะต้องสุ่มที่ความถี่อย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณที่จะส่ง แล้วทำการควันไทส์ (Quantizing) ให้เป็นสัญญาณไบนารีแล้วทำการดีควันไทส์ (Dequantizing) จากนั้นใช้หลักการเพื่อที่จะทำการบีบอัดสัญญาณด้วยวิธีดีพีซีเอ็ม คือ จากหลักการที่ว่าสัญญาณ 2 ตัวอย่างที่อยู่ติดกัน โดยปกติแล้วสัญญาณที่ติดกันจะมีขนาดความแตกต่างของสัญญาณจะมีขนาดเล็กกว่าตัวสัญญาณเอง



รูปที่ 41 แสดง DPCM-encoder [24]

ใช้การเข้ารหัส Differential Pulse Code Modulation ใช้สัญญาณที่อยู่ติดกัน Original 8-bit PCM กับ 8-bit predicted sample มาเพื่อหาค่าแตกต่างระหว่างสองสัญญาณ 16-bit difference แล้วทำการ Quantizer ให้ข้อมูลเป็น 4-bit quantized difference code โดยใช้ข้อมูลตาราง จากตารางที่ 5 จะลดจำนวนบิตหรือความเร็วหรือแบนด์วิทที่ใช้งานลงได้



รูปที่ 42 แสดง DPCM-decode [24]

ทำการ DPCM-decoder นั้นไม่ยุ่งยากมาก โดยใช้ข้อมูลที่ได้จาก 4-bit quantized difference code ทำการ Dequantizer ใช้ข้อมูลตาราง จากตารางที่ เพื่อได้ข้อมูล 8-bit difference จากนั้นสามารถหา 8-bit predicted sample ได้จากการใช้ 8-bit predicted sample

ตารางที่ 5 ค่าข้อมูลใช้สำหรับการเข้ารหัสและถอดรหัสด้วย DPCM [24]

Code value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Code difference	0	-64	-32	-16	-8	-4	-2	-1	0	1	2	4	8	16	32	64

### 3.3.6.4 ทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลกับอาร์เอฟมอดูล(RF Module)

ทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังอาร์เอฟมอดูล(RF Module) ใช้งาน UART Interface แบบ Synchronouse SPI Mode การติดต่อสื่อสารแบบ SPI นี้ MSP430 จะมี ขาสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารอยู่ด้วยกัน 4 ขาสัญญาณ ได้แก่ SIMO, SOMI, UCLK และ STE โดยการทำงานของ SPI สามารถกำหนดบิตในการส่งข้อมูลได้ที่ 7 หรือ 8 บิต เลือการทำงานได้ทั้งแบบ 3 Pin และ 4 Pin เลือการทำงานเป็น Master Mode หรือ Slave Mode สามารถโปรแกรมความถี่ที่ UCLK ใช้ใน Master Mode

การทำงาน SPI Mode เป็นการส่งรับข้อมูลแบบ Serial ซึ่งจะใช้ Clock จากตัว Master เป็นตัวควบคุมการรับส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับตัว Slave ที่ต่อเข้าด้วยกัน

Slave in - Master out ,SIMO

- ใน Master mode ขาสัญญาณ SIMO เป็น สาย Data Output
- ใน Slave mode ขาสัญญาณ SIMO เป็น สาย Data Input

Slave out – Master in,SOMI

- ใน Master mode ขาสัญญาณ SOMI เป็น สาย Data Input
- ใน Slave mode ขาสัญญาณ SOMI เป็น สาย Data Output

UART SPI Clock,UCLK

- ใน Master mode ขาสัญญาณ UCLK เป็น สาย Output Clock
- ใน Slave mode ขาสัญญาณ UCLK เป็น สาย Input Clock

Slave transmit enable,STE ใช้ในโหมด 4 Pin จะไม่ได้ใช้งานในโหมด 3 Pin ทำหน้าที่ enable ตัว Slave ซึ่งใช้ตัว Master เป็นตัวควบคุมผ่านทางขาสัญญาณนี้

การกำหนด Baud Rate ของ UART ใน SPI Mode จะมีความละเอียดที่ 16 บิต กำหนดในรีจิสเตอร์ UxBR0 + UxBR1 โดย Baud Rate สูงสุดที่สามารถสร้างได้ในการทำงานเป็น Master mode จะมีค่าเท่ากับ BRCLK/2 โดยหาได้จากสูตร

$$Ux_{br} = \frac{BR_{clk}}{Baud\_rate}$$

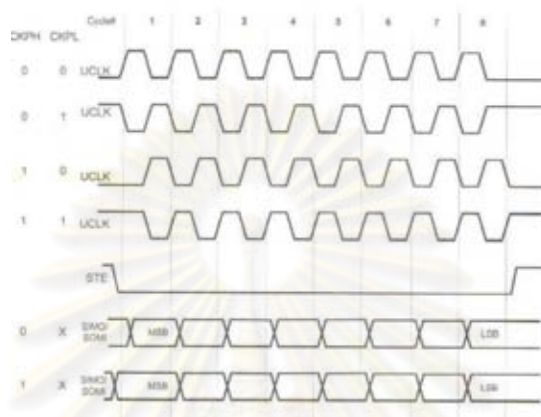
เมื่อ

UxBr แทน UxBR1, UxBR0

BRCLK แทน ความถี่ของสัญญาณ Clock จากแหล่งกำเนิด Clock ที่เลือกไว้

Baud Rate แทน อัตราการรับส่งข้อมูลที่ใช้ต้องการใช้งาน

การกำหนด Polarity และ Phase ของ Serial Clock สามารถกำหนดการทำงานได้ที่ CKPL และ CKPH ของ UART ในงานวิจัยนี้ใช้ CKPH = 1 CKPL = 0



รูปที่ 43 แสดงการทำงานของ SPI ของ CC2500 [27]

SPI Interrupt การทำงานของ SPI Transmit Interrupt รีจิสเตอร์ UTXIFGx จะทำการ set เมื่อมีการส่งข้อมูลไปแล้ว เพื่อแสดงให้ทราบว่าบัฟเฟอร์ UxTXBUF พร้อมที่จะรับข้อมูลตัวต่อไป หากต้องการใช้โหมดนี้ต้องทำการ set บิต UTXIE<sub>x</sub> และ GIE โดยจะเกิด interrupt ถ้ามีการเขียนมูลลงไปยัง บัฟเฟอร์ UxTXBUF

การทำงานของ SPI Receive Interrupt รีจิสเตอร์ URXIFG จะทำการ set เมื่อมีการรับข้อมูลเข้ามาและถูกโหลดข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ UxRXBUF หากต้องการใช้โหมดการทำงานนี้ต้องทำการ set บิต URXIE<sub>x</sub> และ GIE โดย URXIFG<sub>x</sub> จะ reset โดยอัตโนมัติถ้ามีการอ่านข้อมูล ใน UxRXBUF ไปแล้ว

#### 1. Uart Control Register,UxCTL

- I2C mode enable,I2C ใช้สำหรับเลือกทำงานระหว่าง I2C หรือ SPI mode
- Character length,CHAR ใช้เลือกความยาวของ character ที่ 7 บิต หรือ 8 บิต
- Listen enable,LISTEN ใช้สำหรับเลือก loopback mode
- Synchronous mode enable,SYNC ใช้เลือกทำงานระหว่าง Uart mode หรือ SPI mode

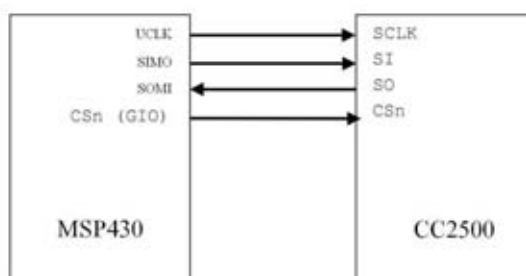
- Master mode,MM ใช้สำหรับเลือกการทำงานของ SPI ว่าจะเป็น Master หรือ Slave
- Software reset enable,SWRST ใช้ reset การทำงานของ Uart

## 2. Uart Transmit Control Register,UxTCTL

- Clock phase select,CKPH ใช้ในการคุมเฟสของ UCLK
- Clock polaity select ,CKPL ใช้ในการเลือกการปรากฏของข้อมูล Output ที่ขอบขาขึ้นหรือขอบขาลงของ UCLK Clock และเลือกการถูก latch ของข้อมูล input ที่ขอบขาขึ้นหรือขอบขาลงของ UCLK Clock
- Source select,SSELx ใช้สำหรับเลือกแหล่งของสัญญาณ Clock ที่จะใช้งานใน SPI
- Slave transmit control,STC ใช้ควบคุมการส่งของ โดยเลือกการส่งว่าใช้แบบโหมด 4 Pin หรือ 3 Pin
- Transmit empty flag,TXEPT ใช้ตรวจสอบว่าบัฟเฟอร์ UxTXBUF ว่างพร้อมรับข้อมูลหรือไม่

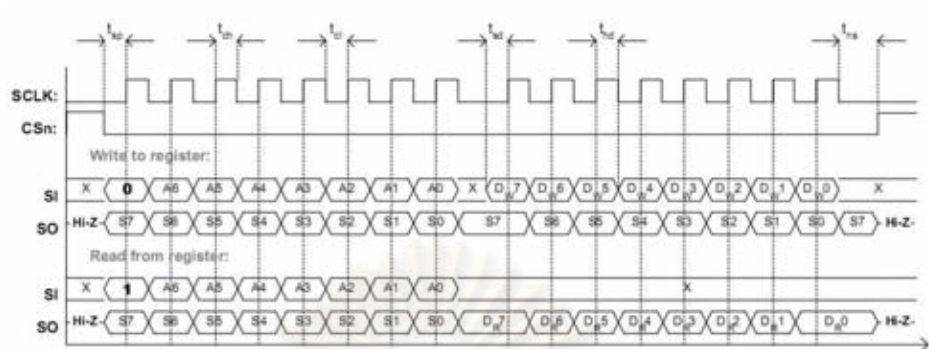
## 3. Uart Receive Control Register,UxRCTL

- Framing error flag,FE ใช้แสดงในกรณีที่ Bus ชนกัน
- Overrun flag,OE ใช้แสดงเมื่อมีการส่ง character เข้าไปในบัฟเฟอร์ UxRXBUF ว่าเกิด overrun ขึ้นหรือไม่
- SPI ของ CC2500 จะมีขาสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารอยู่ด้วยกัน 4 ขาสัญญาณ ได้แก่ SI, SO, CSn และ SCLK โดยให้ CC2500 ทำงานในโหมด Slave และไม่ใครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมด Master



รูปที่ 44 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง MSP430 กับ CC2500 [27][34]

โดย SCLK ของ CC2500 ที่ทำงานในโหมด Slave นี้จะทำงานตาม UCLK ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 45 แสดงการทำงาน SPI ของ MSP430 [27][34]

### 3.3.7 อารเอฟมอดูล (RF Module)

3.3.7.1 Data Rate Programming สามารถโปรแกรมโดยรีจิสเตอร์ MDMCFG3.DRATE\_M และ MDMCFG4.DRATE\_E โดยคำนวณ Data Rate ได้จากสมการนี้

$$RDATA = \frac{(256 + DRATE\_M) \cdot 2^{DRATE\_E}}{2^{28}} \cdot f_{XOSC}$$

หรือ

$$DRATE\_E = \left\lceil \log_2 \left( \frac{RDATA \cdot 2^{20}}{f_{XOSC}} \right) \right\rceil$$

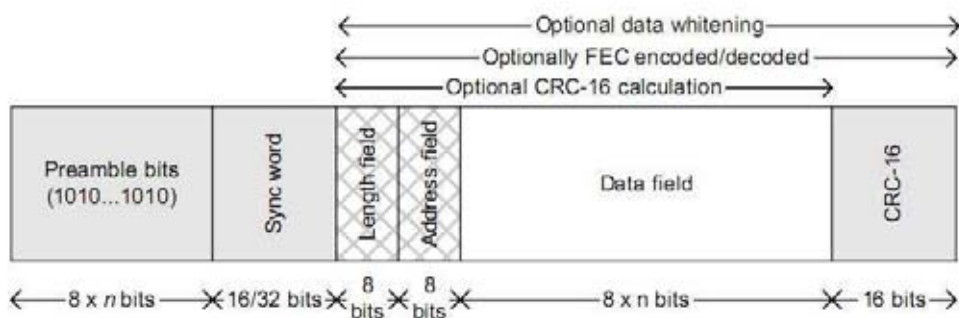
หรือ

$$DRATE\_M = \frac{RDATA \cdot 2^{28}}{f_{XOSC} \cdot 2^{DRATE\_E}} - 256$$

3.3.7.2 Receiver Channel Filter Bandwidth สามารถโปรแกรมโดยรีจิสเตอร์ MDMCFG4.CHANBW\_E และ MDMCFG4.CHANBW\_M โดยคำนวณ Receiver Channel Filter Bandwidth ได้จากสมการนี้

$$BW_{channel} = \frac{f_{XOSC}}{8 \cdot (4 + CHANBW\_M) \cdot 2^{CHANBW\_E}}$$





รูปที่ 46 รูปแบบแพ็คเกจของ CC2500 [27]

3.3.7.3 **ตัวเบื้องต้น (Preamble)** รูปแบบของคือเป็นการสลับค่าระหว่าง 0 กับ ค่า 1 ไปเรื่อยๆ (01010101..) โดยสามารถโปรแกรมจำนวน Preamble ที่ต้องการใน Packet ได้กำหนดโดยรีจิสเตอร์ MDMCFG1.NUM\_PREAMBLE โดยกำหนดได้ตามตาราง เมื่อตัวส่งเริ่มทำงาน Preamble จะถูกส่งออกไปก่อนและตามด้วย Synchronization word และส่วนของข้อมูล (Data field)

ตารางที่ 6 แสดงค่าที่ใช้กำหนดจำนวนของตัวเบื้องต้น [27]

กำหนดค่า	จำนวนของ Preamble (bytes)
0 (000)	2
1 (001)	3
2 (010)	4
3 (011)	6
4 (100)	8
5 (101)	12
6 (110)	16
7(111)	24

3.3.7.4 **Synchronization word** สามารถโปรแกรมโดยกำหนดค่าลงในรีจิสเตอร์ MDMCFG2.SYNC\_MODE โดยกำหนดได้ตามตาราง โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ Synchronization word ทำงานในโหมด sync word นั้นจะถูกส่งจากตัวส่ง (TX) เพื่อให้ตัวรับ (RX) ตรวจพบก่อนที่จะทำการอ่านข้อมูล

ตารางที่ 7 แสดงค่าที่ใช้กำหนดโหมดการทำงานของ SYNC-WORD [27]

กำหนดค่า	โหมดการทำงานของ Sync-word (bits)
0 (000)	No preamble/sync
1 (001)	15/16 sync word bits detected
2 (010)	16/16 sync word bits detected
3 (011)	30/32 sync word bits detected
4 (100)	No preamble / sync, carrier-sense above threshold
5 (101)	15/16 + carrier-sense above threshold
6 (110)	16/16 + carrier-sense above threshold
7 (111)	30/32 + carrier-sense above threshold

3.3.7.5 Payload CC2500 สนับสนุน fixed packet length และ variable packet length protocols โดยทั้งสอง protocols สามารถกำหนดขนาดของ packet ได้ถึง 255 ไบต์

- โหมด packet length สามารถทำการโปรแกรมได้โดยกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ PKTCTRL0.LENGTH\_CONFIG ให้มีค่าเท่ากับ 0 และสามารถกำหนดค่าขนาดความยาวของ packet ได้โดยทำการโปรแกรมค่าในรีจิสเตอร์ PKTLEN ซึ่งรวม Payload data, length byte และ CRC
- โหมด variable packet length สามารถทำการโปรแกรมได้โดยกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ PKTCTRL0.LENGTH\_CONFIG ให้มีค่าเท่ากับ 1 และกำหนดค่าขนาดความยาวของ packet โดยทำการกำหนดลงใน Legth field โดยตัวรับจะทำการอ่านค่าข้อมูลใน field นี้ ก่อนที่จะทำการอ่านข้อมูลใน packet โดยโหมดทำงานได้ไม่ได้กำหนดค่าขนาดความยาวของ packet ในรีจิสเตอร์ PKTLEN

3.3.7.6 Packet Filtering in Receive Mode มีการ filter ใช้งานได้อยู่สามชนิดคือ

- Address Filtering หากต้องการใช้งานสามารถกำหนดในรีจิสเตอร์ PKTCTRL1.ADR\_CHK เป็นการตรวจสอบว่า address ปลายทางกับต้นทางนั้นตรงกันหรือไม่ โดยอ่านจาก address field ใน packet ข้อมูล ถ้า

ตัวรับตัวรับพบว่าค่า address ตรงกันนั้น ตัวรับจะทำการอ่านข้อมูลมาเก็บไว้ใน RX FIFO ทันที ถ้าพบว่าค่า address ไม่ตรงกัน ตัวรับจะไม่อ่านข้อมูลใน packet นั้นทันที

- Maximum Length Filtering การตรวจสอบวิธีนี้ ใช้ในโหมด variable packet length คือมีการกำหนดรีจิสเตอร์ PKTCTRL0.LENGTH\_CONFIG ให้มีค่าเท่ากับ 1 โดยทำการตรวจสอบค่าความยาวของ packet จาก length field ใน packet ข้อมูล หากตัวรับพบว่าขนาดความยาวของข้อมูลนั้นมากกว่าที่กำหนด ก็จะไม่อ่านข้อมูลใน packet นั้นทันที
- CRC Filtering การกรองข้อมูลวิธีนี้ทำได้โดยกำหนดค่ารีจิสเตอร์ PKTCTRL1.CRC\_ATOULUSH ให้เท่ากับ 1 โดยตัวรับจะทำการ flush ข้อมูลก็ต่อเมื่อทำการตรวจสอบแล้วว่า CRC เกิดความผิดพลาดขึ้น และต้องทำการเพิ่มข้อมูลส่วนท้ายของ packet ไป 2 ไบต์ ทำโปรแกรมรีจิสเตอร์ PKTCTRL1.APPEND\_STATUS ให้ทำงาน

**3.3.7.7 Data FIFO** ในตัว CC2500 นั้นจะมี FIFO 64 ไบต์อยู่สองตัว ตัวหนึ่งใช้สำหรับรับข้อมูล ส่วนอีกตัวใช้สำหรับส่งข้อมูล โดย SPI ใช้การอ่านข้อมูลจาก RX FIFO และเขียนข้อมูลจาก TX FIFO และตัว FIFO controller จะพบ overflow ใน RX FIFO และ underflow ใน TX FIFO จำนวนไบต์ของ RX FIFO และ TX FIFO สามารถอ่านได้จาก RXBYTES.NUM\_RXBYTES และ TXBYTES.NUM\_TXBYTES

ตารางที่ 8 แสดงค่าที่ใช้กำหนด PATABLE [27]

Output power, typical +25 C, 3.0 v [dBm]	PATABLE value	Current consumption, typical [mA]
(-55 or less)	0x00	8.4
-30	0x50	9.9
-28	0x44	9.7
-26	0xC0	10.2
-24	0x84	10.1
-22	0x81	10.0

-20	0x46	10.1
-18	0x93	11.7
-16	0x55	10.8
-14	0x8D	12.2
-12	0xC6	11.1
-10	0x97	12.2
-8	0x6E	14.1
-6	0x7F	15.0
-4	0xA9	16.2
-2	0xBB	17.7
0	0xFE	21.2
+1	0xFF	21.5

### 3.4 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบทดลอง โดยทำการทดลองบนต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล การทดลองวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเสียงผ่านเสียงของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

#### 3.4.1 การทดลองวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเสียงของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์คุณภาพเสียงที่มาจากการเล่นเสียงผู้พูดจากชุดคำสั่งเสียงของคำที่ออกเสียงสมดุล (Phonetic Balanced words) และมีการเล่นเสียงรบกวน (SNR: Signal to Noise Ratio) ที่มีค่าที่ต่างแตกต่างกัน และผู้ฟังฟังเสียงในระยะเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน ซึ่งสามารถวัดความเข้าใจของคำได้อย่างแม่นยำในสถานการณ์ที่มีเสียงรบกวนคงที่ และทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test (T-test for statistical analysis) เพื่อเทียบนำมาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีความเป็นภาษาพูดที่ระยะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลว่าขณะใช้แบบระบบสื่อสารไร้สายนั้น ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังที่ระยะใดที่เริ่มมีความแตกต่างลดลง อย่างมีนัยยะสำคัญ โดยขั้นตอนการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. มีการออกแบบการทดลองโดยทำการปรึกษาการออกแบบการทดลองกับนัก Audiologist
2. ทดลองโดยจะมีการสุ่มไฟล์เสียงขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเสียงผู้พูดหลัก (signal) และสุ่มไฟล์เสียงอื่นๆ ขึ้นมาเป็นเสียงผู้พูดรบกวน (noise) โดยเล่นเสียงผู้พูดหลักออกทางลำโพงซ้าย และเล่นเสียงผู้พูดรบกวนออกทางลำโพงขวา และจะมีการปรับระดับเสียงรบกวน (SNR) ของเสียงผู้พูดหลักต่อเสียงผู้พูดรบกวนดังนี้ -18, -12, -6, 0, 6 dB
3. ที่แต่ละค่าเสียงรบกวน (SNR) จะให้ผู้ฟัง ไม่ใช้ระบบสื่อสารไร้สายและฟังเสียงที่เล่นออกมาที่ระยะ 0, 5, 10 เมตร ระยะละ 20 เสียง (1 เสียงจะประกอบด้วยเสียงผู้พูดหลักที่เล่นออกมาทางลำโพงซ้ายและเสียงรบกวนที่เล่นออกมาทางลำโพงขวา)
4. ที่แต่ละค่าเสียงรบกวน (SNR) จะให้ผู้ฟัง ใช้ระบบสื่อสารไร้สายและฟังเสียงที่เล่นออกมาที่ระยะ 0, 5, 10 เมตร ระยะละ 20 คำ โดยวางภาคส่งของอุปกรณ์ไว้ที่ระยะ 0 เมตร เสมอ
5. เก็บบันทึกจำนวนคำที่ผู้ฟังบอกได้อย่างถูกต้องว่าเสียงผู้พูดหลักนั้นเป็นคำอะไรบ้าง เพื่อนำมาหามูลค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำในทุกๆ ค่าเสียงรบกวน (SNR) ทุกๆ ระยะ ขณะใช้และไม่ใช้อุปกรณ์
6. ใช้ผู้ฟังจำนวน 10 คน

## บทที่ 4

### การทดลองและการวิเคราะห์ผล

ทดสอบเพื่อวิเคราะห์ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติ ที่แต่ละค่าเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) -18, -12, -6, 0 และ 6 dB โดยเล่นเสียงของคำด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ส่งเสียงของคำผ่านทางลำโพง ตั้งแต่ระยะ 0, 5 และ 10 เมตร และมีสถานการณ์ทั้งหมด 3 สถานการณ์ ดังต่อไปนี้

- 1) ไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย
- 2) สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล
- 3) สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน

ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test (T-test for statistical analysis) แล้วค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติที่ระยะใดและที่เสียงสัญญาณรบกวนใดเริ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test มีการคำนวณดังต่อไปนี้

#### การวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test (T-test for statistical analysis)

มีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

1. ใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม
2. กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่ม และเป็นอิสระจากกัน
3. ประชากรมีการแจกแจงเป็นโค้งปกติ
4. ความแปรปรวนของประชากรทั้งสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน (equal but unknown)
5. กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ( $n < 30$ )
6. มี degrees of freedom เท่ากับ  $n_1 + n_2 - 2$
7. สมการที่ใช้คือ

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

เมื่อ

t แทน ค่าสถิติ t - test

$\bar{X}_1$  แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1

$\bar{X}_2$  แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 2

$s_1^2$  แทน ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

$s_2^2$  แทน ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

$n_1$  แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

$n_2$  แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สมมติฐานที่ใช้กับการหาค่า t ตามสูตรนี้ คือ

สมมติฐานทางสถิติ :  $H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 > \mu_2$

เราจะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับค่า t วิฤติ และจะยอมรับ  $H_0$

ถ้าค่า t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า t วิฤติ

### การปรับระดับเสียงรบกวน (SNR) ของเสียงผู้พูดหลักต่อเสียงผู้พูดรบกวนมีหลักการดังนี้

การปรับระดับเสียงรบกวน (SNR) โดยเล่นเสียงผู้พูดหลักออกทางลำโพงซ้าย และเล่นเสียงผู้พูดรบกวนออกทางลำโพงขวา และจะมีการปรับระดับเสียงรบกวนโดยปรับค่าระดับเสียงรบกวนที่อยู่ในหน่วย decibel (snr\_db) ซึ่งไม่สามารถที่จะเอาค่านี้ไปคูณหรือหารกับ amplitude ของสัญญาณได้โดยตรง ให้อยู่ในรูปอัตราส่วนของ signal amplitude/ noise amplitude (snr) โดยใช้สมการนี้

$$\text{snr} = 10^{(\text{snr\_db}/20)}$$

จากนั้นได้ทำการ normalize ระดับสัญญาณของ noise (noise amplitude) ที่ทุกๆ sample เพื่อให้ได้ค่า rms รวมทุก sample ที่เท่ากับ signal โดยทำการเทียบอัตราส่วนระหว่าง  $\text{srms}/\text{nrms}$  จากนั้นจึงค่อยทำการลดทอนระดับสัญญาณของ noise ด้วยค่า snr ที่ได้มาจากสมการขั้นต้น ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{noise} = \text{noise} \cdot (\text{srms} / \text{nrms}) / \text{snr}$$

ตจากนั้นนำเสียงสัญญาณของผู้พูดหลักเล่นออกทางลำโพงซ้าย และเล่นเสียงรบกวนที่ได้จากสมการคือค่า noise ออกทางลำโพงขวา เพื่อที่ทดสอบว่าที่เสียงสัญญาณรบกวนต่างๆ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำหรือไม่

## 4.1 การทดสอบวิเคราะห์ประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำในขณะไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย

### 4.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบวิเคราะห์หาค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติว่าที่แต่ละค่าเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ในขณะไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย และฟังเสียงของคำที่เล่นคำออกมาตั้งแต่ระยะ 0, 5 และ 10 เมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test แล้วค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติ ที่ระยะใดและที่เสียงสัญญาณรบกวนใดเริ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

### 4.1.2 วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมสถานที่ทำการทดสอบให้เสมือนห้องเรียนจริง โดยใช้ห้องประชุมบุษกร ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (Nectec: National Electronics and Computer Technology Center) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับห้องเรียนจริง
- 2) ใช้ผู้ทำการทดสอบทั้งหมด 10 ท่าน
- 3) ทำการจำลองสถานการณ์โดยทำการทดสอบฟังเสียงของคำตั้งแต่ที่ระยะ 0, 5 และ 10 เมตร ทุกระยะใช้เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) -18, -12, -6, 0 และ 6 dB ฉะนั้นมีสถานการณ์ที่ทำการจำลองเพื่อทดสอบฟังเสียงของคำทั้งหมด 15 สถานการณ์ในการวิเคราะห์นี้
- 4) ทุกสถานการณ์ให้ผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติแต่ละท่านฟังคำ โดยทำการเล่นคำจากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผ่านทางลำโพง ทำการการสุ่มคำ 20 คำ จากทั้งหมด 68 ของคำที่ออกเสียงสมดุล (Phonetic Balanced words)
- 5) ผู้ทดสอบทำการตอบเสียงของคำโดยการเขียนคำที่ได้ยินลงในแบบทดสอบที่เตรียมไว้ ซึ่งในการตอบคำแต่ละคำนั้นใช้เวลาตอบประมาณ 5 วินาที รวมเวลาต่อหนึ่งท่านที่ใช้ในการทดสอบในการวิเคราะห์นี้ประมาณ 25 นาที
- 6) นำคำตอบจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติทั้งหมดมาทำการหาค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบ จากนั้นคำนวณหาค่าสถิติ T-test จากสมการและนำมาเปรียบเทียบกับค่า t วิฤติที่เปิดได้จากตารางใน ภาคผนวก ค. ถ้าหากที่สถานการณ์ใด ๆ นั้นพบว่าค่าสถิติ T-test ที่คำนวณได้จากสมการมากกว่าค่า t วิฤติที่เปิดได้จากตาราง แสดงว่าที่สถานการณ์นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ



#### 4.1.3 ผลการทดสอบ

จากข้อมูลค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการไต่ยืนปกติจากผู้เข้าทดสอบจำนวน 10 คน ที่แต่ละค่าเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ในขณะที่ไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย ในตารางที่ 8 นำมาเพื่อหาค่า t-test เปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการไต่ยืนปกติจากผู้เข้าทดสอบที่ระยะ 0 กับ 5 เมตร และเปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการไต่ยืนปกติจากผู้เข้าทดสอบที่ระยะ 0 กับ 10 เมตร แสดงตามตารางที่ 9

สามารถหาค่า (df: degrees of freedom) ได้จาก  $n_1 + n_2 - 2$  จากจำนวนผู้เข้าทดสอบมีการไต่ยืนปกติจำนวน 10 คน ( $n = 10$ )

ดังนั้นค่า df เท่ากับ  $10 + 10 - 2 = 18$  ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 0.05: two-tail พบว่าค่า t วิฤติจากตารางที่เปิดในภาคผนวก ค. มีค่าเท่ากับ 2.1

จากตารางที่ 9 พบว่าที่ค่าสถิติ T-test เปรียบเทียบระหว่างระยะ 0 กับ 5 เมตร มีเฉพาะที่สัญญาณรบกวน 0 dB เท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างทางนัยยะสำคัญ ส่วนที่สัญญาณรบกวนอื่นนั้น พบว่ามีความแตกต่างทางนัยยะสำคัญ และที่ค่าสถิติ T-test เปรียบเทียบระหว่างระยะ 0 กับ 10 เมตรพบว่ามีความแตกต่างทางนัยยะสำคัญทั้งหมด

ตารางที่ 9 แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบมีการไต่ยืนปกติจำนวน 10 คน โดยไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย ฟังจากระยะและที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

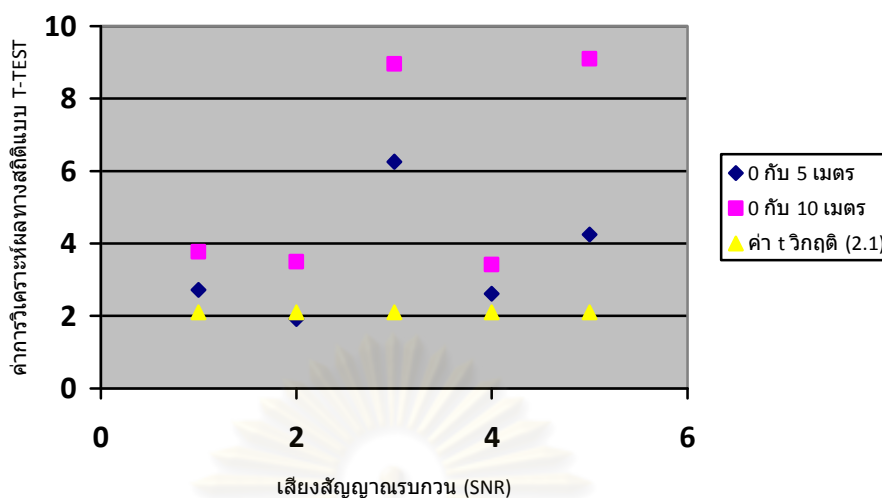
ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำ (%)					
ระยะ	ค่าเสียงสัญญาณรบกวนที่ทำการปรับโดยทำการจำลองขึ้นมา				
	6 dB	0 dB	-6 dB	-12 dB	-18 dB
0 เมตร	96.50	97.50	98.50	96.00	94.50
5 เมตร	90.50	96.00	93.00	85.00	67.50
10 เมตร	74.00	81.00	78.50	70.50	19.00

#### 4.1.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดลองพบว่าค่าสถิติ T-test ตั้งแต่ระยะระหว่าง 0 กับ 5 เมตร พบว่าเริ่มมีความแตกต่างทางนัยยะสำคัญ นั้นหมายความว่าผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติฟังเสียงของคำในสถานการณ์ที่ไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายนั้นจะมีประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำลดลง ตั้งแต่ระยะ 5 เมตร และถ้านำค่าสถิติ T-test ในตารางที่ 9 มาพิจารณาเพิ่มเติมจะพบว่าค่าสถิติ T-test ที่ระยะระหว่าง 0 กับ 10 เมตร มีค่ามากกว่าค่าสถิติ T-test ที่ระยะระหว่าง 0 กับ 5 เมตร แสดงว่ายิ่งฟังเสียงของคำห่างจากระยะ 0 เมตรออกไปประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำนั้นยิ่งลดลงหากไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สาย และหากพิจารณาค่าสถิติ T-test กับเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ที่ระยะระหว่าง 0 กับ 5 เมตรและระยะระหว่าง 0 กับ 10 เมตร พบว่าที่เสียงสัญญาณรบกวน -18 dB นั้นเริ่มมีผลต่อประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำอย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นจากการทดสอบนี้พบว่าทั้งระยะทาง และเสียงสัญญาณรบกวนนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพการฟังจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบ

ตารางที่ 10 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-TEST จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำ จากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน

ค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test					
เปรียบเทียบที่ระยะระหว่าง	ค่าเสียงสัญญาณรบกวนที่ทำการปรับโดยทำการจำลองขึ้นมา				
	6 db	0 db	-6 db	-12 db	-18 db
0 เมตร กับ 5 เมตร	2.72	1.91	6.26	2.61	4.25
0 เมตร กับ 10 เมตร	3.77	3.50	8.96	3.42	9.10



รูปที่ 47 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน

## 4.2 การทดสอบวิเคราะห์ประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำในขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล

### 4.2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบวิเคราะห์หาค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติว่าที่แต่ละค่าเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ในขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล และฟังเสียงของคำที่เล่นคำออกมาตั้งแต่ระยะ 0, 5 และ 10 เมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test แล้วค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติที่ระยะใดและที่เสียงสัญญาณรบกวนใดเริ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

### 4.2.2 วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมสถานที่ทำการทดสอบให้เสมือนห้องเรียนจริง โดยใช้ห้องประชุมบุษกร ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (Nectec: National Electronics and Computer Technology Center) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับห้องเรียนจริง
- 2) ใช้ผู้ทำการทดสอบทั้งหมด 10 ท่าน

- 3) ทำการจำลองสถานการณ์โดยทำการทดสอบฟังเสียงของคำตั้งแต่ที่ระยะ 0, 5 และ 10 เมตร ทุกระยะใช้เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) -18, -12, -6, 0 และ 6 dB ฉะนั้นมีสถานการณ์ที่ทำการจำลองเพื่อทดสอบฟังเสียงของคำทั้งหมด 15 สถานการณ์ในการวิเคราะห์นี้
- 4) ทุกสถานการณ์ให้ผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติแต่ละท่านฟังคำ โดยทำการเล่นคำจากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผ่านทางลำโพง ทำการการสุ่มคำ 20 คำจากทั้งหมด 68 คำที่ออกเสียงสมดุล (Phonetic Balanced words)
- 5) ผู้ทดสอบทำการตอบเสียงของคำโดยการเขียนคำที่ได้ยินลงในแบบทดสอบที่เตรียมไว้ ซึ่งในการตอบคำแต่ละคำนั้นใช้เวลาตอบประมาณ 5 วินาที รวมเวลาต่อหนึ่งท่านที่ใช้ในการทดสอบในการวิเคราะห์นี้ประมาณ 25 นาที
- 6) นำคำตอบจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติทั้งหมดมาทำการหาค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบ จากนั้นคำนวณหาค่าสถิติ T-test จากสมการและนำมาเปรียบเทียบกับค่า t วิถีสถิติที่เปิดได้จากตารางใน ภาคผนวก ค. ถ้าหากที่สถานการณ์ใดๆนั้นพบว่าค่าสถิติ T-test ที่คำนวณได้จากสมการมากกว่าค่า t วิถีสถิติที่เปิดได้จากตาราง แสดงว่าที่สถานการณ์นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

#### 4.2.3 ผลการทดสอบ

จากข้อมูลค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจากผู้เข้าทดสอบจำนวน 10 คน ที่แต่ละค่าเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ในขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล ในตารางที่ 10 นำมาเพื่อหาค่าสถิติ T-test เปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติที่ระยะ 0 กับ 5 เมตร และ เปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจากผู้เข้าทดสอบที่ระยะ 0 กับ 10 เมตร แสดงตามตารางที่ 11

สามารถหาค่า (df: degrees of freedom) ได้จาก  $n_1 + n_2 - 2$  จากจำนวนผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน ( $n = 10$ )

ดังนั้นค่า df เท่ากับ  $10 + 10 - 2 = 18$  ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 0.05: two-tail พบว่าค่า t วิถีสถิติจากตารางที่เปิดในภาคผนวก ค. มีค่าเท่ากับ 2.1

จากตารางที่ 11 พบว่าที่ค่าสถิติ T-test เปรียบเทียบระหว่างระยะ 0 กับ 10 เมตร มีเฉพาะที่สัญญาณรบกวน -18 dB เท่านั้นที่มีความแตกต่างทางนัยยะสำคัญ ส่วนที่สัญญาณ

รบกวนอื่นนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างทางนัยยะสำคัญ และที่ค่าสถิติ T-test เปรียบเทียบระหว่างระยะ 0 กับ 5 เมตรพบว่าไม่มีความแตกต่างทางนัยยะสำคัญทั้งหมด

ตารางที่ 11 แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล ฟังจากระยะและที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำ (%)					
ระยะ	ค่าเสียงสัญญาณรบกวนที่ทำการปรับโดยทำการจำลองขึ้นมา				
	6 dB	0 dB	-6 dB	-12 dB	-18 dB
0 เมตร	86.00	87.50	88.50	91.50	87.00
5 เมตร	87.50	92.00	90.50	91.00	89.00
10 เมตร	88.00	92.00	90.50	94.00	94.00

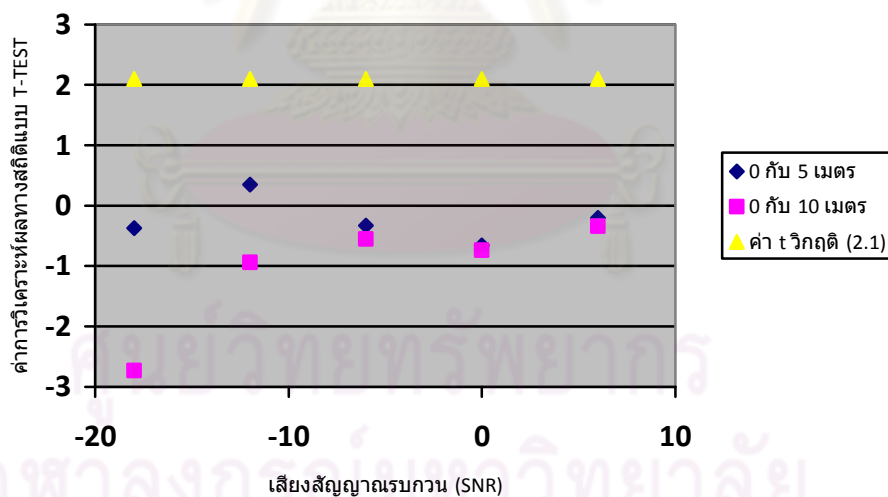
#### 4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

เพราะฉะนั้นจากตารางที่ 11 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน พบว่าการทดสอบที่ระยะระหว่าง 0 กับ 5 เมตร นั้นไม่มีความแตกต่างลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ แสดงว่าประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำไม่ได้ลดลงส่วนที่ระยะระหว่าง 0 กับ 10 เมตร เสียงสัญญาณรบกวน -18 db มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่ถ้าหากวิเคราะห์จากข้อมูลในตารางที่ 10 พบว่าค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังที่ระยะ 0 เมตร เสียงสัญญาณรบกวน -18 db นั้น มีค่าเท่ากับ 87.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังที่ระยะ 10 เมตร เสียงสัญญาณรบกวน -18 db มีค่าเท่ากับ 94.00 ประกอบกับค่าสถิติ T-test ที่คำนวณได้นั้นพบว่าไม่มีค่าเป็นลบ ซึ่งไม่ได้มากกว่าค่า t วิฤติ จึงสรุปได้ว่าที่ระยะ 10 เมตร เสียงสัญญาณรบกวน -18 db มีความแตกต่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ แสดงว่าประสิทธิภาพการฟังเสียงไม่ได้ลดลงเมื่อเทียบการฟังเสียงของคำที่ระยะ 0 เมตร กับระยะ 5 กับ 10 เมตร ในขณะที่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล และหากพิจารณาค่าสถิติ T-test กับเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ที่

ระยะระหว่าง 0 กับ 5 เมตรและระยะระหว่าง 0 กับ 10 เมตร พบว่าเสียงสัญญาณรบกวนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการฟังเสียงของคำ

ตารางที่ 12 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-TEST จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน

ค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test					
เปรียบเทียบที่ระยะระหว่าง	ค่าเสียงสัญญาณรบกวนที่ทำการปรับโดยทำการจำลองขึ้นมา				
	6 dB	0 dB	-6 dB	-12 dB	-18 dB
0 เมตร กับ 5 เมตร	-0.20	-0.66	-0.33	0.15	-0.37
0 เมตร กับ 10 เมตร	-0.34	-0.74	-0.55	-0.94	-2.73



รูปที่ 48 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะที่ 0 และ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน

### 4.3 การทดสอบวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเสียงในขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลกับเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน

#### 4.3.1 วัตถุประสงค์

ทดสอบเพื่อวิเคราะห์ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบที่มีการได้ยินปกติว่าที่แต่ละค่าเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ในขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล และเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียนที่ระยะ 5 เมตร ว่าเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test แล้วค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติ เพื่อทำการทดสอบว่าขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลและขณะสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียนมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญหรือไม่

#### 4.3.2 วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมสถานที่ทำการทดสอบให้เสมือนห้องเรียนจริง โดยใช้ห้องประชุมบุษกร ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (Nectec: National Electronics and Computer Technology Center) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับห้องเรียนจริง
- 2) ใช้ผู้ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ท่าน
- 3) ทำการจำลองสถานการณ์โดยทำการทดสอบฟังเสียงของคำตั้งแต่ที่ระยะ 5 เมตร ใช้เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) -18, -12, -6, 0 และ 6 dB ฉะนั้นมีสถานการณ์ที่ทำการจำลองเพื่อทดสอบฟังเสียงของคำทั้งหมด 5 สถานการณ์ในการวิเคราะห์นี้
- 4) ทุกสถานการณ์ให้ผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติแต่ละท่านฟังคำ โดยทำการเล่นคำจากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผ่านทางลำโพง ทำการการสุ่มคำ 20 คำจากทั้งหมด 68 คำที่ออกเสียงสมดุล (Phonetic Balanced words)
- 5) ผู้ทดสอบทำการตอบเสียงของคำโดยการเขียนคำที่ได้ยินลงในแบบทดสอบที่เตรียมไว้ ซึ่งในการตอบคำแต่ละคำนั้นใช้เวลาตอบประมาณ 5 วินาที รวมเวลาต่อหนึ่งท่านที่ใช้ในการทดสอบในการวิเคราะห์นี้ประมาณ 9 นาที
- 6) นำคำตอบจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติทั้งหมดมาทำการหาค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบ จากนั้นคำนวณหาค่าสถิติ T-test จากสมการและนำมาเปรียบเทียบกับค่า t วิถีปฏิบัติที่ได้จากตารางใน ภาคผนวก ค. ถ้าหากที่สถานการณ์ใด ๆ นั้นพบว่า

ค่าสถิติ T-test ที่คำนวณได้จากสมการมากกว่าค่า t วิกฤติที่เปิดได้จากตาราง แสดงว่าที่สถานการณ์นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

#### 4.3.3 ผลการทดสอบ

จากข้อมูลค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจากผู้เข้าทดสอบจำนวน 5 คน ที่แต่ละค่าเสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ในขณะที่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลในตารางที่ 12 นำมาเพื่อหาค่าสถิติ T-test เพื่อเทียบค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติโดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล กับความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติโดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน ฟังที่ระยะ 5 เมตร เพื่อหาว่า ในขณะที่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายทั้งสองแบบนี้ ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติมีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญหรือไม่

สามารถหาค่า (df: degrees of freedom) ได้จาก  $n_1 + n_2 - 2$  จากจำนวนผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน ( $n = 5$ )

ดังนั้นค่า df เท่ากับ  $5 + 5 - 2 = 8$  ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 0.05: two-tail พบว่าค่า t วิกฤติจากตารางที่เปิดในภาคผนวก ค. มีค่าเท่ากับ 2.31

จากตารางที่ 13 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน ที่ระยะ 5 เมตร สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลเทียบกับระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน นั้นไม่มีความแตกต่างลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ กล่าวคือที่ระยะ 5 เมตรนั้น ทั้งเครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลและระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียนนั้นมีความคุณภาพเสียงที่ได้ยินไม่ต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 13 แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลกับเครื่องรับสัญญาณไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน ฟังจากระยะ 5 เมตร ที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

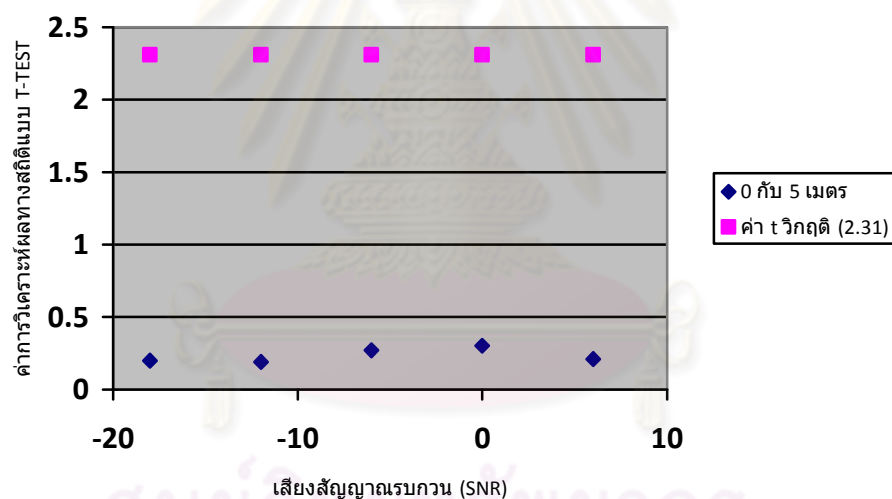
ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำ (%)					
สวมอุปกรณ์	ค่าเสียงสัญญาณรบกวนที่ทำการปรับ โดยทำการจำลองขึ้นมา				
	6 dB	0 dB	-6 dB	-12 dB	-18 dB
ต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล	88.00	91.00	92.00	88.00	88.00
ระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน	68	60.00	54.00	72.00	67.00

#### 4.3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

แต่หากนำค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติที่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลเทียบกับระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน ที่ระยะ 5 เมตร จากตารางที่ 12 พบว่า ค่าค่าถูกต้องเฉลี่ยของในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติที่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลนั้นมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตอบคำที่ทุกเสียงสัญญาณรบกวนอยู่ประมาณที่ 89.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียนนั้นมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตอบคำที่ทุกเสียงสัญญาณรบกวนอยู่ประมาณที่ 64.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากหูฟังของอุปกรณ์ที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียนค่อนข้างใสบาก เนื่องจากเป็นหูฟังสำหรับเฉพาะบุคคลซึ่งขึ้นอยู่แต่ละพิมพ์หูของแต่ละคน ผู้ทดสอบจึงอาจจะสวมใส่ลำบาก และอีกกรณีคืออุปกรณ์ที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียนในค่อนข้างโดนสัญญาณรบกวนมาก ทำให้มีเสียงรบกวนอยู่ตลอดเวลาซึ่งระยะรับส่งสัญญาณห่างมากขึ้นเสียงรบกวนยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 14 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-TEST จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบ คำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน โดยเทียบกันระหว่างสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลกับระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงอยู่ในโรงเรียน ที่ระยะ 5 เมตร และที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน

ค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test					
เปรียบเทียบระหว่าง	ค่าเสียงสัญญาณรบกวนที่ทำการปรับ โดยทำการจำลองขึ้นมา				
	6 dB	0 dB	-6 dB	-12 dB	-18 dB
เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัล กับระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงในโรงเรียน	0.21	0.30	0.27	0.19	0.2



รูปที่ 49 แสดงค่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ T-test จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 5 คน โดยเทียบกันระหว่างสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลกับระบบไร้สายดิจิทัลที่ใช้อยู่จริงอยู่ในโรงเรียน ที่ระยะ 5 เมตร และที่เสียงสัญญาณรบกวน (SNR) ต่างกัน

#### 4.4 การประเมินความพึงพอใจของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

เกณฑ์ในการให้คะแนนความพึงพอใจจากผู้เข้าฟังเพื่อทดสอบต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

พอใจมากที่สุด	5 (100% – 80%)
พอใจมาก	4 (80% – 60%)
พอใจ	3 (60% – 40%)
ไม่ค่อยพอใจ	2 (40% – 20%)
ไม่พอใจเลย	1 (20% – 0%)

ตารางที่ 15 แสดงค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

รายการ	คะแนนความพึงพอใจ (%)
1. คุณภาพเสียง	72
2. น้ำหนัก	72
3. ขนาด	70
4. รูปลักษณ์	66
5. ปุ่มเปิดปิดและปรับระดับเสียง	70
6. สี	64
7. ความยากง่ายในการใช้งาน	76

จากการให้ผู้เข้าฟังเพื่อทดสอบต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลทั้งหมดจำนวน 10 คน พบว่าค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจรวมทั้งหมด มีค่าประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใจมาก คะแนนความพึงพอใจที่ได้น้อยส่วนใหญ่จะเป็นส่วนของรูปลักษณ์และสีของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สาย ซึ่งสอดคล้องกับข้อคิดเห็นเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้เข้าฟังคืออยากให้มีส่วนของอุปกรณ์เพื่อให้ดูมีความน่าสนใจ อยากให้ปุ่มปรับเสียงอุปกรณ์ประกอบให้อยู่ในชั้นเดียวกับเครื่องรับสัญญาณไร้สาย

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล พบว่าสามารถทำการสื่อสารทางเดียวแบบแพร่สัญญาณได้โดยเครื่องส่งสัญญาณไร้สาย (TX: Transmitter) 1 ตัว ส่งสัญญาณเสียงไปยังเครื่องรับสัญญาณไร้สาย (RX: Receiver) ได้มากกว่า 1 ตัว โดยต้องทำการปรับช่องสัญญาณให้ตรงกัน โดยมีช่องสัญญาณให้เลือกปรับทั้งหมด 40 ช่องสัญญาณ สามารถรับส่งสัญญาณได้ในระยะ 10 เมตร ทำการทดสอบวัดการกินกระแสไฟฟ้า สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 100 มิลลิแอมป์ ซึ่งใช้กับแบตเตอรี่ชนิด lithium-ion(Li+) 1000 มิลลิแอมป์ ได้ถึง 10 ชั่วโมง รองรับสัญญาณ 8 KHz ได้และความดังปรับได้ถึง 125 db SPL และมีไฟสัญญาณแสดงเมื่อออกนอกนอกระยะการทำงาน คุณสมบัติที่ขาดไปคือไม่สามารถสื่อสารกับเครื่องช่วยฟังผ่านอุปกรณ์คอลลิ่งคอค (Neck loop) เนื่องจากเครื่องช่วยฟังบางรุ่นสามารถเสียบเข้ากับเครื่องรับสัญญาณคลื่นไร้สายโดยตรง(DAI: Direct Audio Input) ซึ่งเสียบเข้ากับ Headphones หรือ Earphones ได้เลย และรุ่นของเครื่องช่วยฟังที่นำมาทดสอบเปรียบเทียบผลนั้นได้ไม่ได้เป็นรุ่นที่สื่อสารกับเครื่องช่วยฟังผ่านอุปกรณ์คอลลิ่งคอค จึงไม่ได้ทำการพัฒนาในส่วนนี้

ตารางที่ 16 แสดงความสามารถของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

คุณสมบัติทั่วไป	ความสามารถ
1.การสื่อสารทางเดียวแบบแพร่สัญญาณ (one-to-many)	ได้
2.ทดสอบการเลือกช่องสื่อสารได้ไม่น้อยกว่า 40 ช่อง	ได้
3.ทดสอบระยะการทำงานได้ 10 เมตร	ได้
4.ทดสอบการสื่อสารกับเครื่องช่วยฟังผ่านอุปกรณ์คอลลิ่งคอค (Neck loop)	ไม่ได้
5.ทดสอบการกินไฟต่ำกว่า 450 มิลลิแอมป์ หรือใช้งานได้นานกว่า 4 ชั่วโมง	ได้
6.ทดสอบมีปุ่มปรับ ความดังที่เครื่องรับสัญญาณ	ได้
7.ทดสอบการรองรับสัญญาณได้ถึง 8 KHz และความดังได้ถึง 125 db SPL	ได้
8.ทดสอบมีไฟสัญญาณบอกเมื่อออกนอกระยะการทำงาน	ได้

จากการทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล พบว่า

- สามารถทำการสื่อสารทางเดียวแบบแพร่สัญญาณ (one-to-many) ได้
- สามารถเลือกช่องสื่อสารได้ไม่น้อยกว่า 40 ช่อง
- สามารถส่งรับสัญญาณได้ที่ระยะการทำงานได้ 10 เมตร นั้นไม่มีความแตกต่างลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญกับระยะ 0 เมตร ทำให้สรุปได้ว่าที่ระยะ 0 เมตรและ 10 เมตร ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติที่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบไร้สายดิจิทัลนั้นไม่แตกต่างกัน กล่าวคือไม่ว่าที่ระยะ 0 เมตร หรือ 10 เมตร ประสิทธิภาพการฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติ ฟังนั้นไม่แตกต่างกัน
- ไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับการสื่อสารกับเครื่องช่วยฟังผ่านลูปชนิดคล้องคอได้ (Neck loop) แต่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับหูฟังได้
- สามารถกินต่ำกว่า 450 มิลลิแอมป์ ได้โดยใช้แบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จซ้ำใหม่ได้ ชนิด lithium-ion(Li+) 1000 มิลลิแอมป์ ใช้งานได้ถึง 10 ชั่วโมง แต่นำไปทดสอบใช้ทดสอบจริงนั้นสามารถใช้งานได้ประมาณ 8 ชั่วโมง แต่ก็มากกว่า 4 ชั่วโมงที่ตั้งเป้าไว้ครั้งแรก
- มีปุ่มปรับความดังในส่วนของภาครับสัญญาณ
- สามารถรองรับสัญญาณได้ถึง 8 KHz และความดังได้ถึง 125 db SPL
- ตัวรับสัญญาณไร้สายสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้ได้เมื่อไม่ตัวรับสัญญาณไร้สายไม่สามารถรับข้อมูลได้จากตัวส่งสัญญาณไร้สาย

การทดลองวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเสียงของต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

- จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะต่างๆ พบว่าการมีความแตกต่างลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ กล่าวคือ ถึงหากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติไม่สวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายนั้น ที่ระยะห่างไปออกไปจากจุดกำเนิดเสียงจะทำให้ผู้ฟังนั้นมีประสิทธิภาพในการฟังลดลง
- จากค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตอบคำจากการเข้าทดสอบฟังของผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติจำนวน 10 คน โดยสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลเทียบระยะที่ 0 เมตร กับระยะต่างๆ พบว่าการมีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ กล่าวคือ ถึงหากผู้เข้าทดสอบมีการได้ยินปกติสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลนั้น ที่ระยะห่างไปออกไปจากจุดกำเนิดเสียง

จะทำให้ผู้ฟังนั้นมีประสิทธิภาพในการฟังไม่ต่างเท่ากับได้ยินที่ตำแหน่งจุดกำเนิดเสียง

- เครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลนั้นมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่องรับสัญญาณไร้สายที่ใช้จริงอยู่ในโรงเรียน เนื่องจากที่ระยะเดียวกันสวมใส่เครื่องรับสัญญาณไร้สายเหมือนกันพบว่าผลการคำนวณ t-test นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ
- ระบบ ALS ชนิดระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ด้วยโพโรโทคอลออกแบบเอง นั้นสามารถช่วยลดปัญหาการได้ยินที่เกิดจากระยะทางได้
- ระบบ ALS ชนิดระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ด้วยโพโรโทคอลออกแบบเอง นั้นสามารถช่วยลดปัญหาในการได้ยินในสถานการณ์ที่มีสัญญาณรบกวนได้
- ระบบ ALS ชนิดระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ด้วยโพโรโทคอลออกแบบเอง สามารถเป็นทางเลือกที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการได้ยินในห้องเรียนได้ เนื่องจากพกพาสะดวก ไม่ต้องมีการติดตั้งที่ยุงยาก ทำงานแบบแพร่สัญญาณได้ และประหยัดพลังงาน
- สามารถพัฒนาเครื่องรับสัญญาณไร้สายต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลนั้นใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งใช้งบประมาณในการผลิตต่อเครื่องไม่เกิน 10,000 บาท

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล ผู้ทำวิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- ควรใช้มอดูล ADC (Analog to Digital Converter) ที่มีความละเอียดมากกว่านี้ เพื่อคุณภาพของเสียงที่ดีขึ้น เนื่องจากการประมวลผลข้อมูลบนตัวประมวลผล MSP430 นั้นสามารถแปลงได้ 12 Bits แต่ขณะนี้ใช้เพียงความละเอียดเพียง 8 Bits
- ควรใช้มอดูล DAC (Digital to Analog Converter) ตอนแปลงกลับในตัวรับสัญญาณไร้สาย ให้มีความละเอียดมากกว่านี้ เพื่อคุณภาพของเสียงที่ดีขึ้น เนื่องจากการประมวลผลข้อมูลบนตัวประมวลผล MSP430 นั้นสามารถแปลงได้ 12 Bits แต่ขณะนี้ใช้เพียงความละเอียดเพียง 8 Bits
- หากมีความเชี่ยวชาญในการออกแบบบอร์ดต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลจะทำให้มีสัญญาณรบกวนน้อยกว่านี้ เนื่องจากเมื่อเสียงผ่านบอร์ดประมวลผลแล้วเสียงที่ได้มีเสียงรบกวนพอสมควรเป็นเสียงคงที่ จึงคาดว่าน่าจะเป็นสัญญาณรบกวนจากบอร์ดบอร์ดต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัล

### 5.3 การดำเนินงานในอนาคต

จากการพัฒนาต้นแบบระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลในห้องเรียนสำหรับผู้ทีบกพร่องทางการได้ยิน ผู้ทำวิจัยมีแนวทางในการดำเนินงานในอนาคต ดังนี้

- ปรับปรุงประสิทธิภาพ การลดเสียงรบกวนที่เกิดจากภายในวงจรของระบบสื่อสารไร้สายดิจิทัลให้ดียิ่งขึ้น
- ปรับปรุงประสิทธิภาพของสัญญาณรับส่งไร้สายดิจิทัล โดยการเพิ่มในส่วนของ Forward error correction coding (FEC) เข้ามา
- ปรับปรุงขนาด รูปลักษณะ ให้ดูน่าใช้งานมากขึ้น เนื่องจากหากต้องการนำไปใช้จริงกับนักเรียนที่บกพร่องทางการได้ยิน ควรออกแบบอุปกรณ์ให้ดูน่าดึงดูดความสนใจ ง่ายกับการใช้งาน กระทัดรัดและทนต่อการใช้งานได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] Connevas Catalogue. Connevas Catalogue 2010 [Online]. Available from :  
[http://www.connevas.com/products/page\\_003.pdf](http://www.connevas.com/products/page_003.pdf) [2011, May 17]
- [2] Nordic Semiconductor technical article. Bringing The Power of Wireless to Medical Applications [Online]. Available from :  
[www.nordicsemi.com/eng/content/download/2506/30033](http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2506/30033) [2011, May 17]
- [3] Wang, C.H., Tien, C.C., and Chen, C.Y. Wearable Physiological Monitoring System using 2.4GHz RF Transceiver. Chung Hua Journal of Science and Engineering (September 2007) : 59-62.
- [4] Chunrod, P., Atikij, S., Mancharoen, J., Luangviriyasang, N., Buasatit, S., and Kwankeo, N. Wireless ECG Monitoring System. International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology. (February 2008) : 70-73.
- [5] Dubsok, P., Israsena, P., and Pan-ngum, S. Designing an Embedded Digital Wireless System for Hearing Impaired Students. The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (November 2008) : 382-386.
- [6] Santiyanon, J., Suwattana, D., Goenchanart, U., Malisuwan, S., and Sivaraks, J. Study on the Performance of Bluetooth Transmissions in Electromagnetic Interference Environment from the 800 MHz Mobile Phone. Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems 2002 (October 2002) : 121-126.
- [7] Nordic Semiconductor Application Notes. Frequency Agility Protocol for nRF24xx [Online]. Available from : <http://www.freqchina.com/cn/down.asp?ID=45> [2011, May 17]
- [8] Bakke, M.H., Levitt, H., Ross, M., and Erickson, F. Large Area Assistive Listening Systems (ALS): Review and Recommendations. Lexington School for the Deaf/Center for the Deaf Rehabilitation Engineering Research Center on Hearing Enhancement 30<sup>th</sup> Ave and 75<sup>th</sup>, New York: Compliance Board, 1999.
- [9] Israsena, P., and Pan-ngum, S. A study of Low-Cost Robust Assistive Listening



- System based on UHF Wireless Technology. Proceedings of the 1st International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology (April 2007) : 139-141.
- [10] Assistive Audio. Images for Induction Loop [Online]. Available from : <http://www.assistiveaudio.com> [2011, May 17]
- [11] Bluetooth Special Interest Group. Bluetooth Wireless Technology [Online]. Available from : <http://www.bluetooth.org> [2011, May 17]
- [12] Networks and Telecommunications Research Group. Piconet [Online]. Available from : <http://ntrg.cs.tcd.ie/undergrad/4ba2.01/group3/terminology.html> [2011, May 17]
- [13] Ho, J. Bluetooth broadcasting. Master's Thesis, Department of Computer and Information Science Norwegian University of Science and Technology, 2006.
- [14] Wang, A.I., and Ho, J. Is Bluetooth Broadcasting Practical and Useful?. The 2007 International Symposium on Collaborative Technologies and System (May 2007) : 356-363.
- [15] Peterson, B.S., Baldwin, R.O., and Raines, R.A. Bluetooth Discovery Time with Multiple Inquirers. Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences (January 2006): 232a-232a.
- [16] Wang, A.I., and Norum, M.S. Issues related to Development of Wireless Peer-to-Peer Games in J2ME. First Conference on Entertainment Systems (February 2006): 3-4.
- [17] Nokia. Image of Frequency hopping and Collision [Online]. Available from : <http://www.forum.nokia.com> [2011, May 17]
- [18] ZigBee Alliance. ZigBee Wireless Technology [Online] . Available from : <http://www.zigbee.org> [2011, May 17]
- [19] Eartone Hearing Solutions. Image of Hearing Aid Devices [Online]. Available from : <http://www.eartone.co.th> (Access dated: March 2011) [2011, May 17]
- [20] University of Miami School of Medicine Cochlear Implant center. Image of Cochlear implant [Online]. Available from : <http://cochlearimplants.med.miami.edu> [2011, May 17]

- [21] Microchip Datasheet. PIC16F87x 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers [Online].  
Available from : [ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf)  
[2011, May 17]
- [22] SUMMITEK Technology Datasheet. ST-TR2500-FSK-2.4GHz Transceiver Module  
[Online]. Available from : <http://www.icdistribution.net/download/ST-TR2500-FSK-2.4GHz.pdf> [2011, May 17]
- [23] Chipcon Products Application Note. Wireless audio using CC1010 [Online].  
Available from : <http://focus.ti.com/lit/an/swra066/swra066.pdf> [2011, May 17]
- [24] R. Boylestad and L. Nashelsky. Electornic Devices and Circuit Theory, 7<sup>th</sup> edition.  
Prentice-Hall, 1996.
- [25] Bernard Grob. Basic Electronics, 6<sup>th</sup> edition. Mc-Grawhill, 1989
- [26] Chipcon Products Datasheet. CC2500 Low-Cost Low-Power 2.4 GHz RF Transceiver [Online]. Available from :  
<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2500.pdf> [2011, May 17]
- [27] Venus Supply Product. FSK 2.4 GHz Transceiver Module [Online]. Available from :  
<http://www.thaieasyelec.com/Development-Tools/Wireless-GPS-GSM/General-RF> [2011, May 17]
- [28] ICDshop.net Product. FSK 2.4 GHz Transceiver Module [Online]. Available from :  
<http://www.icdshop.net/category.asp?Lang=2&select1=10&list=yes> [2011, May 17]
- [29] Phonak Products and Solution. EasyLink User Guide [Online]. Available from :  
[http://www.phonak.com/content/dam/phonak/b2b/C\\_M\\_tools/FM/Classic\\_FM/Classic-FM-EasyLink-User-Guide.pdf](http://www.phonak.com/content/dam/phonak/b2b/C_M_tools/FM/Classic_FM/Classic-FM-EasyLink-User-Guide.pdf) [2011, May 17]
- [30] Phonak Products and Solution. SmartLink User Guide [Online]. Available from :  
[http://www.phonak.com/content/dam/phonak/b2b/C\\_M\\_tools/FM/Classic\\_FM/Classic-FM-SmartLink-User-Guide.pdf](http://www.phonak.com/content/dam/phonak/b2b/C_M_tools/FM/Classic_FM/Classic-FM-SmartLink-User-Guide.pdf) [2011, May 17]
- [31] Phonak Products and Solution. Campus SX User Guide [Online]. Available from :  
<http://www.connevans.com/instructions/3pcampsx.pdf> [2011, May 17]
- [32] Comfort Products and Solution. Contego User Guide [Online]. Available from :

- <http://www.hearingaiddocs.com/sites/default/files/Comfort%20Contego%20User%20Guide.pdf> [2011, May 17]
- [33] FmGenie Products and Solution. fmGenie User Guide [Online]. Available from : [http://www.connevans.com/information/fmgenie\\_specw.pdf](http://www.connevans.com/information/fmgenie_specw.pdf) [2011, May 17]
- [34] Texas Instruments Datasheets. 16-Bit Ultra Low Power MSP430F16X Microcontrollers [Online]. Available from : <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f1611.pdf> [2011, May 17]
- [35] ON Semiconductor Datasheets. 0.9V Rail-to-Rail Single Operational Amplifier [Online]. Available from : [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/NCS2001-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCS2001-D.PDF) [2011, May 17]
- [36] Maxim Integrated Datasheets. SOT23 Dual-Input USB/AC Adapter 1-Cell Li+ Battery Chargers [Online]. Available from : <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1551-MAX1555.pdf> [2011, May 17]
- [37] Maxim Integrated Datasheets. 5<sup>th</sup>- Order Lowpass Elliptic Switched-Capacitor Filters [Online]. Available from : <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX7426-MAX7427.pdf> [2011, May 17]
- [38] Maxim Integrated Datasheets. 500mA Low-Voltage Linear Regulator in uMax [Online]. Available from : <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/104445/MAXIM/MAX1806EUA15.html> [2011, May 17]
- [39] Texas Instruments Datasheets. 50-mW Ultralow Voltage Stereo Headphone Audio Power Amplifier [Online]. Available from : <http://focus.ti.com/lit/ds/slos269b/slos269b.pdf> [2011, May 17]



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ

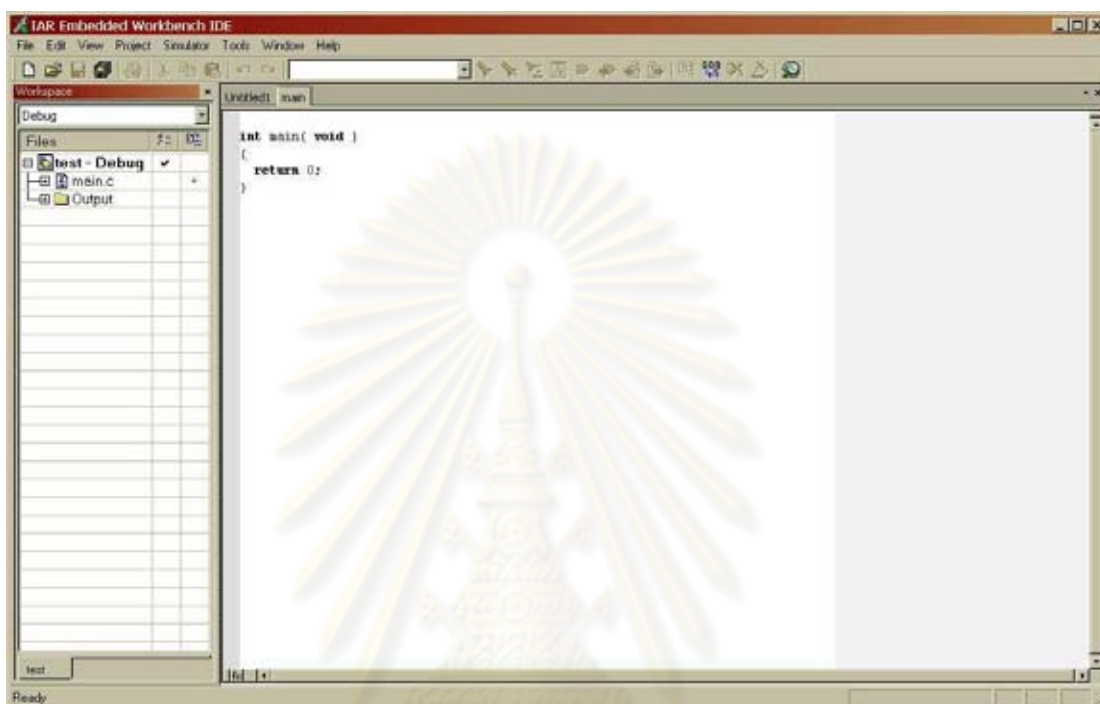
ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง บทความเรื่อง Designing an Embedded Digital Wireless System for Hearing Impaired Students นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The third International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME 2008) จัดที่โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 10 - 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proc. 1st Biomedical Engineering International Conference (BME iCON), หน้า 382-386 โดย นายภควัฒน์ ดับโตก ผศ.ดร. เศรษฐา ปานงาม และ ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา[5]



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

## ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค

โค้ดที่ใช้ในการทดสอบการทดลองและคำนวณค่าต่างๆ บนโปรแกรม MATLAB

play\_1k ใช้สำหรับเล่นเสียงเพื่อปรับความดังที่ 50 db

```
fs=48000;
k=strcat('1k_norm.wav');
buff_1k_norm=wavread(k);
buff_1k_norm_r=zeros(480000,2);
buff_1k_norm_r(:,2)=buff_1k_norm(:,1);
for i=1:2
    disp('playing');
    wavplay(buff_1k_norm,fs);
end
```

gen ใช้สำหรับสุ่มเล่นคำ 20 คำ ที่ SNR ต่างกัน

```
name='1';
als_device='wp';
range='10';
snr_db=6;
folder=strcat(als_device,'_',range,'_',num2str(snr_db));
mkdir(folder);
file=strcat(cd,'\',folder,'\',name,'_',als_device,'_',range,'_',num2str(snr_db),'.xls');
total=20;4
snr=10^(snr_db/20);
fs=48000;
sec=2;
signal_length=sec*fs;
pair=zeros(total,1);
for count=1:total
    s=round(rand(1)*68);
while
```

```

(s==0)|| (s==pair(1,1))|| (s==pair(2,1))|| (s==pair(3,1))|| (s==pair(4,1))|| (s==pair(5,1))|| (s==
pair(6,1))|| (s==pair(7,1))|| (s==pair(8,1))|| (s==pair(9,1))|| (s==pair(10,1))|| (s==pair(11,1))|| (
s==pair(12,1))|| (s==pair(13,1))|| (s==pair(14,1))|| (s==pair(15,1))|| (s==pair(16,1))|| (s==pai
r(17,1))|| (s==pair(18,1))|| (s==pair(19,1))|| (s==pair(20,1))

s=round(rand(1)*68);

end

k=strcat(cd,'w_2s_norm\','w_2s_norm_',int2str(s));

[signal,fs]=wavread(k);

signal_lpass = lpass(signal,fs, 10, 5, 256);
mag=10.^(signal_lpass/20);
freq=linspace(0,1,length(mag));
filt = fir2(512,freq,mag);
m=strcat(cd,'w\','w_',int2str(s));
buff=wavread(m);
b=size(buff);
start=((fs/2)+1);
stop=(((fs/2)+1)+b(1,1));
srms=0;
for sample=start:stop
srms=srms+(signal(sample,1)^2);
end
srms=sqrt(srms/b(1,1));
npts=length(signal);
n=rand(npts,1);
noise=conv(n,filt);
nrms=rms(noise);
noise=noise.*(srms./nrms)/snr;
spectrogram(noise,256,250,256,fs);
sn=zeros(signal_length,2);

```



```

sn(:,1)=signal;
sn(:,2)=noise(1:96000,1);
wavplay(sn,fs);
pair(count,1)=s;
end
xlswrite(file, pair);

```

ใช้สำหรับคำนวณหาค่า t-test

```

val_1=[20 20 20 20 20 20 20 20 20 20];
val_2=[20 20 20 20 20 20 20 20 20 20];
n1=length(val_1);
n2=length(val_2);
x1_mean=mean(val_1);
x2_mean=mean(val_2);
s1=var(val_1);
s2=var(val_2);
degree_of_freedom=n1+n2-2
t=(x1_mean-x2_mean)/((sqrt(((n1-1)*(s1^2))+((n2-1)*(s2^2)))/(n1+n2-
2)))*((1/n1)+(1/n2))
t_0_025_18=2.1;
if abs(t)<t_0_025_18
    disp('accept');
else
    disp('reject');
end

```

## ภาคผนวก ง

ตารางแสดงค่า Degrees of freedom ของ t-test

df	$t_{0.1}$	$t_{0.05}$	$t_{0.025}$	$t_{0.01}$	$t_{0.005}$
2	1.89	2.92	4.3	6.96	9.92
3	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84
4	1.53	2.13	2.78	3.75	4.6
5	1.48	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.44	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.41	1.89	2.36	3.	3.5
8	1.4	1.86	2.31	2.9	3.36
9	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17
11	1.36	1.8	2.2	2.72	3.11
12	1.36	1.78	2.18	2.68	3.05
13	1.35	1.77	2.16	2.65	3.01
14	1.35	1.76	2.14	2.62	2.98
15	1.34	1.75	2.13	2.6	2.95
16	1.34	1.75	2.12	2.58	2.92
17	1.33	1.74	2.11	2.57	2.9
18	1.33	1.73	2.1	2.55	2.88
19	1.33	1.73	2.09	2.54	2.86
20	1.33	1.72	2.09	2.53	2.85
21	1.32	1.72	2.08	2.52	2.83
22	1.32	1.72	2.07	2.51	2.82
23	1.32	1.71	2.07	2.5	2.81
24	1.32	1.71	2.06	2.49	2.8
25	1.32	1.71	2.06	2.49	2.79
26	1.31	1.71	2.06	2.48	2.78
27	1.31	1.7	2.05	2.47	2.77
28	1.31	1.7	2.05	2.47	2.76
29	1.31	1.7	2.05	2.46	2.76
30	1.31	1.7	2.04	2.46	2.75
35	1.31	1.69	2.03	2.44	2.72
40	1.3	1.68	2.02	2.42	2.7
50	1.3	1.68	2.01	2.4	2.68
60	1.3	1.67	2.	2.39	2.66
70	1.29	1.67	1.99	2.38	2.65
80	1.29	1.66	1.99	2.37	2.64
90	1.29	1.66	1.99	2.37	2.63
100	1.29	1.66	1.98	2.36	2.63
200	1.29	1.65	1.97	2.35	2.6
300	1.28	1.65	1.97	2.34	2.59
400	1.28	1.65	1.97	2.34	2.59
$\infty$	$Z_{0.1}$ 1.28	$Z_{0.05}$ 1.645	$Z_{0.025}$ 1.96	$Z_{0.01}$ 2.33	$Z_{0.005}$ 2.58

## ภาคผนวก จ

## โค้ดที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัว MSP430

main.c

```
//-----  
// Pakawat Dubsok  
// IAR Embedded Workbench v3.41  
//-----  
#include "include.h"  
#define BUFFER0 0  
#define BUFFER1 1  
#define PACKET_SIZE 64  
extern char paTable[];  
extern char paTableLen;  
extern char bufferfullflag;  
extern char currenttransmitbuffer;  
extern char *transmit_buffer_start_ptr0;  
extern char *transmit_buffer_start_ptr1;  
char channel = 1;  
char digit1 = 0;  
char digit2 = 0;  
void main (void)  
{  
    // Disable watchdog timer  
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;  
    P1DIR = 0xFF;  
    P4DIR = 0xFF;  
    P5DIR = 0xFF;  
    P5OUT = 0xFF;
```

```

P2IE = 0x30; // P2.4 interrupt enabled
P2IES = 0x30; // P2.4 Hi/lo edge
P2IFG &= ~0x30; // P2.4 IFG cleared
// Set up clock
TI_CC_CLOCKSetup();
// Set up ADC
TI_CC_ADCSetup();
// Initialize SPI port
TI_CC_SPISetup();
// Reset CCxxxx
TI_CC_PowerupResetCCxxxx();
//TI_CC_SPIStrobe(TI_CCxxx0_SPWD);
// Write RF settings to config reg
writeRFSettings();
//TI_CC_SPIWriteReg(TI_CCxxx0_FIFOTHR,0x00);
// Write PATABLE
TI_CC_SPIWriteBurstReg(TI_CCxxx0_PATABLE, paTable, paTableLen);
// Enable interrupts
_BIS_SR(GIE);
// Start ADC
ADC12CTL0 |= ADC12SC;
while(1){
    while(!bufferfullflag);
    if (currenttransmitbuffer == BUFFER0){
        RFSendPacket(transmit_buffer_start_ptr0,PACKET_SIZE);
    }
    else{
        RFSendPacket(transmit_buffer_start_ptr1,PACKET_SIZE);
    }
}
}

```

```
}  
// ADC12 interrupt service routine  
#pragma vector = ADC_VECTOR  
__interrupt void ADC12_ISR (){  
    ADC12CTL0 |= ADC12SC;  
    bufferfullflag = PacketAssembler(ADC_GET_SAMPLE_8BIT());  
}  
#pragma vector = PORT2_VECTOR  
__interrupt void Port_2int (){  
    if((P2IFG & 0x10) == 0x10){  
        channel++;  
    }  
    else if((P2IFG & 0x20) == 0x20){  
        channel--;  
    }  
    if(channel > 40){  
        channel = 1;  
    }  
    else if(channel < 1){  
        channel = 40;  
    }  
    digit1 = channel % 10;  
    digit2 = channel / 10;  
    for(int i = 0 ; i < 500 ; i++){  
        P5OUT = 0xFE;  
        switch(digit2){  
            case 0: P4OUT = 0x00; break;  
            case 1: P4OUT = 0xC0; break;  
            case 2: P4OUT = 0xB5; break;  
            case 3: P4OUT = 0xD5; break;
```

```

    case 4: P4OUT = 0xC9; break;
    case 5: P4OUT = 0x5D; break;
    case 6: P4OUT = 0x79; break;
    case 7: P4OUT = 0xC4; break;
    case 8: P4OUT = 0xFD; break;
    case 9: P4OUT = 0xCD; break;
}
halMcuWaitUs(0xFF);
P5OUT = 0xFD;
switch(digit1){
    case 0: P4OUT = 0xFC; break;
    case 1: P4OUT = 0xC0; break;
    case 2: P4OUT = 0xB5; break;
    case 3: P4OUT = 0xD5; break;
    case 4: P4OUT = 0xC9; break;
    case 5: P4OUT = 0x5D; break;
    case 6: P4OUT = 0x79; break;
    case 7: P4OUT = 0xC4; break;
    case 8: P4OUT = 0xFD; break;
    case 9: P4OUT = 0xCD; break;
}
halMcuWaitUs(0xFF);
}
P5OUT = 0xFF;
P2IFG &= ~0x30;
TI_CC_SPIWriteReg(TI_CCxxx0_CHANNR,1); // Channel number.
}
#pragma vector = TIMERB0_VECTOR
__interrupt void Timer_B ()
{

```

```
}

```

```
cc2500.h

```

```
//-----
// Pakawat Dubsok
// IAR Embedded Workbench v3.41
//-----

// Configuration Registers
#define TI_CCxxx0_IOCFG2 0x00 // GDO2 output pin configuration
#define TI_CCxxx0_IOCFG1 0x01 // GDO1 output pin configuration
#define TI_CCxxx0_IOCFG0 0x02 // GDO0 output pin configuration
#define TI_CCxxx0_FIFOTHR 0x03 // RX FIFO and TX FIFO thresholds
#define TI_CCxxx0_SYNC1 0x04 // Sync word, high byte
#define TI_CCxxx0_SYNC0 0x05 // Sync word, low byte
#define TI_CCxxx0_PKTLEN 0x06 // Packet length
#define TI_CCxxx0_PKTCTRL1 0x07 // Packet automation control
#define TI_CCxxx0_PKTCTRL0 0x08 // Packet automation control
#define TI_CCxxx0_ADDR 0x09 // Device address
#define TI_CCxxx0_CHANNR 0x0A // Channel number
#define TI_CCxxx0_FSCTRL1 0x0B // Frequency synthesizer control
#define TI_CCxxx0_FSCTRL0 0x0C // Frequency synthesizer control
#define TI_CCxxx0_FREQ2 0x0D // Frequency control word, high byte
#define TI_CCxxx0_FREQ1 0x0E // Frequency control word, middle byte
#define TI_CCxxx0_FREQ0 0x0F // Frequency control word, low byte
#define TI_CCxxx0_MDMCFG4 0x10 // Modem configuration
#define TI_CCxxx0_MDMCFG3 0x11 // Modem configuration
#define TI_CCxxx0_MDMCFG2 0x12 // Modem configuration
#define TI_CCxxx0_MDMCFG1 0x13 // Modem configuration
#define TI_CCxxx0_MDMCFG0 0x14 // Modem configuration

```

```

#define TI_CCxxx0_DEVIATN    0x15    // Modem deviation setting
#define TI_CCxxx0_MCSM2     0x16    // Main Radio Cntrl State Machine config
#define TI_CCxxx0_MCSM1     0x17    // Main Radio Cntrl State Machine config
#define TI_CCxxx0_MCSM0     0x18    // Main Radio Cntrl State Machine config
#define TI_CCxxx0_FOCCFG    0x19    // Frequency Offset Compensation config
#define TI_CCxxx0_BSCFG     0x1A    // Bit Synchronization configuration
#define TI_CCxxx0_AGCCTRL2   0x1B    // AGC control
#define TI_CCxxx0_AGCCTRL1   0x1C    // AGC control
#define TI_CCxxx0_AGCCTRL0   0x1D    // AGC control
#define TI_CCxxx0_WOREVT1    0x1E    // High byte Event 0 timeout
#define TI_CCxxx0_WOREVT0    0x1F    // Low byte Event 0 timeout
#define TI_CCxxx0_WORCTRL    0x20    // Wake On Radio control
#define TI_CCxxx0_FREND1     0x21    // Front end RX configuration
#define TI_CCxxx0_FREND0     0x22    // Front end TX configuration
#define TI_CCxxx0_FSCAL3     0x23    // Frequency synthesizer calibration
#define TI_CCxxx0_FSCAL2     0x24    // Frequency synthesizer calibration
#define TI_CCxxx0_FSCAL1     0x25    // Frequency synthesizer calibration
#define TI_CCxxx0_FSCAL0     0x26    // Frequency synthesizer calibration
#define TI_CCxxx0_RCCTRL1    0x27    // RC oscillator configuration
#define TI_CCxxx0_RCCTRL0    0x28    // RC oscillator configuration
#define TI_CCxxx0_FSTEST     0x29    // Frequency synthesizer cal control
#define TI_CCxxx0_PTEST      0x2A    // Production test
#define TI_CCxxx0_AGCTEST    0x2B    // AGC test
#define TI_CCxxx0_TEST2      0x2C    // Various test settings
#define TI_CCxxx0_TEST1      0x2D    // Various test settings
#define TI_CCxxx0_TEST0      0x2E    // Various test settings

// Strobe commands
#define TI_CCxxx0_SRES       0x30    // Reset chip.
#define TI_CCxxx0_SFSTXON    0x31    // Enable/calibrate freq synthesizer

```



```

#define TI_CCxxx0_SXOFF    0x32    // Turn off crystal oscillator.
#define TI_CCxxx0_SCAL    0x33    // Calibrate freq synthesizer & disable
#define TI_CCxxx0_SRX    0x34    // Enable RX.
#define TI_CCxxx0_STX    0x35    // Enable TX.
#define TI_CCxxx0_SIDLE    0x36    // Exit RX / TX
#define TI_CCxxx0_S AFC    0x37    // AFC adjustment of freq synthesizer
#define TI_CCxxx0_SWOR    0x38    // Start automatic RX polling sequence
#define TI_CCxxx0_SPWD    0x39    // Enter pwr down mode when CSn goes hi
#define TI_CCxxx0_SFRX    0x3A    // Flush the RX FIFO buffer.
#define TI_CCxxx0_SFTX    0x3B    // Flush the TX FIFO buffer.
#define TI_CCxxx0_SWORRST  0x3C    // Reset real time clock.
#define TI_CCxxx0_SNOP    0x3D    // No operation.

// Status registers
#define TI_CCxxx0_PARTNUM  0x30    // Part number
#define TI_CCxxx0_VERSION  0x31    // Current version number
#define TI_CCxxx0_FREQEST  0x32    // Frequency offset estimate
#define TI_CCxxx0_LQI     0x33    // Demodulator estimate for link quality
#define TI_CCxxx0_RSSI     0x34    // Received signal strength indication
#define TI_CCxxx0_MARCSTATE 0x35    // Control state machine state
#define TI_CCxxx0_WORTIME1  0x36    // High byte of WOR timer
#define TI_CCxxx0_WORTIME0  0x37    // Low byte of WOR timer
#define TI_CCxxx0_PKTSTATUS 0x38    // Current GDOx status and packet status
#define TI_CCxxx0_VCO_VC_DAC 0x39    // Current setting from PLL cal module
#define TI_CCxxx0_TXBYTES   0x3A    // Underflow and # of bytes in TXFIFO
#define TI_CCxxx0_RXBYTES   0x3B    // Overflow and # of bytes in RXFIFO
#define TI_CCxxx0_NUM_RXBYTES 0x7F    // Mask "# of bytes" field in _RXBYTES

// Other memory locations
#define TI_CCxxx0_PATABLE   0x3E

```

```

#define TI_CCxxx0_TXFIFO    0x3F
#define TI_CCxxx0_RXFIFO    0x3F

// Masks for appended status bytes
#define TI_CCxxx0_LQI_RX    0x01    // Position of LQI byte
#define TI_CCxxx0_CRC_OK    0x80    // Mask "CRC_OK" bit within LQI byte

// Definitions to support burst/single access:
#define TI_CCxxx0_WRITE_BURST 0x40
#define TI_CCxxx0_READ_SINGLE 0x80
#define TI_CCxxx0_READ_BURST  0xC0

```

hardware\_board.c

```

//-----
// Pakawat Dubsok
// IAR Embedded Workbench v3.41
//-----
#include "TI_CC_msp430.h"
#define TI_CC_LED_PxOUT    P1OUT
#define TI_CC_LED_PxDIR    P1DIR
#define TI_CC_LED1        0x01
#define TI_CC_LED2        0x02
#define TI_CC_LED3        0x04
#define TI_CC_LED4        0x08
#define TI_CC_SW_PxIN     P1IN
#define TI_CC_SW_PxIE     P1IE
#define TI_CC_SW_PxIES    P1IES
#define TI_CC_SW_PxIFG    P1IFG
#define TI_CC_SW1         0x10
#define TI_CC_SW2         0x20

```

```
#define TI_CC_SW3      0x40
#define TI_CC_SW4      0x80

#define TI_CC_GDO0_PxOUT  P2OUT
#define TI_CC_GDO0_PxIN  P2IN
#define TI_CC_GDO0_PxDIR  P2DIR
#define TI_CC_GDO0_PxIE  P2IE
#define TI_CC_GDO0_PxIES  P2IES
#define TI_CC_GDO0_PxIFG  P2IFG
//#define TI_CC_GDO0_PIN  0x10
#define TI_CC_GDO0_PIN  0x02

#define TI_CC_GDO1_PxOUT  P5OUT
#define TI_CC_GDO1_PxIN  P5IN
#define TI_CC_GDO1_PxDIR  P5DIR
#define TI_CC_GDO1_PIN  0x04

#define TI_CC_GDO2_PxOUT  P2OUT
#define TI_CC_GDO2_PxIN  P2IN
#define TI_CC_GDO2_PxDIR  P2DIR
//#define TI_CC_GDO2_PIN  0x40
#define TI_CC_GDO2_PIN  0x01

//#define TI_CC_CSn_PxOUT  P5OUT
//#define TI_CC_CSn_PxDIR  P5DIR
//#define TI_CC_CSn_PIN  0x01
#define TI_CC_CSn_PxOUT  P3OUT
#define TI_CC_CSn_PxDIR  P3DIR
#define TI_CC_CSn_PIN  0x10
```

```

//-----
// Select which port will be used for interface to CCxxxx
//-----
#define TI_CC_RF_SER_INTF    TI_CC_SER_INTF_USART1 // Interface to CCxxxx
#define TI_CC_RF_SER_INTF    TI_CC_SER_INTF_USART0
#define ADC_GET_SAMPLE_8BIT() ( ADC12MEM0 >>= 4)

```

mcp430.h

```

//-----
// Pakawat Dubsok
// IAR Embedded Workbench v3.41
//-----
#include "mcp430x16x.h" // Adjust this according to the
// MSP430 device being used.
// SPI port definitions // Adjust the values for the chosen
#define TI_CC_SPI_USART0_PxSEL P3SEL // interfaces, according to the pin
#define TI_CC_SPI_USART0_PxDIR P3DIR // assignments indicated in the
#define TI_CC_SPI_USART0_PxIN P3IN // chosen MSP430 device datasheet.
#define TI_CC_SPI_USART0_SIMO 0x02
#define TI_CC_SPI_USART0_SOMI 0x04
#define TI_CC_SPI_USART0_UCLK 0x08

#define TI_CC_SPI_USART1_PxSEL P5SEL
#define TI_CC_SPI_USART1_PxDIR P5DIR
#define TI_CC_SPI_USART1_PxIN P5IN
#define TI_CC_SPI_USART1_SIMO 0x02
#define TI_CC_SPI_USART1_SOMI 0x04
#define TI_CC_SPI_USART1_UCLK 0x08

```

```
#define TI_CC_SPI_USCIA0_PxSEL P3SEL
#define TI_CC_SPI_USCIA0_PxDIR P3DIR
#define TI_CC_SPI_USCIA0_PxIN P3IN
#define TI_CC_SPI_USCIA0_SIMO 0x10
#define TI_CC_SPI_USCIA0_SOMI 0x20
#define TI_CC_SPI_USCIA0_UCLK 0x01

#define TI_CC_SPI_USCIA1_PxSEL P7SEL
#define TI_CC_SPI_USCIA1_PxDIR P7DIR
#define TI_CC_SPI_USCIA1_PxIN P7IN
#define TI_CC_SPI_USCIA1_SIMO 0x02
#define TI_CC_SPI_USCIA1_SOMI 0x04
#define TI_CC_SPI_USCIA1_UCLK 0x08

#define TI_CC_SPI_USCIB0_PxSEL P3SEL
#define TI_CC_SPI_USCIB0_PxDIR P3DIR
#define TI_CC_SPI_USCIB0_PxIN P3IN
#define TI_CC_SPI_USCIB0_SIMO 0x02
#define TI_CC_SPI_USCIB0_SOMI 0x04
#define TI_CC_SPI_USCIB0_UCLK 0x08

#define TI_CC_SPI_USCIB1_PxSEL P3SEL
#define TI_CC_SPI_USCIB1_PxDIR P3DIR
#define TI_CC_SPI_USCIB1_PxIN P3IN
#define TI_CC_SPI_USCIB1_SIMO 0x02
#define TI_CC_SPI_USCIB1_SOMI 0x04
#define TI_CC_SPI_USCIB1_UCLK 0x08

#define TI_CC_SPI_USI_PxDIR P1DIR
```

```
#define TI_CC_SPI_USI_PxIN    P1IN
#define TI_CC_SPI_USI_SIMO    0x40
#define TI_CC_SPI_USI_SOMI    0x80
#define TI_CC_SPI_USI_UCLK    0x20

#define TI_CC_SPI_BITBANG_PxDIR P5DIR
#define TI_CC_SPI_BITBANG_PxOUT P5OUT
#define TI_CC_SPI_BITBANG_PxIN P5IN
#define TI_CC_SPI_BITBANG_SIMO 0x02
#define TI_CC_SPI_BITBANG_SOMI 0x04
#define TI_CC_SPI_BITBANG_UCLK 0x08

#define TI_CC_ADC12_PxSEL    P6SEL
#define TI_CC_ADC12_PORT0    0x01
#define TI_CC_ADC12_PORT1    0x02
#define TI_CC_ADC12_PORT2    0x04
#define TI_CC_ADC12_PORT3    0x08
#define TI_CC_ADC12_PORT4    0x10
#define TI_CC_ADC12_PORT5    0x20
#define TI_CC_ADC12_PORT6    0x40
#define TI_CC_ADC12_PORT7    0x80

//-----
// These constants are used to identify the chosen SPI and UART interfaces.
//-----

#define TI_CC_SER_INTF_NULL    0
#define TI_CC_SER_INTF_USART0  1
#define TI_CC_SER_INTF_USART1  2
#define TI_CC_SER_INTF_USCIA0  3
#define TI_CC_SER_INTF_USCIA1  4
```

```
#define TI_CC_SER_INTF_USCIB0 5
#define TI_CC_SER_INTF_USCIB1 6
#define TI_CC_SER_INTF_USI 7
#define TI_CC_SER_INTF_BITBANG 8
```

PacketDisassembler.c

```
//-----
// Pakawat Dubsok
// IAR Embedded Workbench v3.41
//-----
#include "PacketDisassembler.h"
// Define buffers constants
#define BUFFER_SIZE 64
#define BUFFER0 0
#define BUFFER1 1

// Set up RAM buffers
char receivebuffer0[BUFFER_SIZE];
char receivebuffer1[BUFFER_SIZE];

// Define buffer pointers
extern char *receive_buffer_start_ptr0 = receivebuffer0;
extern char *receive_buffer_start_ptr1 = receivebuffer1;
char *receive_buffer_read_ptr;

char receivereadcounter = 0;
extern char currentreceivebuffer = 0;

void InitializeDisassembler()
{
```

```
receivereadcounter = 0;

// Switch buffer
currentreceivebuffer = !currentreceivebuffer;

} // End function

char PacketDisassembler()
{
/* The first byte of a valid packet will contain an uncoded
predicted sample that must be saved rather than decoded*/
if (receivereadcounter == 0)
{
if (currentreceivebuffer == BUFFER0)
{
// Point to the second buffer element
receive_buffer_read_ptr = receive_buffer_start_ptr0;
// Increment read counter
receivereadcounter++;
// Save and return the received predicted sample
return *(receive_buffer_read_ptr++); // (decoderpredsample = *receive_buffer_start_ptr0);
} // End if
else
{
// Point to the second buffer element
receive_buffer_read_ptr = receive_buffer_start_ptr1;

// Increment read counter
receivereadcounter++;
```



```

// Initialize readytoreadbuffer
// Save and return the received predicted sample
return *(receive_buffer_read_ptr++); //(decoderpredsample = *receive_buffer_start_ptr1);
} // End else
} // End if
else // (receivereadcounter != 0)
{
receivereadcounter++;
if(receivereadcounter == BUFFER_SIZE)
receivereadcounter = 0;
// Decode the four LSB of the buffercode, return decoded sample
return *(receive_buffer_read_ptr++); //(DpcmDecoder(buffercode,LSB));
} // End else
} // End function

```

PaketAssembler.c

```

//-----
// Pakawat Dubsok
// IAR Embedded Workbench v3.41
//-----
#include "PaketAssembler.h"
// Define buffers constants
#define BUFFER_SIZE 64
#define BUFFER0 0
#define BUFFER1 1
// Set up RAM buffers at absolute addresses
char transmitbuffer0[BUFFER_SIZE];
char transmitbuffer1[BUFFER_SIZE];
// Define buffer pointers
extern char *transmit_buffer_start_ptr0 = transmitbuffer0;

```

```

extern char *transmit_buffer_start_ptr1 = transmitbuffer1;
char *transmit_buffer_write_ptr;
// Variables for transmit buffer
char transmitwritecounter = 0;
extern char currenttransmitbuffer = 0;
char PacketAssembler(char sample)
{
/* A predicted sample (not the coded difference) is saved
at the first buffer position */
if (transmitwritecounter == 0)
{
// Switch buffer
currenttransmitbuffer = !currenttransmitbuffer;
/* Encode the sample to get a new encoder predicted sample
Save the predicted sample in buffer */
if (currenttransmitbuffer == BUFFER0)
*(transmit_buffer_write_ptr = transmit_buffer_start_ptr0) = sample;
else
*(transmit_buffer_write_ptr = transmit_buffer_start_ptr1) = sample;
} // End if
else // (transmitwritecounter != 0)
{
*transmit_buffer_write_ptr = sample;
}
// Increment write counter
transmitwritecounter++;
// Increment write pointer
transmit_buffer_write_ptr++;
/*
// Code a sound sample

```

```
transmitcode |= DpcmEncoder(sample,1);  
  
// Buffer the transmitcode when containing two coded samples (2*4 bit)  
if (readytobuffer)  
{  
    // Save the encoded byte in buffer  
    *transmit_buffer_write_ptr = transmitcode;  
  
    // Increment write counter  
    transmitwritecounter++;  
  
    // Reset transmitcode  
    transmitcode = 0;  
} // End if  
else //(!readytobuffer)  
{  
    // Shift the contents in transmitcode to the MSB end of the byte  
    transmitcode <<= 4;  
  
    // Increment write pointer  
    transmit_buffer_write_ptr++;  
} // End else  
  
// Toggle readytobuffer  
readytobuffer = !readytobuffer;  
  
*/  
  
// Return buffer position flag  
if(transmitwritecounter == BUFFER_SIZE)  
{  
    transmitwritecounter = 0;  
  
    return 1;  
}  
  
else  
    return 0;
```

```
//return (transmitwritecounter == BUFFER_SIZE -1);
} //End function
```

adc.c

```
//-----
// Pakawat Dubsok
// IAR Embedded Workbench v3.41
//-----
#include "include.h"
#include "TI_CC_adc.h"
void TI_CC_CLOCKSetup(void){
// clock 4.9 MHz
DCOCTL |= DCO0 + DCO1 + DCO2 ;
BCSCTL1 |= RSEL0 + RSEL1 + RSEL2;
}
void TI_CC_ADCSetup(void)
{
TI_CC_ADC12_PxSEL |= TI_CC_ADC12_PORTO;
ADC12CTL0 |= SHT0_10 + ADC12ON + REF2_5V + REFON ; // Internal 2.5V ref on
/256
ADC12CTL1 |= SHP + ADC12SSEL0 + ADC12SSEL1;
DAC12_1CTL = DAC12IR+DAC12AMP_2+DAC12LSEL_0;
ADC12IE  |= 0x01 ; // Enable interrupt ADC132IE0
ADC12CTL0 |= ENC ; // Conversion enabled
}
void TI_CC_TIMER_A_Setup(void)
{
//TACCR0 = 0x0200 ; // Compare at AAAAh
TACCR0 = 0x00FA; ; // Compare at AAAAh
//TACCR0 = 0x0169; ; // Compare at AAAAh
```

```

//TACCR0 = 0x0180;
TACCTL0 = CCIE + OUTMOD_1 ; //Enable Timer INT./Output_mode1
TACTL = TASSEL1 + MC0;//0x0210 ; // SMCLK ,Timer mode1
}
void TI_CC_TIMER_B_Setup(void)
{
TBCCR0 = 0x0800 ; // Compare at AAAAh
TBCCTL0 = CCIE + OUTMOD_1 ; //Enable Timer INT./Output_mode1
TBCTL = TBSEL1 + MC0;//0x0210 ; // SMCLK ,Timer mode1
}
void halMcuWaitUs(int usec) // 5 cycles for calling
{
// The least we can wait is 3 usec:
// ~1 usec for call, 1 for first compare and 1 for return

while(usec > 3) // 2 cycles for compare
{
// 2 cycles for jump
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
asm("NOP"); // 1 cycles for nop
usec -= 2; // 1 cycles for optimized decrement
}
}
}

```

spi.c

```

//-----
// Pakawat Dubsok
// IAR Embedded Workbench v3.41
//-----

#include "include.h"
#include "TI_CC_spi.h"

// Delay function. # of CPU cycles delayed is similar to "cycles". Specifically,
// it's ((cycles-15) % 6) + 15. Not exact, but gives a sense of the real-time
// delay. Also, if MCLK ~1MHz, "cycles" is similar to # of useconds delayed.
void TI_CC_Wait(unsigned int cycles)
{
while(cycles>15)           // 15 cycles consumed by overhead
cycles = cycles - 6;      // 6 cycles consumed each iteration
}

// SPI port functions
#if TI_CC_RF_SER_INTF == TI_CC_SER_INTF_USART0
void TI_CC_SPISetup(void)
{
TI_CC_CSn_PxOUT |= TI_CC_CSn_PIN;
TI_CC_CSn_PxDIR |= TI_CC_CSn_PIN;    // /CS disable
// Keep peripheral in reset state
U0CTL = SWRST;
UCTL0 |= CHAR + SYNC + MM;           // 8-bit SPI Master **SWRST**
UTCTL0 |= CKPH + SSEL1 + SSEL0 + STC; // SMCLK, 3-pin mode
UBR00 = 0x02;                         // UCLK/2
UBR10 = 0x00;                         // 0
UMCTL0 = 0x00;                       // No modulation
ME1 |= USPIE0;                       // Enable USART0 SPI mode
TI_CC_SPI_USART0_PxSEL |= TI_CC_SPI_USART0_SIMO | TI_CC_SPI_USART0_SOMI |

```

```

TI_CC_SPI_USART0_UCLK;
// SPI option select
TI_CC_SPI_USART0_PxDIR |= TI_CC_SPI_USART0_SIMO + TI_CC_SPI_USART0_UCLK;
// SPI TX out direction
UCTL0 &= ~SWRST;           // Initialize USART state machine
}

void TI_CC_SPIWriteReg(char addr, char value)
{
TI_CC_CSn_PxOUT &= ~TI_CC_CSn_PIN;    // /CS enable
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN&TI_CC_SPI_USART0_SOMI);// Wait for CCxxxx ready
// Send address
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = addr;
while (!(IFG1 & URXIFG0));
// Send value
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = value;
while (!(IFG1 & URXIFG0));
TI_CC_CSn_PxOUT |= TI_CC_CSn_PIN;    // /CS disable
}

void TI_CC_SPIWriteBurstReg(char addr, char *buffer, char count)
{
unsigned int i;
TI_CC_CSn_PxOUT &= ~TI_CC_CSn_PIN;    // /CS enable
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN&TI_CC_SPI_USART0_SOMI);// Wait for CCxxxx ready
// Send address for write
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = (addr | TI_CCxxx0_WRITE_BURST);
while (!(IFG1 & URXIFG0));
for (i = 0; i < count; i++)

```

```

{
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = buffer[i];
while (!(IFG1 & URXIFG0));
}
TI_CC_CS_n_PxOUT |= TI_CC_CS_n_PIN;    // /CS disable
}
void TI_CC_SPIReadReg(char addr,char * value)
{
TI_CC_CS_n_PxOUT &= ~TI_CC_CS_n_PIN;    // /CS enable
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN&TI_CC_SPI_USART0_SOMI);// Wait for CCxxxx ready
// Send address for read
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = (addr | TI_CCxxx0_READ_SINGLE);
while (!(IFG1 & URXIFG0));
// Dummy write
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = 0x00;
while (!(IFG1 & URXIFG0));
// read value at ADDR address
*value = U0RXBUF;
TI_CC_CS_n_PxOUT |= TI_CC_CS_n_PIN;    // /CS disable
}
void TI_CC_SPIReadBurstReg(char addr, char *buffer, char count)
{
unsigned int i;
TI_CC_CS_n_PxOUT &= ~TI_CC_CS_n_PIN;    // /CS enable
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN&TI_CC_SPI_USART0_SOMI);// Wait for CCxxxx ready
// Send address
IFG1 &= ~URXIFG0;

```



```

U0TXBUF = (addr | TI_CCxxx0_READ_BURST);
while (!(IFG1&URXIFG0));
// Dummy write
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = 0x00;
while (!(IFG1 & URXIFG0));
//read value
for (i = 0; i < count; i++)
{
U0TXBUF = 0;           //Initiate next data RX, meanwhile..
buffer[i] = U0RXBUF;   // Store data from last data RX
while (!(IFG1&URXIFG0)); // Wait for end of data RX
}
TI_CC_CSxPxOUT |= TI_CC_CSxPxPIN; // /CS disable
}
// For status/strobe addresses, the BURST bit selects between status registers
// and command strobes.
void TI_CC_SPIReadStatus(char addr,char * value)
{
TI_CC_CSxPxOUT &= ~TI_CC_CSxPxPIN; // /CS enable
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN & TI_CC_SPI_USART0_SOMI);// Wait for CCxxxx ready
// Send address
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = (addr | TI_CCxxx0_READ_BURST);
while (!(IFG1&URXIFG0));
// Dummy write
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = 0x00;
while (!(IFG1 & URXIFG0));
// read status at ADDR address

```

```

*value = U0RXBUF;
TI_CC_CSxPxOUT |= TI_CC_CSxPIN;    // /CS disable
}

void TI_CC_SPIStrobe(char strobe)
{
TI_CC_CSxPxOUT &= ~TI_CC_CSxPIN;    // /CS enable
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN&TI_CC_SPI_USART0_SOMI);// Wait for CCxxxx ready
// Send strobe
IFG1 &= ~URXIFG0;
U0TXBUF = strobe;
while (!(IFG1 & URXIFG0));
TI_CC_CSxPxOUT |= TI_CC_CSxPIN;    // /CS disable
}

void TI_CC_PowerupResetCCxxxx(void)
{
TI_CC_CSxPxOUT |= TI_CC_CSxPIN;
TI_CC_Wait(30);
TI_CC_CSxPxOUT &= ~TI_CC_CSxPIN;
TI_CC_Wait(30);
TI_CC_CSxPxOUT |= TI_CC_CSxPIN;
TI_CC_Wait(45);
TI_CC_CSxPxOUT &= ~TI_CC_CSxPIN;    // /CS enable
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN&TI_CC_SPI_USART0_SOMI);// Wait for CCxxxx ready
U0TXBUF = TI_CCxxx0_SRES;    // Send strobe
// Strobe addr is now being TX'ed
IFG1 &= ~URXIFG0;    // Clear flag
while (!(IFG1&URXIFG0));    // Wait for end of addr TX
while (TI_CC_SPI_USART0_PxIN&TI_CC_SPI_USART0_SOMI);
TI_CC_CSxPxOUT |= TI_CC_CSxPIN;    // /CS disable
}

```

## ภาคผนวก จ

## คำมาตรฐาน Phonetic balanced ที่ใช้ในการทดสอบ

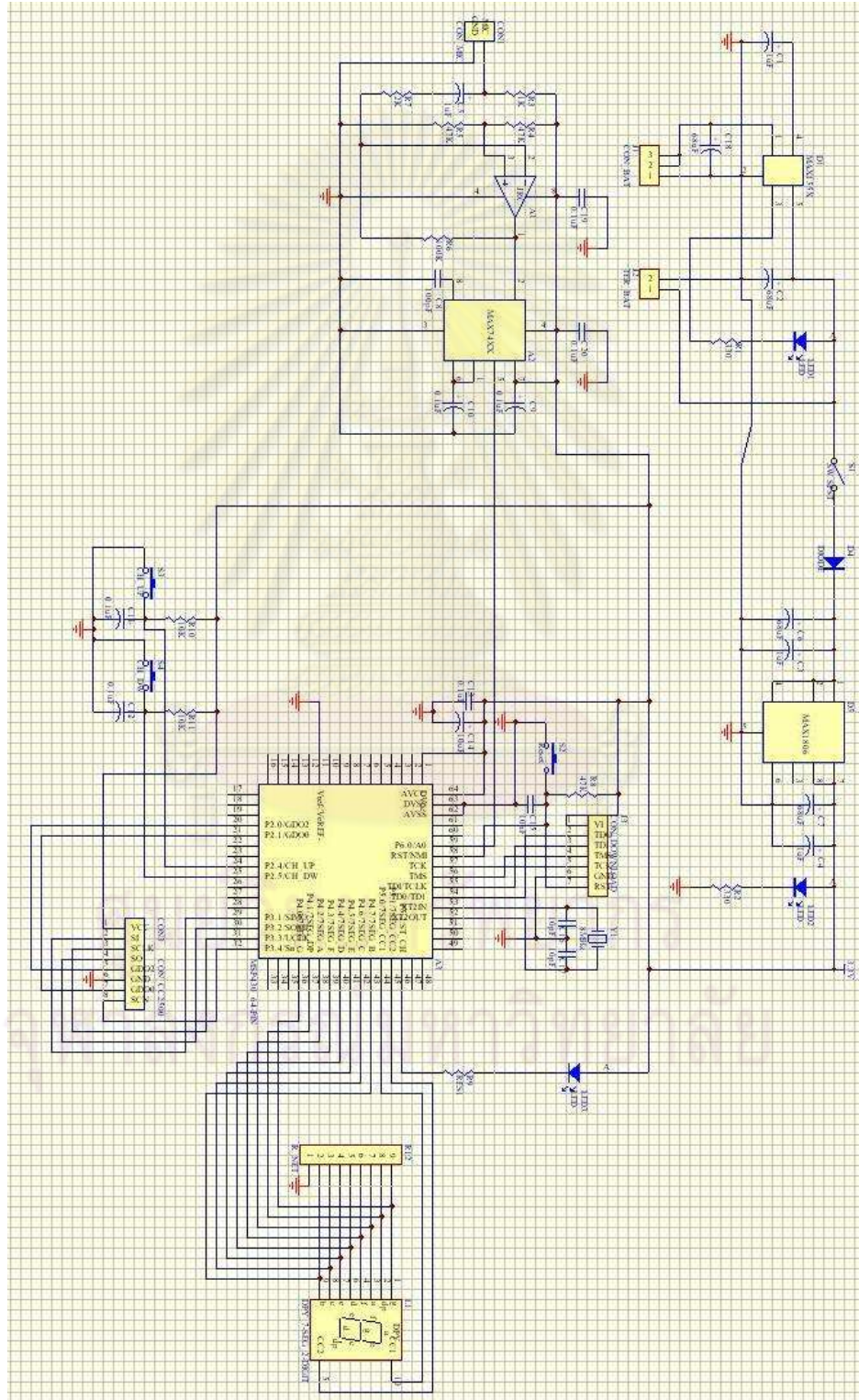
1. กรง	16. เรือ	31. เกี๋ย	46. บ้าน	61. หวี
2. กั้วย	17. เสื่อ	32. เตียง	47. จาน	62. ผึ้ง
3. กวาง	18. ตู้	33. เสื่อ	48. ซ้อน	63. มือ
4. ครู	19. เทป	34. ขวด	49. ดาว	64. กุ้ง
5. ขลุ่ย	20. แหวน	35. แปรง	50. ฟัน	65. หมู
6. ควาย	21. หม้อ	36. ปลา	51. หู	66. เป็ด
7. เทียน	22. ค้อน	37. พริก	52. ยุง	67. เมฆ
8. ช้าง	23. หมี่	38. พลุ	53. ไก่	68. แกะ
9. ว่าว	24. แมว	39. แตร	54. ข้าว	
10. ถ้วย	25. เงิน	40. ทรมเปิด	55. ลิง	
11. ม้า	26. เนย	41. กบ	56. เงา	
12. หนู	27. เงาะ	42. รถ	57. ถั่ว	
13. งู	28. ล้อ	43. นก	58. พัด	
14. ปู	29. โต๊ะ	44. ผม	59. ตา	
15. ผัก	30. โซ่	45. อูฐ	60. ลิ่น	

## ภาคผนวก ช

### คำศัพท์ที่ใช้

ADC	Analog-to-digital Converter
AM	Amplitude Modulation
DAC	Digital-to-analog Converter
DES	Data Encryption Standard
DPCM	Differential Pulse Code Modulation
FIFO	First-in-first-out
FM	Frequency Modulation
I2C	Inter-Integrated Circuit
ISM	Industrial, Scientific and Medical radio bands
FM	Frequency Modulation
LED	Light Emitting Diode
MCU	Microcontroller Unit
MSK	Minimum Shift Keying
PCB	Printed Circuit Board.
PCM	Pulse Code Modulation
PWM	Pulse-Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RF	Radio Frequency
ROM	Read Only Memory
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

ภาคผนวก ซ  
แสดงวงจรจรรยาทั้งใช้ทั้งหมด



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภควัฒน์ ดับโศก เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดภูเก็ต สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย