

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รีโมทคอนโทรลโทรทัศน์ด้วยการรู้จำเสียงพูด

TELEVISION REMOTE CONTROL WITH SPEECH RECOGNITION



โดย
นายกิตติพงษ์ กรุดนิม
นายฤทธิพล พุ่มนวน
นายวิสมนต์ พยู่ห์

รพ.
ก674ร
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83287
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2551

b. 119.6585x
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีโมทคอนโทรลโทรทัศน์ด้วยการรู้จำเสียงพูด

TELEVISION REMOTE CONTROL WITH SPEECH RECOGNITION



โดย

นายกิตติพงษ์ กรุดนิม 47010045

นายฤทธิพล พุ่มนวน 47010632

นายวิสมนต์ พยู่ห์ 47010692

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ

รศ.ดร. ไกรสิน ส่วงวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รีโมทคอนโทรลโทรทัศน์ด้วยการรู้จำเสียงพูด

TELEVISION REMOTE CONTROL WITH SPEECH RECOGNITION

ผู้จัดทำ

1. นาย กิตติพงษ์ กรุดนิม 47010045

2. นาย ดุทธิพล พุ่มนวน 47010632

3. นาย วัฒนนต์ พยู่ 47010692


(ผศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นिति)

อาจารย์ที่ปรึกษา


(รศ.ดร. ไกรลิติน สงวัฒนา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีโมทคอนโทรลโทรทัศน์ด้วยการรู้จำเสียงพูด
TELEVISION REMOTE CONTROL WITH
SPEECH RECOGNITION

โดย นาย กิตติพงษ์ กรุณิม 47010045
นาย ฤทธิพล พุ่มนวน 47010632
นาย วัสมนต์ พยุห์ 47010692

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ
รศ.ดร. ไกรสิน ส่วงวัฒนา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสร้างรีโมทคอนโทรลของโทรทัศน์ซึ่งสั่งการโดยการรู้จำเสียงพูด ในการสั่งการด้วยเสียงนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการรับเสียงและนำไปประมวลผลเพื่อวิเคราะห์และทำการแยกแยะคำสั่ง โดยผลที่ได้จะถูกส่งไปเป็นสัญญาณอินพุตของรีโมทคอนโทรลเพื่อควบคุมการเปลี่ยนช่องสัญญาณของโทรทัศน์

Abstract

This project aims to incorporate speech recognition to television remote control. The speech is processed by a personal computer which then processes the input and make decisions. The result is used as input to remotely select corresponding television channels.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความเมตตากรุณาของ ผศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ และ รศ.ดร. ไกรสิน ส่วงวัฒนา ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดทำโครงการและคอยให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการจัดทำโครงการแก่ศิษย์เป็นอย่างดี ศิษย์รู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆและให้คำแนะนำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอดแก่ศิษย์

ขอขอบพระคุณ คุณเชิดไชย เอี่ยมดีเลิศ และ คุณนงนุช สุขตั้งมั่น ที่คอยให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือ รวมทั้ง พี่ๆ น้องๆ ห้องโปรเจกและเพื่อนๆ ที่ช่วยกันสละเวลามาอัดเสียงสำหรับใช้ในการจัดทำโครงการ อีกทั้งความเป็นมิตรและความช่วยเหลือต่างๆที่มีให้กันตลอดมา

สุดท้ายนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณแรงบันดาลใจที่สำคัญอันสูงสุดของพวกเราซึ่งก็คือ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจแก่พวกเราเสมอมา

ประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบแก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 โครงสร้างของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ทฤษฎีภาษาศาสตร์	3
2.2 ระบบการพูดและเสียงของมนุษย์	5
2.2.1 กายวิภาคระบบการเปล่งเสียงของมนุษย์	5
2.2.2 กระบวนการผลิตเสียงของมนุษย์	5
2.2.3 เสียงพูดของมนุษย์	5
2.2.4 ความยาวของเสียง	6
2.2.5 ระดับเสียงสูง-ต่ำ	6
2.2.6 ความดัง	6
2.2.7 การลงน้ำหนัก	6
2.2.8 ช่วงต่อของเสียง	6
2.3 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงพูดเบื้องต้น	6
2.3.1 กรรมวิธีการเน้นเสียงที่มีความถี่สูง	7
2.3.2 การแบ่งช่วงสัญญาณ	8
2.3.3 การวินโดว์	9
2.3.4 หลักการของการประมาณเชิงเส้น	10
2.3.5 การคำนวณสเปกตรัมแอลพีซี	14
2.3.6 การหาสเกลบารก์	15
2.4 การจำแนกรูปแบบด้วยแบบจำลองฮิดเด้นมาร์คอฟ	17
2.4.1 ความหมายของแบบจำลองฮิดเด้นมาร์คอฟ	17
2.4.2 ส่วนประกอบของแบบจำลองมาร์คอฟ	18
2.4.3 คุณสมบัติการย้ายสถานะของ HMM	18
2.4.4 ปัญหาพื้นฐานของแบบจำลองมาร์คอฟ	19
2.5 การรับ-ส่งข้อมูล	19
2.5.1 การสื่อสารแบบขนาน	19
2.5.2 การสื่อสารแบบอนุกรม	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3	การอินเตอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232	20
2.5.4	ลักษณะสัญญาณที่ใช้ในการอินเตอร์เฟส	20
2.5.5	การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS-232	20
2.5.6	จังหวะเวลาของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม	22
2.5.7	รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม	23
2.5.8	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628	24
2.5.9	ความเร็วของ PIC	24
2.5.10	หน่วยความจำของ PIC	25
2.5.11	สถาปัตยกรรมของ PIC	25
2.5.12	โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F268	25
2.5.13	การจัดสรรหน่วยความจำ	28
2.5.14	การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของ PIC16F628	29
2.5.15	รีจิสเตอร์หลักของ PIC16F628	30
2.5.15.1	รีจิสเตอร์ STATUS	30
2.5.15.2	รีจิสเตอร์ OPTION	30
2.5.15.3	รีจิสเตอร์ PCON	31
2.5.15.4	รีจิสเตอร์ W	32
2.5.16	โปรแกรมเคาน์เตอร์	32
2.5.17	สแต็ก	32
2.5.18	การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628	32
2.5.19	รีจิสเตอร์ของโมดูล USART	33
2.5.20	ส่วนกำเนิดอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลหรือบอดเรตเจเนอเรเตอร์	35
2.5.21	โหมดการทำงานของโมดูล USART	37
2.5.21.1	การทำงานในโหมดอะซิงโครนัส	37
2.5.21.2	การส่งข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส	38
2.5.21.3	การรับข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส	39
2.5.21.4	การทำงานในโหมดซิงโครนัสของโมดูล USART	41
2.5.21.5	การทำงานในโหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ของโมดูล USART	41
2.5.21.6	การส่งข้อมูลในโหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ของโมดูล USART	42
2.5.21.7	การรับข้อมูลในโหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ของโมดูล USART	42
2.5.21.8	การทำงานในโหมดซิงโครนัส-สเลฟของโมดูล USART	43
2.5.21.9	การส่งข้อมูลในโหมดซิงโครนัส-สเลฟของโมดูล USART	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	2.5.21.10 การรับข้อมูลในโหมดซิงโครนัส-สเตฟของ โมดูล USART	44
	2.5.21.11 ทฤษฎีอินฟราเรดรีโมทคอนโทรล	44
2.5.22	สัญญาณมาตรฐานรีโมทคอนโทรล	46
	2.5.22.1 รหัสสัญญาณรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน	47
2.5.23	การใช้แสงอินฟราเรด	52
	2.5.23.1 กระบวนการแผ่	52
	2.5.23.2 ตัวกำเนิดแสงอินฟราเรด	53
	2.5.23.3 ภาคส่งสัญญาณอินฟราเรด	54
บทที่ 3	การออกแบบและการคำนวณ	
3.1	องค์ประกอบหลักของรีโมทคอนโทรลโทรทัศน์สั่งการด้วยเสียงพูด	57
3.2	องค์ประกอบในส่วนซอฟต์แวร์	58
	3.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเสียง	58
3.3	การหาลักษณะสำคัญของเสียง	58
	3.3.1 การตัดเสียงที่ไม่ต้องการออก	58
	3.3.2 กระบวนการพีเอ็มพีซิส	59
	3.3.3 การแบ่งช่วงของสัญญาณ	59
	3.3.4 การคูณด้วยฟังก์ชันแฮมมิงวินโดว์	60
	3.3.5 การหาค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น	60
	3.3.6 การหาค่าสเกลบาร์ก	63
3.4	การตัดสินใจ	64
	3.4.1 การสร้างแบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟ	64
	3.4.1.1 การสร้างแบบจำลองเสียง	64
	3.4.1.1.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น	64
	3.4.1.1.2 การหาค่าการกระจายของความน่าจะเป็น	64
	3.4.1.1.3 การนำข้อมูลในแต่ละสเตตมาทำการหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนในแต่ละสเกลบาร์ก	65
	3.4.1.1.4 การหาการความน่าแน่นของความน่าจะเป็น	66
	3.4.1.1.5 การหาพารามิเตอร์ α, β	66
	3.4.1.1.6 การทำการสเกลลิ่ง α, β	67
	3.4.1.1.7 การหาค่าพารามิเตอร์ a, b, π	68
	3.4.1.1.8 การตรวจสอบค่าความน่าจะเป็นของโมเดล	68
	3.4.1.1.9 การเก็บค่าพารามิเตอร์ a, b, π	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า	
3.4.2	ขั้นตอนการทดสอบข้อมูล	69
3.4.2.1	ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมวิเทอบิ	69
3.5	องค์ประกอบในส่วนฮาร์ดแวร์	73
3.5.1	หลักการทํางานของวงจรแปลงแรงดัน	73
3.5.2	การออกแบบวงจรรีโมทคอนโทรล	73
3.5.3	การออกแบบวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรด	74
บทที่ 4 ผลการทดลอง		
4.1	การทดลองหาค่าลักษณะสำคัญของเสียง	77
4.1.1	ผลการทดลองของโปรแกรมตัดเสียงในส่วนที่ไม่ต้องการออก	77
4.1.2	ผลการทดลองเมื่อสัญญาณเสียงผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิส	78
4.1.3	ผลการทดลองเมื่อสัญญาณเสียงผ่านกระบวนการคูณด้วยฟังก์ชันวินโดว์	79
4.1.4	ผลการทดลองการหาค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง	80
4.1.5	ผลการทดลองการหาค่าสเปกตรัมของค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง	82
4.1.6	ผลการทดลองการหาค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์ค	85
4.2	การทดลองการใช้งานโปรแกรมรู้จำเสียงพูด	87
4.3	การทดสอบการรู้จำเสียงพูด	88
4.3.1	การนำเสียงผู้พูดที่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงมาทำการทดสอบการรู้จำ	89
4.3.1.1	เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศชาย	89
4.3.1.2	เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศหญิง	90
4.3.2	การนำเสียงผู้พูดที่ไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงมาทำการทดสอบการรู้จำ	91
4.3.2.1	เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศชาย	91
4.3.2.2	เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศหญิง	92
4.3.2.3	เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเด็ก	93
4.3.2.4	เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นผู้สูงอายุ	94
4.3.2.5	เมื่อเพิ่มจำนวนเสียงที่นำมาใช้เป็นโมเดลอ้างอิง	95
4.4	ผลการทดสอบการรู้จำเสียงพูดจากโปรแกรมในกรณีต่างๆ	100
4.5	ผลการทดลองในส่วนของการประมวลผลจากคอมพิวเตอร์ แล้วส่งเอาท์พุทที่ได้ ออกมาในรูปของเลขฐานสองทั้งหมด 8 บิต ผ่านทางพอร์ตอนุกรม	104
4.6	ผลการทดลองในส่วนของการสร้างสัญญาณรีโมทคอนโทรล จากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

113

ปัญหาที่เกิดขึ้น

113

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงหลักการทำงานของรีโมทคอนโทรลสั่งการด้วยเสียงพูด	2
รูปที่ 2.1 วงจรสื่อสารภาษาพูด	3
รูปที่ 2.2 อวัยวะในระบบการพูดของมนุษย์	5
รูปที่ 2.3 การเตรียมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์เสียงพูดเบื้องต้น	7
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่สูง	7
รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองทางความถี่ของฟังก์ชันถ่ายไอออนของวงจรกรองความถี่สูง	8
รูปที่ 2.6 การแบ่งช่วงของสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์	8
รูปที่ 2.7 วินโดว์แบบแฮมมิง	9
รูปที่ 2.8 วินโดว์แบบสี่เหลี่ยม	9
รูปที่ 2.9 การสังเคราะห์เสียงโดยใช้ค่าการประมาณเชิงเส้น	10
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น	14
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างลำดับของ สเกลบารัค กับ ความถี่ (Hz)	15
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงบนสเกลบารัคกับแถบความถี่บนฟังก์ชันถ่ายไอออน	16
รูปที่ 2.13 แบบจำลอง Left-Right Model ของ HMM	19
รูปที่ 2.14 ลักษณะการสื่อสารแบบขนาน	19
รูปที่ 2.15 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	20
รูปที่ 2.16 ระดับแรงดันสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 กับ TTL ในสถานะลอจิก "1" และ "0"	21
รูปที่ 2.17 ไอซี MAX 232	21
รูปที่ 2.18 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์โดยใช้สัญญาณเพียง 3 เส้น	22
รูปที่ 2.19 การส่งข้อมูลแบบอนุกรมด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที	23
รูปที่ 2.20 การส่งข้อมูลขนาด 8 บิตแบบอนุกรม พร้อมด้วย บิตเริ่มต้น,บิตพาร์ริตี้,บิตหยุด ด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที	24
รูปที่ 2.21 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628	26
รูปที่ 2.22 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F628	28
รูปที่ 2.23 รีจิสเตอร์ STATUS ของ PIC16F628	30
รูปที่ 2.24 รีจิสเตอร์ OPTION ของ PIC16F628	31
รูปที่ 2.25 รีจิสเตอร์ PCON ของ PIC16F628	31
รูปที่ 2.26 รายละเอียดการทำงานของ TXSTA	33
รูปที่ 2.27 รายละเอียดการทำงานของ RCSTA	34
รูปที่ 2.28 ไคอะแกรมการส่งข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัสของโมดูล USART ใน PIC16F628	38
รูปที่ 2.29 ไคอะแกรมการรับข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัสของโมดูล USART ใน PIC16F628	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 ลักษณะทางลอจิกในระบบสแกนพัลส์	45
รูปที่ 2.31 คาต้าสตรึม	45
รูปที่ 2.32 อินฟราเรดรีโมทคอนโทรลโปรโตคอลของ SONY D7C6	48
รูปที่ 2.33 อินฟราเรดรีโมทคอนโทรลโปรโตคอลของ SONY D7C6	49
รูปที่ 2.34 โครงสร้างสัญญาณรีโมทคอนโทรล Sony DVD S7000	52
รูปที่ 2.35 การไบอัสอินฟราเรด	54
รูปที่ 2.36 ภาคส่งสัญญาณอินฟราเรด	54
รูปที่ 2.37 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	55
รูปที่ 2.38 วงจรผลิตความถี่พื้นฐานใช้ IC 555	56
รูปที่ 2.39 วงจรโมโนสเตเบิลมีลต์ดีไวเบรเตอร์ใช้ IC 555 Ω	56
รูปที่ 2.40 วงจร Single shot คาบเวลา T ของวงจรคือ $T = 0.693RC$	56
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ	57
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเสียง	58
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาลักษณะสำคัญของเสียง	58
รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	59
รูปที่ 3.5 การแบ่งช่วงของสัญญาณเสียงในแต่ละช่วงเพื่อทำการวิเคราะห์	60
รูปที่ 3.6 โพลว์ชาร์ต การเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าอัตราสัมพันธ์และค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น	61
รูปที่ 3.7 โพลว์ชาร์ต การเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าอัตราสัมพันธ์และค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (ต่อ)	62
รูปที่ 3.8 ผลตอบสนองทางความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอน	63
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองทางความถี่กับความเข้มของสัญญาณเสียง	63
รูปที่ 3.10 แบบจำลอง Left-Right	64
รูปที่ 3.11 การแบ่งข้อมูลออกเป็น 6 ช่วง	64
รูปที่ 3.12 การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละสเตท	65
รูปที่ 3.13 การหาค่าความแปรปรวนในแต่ละสเตท	65
รูปที่ 3.14 การกระจายของข้อมูลในแต่ละสเตท	66
รูปที่ 3.15 การหาค่า Forward Produe	67
รูปที่ 3.16 การหาค่า Backward Produe	67
รูปที่ 3.17 โพลว์ชาร์ตของโปรแกรมสร้างโมเดลเสียง	68
รูปที่ 3.18 โพลว์ชาร์ตของโปรแกรมสร้างโมเดลเสียง (ต่อ)	69
รูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมวิเทอบี	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 โพลาร์ชาร์ตของการวิเคราะห์และรู้จำเสียงพูด	71
รูปที่ 3.21 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมรู้จำเสียง	72
รูปที่ 3.22 วงจรแปลงระดับแรงดัน	73
รูปที่ 3.23 วงจรควบคุมการส่งพัลส์	73
รูปที่ 3.24 วงจรควบคุมการส่งสัญญาณอินฟราเรด	75
รูปที่ 3.25 วงจรรีโมทคอนโทรล	76
รูปที่ 3.26 จรรวม	76
รูปที่ 4.1 สัญญาณเสียง “สาม”	77
รูปที่ 4.2 สัญญาณเสียง “สาม” ที่ผ่านการตัดเสียงในส่วนที่เงียบออก	77
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเสียง “สาม” ในช่วง 900 แซมเปิ้ลแรก	77
รูปที่ 4.4 สัญญาณเสียง “สาม” ก่อนผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิส	78
รูปที่ 4.5 สัญญาณเสียง “สาม” หลังผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิส	78
รูปที่ 4.6 สัญญาณเสียง “สาม” ก่อนผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิสในโดเมนความถี่	78
รูปที่ 4.7 สัญญาณเสียง “สาม” หลังผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิสในโดเมนความถี่	79
รูปที่ 4.8 สัญญาณเสียง “สาม” เฟรมที่ 1	79
รูปที่ 4.9 สัญญาณของฟังก์ชันแฮมมิงวินโดว์	79
รูปที่ 4.10 สัญญาณเสียงที่ผ่านการคูณด้วยฟังก์ชันวินโดว์	79
รูปที่ 4.11 สัญญาณเสียงก่อนผ่านการคูณด้วยฟังก์ชันวินโดว์ในโดเมนความถี่	80
รูปที่ 4.12 สัญญาณเสียงหลังผ่านการคูณด้วยฟังก์ชันวินโดว์ในโดเมนความถี่	80
รูปที่ 4.13 (a) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “สาม” ในเฟรมที่หนึ่ง	80
รูปที่ 4.13 (b) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ห้า” ในเฟรมที่หนึ่ง	80
รูปที่ 4.13 (c) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เจ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง	81
รูปที่ 4.13 (d) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เก้า” ในเฟรมที่หนึ่ง	81
รูปที่ 4.13 (e) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “สิบเอ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง	81
รูปที่ 4.13 (f) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ไอทีวี” ในเฟรมที่หนึ่ง	81
รูปที่ 4.13 (g) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ลดเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง	81
รูปที่ 4.13 (h) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เพิ่มเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง	82
รูปที่ 4.13 (i) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง	82
รูปที่ 4.13 (j) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง	82
รูปที่ 4.14 (a) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “สาม” ในเฟรมที่หนึ่ง	82
รูปที่ 4.14 (b) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ห้า” ในเฟรมที่หนึ่ง	83
รูปที่ 4.14 (c) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เจ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 (d) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง“เก้า”ในเฟรมที่หนึ่ง	83
รูปที่ 4.14 (e) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง“สิบเอ็ด”ในเฟรมที่หนึ่ง	83
รูปที่ 4.14 (f) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง“ไอทีวี”ในเฟรมที่หนึ่ง	83
รูปที่ 4.14 (g) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง“ลดเสียง”ในเฟรมที่หนึ่ง	84
รูปที่ 4.14 (h) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง“เพิ่มเสียง”ในเฟรมที่หนึ่ง	84
รูปที่ 4.14 (i) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง“ปิด”ในเฟรมที่หนึ่ง	84
รูปที่ 4.14 (j) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง	84
รูปที่ 4.15 (a) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“สาม”ในเฟรมที่หนึ่ง	85
รูปที่ 4.15 (b) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“ห้า”ในเฟรมที่หนึ่ง	85
รูปที่ 4.15 (c) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“เจ็ด”ในเฟรมที่หนึ่ง	85
รูปที่ 4.15 (d) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“เก้า”ในเฟรมที่หนึ่ง	85
รูปที่ 4.15 (e) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“สิบเอ็ด”ในเฟรมที่หนึ่ง	85
รูปที่ 4.15 (f) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“ไอทีวี”ในเฟรมที่หนึ่ง	86
รูปที่ 4.15 (g) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“ลดเสียง”ในเฟรมที่หนึ่ง	86
รูปที่ 4.15 (h) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“เพิ่มเสียง”ในเฟรมที่หนึ่ง	86
รูปที่ 4.15 (i) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“ปิด”ในเฟรมที่หนึ่ง	86
รูปที่ 4.15 (j) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง“เปิด”ในเฟรมที่	86
รูปที่ 4.16 (a) ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จำเสียงพูด	87
รูปที่ 4.16 (b) ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จำเสียงพูดเมื่อมีเสียงเข้ามา	87
รูปที่ 4.16 (c) ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จำเสียงพูดขณะแสดงผลลัพธ์	88
รูปที่ 4.17 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและต่างเพศกัน	100
รูปที่ 4.18 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้พูดอยู่ในกลุ่มอ้างอิงและผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง	101
รูปที่ 4.19 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงโดยมีโมเดลในกลุ่มอ้างอิงที่แตกต่างกัน	102
รูปที่ 4.20 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและมีวัยที่แตกต่างกัน	103
รูปที่ 4.21 (a) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “สาม”	104
รูปที่ 4.21 (b) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ห้า”	104
รูปที่ 4.21 (c) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “เจ็ด”	105
รูปที่ 4.21 (d) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “เก้า”	105
รูปที่ 4.21 (e) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “สิบเอ็ด”	106
รูปที่ 4.21 (f) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ไอทีวี”	106
รูปที่ 4.21 (g) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “เพิ่มเสียง”	107
รูปที่ 4.21 (h) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ลดเสียง”	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.21 (i) สัญญาที่ส่งผ่านพอร์ทอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ปิด หรือ เปิด”	108
รูปที่ 4.22 (a) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 1	108
รูปที่ 4.22 (b) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 2	109
รูปที่ 4.22 (c) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 3	109
รูปที่ 4.22 (d) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 4	110
รูปที่ 4.22 (e) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 5	110
รูปที่ 4.22 (f) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 6	111
รูปที่ 4.22 (g) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม VOL +	111
รูปที่ 4.22 (h) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม VOL -	112
รูปที่ 4.22 (i) สัญญารีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม POWER	112



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 อวัยวะที่มีหน้าที่ในการออกเสียงพูด	4
ตารางที่ 2.2 ขอบเขตและความถี่ศูนย์กลางของย่านความถี่วิกฤติ	16
ตารางที่ 2.3 ขอบเขตและความถี่ศูนย์กลางของย่านความถี่วิกฤติ (ต่อ)	17
ตารางที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของขา DB-9	22
ตารางที่ 2.5 อัตรารอบอดที่ใช้กันทั่วไป	24
ตารางที่ 2.6 แสดงการคำนวณหาค่าอัตราเร็วของการถ่ายทอข้อมูล	36
ตารางที่ 2.7 ค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG ที่บอกระดับค่าต่างๆ	37
ตารางที่ 2.8 ค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG ที่บอกระดับค่าต่างๆ	37
ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติทางเทคนิคของ Sony	49
ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ LED	53
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศชายอยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน	89
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศหญิงอยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน	90
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน	91
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศหญิงไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน	92
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คน หญิง 25 คนและเด็ก 20 คน	93
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นผู้สูงอายุไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คน หญิง 25 คนและเด็ก 20 คน	94
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 20 คนและหญิง 20 คน	95
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน	96
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 30 คนและหญิง 30 คน	97
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 40 คนและหญิง 40 คน	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 50 คนและหญิง 50 คน	99
ตารางที่ 4.12 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและต่างเพศกัน	100
ตารางที่ 4.13 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้พูดอยู่ในกลุ่มอ้างอิงและผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง	101
ตารางที่ 4.14 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และมีจำนวนเสียง ที่นำมาใช้เพื่อสร้าง โมเดลแตกต่างกันออกไป	102
ตารางที่ 4.15 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและมีวัยที่แตกต่างกัน	103



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการรู้จำเสียงพูด ในอดีตนั้นไม่สามารถสั่งการให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้ เนื่องจากโดยธรรมชาติเสียงของมนุษย์นั้นมีความซับซ้อน และแตกต่างกันทั้งความเร็วในการพูด ระดับเสียงสูง เสียงต่ำ แต่ได้มีการพัฒนาให้คอมพิวเตอร์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จนในปัจจุบันนี้ก็สามารถสอนให้คอมพิวเตอร์รู้จำได้ในระดับหนึ่งแล้ว ซึ่งเป็นการเพิ่มทางเลือกในการควบคุมสั่งการอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ซึ่งการควบคุมสั่งการแบบนี้เป็นวิธีการที่เป็นธรรมชาติมากที่สุดของมนุษย์

การรู้จำเสียงพูดนั้น มีทั้งการรู้จำเสียงแบบขึ้นกับผู้พูด (Speaker-Dependent Speech Recognition) และการรู้จำเสียงแบบไม่ขึ้นกับผู้พูด (Speaker-Independent Recognition) ซึ่งการรู้จำเสียงพูดนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก เนื่องจากความแตกต่างในการออกเสียงของผู้พูดแต่ละบุคคล แต่ในปัจจุบันก็ได้มีขั้นตอนและวิธีการรู้จำเสียงที่ไม่ขึ้นกับผู้พูดซึ่งสามารถทำได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงได้มีการนำขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการรู้จำเสียงพูดโดยไม่ขึ้นกับผู้พูดมาสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกภายในชีวิตประจำวัน นั่นก็คือ รีโมทคอนโทรลควบคุมโทรทัศน์โดยใช้เสียงพูด ซึ่งจะใช้อำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่มีความพิการทางแขน ขา หรือผู้ที่ต้องการเพิ่มทางเลือกในการสั่งการโทรทัศน์โดยใช้เสียง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

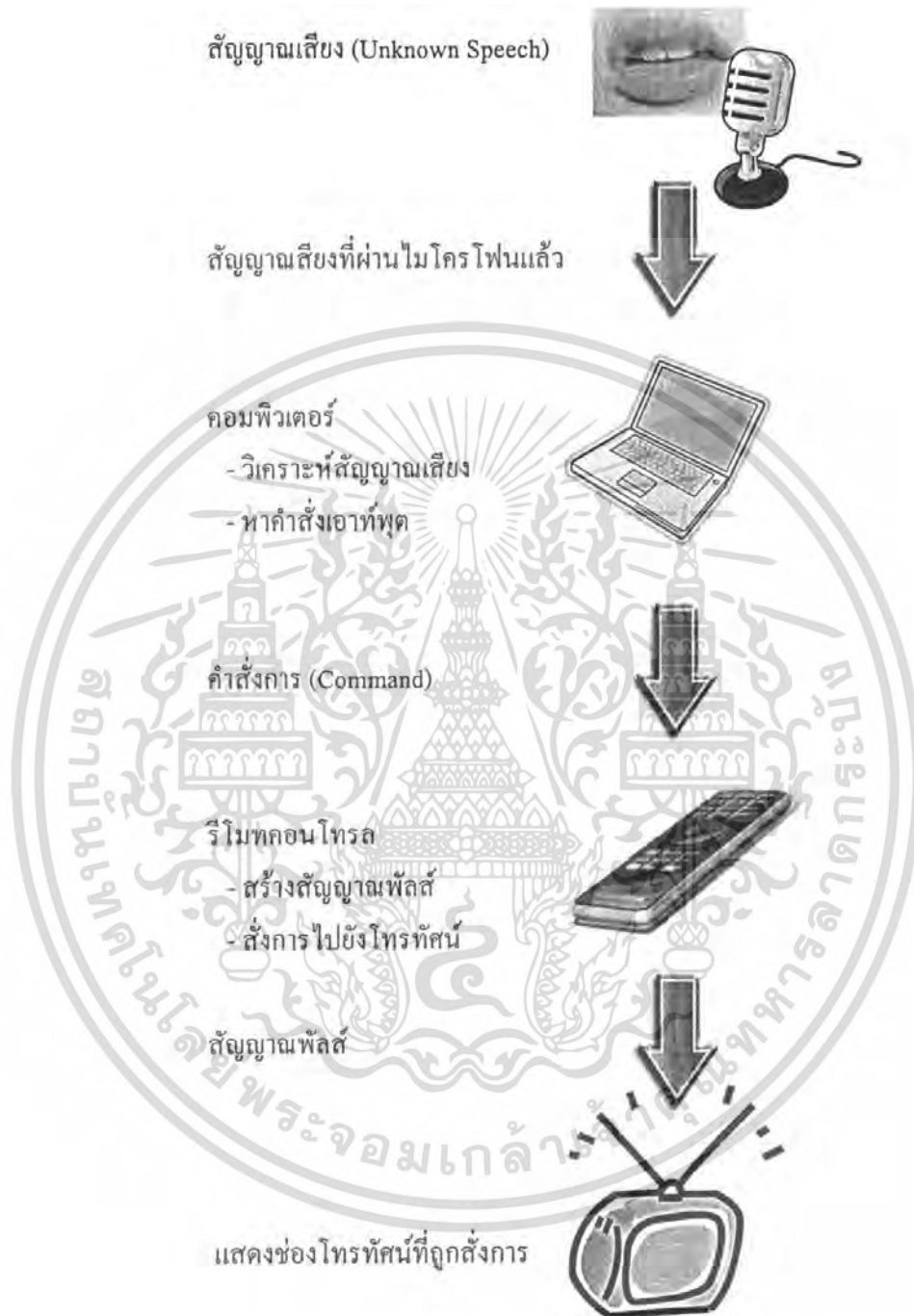
โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการรู้จำเสียงพูดโดยใช้โปรแกรม MATLAB และนำไปประยุกต์ใช้ในควบคุมการสั่งการโทรทัศน์ ผ่านพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยการสั่งการด้วยเสียงนั้นจะไม่ขึ้นกับผู้พูด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. วงจรรีโมทคอนโทรลโทรทัศน์สามารถควบคุมการเปลี่ยนช่องสัญญาณโทรทัศน์นี้หรือโซนี่ และสามารถรับสัญญาณจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสามารถวิเคราะห์และรู้จำเสียงพูดได้ โดยเสียงพูดที่ทำการรู้จำประกอบด้วย 10 คำ ได้แก่ สาม ห้า เจ็ด เก้า สิบเอ็ด ไอทีวี ลดเสียง เพิ่มเสียง ปิด เปิด
3. ผู้สั่งการไม่ควรจะมีปัญหาในเรื่องสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับเสียง อาทิเช่น เป็นหวัด เจ็บคอ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 โครงสร้างของโครงการ



รูปที่ 1.1 แสดงหลักการทำงานของรีโมทคอนโทรลสั่งการด้วยเสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีภาษาศาสตร์

ในการสื่อสาร เมื่อผู้พูดต้องการสื่อข้อความใดข้อความหนึ่งไปยังผู้รับ สมอจะทำหน้าที่สั่งการให้อวัยวะที่เกี่ยวข้องให้ทำงานและออกเสียงทีละเสียงหรือเป็นข้อความตามที่ต้องการ คลื่นเสียงจะเดินทางผ่านอากาศซึ่งเป็นตัวกลางไปกระทบหูผู้ฟัง ผู้ฟังรับข่าวสารทำการถอดเสียงและตีความหมายรับรู้ข่าวสาร



จากรูปที่ 2.1 มนุษย์สร้างเสียงพูดขึ้นมาจากเส้นเอ็นในลำคอที่เรียกว่าเส้นเสียง (Vocal Cords) ซึ่งอยู่ในช่องหลอดลม เมื่อเส้นเสียงเกิดการสั่นจะทำให้เกิดคลื่นเสียงความถี่ต่างๆ ผ่านเข้าสู่ลำคอ ไปยังปากหรือช่องจมูก ออกไปยังภายนอก ซึ่งรูปร่างของช่องคอและช่องปากที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปมาได้อย่างอิสระ ทำให้ผู้พูดมีความสามารถในการกำหนดคลื่นเสียงระดับต่างๆ ให้เกิดการแปลงเป็นเสียงพูดออกตัวอย่างของอวัยวะออกเสียง ได้แก่ ริมฝีปาก, ฟัน, เพดาน, ลิ้น ทำหน้าที่เปลี่ยนขนาดและรูปร่างของเสียงได้ตามต้องการ อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง แบ่งได้ 2 พวก คือ

- 1) อวัยวะที่เป็นส่วนกระทำการ (Articulator) อวัยวะที่เคลื่อนไหวผลัดลมไปส่วนต่างๆ ได้แก่ ลิ้น
- 2) อวัยวะที่เป็นฐานเกิดเสียงต่างๆ (Point of Articulator) ได้แก่ ริมฝีปาก ฟัน เพดานปาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 อวัยวะที่มีหน้าที่ในการออกเสียงพูด

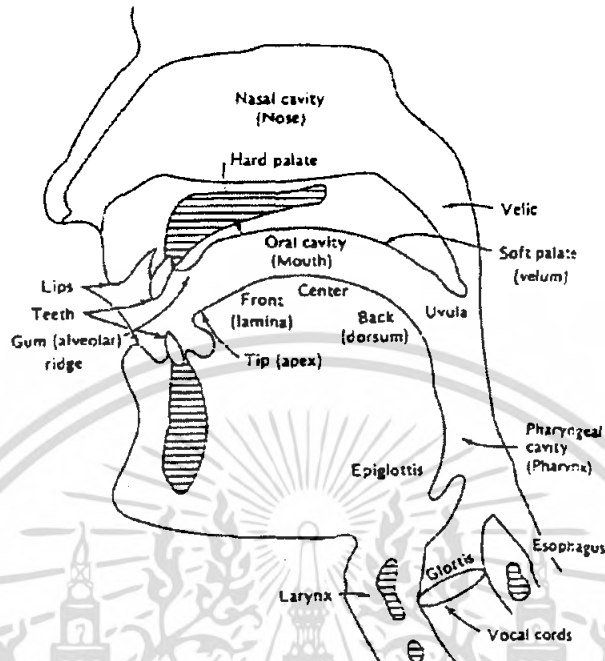
อวัยวะ	ลักษณะ / หน้าที่
ริมฝีปาก (Lips)	อวัยวะที่สามารถเคลื่อนไหวได้มาก มีอิทธิพลต่อการออกเสียงและการทำเสียงให้แตกต่างกันออกไป
ฟัน (Teeth)	อวัยวะต้นกำเนิดของเสียง ลมที่ผ่านออกมาจะลอดช่องเกิดเป็นเสียงเสียดแทรก
ปุ่มเหงือก (Gum Ridge)	อยู่บริเวณฟันด้านบน
เพดานแข็ง / เพดานปาก (Hard Palate)	บริเวณที่โค้งเป็นกระดูกภายในปาก
เพดานอ่อน (Soft Palate)	ถัดจากเพดานแข็งเข้าไปด้านหลัง เป็นกระดูกอ่อนขยับขึ้นลงได้
ลิ้น (Tongue)	อวัยวะที่เคลื่อนไหวมากที่สุดในการออกเสียงพูด
ปลายลิ้น (Blade of the Tongue)	ส่วนปลายที่ยกขึ้นแตะอวัยวะในปากตอนบนได้ง่าย
หน้าลิ้น (Front of the Tongue)	บริเวณตรงข้ามกับเพดานแข็ง
หลังลิ้น (Back of the Tongue)	บริเวณตรงข้ามกับเพดานอ่อน
ช่องปาก (Oral Cavity)	เป็นช่องกำทอน (Resonant Chamber) เปลี่ยนแปลงรูปร่างกำทอนในช่องปากต่างๆ กันได้ตามท่าทางของลิ้น ริมฝีปากและขากรรไกร
โพรงจมูก (Nasal Cavity)	ทางออกสู่โพรงจมูก เป็นการยกขึ้น-ลงของเพดานอ่อน
ช่องคอ (Pharynx)	โพรงคอยู่ถัดปากถึงเส้นเสียง
ลิ้นปิดหลอดลม (Epiglottis)	บริเวณโคนลิ้นถึงลำคอ หน้าที่ปิดช่องลมขณะรับประทานอาหาร
เส้นเสียง (Vocal Cords)	กล้ามเนื้อ 2 แผ่นปิดขวางช่องหลอดลมจากด้านหลังมาด้านหน้า เป็นอวัยวะสำคัญที่ทำให้เกิดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบการพูดและเสียงของมนุษย์

2.2.1 กายวิภาคระบบการเปล่งเสียงของมนุษย์

การทำให้เกิดเสียงเป็นหน้าที่ของระบบการหายใจ มีการทำงานร่วมกันของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย



รูปที่ 2.2 อวัยวะในระบบการพูดของมนุษย์

จากรูปที่ 2.2 ปอดและกะบังลมจะทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดการไหลของอากาศในการผลิตเสียง จากนั้นหลอดลม นำอากาศจากปอดผ่านกล่องเสียง กล่องเสียงจะทำหน้าที่เป็นทางเดินอากาศเวลาหายใจเป็นตัวผลิตพัลส์ของอากาศขณะเปล่งเสียง โดยช่องปากและหลอดอาหารตอนต้น จะทำหน้าที่เป็นอวัยวะกำหนดเสียง ซึ่งเสียงเปลี่ยนแปลงไปตามการออกเสียงและโพรงจมูก จะทำหน้าที่กำหนดเสียงพร้อมกับช่องปากเมื่อมีการเปล่งเสียงออกทางจมูก

2.2.2 กระบวนการผลิตเสียงของมนุษย์

กระบวนการผลิตเสียงของมนุษย์จะเริ่มจากอากาศที่ไหลจากปอดจะถูกมอดูเลต โดยการสั่นของเส้นเสียง ทำให้เกิดคลื่นเสียงที่มีรูปแบบคล้ายสัญญาณพัลส์ ที่มีคาบเวลาแบบควอไซซ์ (Quasi-periodic Pulse-like Excitation) และบังคับให้ไหลผ่านช่องแคบ ซึ่งเกิดจากการบีบตัวของอวัยวะในช่องปาก ทำให้เกิดเสียงลักษณะคล้ายเสียงรบกวน อากาศที่ไหลจะถูกกัก แล้วเกิดแรงดันภายในช่องปากพุ่งออกไปอย่างรวดเร็ว เกิดการกระตุ้นเป็นเสียงในช่วงเริ่มต้น (Transient Excitation)

2.2.3 เสียงพูดของมนุษย์

เสียงพูดเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) เกิดจากการสั่นของอนุภาคตัวกลางที่มีทิศทางของอนุภาคอยู่ในทิศเดียวกับทิศของการเคลื่อนที่ เสียงพูดแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามการกำเนิดเสียงหรือโหมดการกระตุ้น คือ

- เสียงโฆษะ (Voiced Sound) เกิดจากการบังคับให้ผ่านเส้นเสียง ทำให้เกิดการตึง ห่อขึ้น มีการสั่นและเกิดพัลส์ของอากาศไปกระตุ้นอวัยวะกำหนดเสียงเกิดเป็นเสียงพูด ได้แก่ เสียงสระ เสียงพยัญชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เสียงอโหษะ (Unvoiced Sound) เป็นเสียงที่เกิดในช่องปากหรือโพรงจมูกโดยอวัยวะภายในช่องปาก ริมฝีปาก ขวางการไหลของอากาศได้เป็นช่องเล็กๆ อากาศจึงไหลผ่านอย่างรวดเร็วและปั่นป่วนจนกระทั่งสร้างเป็นเสียงรบกวนช่วงความถี่กว้าง (Broad-spectrum Noise) ได้แก่ เสียงพยัญชนะที่ไม่ได้เกิดจากลำคอ (Voiceless Consonants)

2.2.4 ความยาวของเสียง (Length)

เสียงสระ พยัญชนะ พยัญชนะเสียดแทรก สามารถเปล่งเสียงออกมาได้นานและมีเพียงเสียงสระเท่านั้นที่มีความยาวสั้น

2.2.5 ระดับเสียงสูง-ต่ำ (Pitch)

เสียงจะมีระดับสูงต่ำขึ้นอยู่กับความถี่พื้นฐานของเสียง (Fundamental Frequency) ระดับเสียงสูงต่ำ คือ อัตราการสั่นสะเทือนของเส้นเสียง เสียงก้อง คือ เสียงที่มีระดับสูงต่ำแตกต่างกัน จึงเกิดความถี่ระดับต่างๆ ได้

2.2.6 ความดัง (Loudness)

ขึ้นอยู่กับปริมาณของลมที่ผู้พูดเปล่งเสียงออกมาในช่วงเวลาหนึ่งๆ

2.2.7 การลงน้ำหนัก (Stress)

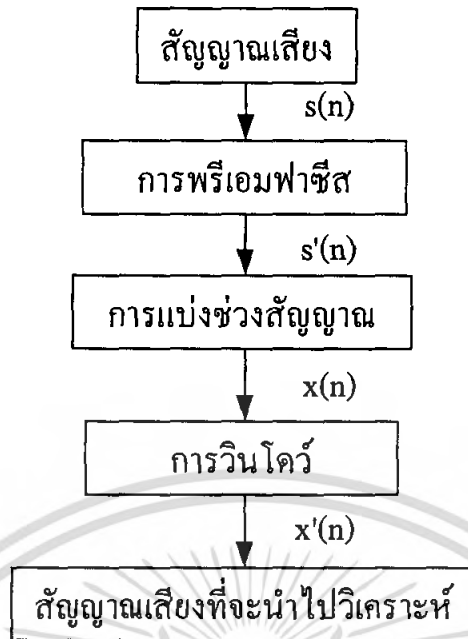
เพื่อต้องการแสดงอารมณ์หรือเรียกร้องความสนใจเป็นพิเศษ

2.2.8 ช่วงต่อของเสียง (Juncture)

ระยะที่ผู้พูดเปล่งเสียงหนึ่งแล้วต่อไปเปล่งเสียงอีกเสียงหนึ่งซึ่งเรียงกันมาเป็นลำดับ มีความสำคัญในการแบ่งคำในภาษา เสียงที่ประกอบเข้าเป็นพยางค์จะมีช่วงต่อที่แนบสนิทต่างกับคำที่อยู่กันคนละพยางค์ ที่มีช่วงต่อห่างกันจนสังเกตเห็นได้ชัด

2.3 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงพูดเบื้องต้น

โดยปกติทั่วไปสัญญาณเสียงพูดของคนเรานั้นจะเป็นสัญญาณที่ไม่เสถียรและมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Non - Stationary) ดังนั้นถ้าเราต้องการนำเสียงพูดมาประมวลผลสัญญาณเสียงแบบดิจิทัล ต้องทำการแบ่งสัญญาณที่จะทำการวิเคราะห์ออกเป็นช่วงของเวลาสั้นๆ เพื่อให้สัญญาณเสียงไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Stationary) จากนั้นจึงจะสามารถนำสัญญาณเสียงไปประมวลผลต่อได้ กรอบของเสียงพูด (Speech Frame) นั้นจะมีความยาวประมาณ 20 – 30 มิลลิวินาที ทำให้สัญญาณเสียงพูดในแต่ละกรอบมีความเสถียรและไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การเหลื่อมกันของกรอบเสียงพูด (Frame Overlap) จะทำให้รอยต่อของลักษณะสำคัญของเสียงพูดจากกรอบเสียงพูดหนึ่ง ไปยังอีกกรอบเสียงพูดหนึ่งเรียบขึ้น



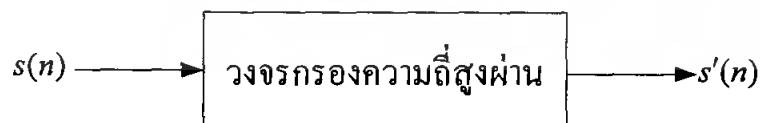
รูปที่ 2.3 การเตรียมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์เสียงพูดเบื้องต้น

จากรูปที่ 2.3 เป็นกระบวนการเตรียมข้อมูลเสียงก่อนที่จะนำสัญญาณเสียงไปทำการวิเคราะห์ เพื่อลดสัญญาณรบกวนและเพื่อให้กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณเสียงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.1 กรรมวิธีการเน้นเสียงที่มีความถี่สูง (Pre-emphasis)

เนื่องจากสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์ จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่บริเวณความถี่ต่ำ เมื่อเทียบกับแถบความถี่ (Bandwidth) ปฏิบัติงานไม่เกิน 5 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้น เพื่อให้อัตราส่วนสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงความถี่ปฏิบัติงานนี้ เราจึงต้องมีการพรีเอมฟาซิส (Pre-emphasis) โดยเน้นความถี่สูงให้มีขนาดสูงขึ้น ดังนั้นการพรีเอมฟาซิสก็คือการกรองสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ซึ่งมีนิยามใช้วงจรกรองอันดับหนึ่ง มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

$$H(z) = 1 - a \cdot z^{-1} \quad \text{โดยที่ } 0.9 < a < 1.0 \quad (2.1)$$



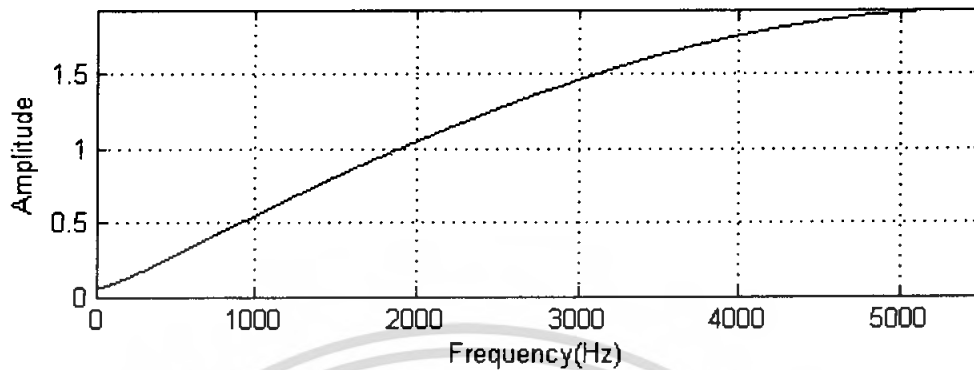
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่สูง

จากรูปที่ 2.4 สามารถนำไปเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$s'(n) = s(n) - a \cdot s(n-1) \quad (2.2)$$

โดย $s(n)$ คือ สัญญาณเสียงอินพุตที่เวลา n , $s(n-1)$ คือ สัญญาณอินพุตเสียงที่เวลา $n-1$, $s'(n)$ คือ สัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรกรองความถี่สูง งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

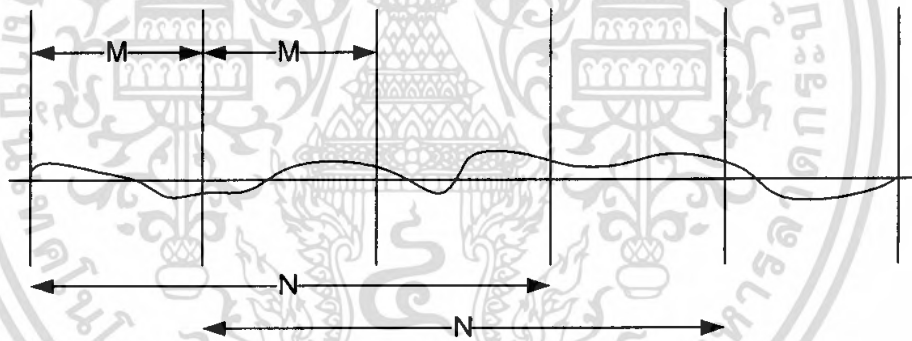
ยิ่งค่า α ใกล้ 1 เท่าใด ความถี่สูงก็จะต้องถูกขยายมากขึ้นเท่านั้น ค่า α ที่นิยมสำหรับใช้ในการหาพารามิเตอร์ของ LPC คือ $15/16 = 0.9375$ เมื่อนำฟังก์ชันถ่ายโอนมาพล็อตกราฟของขนาดเทียบกับความถี่จะได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองทางความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่สูง

2.3.2 การแบ่งช่วงสัญญาณ (Frame Blocking)

สัญญาณที่ผ่านการกรองความถี่สูง $s'(t)$ จะถูกตัดแบ่งออกเป็นช่วงๆ หรือเฟรม โดยแต่ละเฟรมจะประกอบไปด้วยสัญญาณจำนวน N ตัวอย่าง การวิเคราะห์จะวิเคราะห์ทีละเฟรมดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแบ่งช่วงของสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยช่วงในการวิเคราะห์แต่ละเฟรมจะถูกเลื่อนไปเป็นระยะ M ตัวอย่าง โดยในการเลือกค่า M นั้นถ้าเราลองสังเกตดูว่า ถ้าค่า M มีขนาดใหญ่กว่าค่า N จะทำให้มีข้อมูลบางส่วนที่ไม่ถูกวิเคราะห์ดังรูปที่ 2.6 ทำให้มีการสูญเสียของข้อมูลเกิดขึ้นและถ้าค่า M น้อยกว่าค่า N ก็จะทำให้ตัวอย่างสัญญาณทุกตัวถูกนำมาวิเคราะห์ ยิ่งค่า M เล็กเท่าไรหรือความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น แต่ก็จะทำให้การคำนวณช้าลง หลักการกำหนดขนาดกรอบของเฟรมในการวิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้

1. กรอบของเฟรมจะต้องสั้นพอที่คุณสมบัติของเสียงที่จะวิเคราะห์นั้นยังไม่เปลี่ยนแปลงในกรอบของเฟรมนั้น
2. กรอบของเฟรมจะต้องยาวพอที่จำนวนตัวอย่างสัญญาณในกรอบของเฟรม สามารถนำมาคำนวณหาคุณสมบัติของพารามิเตอร์เชิงเลขที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

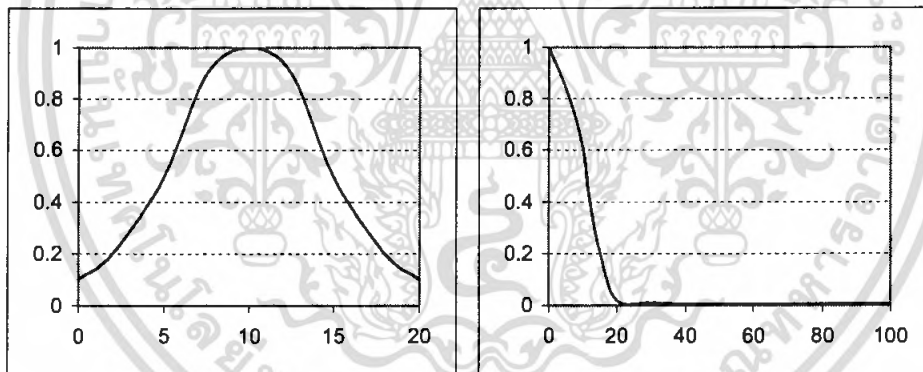
3. กรอบของเฟรมที่ติดกันไม่ควรจะสั้นจนเกิดการข้ามข้อมูลบางส่วนไป แต่ควรเลื่อนให้น้อยกว่าขนาดกรอบของเฟรม

ความถี่ในการสุ่มสัญญาณ 11.025 กิโลเฮิรตซ์ ในการวิเคราะห์นี้ เลือกใช้ค่า $N=300$ และค่า $M=100$ กล่าวคือ ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ คือ 27.21 มิลลิวินาทีและระยะเวลาในการเลื่อนเฟรมประมาณ 9.07 มิลลิวินาที

2.3.3 การวินโดว์ (Windowing)

การตัดเฟรมเพื่อทำการวิเคราะห์นั้นขอบของเฟรมที่ตัดมาจะมีความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณอยู่ในโดเมนความถี่ จะมีความถี่สูงเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะลดองค์ประกอบทางความถี่ที่สูงเหล่านี้ จะถูกด้วยฟังก์ชันวินโดว์เพื่อลดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณที่ขอบและไม่ทำให้สเปกตรัมของสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำเปลี่ยนไปมาก ฟังก์ชันวินโดว์นั้นก็ประกอบไปด้วยหลายฟังก์ชัน อาทิเช่น ฟังก์ชันวินโดว์แฮมมิง (Hamming Window Function) และ ฟังก์ชันวินโดว์แบบสี่เหลี่ยม (Rectangular Window Function) เป็นต้น จากรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 เราจะเห็นได้ว่าฟังก์ชันวินโดว์ทั้งสองจะช่วยลดความถี่สูงที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของเฟรมได้ แต่จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันแฮมมิงวินโดว์สามารถลดความถี่บริเวณขอบเฟรมได้ดีกว่า สมการของฟังก์ชันวินโดว์แบบแฮมมิง

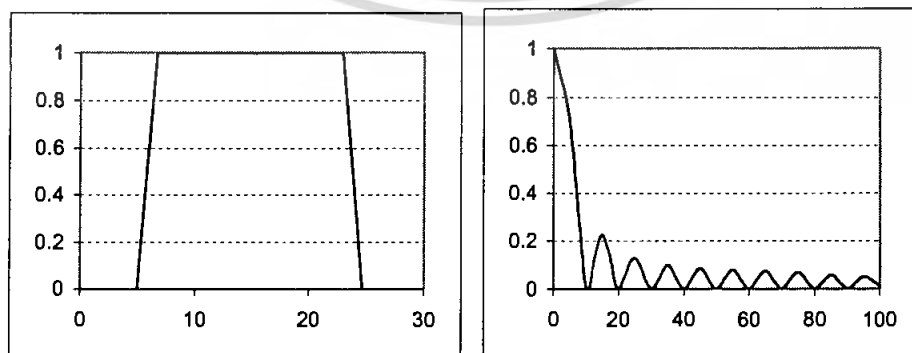
$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n / (N - 1)) \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad (2.3)$$



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.7 วินโดว์แบบแฮมมิง (ก) ในโดเมนเวลา (ข) ในโดเมนความถี่



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.8 วินโดว์แบบสี่เหลี่ยม (ก) ในโดเมนเวลา (ข) ในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

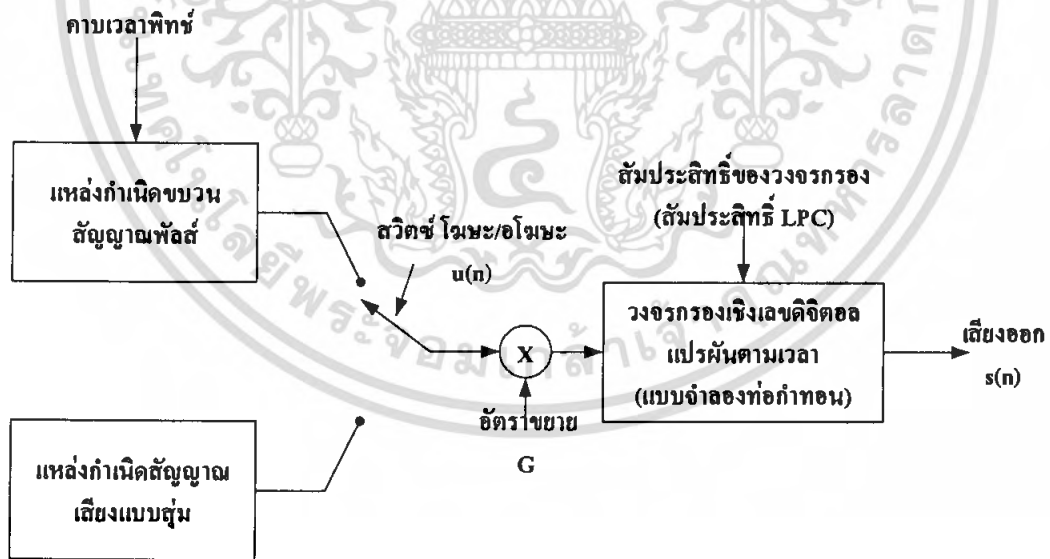
2.3.4 หลักการของการประมาณเชิงเส้น

การประมาณเชิงเส้น (Linear Predictive Coding: LPC) คือ การเข้ารหัสชนิดหนึ่งซึ่งถูกนำมาใช้อย่างมากในการวิเคราะห์ของเสียง เพราะสามารถจำลองการทำงานของแหล่งกำเนิดเสียงได้อย่างมีคุณภาพและดีกว่าวิธีการเข้ารหัสชนิดอื่น โดยหลักการพื้นฐานของการประมาณเชิงเส้น คือ การประมาณค่าสัญญาณจากผลรวมเชิงเส้นของสัญญาณก่อนหน้า

กำหนดให้ $s(n)$ คือ สัญญาณเดิม จะประมาณค่าสัญญาณ $s'(n)$ จาก ด้วยความสัมพันธ์

$$s'(n) = \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k) \tag{2.4}$$

เมื่อ α_k เป็นค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแต่ละสัญญาณ $s(n-k)$ วิธีการนี้เรียกว่าการประมาณเชิงเส้นอันดับ p โดยมีเงื่อนไขว่า ค่า α_k ที่ใช้ในการประมาณจะต้องทำให้ผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน $\{s(n) - s'(n)\}^2$ มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ $\sum e^2(n) = \sum \{s(n) - s'(n)\}^2$ มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งการประมาณเชิงเส้นนี้มีหลายวิธี อาทิเช่น วิธีโควาเรียนซ์ (Covariance Method) วิธีออโตคอร์รีเลชัน (Autocorrelation Method) วิธีแลตทิซ (Lattice Method) วิธีวงจรรองผกผัน (Inverse Filter Method) วิธีการประมาณสเปกตรัม (Spectrum Estimation Method) และอื่นๆ อีกหลายวิธี แต่ในที่นี้จะเลือกใช้วิธีออโตคอร์รีเลชัน หรือ วิธีออสทัมพันธ์



รูปที่ 2.9 การสังเคราะห์เสียงโดยใช้ค่าการประมาณเชิงเส้น

จากรูปที่ 2.9 แสดงแบบจำลองระบบสร้างสัญญาณเสียง ประกอบด้วยสัญญาณเสียงที่เขียนได้ดังสมการ

$$s(n) = G \cdot u(n) + \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k) \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย G คือ อัตราการขยายของวงจรกรอง และ $u(n)$ คือคาบเวลาพิทช์ของขบวนพัลส์ในกรณีเสียง
โหมยะ และ α_k คือสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองเชิงเลข การประมาณเชิงเส้นโดยใช้สัมประสิทธิ์ $\{\alpha_k\}$ หา
ได้จาก

$$s'(n) = \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k) \quad (2.6)$$

ดังนั้นความคลาดเคลื่อน

$$\begin{aligned} e(n) &= s(n) - s'(n) \\ &= s(n) - \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k) \end{aligned} \quad (2.7)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่าง $e(n)$ และ $s(n)$ ในโดเมน Z เขียนได้ในรูป

$$\begin{aligned} A(z) &= \frac{E(z)}{S(z)} \\ A(z) &= 1 - \sum_{k=1}^p \alpha_k z^{-k} \end{aligned} \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.2 ถึง 2.5 จะเห็นได้ว่าถ้า $\{\alpha_k\} = \{a_k\}$ แล้ว

$$e(n) = G \cdot u(n) \quad (2.9)$$

ในการประมวลสัญญาณจะมีการแบ่งสัญญาณออกเป็นช่วงสั้นๆ (Windowing) ช่วงละประมาณ
20-30 มิลลิวินาที ซึ่งก็ได้มีการอธิบายผ่านมา ดังนั้นค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

$$\begin{aligned} E &= \sum_m e_n^2(m) \\ E &= \sum_m [s_n(m) - s'_n(m)]^2 \\ E &= \sum_m [s_n(m) - \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k)]^2 \end{aligned} \quad (2.10)$$

โดยที่ n คือช่วงที่ n ของสัญญาณที่ใช้คำนวณ เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้ค่า E_n ต่ำที่สุดจะต้องทำการหาค่า
อนุพันธ์

$$\frac{\partial E_n}{\partial \alpha_i} = 0 \quad \text{เมื่อ } i=1,2,\dots,p$$

จากสมการที่ (2.10) ผลอนุพันธ์ แสดงได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial E_n}{\partial \alpha_i} = -2s_n(m-i) \sum_m [s_n(m) - \sum_{k=1}^p \alpha_k s_n(m-k)]$$

$$\frac{\partial E_n}{\partial \alpha_i} = -2[\sum_m s_n(m)s_n(m-i) - \sum_{k=1}^p \alpha_k \sum_m s_n(m-k)s_n(m-i)] \quad \text{เมื่อ } i=1,2,3,\dots,p$$

และ $\frac{\partial E_n}{\partial \alpha_i} = 0$ ก็ต่อเมื่อ

$$\sum_{k=1}^p \alpha_k \sum_m s_n(m-k)s_n(m-i) = \sum_m s_n(m)s_n(m-i) \quad \text{เมื่อ } i=1,2,3,\dots,p \quad (2.11)$$

ถ้าเรากำหนดให้ $\phi_n(i,k) = \sum_m s_n(m-k)s_n(m-i)$ จะได้ความสัมพันธ์

$$\sum_{k=1}^p \alpha_k \phi_n(i,k) = \phi_n(i,0) \quad (2.12)$$

จากสมการที่ (2.10)-(2.12) จะได้ว่า

$$E_n = \sum_m s_n^2(m) - \sum_{k=1}^p \alpha_k \sum_m s_n(m)s_n(m-i)$$

และจาก $\phi_n(i,k) = \sum_m s_n(m-k)s_n(m-i)$

$$E_n = \phi_n(0,0) - \sum_{k=1}^p \alpha_k \phi_n(0,k) \quad (2.13)$$

ถ้าใน 1 เฟรมของสัญญาณที่ตัดมาจำนวนมี N ตัวอย่างคือ $s_n(0), s_n(1), s_n(2), \dots, s_n(N-1)$ ในที่นี้เราให้ $s_n(m) = 0$ เมื่อ $m < 0$ หรือ $m > N-1$ เพราะฉะนั้น

$$\phi_n(i,k) = \sum_m s_n(m-k)s_n(m-i)$$

$$= \sum_{m=0}^{N-i-(i-k)} s_n(m)s_n(m+i-k) \quad 0 \leq k \leq p, k \leq i \leq p$$

ให้

$$R_n(k) = \sum_{m=0}^{N-1-k} s_n(m)s_n(m+k) \quad (2.14)$$

$$\therefore \phi_n(i,k) = R_n(|i-k|) \quad \text{เมื่อ } i=1,2,\dots,p; k=0,1,2,\dots,p$$

จากสมการที่ 2.12 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{k=1}^p \alpha_k R_n(i-k) = R_n(i) \text{ เมื่อ } i=1,2,\dots,p \quad (2.15)$$

และจากสมการที่ 2.13

$$E_n = R_n(0) - \sum_{k=1}^p \alpha_k R_n(k) \quad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.15 เขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} R_n(0) & R_n(1) & \cdots & R_n(p-1) \\ R_n(1) & R_n(2) & \cdots & R_n(p-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_n(p-1) & R_n(p-2) & \cdots & R_n(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_n(1) \\ R_n(2) \\ \vdots \\ R_n(p) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

หรือ

$$R_n \cdot \alpha = r_n \quad (2.18)$$

$$\text{เมื่อ } R_n = \begin{bmatrix} R_n(0) & R_n(1) & \cdots & R_n(p-1) \\ R_n(1) & R_n(2) & \cdots & R_n(p-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_n(p-1) & R_n(p-2) & \cdots & R_n(0) \end{bmatrix}, \alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_p \end{bmatrix} \text{ และ } r_n = \begin{bmatrix} R_n(1) \\ R_n(2) \\ \vdots \\ R_n(p) \end{bmatrix}$$

จากสมการที่ 2.7 และ 2.9

$$G \bullet u(n) = s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k)$$

$$e(n) = s(n) - \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k)$$

เมื่อ $a_k = \alpha_k$ จะได้ว่า

$$e(n) = G \bullet u(n)$$

$$\therefore E_n = \sum_{m=0}^{N-1} e^2(m) = G \sum_{m=0}^{N-1} u^2(m)$$

$$E_n = R_n(0) - \sum_{k=1}^p \alpha_k R_n(k) \quad (2.19)$$

จากสมการที่ 2.18 เราสามารถหา α โดยตรงดังนี้

$$\alpha = R_n^{-1} \bullet r_n \quad (2.20)$$

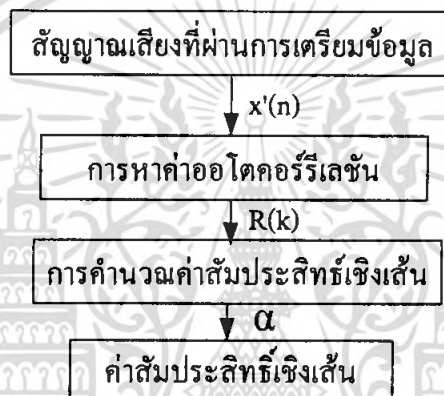
และจากสมการที่ 2.19 เราสามารถหาค่า G โดยตรงจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = \frac{R_n(0) - \sum_{k=1}^p \alpha_k R_n(k)}{\sum_{m=0}^{N-1} u^2(m)} \quad (2.21)$$

2.3.5 การคำนวณสเปกตรัมแอลพีซี

การเตรียมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สัญญาณเสียงเบื้องต้น ดังรูปที่ 2.3 จะเป็นการกำหนดขอบเขตเฟรมเสียงเท่านั้น การที่จะได้พารามิเตอร์เสียงพูดเชิงเลขจำเป็นต้องมาผ่านการประมวลผลเชิงเส้นและหาฟังก์ชันถ่ายโอนของอวัยวะคำทอนเสียงหรือเรียกอีกอย่างว่าสเปกตรัมแอลพีซี ต่อไปแสดงขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์เสียงพูดเชิงเลข ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น

จากรูปที่ 2.10 การคำนวณออโตคอร์รีเลชัน โดยแทนค่าสมการที่ 2.9 ที่ได้จากการวิเคราะห์เสียงเบื้องต้นในสมการที่ 2.14 จะได้ว่า

$$R_n(k) = \sum_{m=0}^{N-1-k} x'(m)x'(m+k) \quad (2.22)$$

เมื่อได้ค่า $R_n(0), R_n(1), R_n(2), \dots, R_n(p)$ แล้วก็สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ α และค่าอัตราขยาย G ได้จากสมการที่ 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ

จากแบบจำลองการสังเคราะห์เสียงโดยใช้ค่าการประมาณเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมแอลพีซีก็คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของเสียง ดังนั้นจากสมการที่ 2.5 ทำการแปลงให้อยู่ในโดเมน Z ได้เป็น

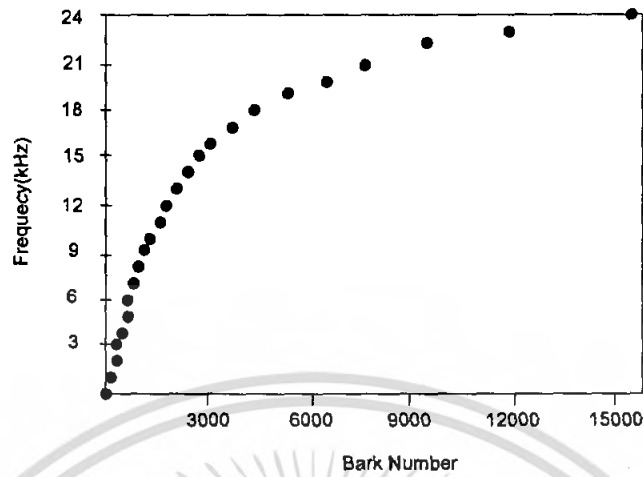
$$S(z) = \sum_{k=1}^p a_k z^{-k} S(z) + GU(z)$$

ซึ่งจัดรูปให้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของอวัยวะคำทอนเสียงทำให้สามารถคำนวณสเปกตรัมแอลพีซีได้ดังนี้

$$H(z) = \frac{S(z)}{GU(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 การหาสเกลบาร์ก (Critical Band Scale)



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างลำดับของ สเกลบาร์ก กับ ความถี่ (Hz)

จากรูปที่ 2.11 สเกลบาร์กหรือย่านความถี่วิกฤตนั้นเป็นหลักการที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมในเชิงกายภาพของเสียง ซึ่งจะมีความใกล้เคียงกับระบบการได้ยินของมนุษย์มาก โดยค่าความเข้มพลังงานที่แสดงอยู่ในสเปกตรัมบนสเกลบาร์กนั้นจะแสดงให้เห็นถึงระดับการตอบสนองต่อเสียงที่ความถี่ในย่านต่างๆ ของระบบการได้ยินของมนุษย์ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างสเกลบาร์กกับสเกลความถี่ปกติเป็นไปดังกราฟในรูปที่ 2.11 และสมการที่ 2.24 ซึ่งใช้ได้ตลอดช่วงความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน

$$B = 13 \arctan(0.76 f / \text{kHz}) + 3.5 \arctan(f / 7.5 \text{kHz})^2 \quad (2.24)$$

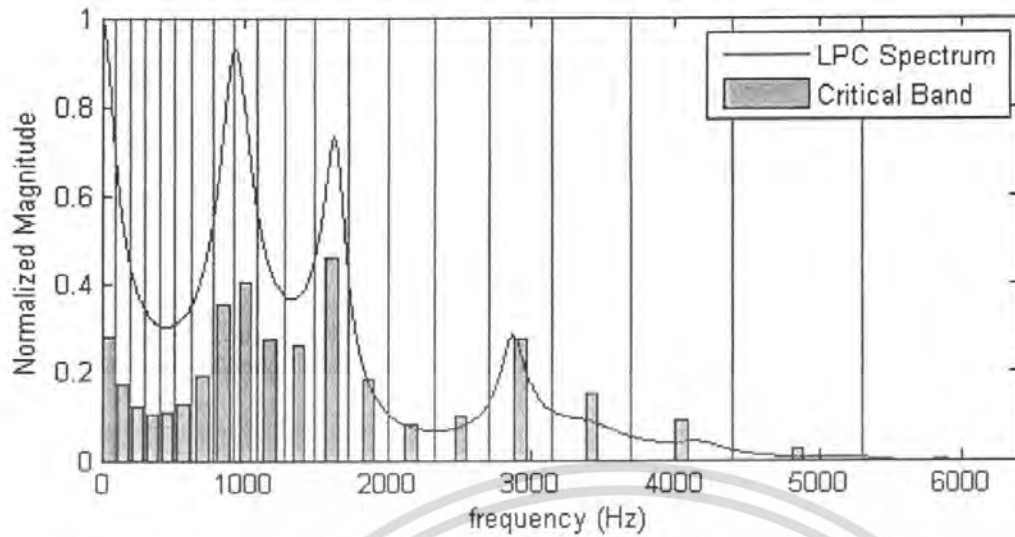
โดยที่ f เป็นความถี่ในหน่วย Hz และ B คือ Bark Number บนสเกลบาร์ก

การใช้ความเข้มเสียงบนสเกลบาร์ก (Critical Band Intensity) เป็นเวกเตอร์แทนลักษณะสำคัญของเสียง ระดับการตอบสนองต่อเสียงที่ความถี่ใดๆ ของระบบการได้ยินเสียงของมนุษย์นั้น สามารถคาดคะเนได้จากการหาค่าความเข้มของสัญญาณเสียงในแต่ละสเกลบาร์ก โดยสามารถคำนวณได้จากสเปกตรัมบนสเกลบาร์กดังสมการ

$$I_B(f) = \int_{B-0.5 \text{Bark}}^{B+0.5 \text{Bark}} \frac{dI}{dB} dB \quad (2.25)$$

ซึ่งการหาความเข้มเสียงบนสเกลบาร์กในสมการที่ 2.25 ก็คือ พื้นที่ใต้กราฟของแต่ละแถบความถี่ภายในฟังก์ชันถ่ายโอน ดังรูปที่ 2.12 โดยเสียงจะถูกสุ่มที่ความถี่ 11.025 kHz ดังนั้นความถี่สูงสุดของเสียงที่สุ่มมาได้คือ 5.50125 kHz จะอยู่ในบาร์กที่ 18 ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์กทั้ง 18 ตัวจะถูกนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของเวกเตอร์ 18 มิติ ที่จะใช้เป็นตัวแทนของเสียงใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คกับแถบความถี่บนฟังก์ชันถ่ายโอน

ตารางที่ 2.2 ขอบเขตและความถี่ศูนย์กลางของย่านความถี่วิกฤติ

Z Bark	f_{Lower} / f_{Upper} Hz	f_c Hz	f_c Bark	Bandwidth Hz	Z Bark	f_{Lower} / f_{Upper} Hz	f_c Hz	f_c Bark	Bandwidth Hz
	0					1720			
0		50	0.5	100	12	1850	12.5	280	
	100					2000			
1		150	1.5	100	13	2150	13.5	320	
	200					2320			
2		250	2.5	100	14	2500	14.5	380	
	300					2700			
3		350	3.5	100	15	2900	15.5	450	
	400					3150			
4		450	4.5	110	16	3400	16.5	550	
	510					3700			
5		570	5.5	120	17	4000	17.5	700	
	630					4400			
6		700	6.5	140	18	4800	18.5	900	
	770					5300			
7		840	7.5	150	19	5800	19.5	1100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.3 ขอบเขตและความถี่ศูนย์กลางของย่านความถี่วิกฤติ (ต่อ)

Z	f_{Lower} / f_{Upper}	f_c	f_c	Bandwidth	Z	f_{Lower} / f_{Upper}	f_c	f_c	Bandwidth
Bark	Hz	Hz	Bark	Hz	Bark	Hz	Hz	Bark	Hz
	920					6400			
8		1000	8.5	160	20		7000	20.5	1300
	1080					7700			
9		1170	9.5	190	21		8500	21.5	1800
	1270					9500			
10		1370	10.5	210	22		10500	22.5	2500
	1480					12000			
11		1600	11.5	240	23		13500	23.5	3500
	1720					15500			

2.4 การจำแนกรูปแบบด้วยแบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟ (Hidden Markov Models)

แบบจำลองมาร์คอฟเป็นแบบจำลองทางสถิติ ซึ่งพัฒนามาเพื่อแบ่งกลุ่มของอนุกรมทางเวลาหรือสัญญาณที่ไม่คงที่ นั่นคือ ใช้สำหรับจัดกลุ่มของสัญญาณที่ไม่รู้จัก ให้ไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งของสัญญาณ ซึ่งแบบจำลองมาร์คอฟได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการรู้จำเสียงพูด โดยคำพูดเสียงเป็นสิ่งที่หนึ่งที่แสดงถึงคำหรือหลายๆ คำ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความถี่ ความถี่เหล่านี้จะประกอบเป็นคำและสามารถทำให้เข้าใจถึงความหมายได้

2.4.1 ความหมายของแบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟ

ตามทฤษฎีแล้วแบบจำลองมาร์คอฟเป็นแบบจำลองทางสถิติ ที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการแบ่งออกเป็นหลายๆ กลุ่มซึ่งเรียกว่าสถานะ แต่ละสถานะของข้อมูลจะถูกเก็บอยู่ในเชิงสถิติและถูกเชื่อมโยงโดยการเปลี่ยนสถานะ ในที่นี้ก็คือ ลักษณะสำคัญของสัญญาณเสียงหรือเครื่องหมายที่หมายถึงสัญลักษณ์ของเสียงนั้นที่มีการเลื่อนหรือเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเสียงจากเวลาหนึ่งไปหาอีกเวลาหนึ่ง แบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ 2 ชนิดคือ ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะที่เกิดขึ้น (Transition Probability) และค่าความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ (Output Symbol) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะหนึ่งเกิดขึ้น ผลลัพธ์ที่ว่านี้จะสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจว่าเสียงที่ได้ยินนั้นเป็นเสียงอะไร

แบบจำลองมาร์คอฟ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบต่อเนื่อง (Continuous) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-time) โดยในปริภูมิพหุนิพจน์ได้เลือกใช้แบบไม่ต่อเนื่อง เพราะเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าและใช้ได้กับเสียงพูดสังเคราะห์ที่มีค่าสั้นๆ ที่ได้ทำการทดลองในปริภูมิพหุนิพจน์นี้

2.4.2 ส่วนประกอบของแบบจำลองมาร์คอฟ

พารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องในการสร้างแบบจำลองอ้างอิงที่ต้องรู้จัก ได้แก่

1) พารามิเตอร์ N คือ จำนวนสถานะในแบบจำลอง ถ้ากำหนดให้เซตของสถานะเป็น $\{1, 2, \dots, N\}$ และสถานะที่เวลา t ใดๆ เป็น q_t

2) พารามิเตอร์ M คือ จำนวนของค่าปรากฏต่างๆ ต่อหนึ่งสถานะ แทนสัญลักษณ์ด้วย

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_M\}$$

3) ค่าความน่าจะเป็นในการย้ายสถานะ $A = \{a_{ij}\}$ โดย a_{ij} แทนการย้ายสถานะจาก i ไป j

$$a_{ij} = P[q_t = j | q_{t-1} = i] \quad \text{เมื่อ } 1 \leq i, j \leq N$$

4) การกระจายความน่าจะเป็นของค่าปรากฏที่สามารถเป็นไปได้ภายในสถานะ โดย $B = \{b_j(\tau)\}$

$$b_j(\tau) = P[o_t = v_k | q_t = j]; \text{ เมื่อ } j = 1, 2, \dots, N \text{ และ } 1 \leq k \leq M$$

5) ค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานะจะเป็นสถานะเริ่มต้น โดย $\pi_i = P[q_1 = i]$ เมื่อ

$$1 \leq i \leq N$$

จะเห็นว่าแบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟ ต้องการพารามิเตอร์ของแบบจำลองคือ N, M และกลุ่มของความน่าจะเป็น A, B, π ดังนั้นในการแสดงเซตของพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์ของแบบจำลองอ้างอิงจะแทนด้วยสัญลักษณ์ $\lambda = (A, B, \pi)$

2.4.3 คุณสมบัติการย้ายสถานะของ HMM

การสร้างแบบจำลองนี้ใช้ Left-Right Model ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบที่เหมาะสมกับสัญญาณที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างต่อเนื่องเช่น เสียงพูด โดยมีคุณสมบัติของสัมประสิทธิ์ในการย้ายสถานะดังนี้

การย้ายสถานะจะย้ายจากซ้ายไปขวาหมายความว่า $a_{ij} = 0, j < i$ แสดงว่าจะไม่มีการย้ายสถานะไปยังสถานะที่ต่ำกว่าสถานะปัจจุบันและนอกจากนี้ก็ยังมีค่าความน่าจะเป็นของสถานะเริ่มต้น

$$\pi_i = \begin{cases} 0, & i \neq 1 \\ 1, & i = 1 \end{cases}$$

ลำดับของสถานะจะต้องเริ่มที่สถานะที่ 1 เสมอและ Left-Right Model นี้มักมีกฎบังคับกับการย้ายสถานะ เพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงดัชนีของสถานะมากนัก กล่าวคือ

$$a_{ij} = 0, j > i + \Delta i$$

ดังรูปที่ 2.13 ค่าของ $\Delta i = 2$ คือ จะไม่มีการย้ายข้ามสถานะเกิน 2 สถานะและมีเมตริกซ์ในการย้ายสถานะเป็น

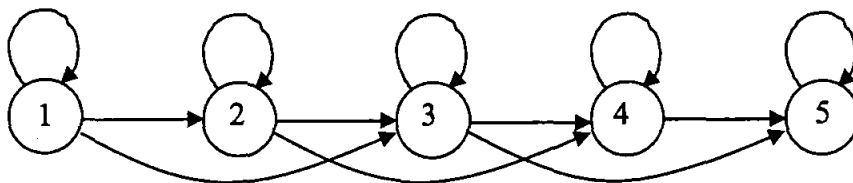
$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} & a_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสเทตสุดท้าย สัมประสิทธิ์การย้ายสเทตจะเป็น

$$a_{NN} = 1$$

$$a_{Ni} = 0 \quad , i < N$$



รูปที่ 2.13 แบบจำลอง Left-Right Model ของ HMM

2.4.4 ปัญหาพื้นฐานของแบบจำลองมาร์คอฟ

ปัญหาของ HMM มี 3 ข้อ ซึ่งต้องใช้วิธีการวิธีต่างๆ ในการคำนวณเพื่อแก้ปัญหานี้

ปัญหาที่ 1 เมื่อมีลำดับของค่าปรากฏ $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_T\}$ และมีแบบจำลอง $\lambda = (A, B, \pi)$ จะคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น $P(O|\lambda)$ ของลำดับค่าปรากฏนั้นได้อย่างไร

ปัญหาที่ 2 เมื่อมีลำดับของค่าปรากฏ $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_T\}$ และแบบจำลอง $\lambda = (A, B, \pi)$ จะคำนวณหาลำดับสเทต $q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_T\}$ ที่เหมาะสมกับลำดับค่าปรากฏนั้นได้อย่างไร

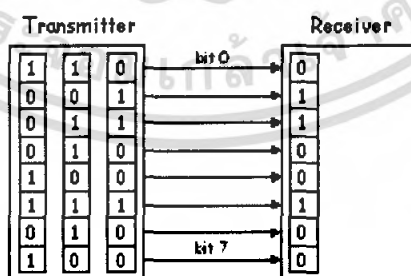
ปัญหาที่ 3 เราจะปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง $\lambda = (A, B, \pi)$ เพื่อให้ได้ค่า $P(O|\lambda)$ สูงสุดได้อย่างไร

2.5 การรับ-ส่งข้อมูล

ในการสื่อสารหรือการส่งข้อมูลในระบบดิจิทัลนั้นมีรูปแบบในการสื่อสารอยู่ 2 แบบ คือ

2.5.1 การสื่อสารแบบขนาน (Parallel Communication)

การสื่อสารในรูปแบบที่ส่งข้อมูลออกไปทีละตัวพร้อมๆ กันทั้ง 8 บิตผ่านสายสัญญาณทั้ง 8 เส้น การสื่อสารและการส่งข้อมูลแบบขนานจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการสื่อสารแบบขนาน

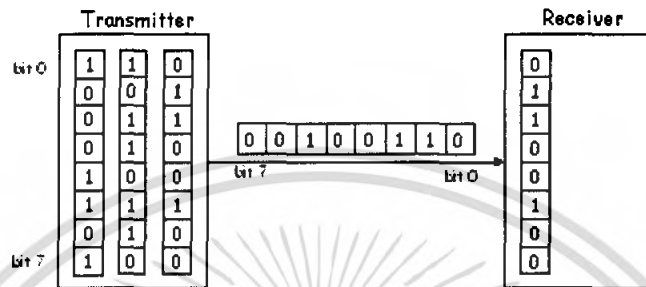
จะเห็นได้ว่าการสื่อสารแบบขนานมีข้อดีคือ ทำให้สามารถส่งข้อมูลที่ละมากๆ และรวดเร็วว่าการส่งแบบอนุกรม แต่การสื่อสารแบบขนานมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถส่งข้อมูลในระยะไกลๆ ได้และยังต้องใช้สายสัญญาณหลายเส้นในการส่งข้อมูล ทำให้สิ้นเปลืองกว่าการสื่อสารแบบอนุกรม ทำให้ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะดวกในการใช้งาน ตัวอย่างของการสื่อสารแบบขนาน เช่น เครื่องพิมพ์ (Printer) และการสื่อสารทางพอร์ตขนาน (ECP Printer Port) เป็นต้น

2.5.2 การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication)

เป็นการสื่อสารโดยการส่งข้อมูลที่ละบิตผ่านสายสัญญาณเส้นเดียวจนครบทั้ง 8 บิตหรือ 1 ไบท์ โดยจะส่งบิตต่ำ (LSB) ออกไปก่อน สามารถแสดงให้เห็นหลักการส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

2.5.3 การอินเตอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232

มาตรฐาน RS-232 เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนามานานและถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ RS-232 เชื่อมต่อ DTE (Data Terminal Equipment) เข้ากับ DCE (Data Communication Equipment) เช่น การต่อเทอร์มินัลเข้ากับโมเด็ม มาตรฐาน RS-232 กล่าวถึงลักษณะทางกล, ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าและลักษณะการทำงานที่ใช้การอินเตอร์เฟส ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการอินเตอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232 ได้แก่ เทอร์มินัล, พล็อตเตอร์, ลอจิกอานาไลเซอร์ (Logic Analyzer) และเครื่องพิมพ์ ถ้าการประยุกต์ใช้งานของเราต้องการทำอินเตอร์เฟสอุปกรณ์เข้ากับอินเตอร์เฟสมาตรฐาน RS-232 เราจำเป็นต้องแปลงระดับสัญญาณ TTL ให้เป็นระดับสัญญาณแบบอื่น

2.5.4 ลักษณะสัญญาณที่ใช้ในการอินเตอร์เฟส

มาตรฐาน RS-232 ใช้สัญญาณเพียงเส้นเดียวในการส่งสัญญาณ โดยสัญญาณจะส่งไปในทิศทางเดียวกัน ในกรณีที่อัตราเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 20 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งค่านี้เป็นค่าสูงสุดที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล (ในปัจจุบันพัฒนาให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่านี้) ระยะทางในการส่งข้อมูลไม่ควรเกิน 50 ฟุต (ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน) สำหรับการแทนแรงดันของระดับสัญญาณจะแทนระดับสัญญาณของลอจิก "0" ด้วยค่าแรงดัน +3 โวลต์ ถึง +12 โวลต์ ส่วนลอจิก "1" จะแทนระดับสัญญาณด้วยค่าแรงดันระหว่าง -3 โวลต์ ถึง -12 โวลต์

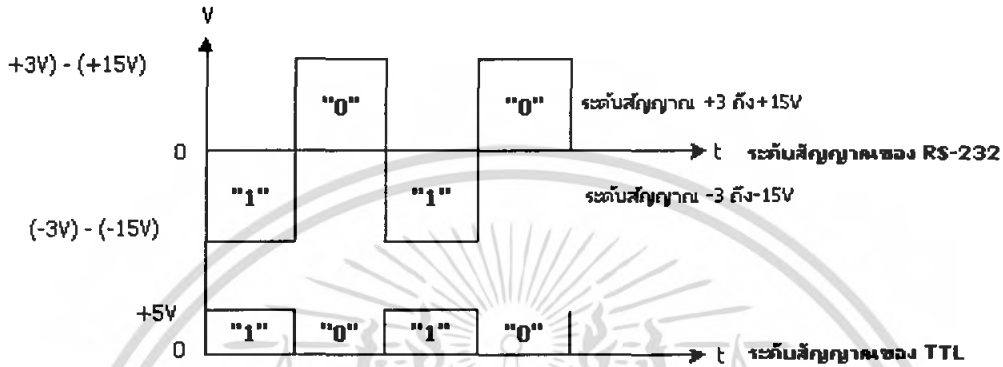
2.5.5 การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS-232

การกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม EIA RS-232 (x) เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยคณะกรรมการสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association) ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง เพื่อให้มีการใช้งานในการเชื่อมต่อที่สอดคล้องกันระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ การรับส่งสัญญาณจะกำหนดความยาวสูงสุดไว้ที่ไม่เกิน 50 ฟุต โดยมี

เอกสารนี้ยังอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ การรับส่งสัญญาณจะกำหนดความยาวสูงสุดไว้ที่ไม่เกิน 50 ฟุต โดยมี
ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

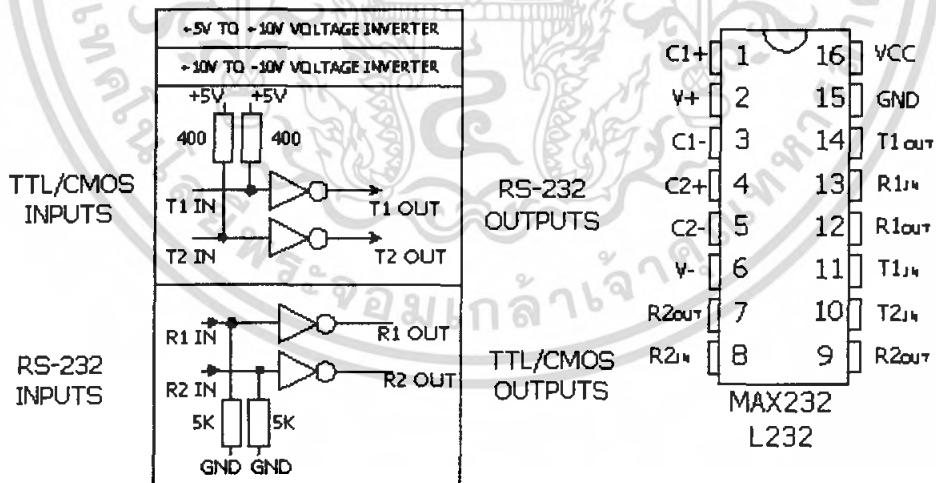
ระดับ สัญญาณตั้งแต่ 3 โวลต์ จนถึง 15 โวลต์ สำหรับลอจิก "0" และมีระดับแรงดันที่ -3 โวลต์ จนถึง -15 โวลต์ สำหรับลอจิก "1" ดังแสดงในรูป 2.16

ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าจะมีระดับแรงดันที่ใช้ในสถานะลอจิก "0" และลอจิก "1" แตกต่างออกได้จากระบบไอซีดิจิทัลต่างๆ ไป การต่อใช้งานจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันจาก 0 ถึง 5 โวลต์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นระดับแรงดันที่สูงกว่า +3 หรือต่ำกว่า -3 โดยจะมีไอซีสำเร็จรูปพร้อมใช้งานหรืออาจจะต่อวงจรจากทรานซิสเตอร์ได้



รูปที่ 2.16 ระดับแรงดันสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 กับ TTL ในสถานะลอจิก "1" และ "0"

ไอซี MAX232, L232 จะทำหน้าที่เป็นไอซีที่แปลงระดับสัญญาณจากระดับ TTL ไปเป็นระดับของ RS-232 และในทำนองเดียวกันก็รับระดับสัญญาณจาก RS-232 เพื่อแปลงเป็นระดับสัญญาณจากระดับ TTL ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้



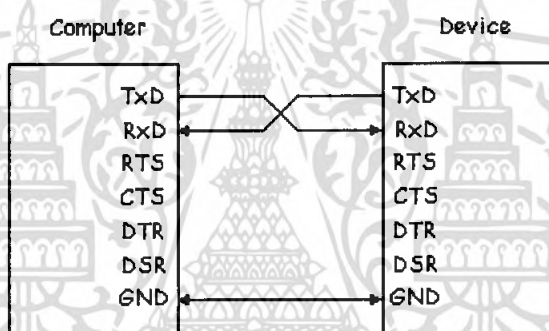
รูปที่ 2.17 ไอซี MAX 232

ตารางที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของขา DB-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของขา DB-9

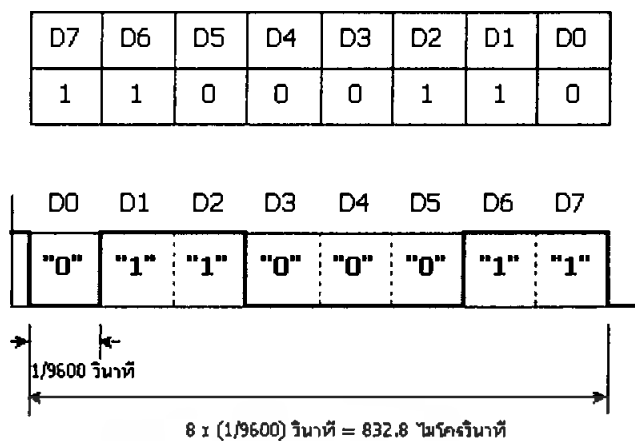
ตำแหน่งขา DB-9	สัญญาณ
1	Data Carrier Detect : DCD
2	Received Data : RxD
3	Transmitted Data : TxD
4	Data Terminal Ready : DTR
5	Signal Ground : GND
6	Data Set Ready : DSR
7	Request To Send : RTS
8	Clear To Send : CTS
9	Ring Indicator : RI



รูปที่ 2.18 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

2.5.6 จังหวะเวลาของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อรับหรือส่งข้อมูล จะเป็นลักษณะของกลุ่มข้อมูล ดังนั้นอัตราความเร็วจะต้องมีค่าเท่ากันระหว่างการรับและการส่ง โดยทั่วไปเราจะระบุความเร็วของจำนวนบิตในการรับและส่งข้อมูล เป็นจำนวนของบิตที่จะส่งใน 1 วินาที โดยเรียกความเร็วในการส่งข้อมูลว่า อัตราบอด (Baud Rate) ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที เช่น 300 , 1,200 , 2,400 , 4,800 และ 9,600 บิตต่อวินาที ในรูป 2.19 ถ้าหากมีการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที จะใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลหนึ่งบิตมีค่าเท่ากับ $1/9600$ หรือ 104.1 ไมโครวินาทีและเวลาในการรับส่งข้อมูลทั้ง 8 บิตจะมีค่าเท่ากับ 8×104.1 หรือ 832.8 ไมโครวินาที

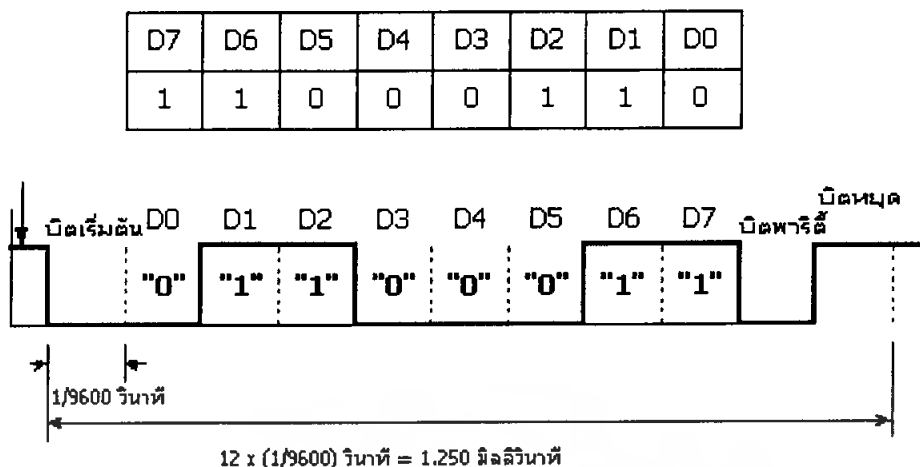


รูปที่ 2.19 การส่งข้อมูลแบบอนุกรมด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที

2.5.7 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เป็นวิธีการรับและส่งข้อมูลโดยไม่ต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกาส่งร่วมไปด้วย แต่จะใช้อัตราความเร็วของจำนวนข้อมูลต่อวินาทีและจะทำการเพิ่มบิตข้อมูลบางอย่างร่วมไปกับการส่งข้อมูลจริง เพื่อจะได้ทำการตรวจสอบข้อมูลได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.20 ซึ่งประกอบด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start bit) จะมีขนาด 1 บิต จะเป็นระดับลอจิกตรงกันข้ามกับระดับลอจิกของสถานะสายสื่อสาร ขณะที่ยังไม่มีการส่งข้อมูล
2. บิตข้อมูล (Data bit) จะเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดก่อนหรือบิต LSB ก่อน โดยข้อมูลที่จะส่งอาจจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้
3. บิตแสดงสถานะเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity bit) มีขนาด 1 บิตโดยบิตนี้จะนำไปต่อท้ายกับบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของข้อมูลที่เป็น "1" โดยเลือกการส่งข้อมูลเป็นแบบพาริตีคู่หรือพาริตีคี่ ตัวอย่าง ถ้ากำหนดให้มีการส่งข้อมูลแบบพาริตีคู่ แต่ข้อมูลมีเลข 1 เป็นจำนวนคี่ ก็จะทำให้บิตพาริตีนี้เป็น "1" เพื่อจะได้จำนวนเลข "1" เป็นคู่นั่นเอง ทำนองเดียวกันทางด้านรับเองก็ต้องมีการตรวจสอบจำนวนข้อมูลที่รับเข้ามาเป็น "1" รวมทั้งบิตพาริตี 1 บิต ถ้ามีค่า "1" เป็นจำนวนคู่ แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้ามาถูกต้อง สามารถกำหนดการรับและส่งข้อมูลเป็นแบบ None โดยไม่ต้องมีการตรวจสอบพาริตีบิต
4. บิตสุดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) เป็นการระบุถึงขอบเขตของการสิ้นสุดข้อมูล โดยจะทำให้ขาข้อมูลมีสถานะ ลอจิกเป็น "1" ซึ่งอาจมีจำนวนมากกว่า 1 บิตก็ได้ เช่น 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต



รูปที่ 2.20 การส่งข้อมูลขนาด 8 บิตแบบอนุกรมพร้อมด้วย บิตเริ่มต้น , บิตพาร์ริตี้ , บิตหยุดด้วยความเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที

ตารางที่ 2.5 อัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป

อัตราบอด	ช่วงเวลาของแต่ละบิต
110	9.91 ms
150	6.67 ms
300	3.33 ms
600	1.67 ms
1200	0.833 ms
2400	0.417 ms
4800	0.208 ms
9600	0.104 ms
19200	0.052 ms

2.5.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่งก็คือ รวมบล็อก PROGRAM MEMORY , RAM , EEPROM , SERIAL , I2C , PWM , A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งเหมือนกับ CPU ตัวหนึ่ง

2.5.9 ความเร็วของ PIC

ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 ไมโครวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.10 หน่วยความจำของ PIC

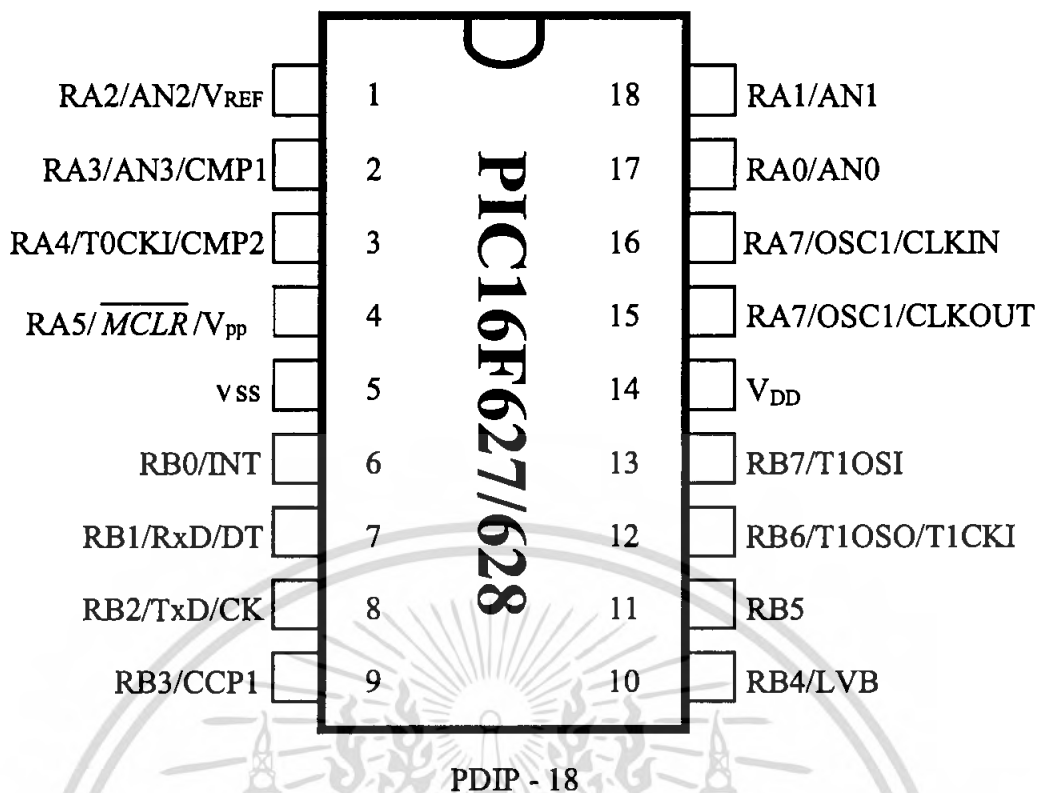
ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คือ อยู่ระหว่าง 512 เวิร์ดถึง 4 กิโลเวิร์ด แต่ในปัจจุบัน บริษัทไมโครชิพซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้หน่วยความจำของ PIC มีขนาดเป็นหลาย 10 กิโลไบต์ ในการนับขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 บิต ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 เวิร์ดของ PIC จะมีขนาด 14 บิต เช่น PIC16F84A ระบุว่า มีหน่วยความจำ 1 กิโล ซึ่งหมายถึง 1 กิโลเวิร์ด ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 ไบต์ = 8 บิต จะได้ว่า $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$ บิต ดังนั้นก็คือ $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75$ กิโลไบต์

2.5.11 สถาปัตยกรรมของ PIC

ในปัจจุบันมี 3 สายหลักๆ แต่ในอดีตมีเพียงแค่สองสาย คือ ขึ้นต้นด้วย 16xxx, 17xxx และใหม่ล่าสุดคือ 18xxx ถ้าพูดถึงคุณสมบัติที่เหนือกว่าเรียงจากน้อยสุดไปมากที่สุดก็คือ 16xxx -> 17xxx -> 18xxx คำสั่งแอสเซมบลีของ 17xxx และ 18xxx จะมีมากกว่า 16xxx ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า แต่ราคาก็จะสูงกว่าด้วย แต่ที่เป็นที่นิยมก็คือตระกูล 16xxx

2.5.12 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F268

ส่วนประกอบหลักก็จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F284 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาพอสมควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต (brown-out reset) สำหรับสร้างสัญญาณรีเซตซีพียูเมื่อไฟเลี้ยงลดต่ำลงเกินกว่าที่กำหนด , วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (low voltage programming) , ไทม์เมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว , โมดูลแรงดันเปรียบเทียบ (reference voltage module) , โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อก 2 ชุด (analog comparator) , วงจรสื่อสารอนุกรม (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และ โมดูลตรวจจับสัญญาณ-เปรียบเทียบข้อมูล , วงจรสร้างสัญญาณมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM (CCP : Capture Compare Pulse-width modulation module)



รูปที่ 2.21 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

จากรูปที่ 2.21 สามารถแสดงหน้าที่การทำงานของ PIC ได้ดังนี้

V_{DD} : ขาดต่อเลี้ยงไฟบวก ตั้งแต่ 3-5.5 V

V_{SS} : ขาดต่อกราวด์

RA0/AN0 : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA0 , อินพุตวงจรเปรียบเทียบอนาล็อกช่อง 0

RA1/AN1 : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA1 , อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกช่อง 1

RA2/AN2/VREF : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA2 , อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกช่อง 2 , เอาต์พุตแรงดันอ้างอิง

RA3/AN3/CMP1 : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA3 , อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกช่อง 3 , เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกชุดที่ 1

RA4/T0CKI/CMP2 : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA4 กรณีใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตจะมีโครงสร้างเป็นแบบแคเรนเปิด , อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทม์เมอร์ 0 , เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกชุดที่ 2

RA5/MCLR/THV : เป็นขาอินพุตเท่านั้นโดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA5 , ขารีเซตหลัก , อินพุตรับแรงดันสูงสำหรับการ โปรแกรม

RA6/OSC2/CLKOUT : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA6 เมื่อทำงานในโหมด INTRC , เอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาหลักเมื่อทำงานในโหมด ER มีความถี่เท่ากับ 1/4 ของความถี่ที่ขา OSC1 , ขาคอนดิชั่นนิ่งเมื่อทำงานในโหมด LP , XT , HS

RA7/OSC1/CLKIN : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RA7 เมื่อทำงานในโหมด INTRC , อินพุตสัญญาณนาฬิกาหลักเมื่อทำงานในโหมด EC , ต่อตัวต้านทานเพื่อ กำหนดค่าความถี่ในโหมด ER , ขาคอนดิชั่นนิ่งเมื่อทำงานในโหมด LP , XT และ HS

RB0/INT : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB0 , อินพุตรับ สัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก

RB1/RxD/DT : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB1 , ขารับ ข้อมูลของวงจรถ่ายส่งข้อมูล USART , ขาคอนดิชั่นนิ่งสัญญาณข้อมูลซิงโครนัส

RB2/TxD/CK : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB2 , ขาส่ง ข้อมูลวงจรถ่ายส่งข้อมูล USART , ขาคอนดิชั่นนิ่งสัญญาณนาฬิกาซิงโครนัส

RB3/CCP1 : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB3 , ขาอินพุต หรือเอาต์พุตของโมดูล CCP

RB4/PGM : กำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB4 , สามารถ กำหนดสัญญาณอินเทอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขา IN ในกรณีเอ็นเอเบิลไว้ , ป้อน สัญญาณกระตุ้นให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน (wake-up) กรณีอยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน (sleep) , อินพุตรับแรงดัน +5V ในกรณีที่ต้องการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยแรงดันต่ำ (low voltage programming : LVP) เมื่อเลือกการโปรแกรมแบบนี้ การกำหนดสัญญาณอินเทอร์รัปต์อันเนื่องจากการ เปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา IN จะถูกดีสเอเบิล

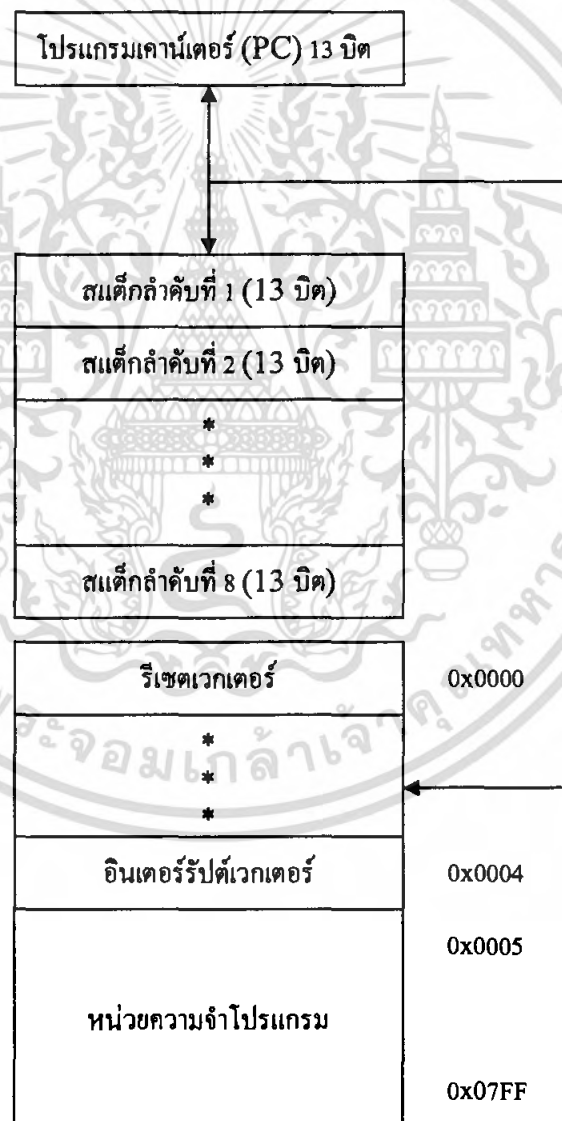
RB5 : เป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB5 , สามารถกำหนดสัญญาณ อินเทอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขา IN ในกรณีเอ็นเอเบิลไว้ , ป้อนสัญญาณ กระตุ้นให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน (wake-up) กรณีอยู่ใน โหมดประหยัดพลังงาน

RB6/TIOSO/TICK/PGC : เป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB6 , สามารถกำหนดสัญญาณอินเทอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขา IN ในกรณีเอ็นเอเบิลไว้ , ขาเอาต์พุตสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 , อินพุตรับสัญญาณนาฬิกาสำหรับไทเมอร์ 1 , ขาสัญญาณนาฬิกาของการโปรแกรม , ป้อนสัญญาณกระตุ้นให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน (wake-up) กรณีอยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน (sleep)

RB7/TIOSI/PGD : เป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยสามารถเป็นขาพอร์ต RB7 , สามารถ กำหนดสัญญาณอินเทอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขา IN ในกรณีเอ็นเอเบิลไว้ , ขา อินพุตสัญญาณออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 , ขาสัญญาณข้อมูลของการ โปรแกรม , ป้อนสัญญาณกระตุ้น ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน (wake-up) กรณีอยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน (sleep)

2.5.13 การจัดสรรหน่วยความจำ

หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะเป็นที่เก็บข้อมูลคำสั่งทั้งหมดซึ่งใช้ในการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F628 เป็นแบบแฟลช (flash memory) ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม ปกติหน่วยความจำโปรแกรมหลังจากที่ทำการเขียนในขั้นตอนของการโปรแกรมแล้ว ก็จะมีไว้สำหรับอ่านออกมาได้เพียงทางเดียว ซึ่งใน PIC16F628 มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิต เพื่อกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F628 มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม $2K \times 14$ บิต (หรือ 2 กิโลเวิร์ด) ซึ่งจะมีการจัดสรรพื้นที่ ดังในรูปที่ 2.22 มีการสงวนแอดเดรส $0x0000$ และ $0x0004$ ไว้เช่นกันหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นรูปแบบมาตรฐานของการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้



รูปที่ 2.22 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นใน PIC16F628 ยังมีพื้นที่หน่วยความจำพิเศษสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ชั่วคราวขนาด 13 บิต เรียกว่า สแต็ก (Stack) ซึ่งจะมิบทบาทในการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยของ PIC16F628 โดยเมื่อกระทำคำสั่งให้กระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย ซีพียูจะทำการเก็บค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์หรือ PC ในขณะนั้นไว้ในสแต็ก จากนั้นจึงกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย เมื่อทำงานเรียบร้อยแล้วซีพียูจะไปอ่านค่า PC จากสแต็กกลับมา แล้วทำงานตามกระบวนการในโปรแกรมหลักต่อไป สำหรับสแต็กใน PIC16F628 มีขนาด 13 บิต สามารถเก็บค่าของ PC ได้ 8 ระดับ

2.5.14 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของ PIC16F628

ใน PIC16F628 มีการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลแรมออกเป็น 4 ช่วง แต่ละช่วงเรียกว่า แบงก์ (bank) แต่ละแบงก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่จะมีการใช้งานได้จริงในแต่ละแบงก์แตกต่างกัน

- แบงก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x00-0x7F โดยจะแบ่งพื้นที่ใช้งานของแอดเดรสแต่ละส่วนดังนี้
 - แอดเดรส 0x00-0x01F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ (บางพื้นที่สงวนไว้ แสดงเป็นสีเทา)
 - แอดเดรส 0x20-0x07F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์
- แบงก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x80-0xFF โดยจะแบ่งพื้นที่ใช้งานของแอดเดรสแต่ละส่วนดังนี้
 - แอดเดรส 0x80-0x9F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ (บางพื้นที่สงวนไว้ แสดงเป็นสีเทา)
 - แอดเดรส 0xA0-0xEF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์
 - แอดเดรส 0xF0-0xFF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์
- แบงก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100-0x17F โดยจะแบ่งพื้นที่ใช้งานของแอดเดรสแต่ละส่วนดังนี้
 - แอดเดรส 0x100-0x10F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ (บางพื้นที่สงวนไว้ แสดงเป็นสีเทา)
 - แอดเดรส 0x110-0x11F ไม่มีการใช้งาน
 - แอดเดรส 0x120-0x14F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 48 ไบต์
 - แอดเดรส 0x150-0x16F ไม่มีการใช้งาน
 - แอดเดรส 0x170-0x17F บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์
- แบงก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180-0x1FF
 - แอดเดรส 0x180-0x18B เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ (บางพื้นที่สงวนไว้ แสดงเป็นสีเทา)
 - แอดเดรส 0x18C-0x1EE ไม่มีการใช้งาน
 - แอดเดรส 0x1F0-0x1FF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

2.5.15 รีจิสเตอร์หลักของ PIC16F628

2.5.15.1 รีจิสเตอร์ STATUS

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลแสดงสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 ไม่ว่าจะเป็นแฟล็กแสดงผลของการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแสดงการทำงานของวอตช์ดีกไอทเมอร์ แสดงการทำงานในโหมดสลิปและใช้ในการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูลแรม มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 0x03 ในแบงก์ 0, 0x83 ในแบงก์ 1, 0x103 ในแบงก์ 2 และ 0x183 ในแบงก์ 3 ดังมีรายละเอียดของแต่ละบิตภายในรีจิสเตอร์ STATUS ต่อไปนี้

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
STATUS	IRP	RPI	RP0	\overline{TO}	\overline{PD}	Z	DC	C
	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R -1	R -1	R/W -x	R/W -x	R/W -x

รูปที่ 2.23 รีจิสเตอร์ STATUS ของ PIC16F628

IRP (Indirect Register Bank Select bit – บิต 7) : ใช้เลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูลแรม และรีจิสเตอร์ไฟล์ เมื่อใช้การอ้างอิงแบบโดยอ้อม (indirect addressing mode)

RP1-RP0 (Register Bank Select bit – บิต 6 และ 5) : ใช้เลือกแบงก์ของหน่วยความจำแรมและรีจิสเตอร์ไฟล์ เมื่อใช้การอ้างอิงแบบโดยตรง (direct addressing mode)

TO (Time-out bit - บิต 4) : บิตแสดงขอบเขตเวลา แสดงการเกิดไทม์เอาต์เมื่อวอตช์ดีกไอทเมอร์ (WDT) ทำงานครบเวลาที่กำหนด โดยเอกทีฟเป็นลอจิก 0 บิตนี้สามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียว บิตนี้จะเซตเมื่อจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่หรือเมื่อกระทำคำสั่ง CLRWDT หรือ SLEEP

PD (Power-down bit – บิต 3) : บิตแสดงการทำงานในโหมดสลิปหรือโหมดประหยัดพลังงาน เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมดสลิป โดยการกระทำคำสั่ง SLEEP บิตนี้จะกลายเป็นลอจิก “0” บิตนี้สามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น การเซตบิตนี้เมื่อจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่หรือเมื่อกระทำคำสั่ง CLRWDT ทำให้เกิดการเวกอัปออกจากโหมดสลิป

Z (Zero bit – บิต 2) : บิตศูนย์ ใช้แสดงผลการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์

DC (Digit carry/borrow bit – บิต 1) : บิตทดหรือยืมระหว่างหลัก

C (Carry/borrow bit – บิต 0) : บิตทดหรือยืม ใช้แสดงผลการทดและยืมค่าทางคณิตศาสตร์

2.5.15.2 รีจิสเตอร์ OPTION

เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถอ่านและเขียนได้ทุกบิต บรรจุข้อมูลควบคุมการพูลอัฟของพอร์ต B , การเลือกขอบขาของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา RB0/INT , ข้อมูลควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ 0 และวอตช์ดีกไอทเมอร์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x81 ในแบงก์ 1 และ 0x181 ในแบงก์ 3 ดังมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังรูปที่ 2.24

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
OPTION	RBPU	INT EDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1

รูปที่ 2.24 รีจิสเตอร์ OPTION ของ PIC16F628

RBPU (Port B Pull-up enable bit - บิต 7) : บิตเอ็นเอเบิลการพูลอัพของพอร์ต B

INTEDG (Interrupt edge select bit – บิต 6) : บิตเลือกขอบขาของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา RB0/INT

T0CS (TMR0 Clock source select bit – บิต 5) : บิตเลือกแหล่งจ่ายสัญญาณนาฬิกาไทมเมอร์ 0

T0SE (TMR0 Source edge select bit – บิต 4) : บิตเลือกการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณเพื่อทำให้ไทมเมอร์ 0 เพิ่มค่าขึ้น การกำหนดข้อมูลในบิตนี้เป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องจากการเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แกไทมเมอร์ 0 ที่บิต T0CS หากเลือกรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก จะต้องมาเลือกการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่บิตนี้ แต่ถ้าเลือกรับสัญญาณจากสัญญาณนาฬิกาภายใน การกำหนดข้อมูลที่บิตนี้จะไม่ส่งผลแต่อย่างใด

PSA (Prescaler assignment bit – บิต 3) : บิตเลือกการทำงานของปริสเกลเลอร์

PS2-PS0 (Prescaler rate select bit – บิต 2,1 และ 0) : บิตเลือกอัตราส่วนของปริสเกลเลอร์ ใช้ในการกำหนดอัตราส่วนในการทำงานของปริสเกลเลอร์เมื่อทำงานร่วมกับทั้งวอตช์ด็อกไทมเมอร์และไทมเมอร์ 0 ซึ่งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

2.5.15.3 รีจิสเตอร์ PCON (Power control status register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการแจ้งสถานะของการรีเซตที่เกิดขึ้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8E มีบิตใช้งานเพียง 3 บิต ดังนี้

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
PCON	-	-	-	-	OSCF	-	\overline{POR}	\overline{BOR}
							R/W -x	R/W -x

รูปที่ 2.25 รีจิสเตอร์ PCON ของ PIC16F628

บิต 2, 4-7 ไม่ใช้งาน อ่านค่าได้เป็น “0”

OSCF (INTRC/ER oscillator speed – บิต 3) : บิตเลือกความถี่สัญญาณนาฬิกาในโหมด INTRC และ ER

POR (Power-on reset status bit – บิต 1) : บิตแสดงสถานะการเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต

BOR (Brown-out reset status bit – บิต 0) : บิตแสดงสถานะการเกิดบราวเอาต์รีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.15.4 รีจิสเตอร์ W (Working register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพราะไม่ว่าจะเป็นการประมวลผลทางคณิตศาสตร์หรือลอจิก ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ W ซึ่งสามารถสังเกตได้จากชื่อคำสั่ง หากคำสั่งใดมีตัวอักษร W เข้าไปเป็นส่วนประกอบ คำสั่งนั้นๆ จะต้องติดต่อกับรีจิสเตอร์ W อย่างแน่นอน

2.5.16 โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)

เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่ทำหน้าที่ระบุแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียูจะต้องไปทำการอ่านข้อมูลเพื่อทำงาน โปรแกรมเคาน์เตอร์มีขนาด 13 บิต สำหรับใน PIC16F628 ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำ 2 กิโลเวิร์ด จะใช้โปรแกรมเคาน์เตอร์จำนวน 11 บิต

โปรแกรมเคาน์เตอร์แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกมีขนาด 8 บิต เป็นข้อมูลในไบต์ต่ำ (บิต 0-7) เรียกว่า รีจิสเตอร์ PCL มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x02 อีกส่วนหนึ่งมีขนาด 5 บิต เป็นข้อมูลในไบต์สูง (บิต 8-12) เรียกว่า รีจิสเตอร์ PCH สำหรับรีจิสเตอร์ PCH ไม่สามารถเข้าถึงได้โดยตรง การปรับปรุงข้อมูลใน PCH ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ PCLATH ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0A

2.5.17 สแต็ก (Stack)

ใน PIC16F628 มีหน่วยความจำสำรองสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ชั่วคราวขนาด 13 บิตหรือเรียกว่า สแต็ก โดยสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งสิ้น 8 ระดับ โดยพื้นที่ของสแต็กนั้นจะจัดสรรแยกไว้ต่างหากไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ของหน่วยความจำแต่อย่างใด ตัวชี้ตำแหน่งของสแต็กหรือเรียกว่า สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack pointer) ผู้ใช้งานไม่สามารถทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ โดยค่าของสแต็กพอยน์เตอร์จะเปลี่ยนแปลงอัตโนมัติจากการกระทำคำสั่ง CALL , RETURN , RETLW และ RETFIE การเก็บค่าของสแต็กจะต่อเนื่องกันเป็นวงกลม สามารถเก็บข้อมูลที่ซ้ำกันได้ 8 ค่า เมื่อมีการเก็บข้อมูลครั้งที่ 9 เข้ามา ข้อมูลนั้นจะ ไปทับ ในสแต็กของข้อมูลครั้งแรกวนเช่นนี้ไปตลอด ดังนั้นในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จึงไม่มีการแจ้งเหตุการณ์สแต็กเกิน (Stack overflow)

นอกจากนั้นการเก็บหรืออ่านค่าในสแต็กของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะเกิดขึ้นเมื่อมีการกระทำคำสั่ง CALL , RETURN , RETLW และ RETFIE หรือเกิดการอินเตอร์รัปต์เท่านั้น ไม่มีคำสั่ง PUSH หรือ POP เพื่อติดต่อกับสแต็กเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นๆ

2.5.18 การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

คุณสมบัติเด่นอย่างหนึ่งที่มีในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรม PIC16F628 คือ โมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรมอนุกรมประเภทที่สามสามารถทำงานเป็นตัวรับหรือส่งข้อมูลในแบบอะซิงโครนัสหรือซิงโครนัสก็ได้ ทั้งยังสามารถกำหนดรูปแบบของข้อมูลได้ เลือกอัตราเร็วในการถ่ายเทข้อมูลได้ โมดูลดังกล่าวคือ โมดูล USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)

โดยโมดูล USART สามารถกำหนดให้ทำงานแบบฟูลดูเพล็กซ์อะซิงโครนัส (full duplex asynchronous) กล่าวคือ สามารถรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์เทอร์มินอลแบบอื่นหรือกำหนดให้ทำงานเป็นโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส จะสามารถถ่ายเทข้อมูลในลักษณะฮาล์ฟดูเพล็กซ์ กล่าวคือ สามารถรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทางได้ แต่ต้องสลับกันรับและส่ง ไม่สามารถกระทำไปพร้อมๆ กันเหมือนกับแบบอะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโครนัส การใช้งานในลักษณะนี้ คือ ติดต่อกับอุปกรณ์ต่อพ่วง อาทิ หน่วยความจำอีทีพรอมอนุกรม ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลหรือแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก เป็นต้น

โมดูล USART ใน PIC16F268 สามารถกำหนดการทำงานได้ 3 โหมด คือ

1. โหมดอะซิงโครนัส สามารถรับ-ส่งข้อมูลในลักษณะพูลดูเพล็กซ์
2. โหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ รับ-ส่งข้อมูลในลักษณะฮาล์ฟดูเพล็กซ์
3. โหมดซิงโครนัส-สเลฟ รับ-ส่งข้อมูลในลักษณะฮาล์ฟดูเพล็กซ์

2.5.19 รีจิสเตอร์ของโมดูล USART

ในโมดูล USART มีรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงาน 3 ตัว คือ TXSTA (Transmit status and control register) ใช้ควบคุมและแสดงสถานะการส่งข้อมูล มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x98, RCSTA (Receive status and control register) มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x18 ใช้ควบคุมและแสดงสถานะการรับข้อมูลและ SPBRG (Serial port baud rate generator) ใช้กำหนดอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูล มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x99

ส่วนรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลในการรับ-ส่งข้อมูลมีอีก 2 ตัว TXREG (Transmit data register) มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x19 ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องการส่งออกและ RCREG (Register data register) มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x1A ใช้เก็บข้อมูลที่รับเข้ามา

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	-	BRGH	TRMT	TX9D
	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	-	R/W -0	R -1	R/W -0

รูปที่ 2.26 รายละเอียดการทำงานของ TXSTA

CSRS (Clock source select bit : บิต 7) บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ในโหมดอะซิงโครนัส : ไม่มีใช้งานบิตนี้

ในโหมดซิงโครนัส :

“0” - ทำงานเป็นอุปกรณ์สเลฟ เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายนอก

“1” - ทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์ ใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากส่วนกำเนิดอัตรา

บอดหรืออัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

TX9 (9-bit transmit enable bit : บิต 6) บิตเลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต

“0” - เลือกการส่งข้อมูลแบบ 8 บิต

“1” - เลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต

TXEN (Transmit enable bit : บิต 5) บิตเลือกการทำงานของตัวส่ง

“0” - คิสเอเบิลตัวส่งข้อมูล

“1” - เอ็นเอเบิลตัวส่งข้อมูล

SYNC (USART mode select bit : บิต 4) บิตเลือกโหมดการทำงานของโมดูล USART

“0” - เลือกโหมดอะซิงโครนัส

“1” - เลือกโหมดซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต 3 ไม่มีการใช้งาน อ่านค่าเป็น “0”

BRGH (High baud rate select bit : บิต 2) บิตเลือกโหมดของอัตราเร็วในการถ่ายทอคข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส

- “0” - เลือกอัตราเร็วในการถ่ายทอคข้อมูลต่ำ
- “1” - เลือกอัตราเร็วในการถ่ายทอคข้อมูลสูง

ในโหมดซิงโครนัสไม่มีการใช้งานบิตนี้

TRMT (transmit shift register status bit : บิต 1) บิตแสดงสถานะรีจิสเตอร์บัพเฟอร์ของการส่ง

- “0” - รีจิสเตอร์บัพเฟอร์ (TSR) เต็มหรือไม่ว่าง
- “1” - รีจิสเตอร์บัพเฟอร์ (TSR) ว่าง

TX9D (9th bit of transmit data : บิต 0) บิตเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ของการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต

บิตนี้ใช้สำหรับบรรจุข้อมูลบิตที่ 9 ในกรณี que เลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต โดยการเซตบิต TX9 และยังสามารถใช้เป็นบิตพาริตีของการสื่อสารข้อมูลอนุกรมได้

RCSTA รีจิสเตอร์แสดงสถานะและควบคุมการรับข้อมูล

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADEN	FERR	OERR	RX9D
	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R -0	R -0	R -x

รูปที่ 2.27 รายละเอียดการทำงานของ RCSTA

SPEN (Serial port enable bit : บิต 7) บิตเลือกการทำงานของโมดูล USART

- “0” - คิสเอเบิล
- “1” - เอ็นเอเบิลเพื่อใช้งาน โมดูล USART ทำให้ขา RB1/RxD/DT และ RB2/TxD/CK ได้รับการกำหนดให้ใช้งานร่วมกับโมดูล USART เพื่อทำการสื่อสารข้อมูลอนุกรม เมื่อบิต 2 และ 1 ของรีจิสเตอร์ TRISB ถูกเซตเป็น “1”

RX9 (9-bit receive enable bit : บิต 6) บิตเลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิต

- “0” - เลือกการรับข้อมูลแบบ 8 บิต
- “1” - เลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิต

SREN (Single receive enable bit : บิต 5) บิตเลือกการรับข้อมูลครั้งเดียว

ในโหมดอะซิงโครนัส : ไม่ใช้งานบิตนี้

ในโหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ :

- “0” - คิสเอเบิลการรับข้อมูลครั้งเดียว
- “1” - เอ็นเอเบิลการรับข้อมูลครั้งเดียว

บิตนี้จะเคลียร์หลังจากการรับข้อมูลสมบูรณ์

ในโหมดซิงโครนัส-สเลฟ : ไม่ใช้งานบิตนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CREN (Continuous receive enable bit : บิต 4) บิตเลือกการรับข้อมูลต่อเนื่อง

- “0” - คิเสอเบิลการรับข้อมูลต่อเนื่อง
- “1” - เอ็นเอเบิลการรับข้อมูลต่อเนื่อง

ADEN (Address detect enable bit : บิต 3) บิตเลือกการตรวจจับแอดเดรส

ใช้ในกรณีเลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิตเท่านั้น

- “0” - คิเสอเบิลการตรวจจับแอดเดรส ข้อมูลจะถูกรับเข้ามาทั้งหมดและบิตที่ 9 สามารถใช้เป็นบิตพาร์ริตี้ได้
- “1” - เอ็นเอเบิลการตรวจจับแอดเดรส ส่งผลให้เกิดการเอ็นเอเบิลอินเตอร์รัปต์และมีการถ่ายทอดข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์เมื่อบิต RSR ถูกเซต

FERR (Framing error bit : บิต 2) บิตแจ้งความผิดพลาดทางเฟรมข้อมูล

- “0” - ไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น
- “1” - เกิดความผิดพลาดทางเฟรมข้อมูลเกิดขึ้น

OERR (Overrun error bit : บิต 1) บิตแจ้งความผิดพลาดเนื่องจากการชนกันของข้อมูล

- “0” - ไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น
- “1” - เกิดความผิดพลาดขึ้น สามารถเคลียร์บิตนี้ได้ด้วยการเคลียร์บิต CREN

RX9D (9th bit of received data : บิต 0) บิตเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ของการรับข้อมูลแบบ 9 บิต

บิตนี้ใช้สำหรับบรรจุข้อมูลบิตที่ 9 ในกรณีที่เลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิต โดยการเซตบิต RX9 และยังสามารถใช้เป็นบิตพาร์ริตี้ของการสื่อสารข้อมูลอนุกรมได้

2.5.20 ส่วนกำเนิดอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลหรือบอดเรตเจเนอเรเตอร์

ในโมดูล USART จะใช้ส่วนกำเนิดอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลหรือบอดเรตเจเนอเรเตอร์เพียงชุดเดียว สามารถรองรับทั้งการทำงานในโหมดอะซิงโครนัสและซิงโครนัส โดยมีความละเอียด 8 บิต รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานในส่วนนี้มีเพียงตัวเดียว คือ SPBRG มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x99 รีจิสเตอร์ตัวนี้ทำการควบคุมคาบเวลาของไทม์เมอร์อิสระขนาด 8 บิต เพื่อกำเนิดอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อทำงานในโหมดอะซิงโครนัสต้องทำงานร่วมกับข้อมูลที่บิต BRGH (บิต 2 ของรีจิสเตอร์ TXSTA) เพื่อกำหนดย่านของอัตราเร็วเป็นแบบต่ำและสูง ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงการคำนวณหาค่าอัตราเร็วของการถ่ายทอดข้อมูล

SYNC	บิต BRGH = 0 (อัตราเร็วต่ำ)	บิต BRGH = 1 (อัตราเร็วสูง)
0	บอดเรต (อะซิงโครนัส) = $\frac{f_{osc}}{64(x+1)}$	บอดเรต = $\frac{f_{osc}}{16(x+1)}$
1	บอดเรต (ซิงโครนัส) = $\frac{f_{osc}}{4(x+1)}$	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงสูตรการคำนวณค่าอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลหรือบอดเรต ค่าของ X คือ ค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG โดยที่ค่า X คือ ค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG แต่เนื่องจากข้อมูลในรีจิสเตอร์ SPBRG ต้องใช้เฉพาะจำนวนเต็มเท่านั้น จึงต้องกำหนดค่าของ SPBRG เป็น 25 แทนกลับไปอยู่ในสูตร จะได้

$$\text{บอดเรต} = \frac{f_{osc}}{64(x+1)}$$

นั่นคือ เกิดค่าผิดพลาด 15 บิตต่อวินาที สามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้จาก

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} &= (\text{บอดเรตที่คำนวณ} - \text{บอดเรตที่ต้องการ}) / \text{บอดเรตที่ต้องการ} \times 100\% \\ &= 0.15625\% \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีสามารถลดความผิดพลาดได้โดยการกำหนดให้ทำการสร้างบอดเรตด้วยความเร็วสูงแทน โดยกำหนดบิต BRGH เป็น "1" ได้ทำการสรุปค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG ที่บอดเรตค่าต่างๆ รวมทั้งค่าความผิดพลาด เมื่อทำงานทั้งในโหมดซิงโครนัสและอะซิงโครนัสไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG ที่บอดเรตค่าต่างๆ

บอดเรต (kbps)	f _{osc} = 20 MHz			f _{osc} = 10 MHz		
	บอดเรตที่ เกิดขึ้น จริง	ผิดพลาด (%)	ค่าของ SPBRG	บอดเรต ที่เกิดขึ้น จริง	ผิดพลาด (%)	ค่าของ SPBRG
9.6	9.615	+0.16	129	9.615	+0.16	64
19.2	19.230	+0.16	64	18.939	-1.36	32
38.4	37.878	-1.36	32	39.062	+1.7	15
57.6	56.818	-1.36	21	56.818	-1.36	10
115.2	113.636	-1.36	10	125	+8.51	4
250	250	0	4	312.50	28.6	1
625	625	0	1	625	0	0
1250	1250	0	0	N/A	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG ที่บอดเรตค่าต่างๆ

บอดเรต (kbps)	$f_{osc} = 4 \text{ MHz}$			$f_{osc} = 3.579545 \text{ MHz}$		
	บอดเรตที่ เกิดขึ้น จริง	ผิดพลาด (%)	ค่าของ SPBRG	บอดเรต ที่เกิดขึ้น จริง	ผิดพลาด (%)	ค่าของ SPBRG
9.6	9.615	+0.16	25	9.727	+1.32	22
19.2	19.230	+0.16	12	18.643	-2.90	11
38.4	41.667	+8.51	5	37.286	-2.90	5
57.6	62.5	+8.51	3	55.930	-2.90	3
115.2	125.0	+8.51	1	111.860	-2.90	1
250	250	0	0	223.721	-0.51	0
625	N/A	-	-	N/A	-	-
1250	N/A	-	-	N/A	-	-

จากตารางที่ 2.8 แสดงถึงรายละเอียดค่าของรีจิสเตอร์ SPBRG จะบ่งบอกถึงค่าบอดเรตที่เกิดขึ้นจริงและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อกำหนดให้โมดูล USART ทำงานในโหมดอะซิงโครนัสอัตราเร็วสูง

2.5.21 โหมดการทำงานของโมดูล USART

2.5.21.1 การทำงานในโหมดอะซิงโครนัส

ในโหมดนี้โมดูล USART จะกำหนดรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารตามมาตรฐาน NRZ (Nonreturn-to-zero) ซึ่งประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (start bit) 1 บิต, บิตข้อมูล 8-9 บิตและบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย (stop bit) 1 บิต โดยปกติจะใช้ขนาดของข้อมูลเป็น 8 บิต การรับส่งข้อมูลในโหมดนี้จะเริ่มต้นด้วยบิตนัยสำคัญต่ำสุดหรือ LSB ก่อน ส่วนการตรวจสอบพาร์ริตีนั้น ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์ โดยบรรจุข้อมูลของพาร์ริตีลงในบิตสำหรับบรรจุข้อมูลบิตที่ 9 ของทั้งรีจิสเตอร์ TXSTA และ RCSTA แต่โดยปกติจะเลือกไม่ตรวจสอบหรือบิตพาร์ริตีเป็น none

การเลือกให้โมดูล USART ทำงานในโหมดอะซิงโครนัสทำได้โดยการเคลียร์บิต SYNC (บิต 4 ของรีจิสเตอร์ TXSTA) การทำงานในโหมดนี้หยุดลงทันทีที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมดสลีปหรือโหมดประหยัดพลังงาน

โมดูล USART มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนที่ใช้งานในโหมดอะซิงโครนัส ได้แก่

- 1) ส่วนกำเนิดอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลหรือบอดเรตเจเนอเรเตอร์
- 2) วงจรสุ่มสัญญาณ
- 3) ตัวส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส
- 4) ตัวรับข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

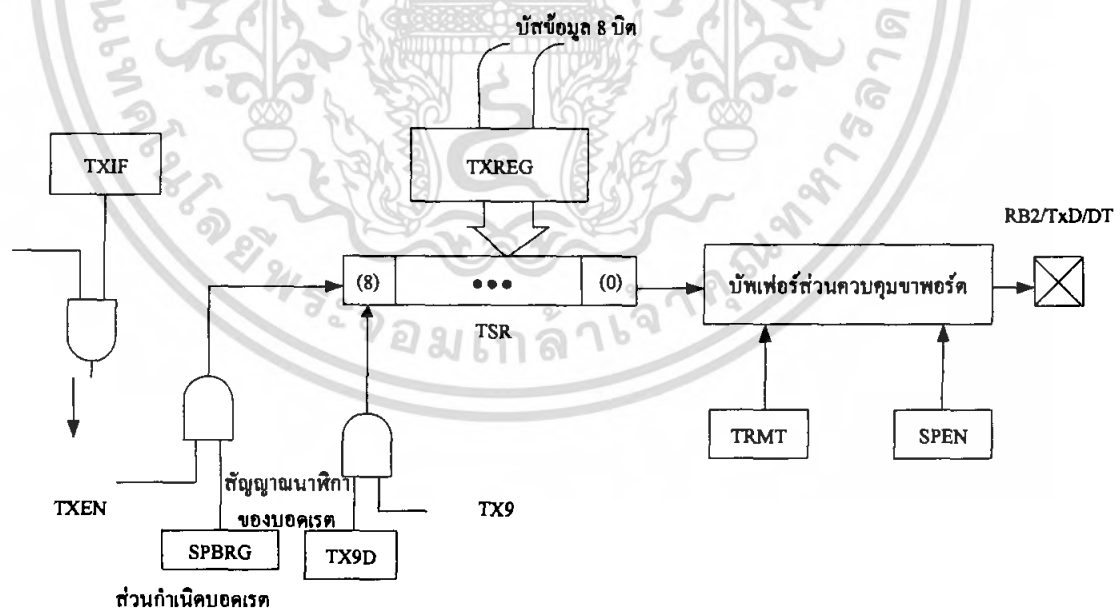
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.21.2 การส่งข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส

มีโคแอมการการทำงานแสดงในรูปที่ 2.28 หัวใจสำคัญอยู่ที่ชิฟต์รีจิสเตอร์ตัวส่ง (Transmit shift register : TSR) โดยในชิฟต์รีจิสเตอร์ตัวนี้บรรจุข้อมูลที่ได้มาจากรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลสำหรับการส่งหรือ TXREG ข้อมูลที่ต้องการส่งจะถูกเขียนมายัง TXREG จากนั้นจะถ่ายทอดต่อไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์ TSR แต่การถ่ายทอดจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการส่งบิตปิดท้ายของข้อมูลในชุดก่อนหน้าออกไปแล้ว

หลังจากที่มีการส่งบิตปิดท้ายออกไป TSR จะได้รับข้อมูลใหม่จากรีจิสเตอร์ TXREG ซึ่งเกิดขึ้นภายในไซเคิลการทำงานเดียวที่รีจิสเตอร์ TXREG จะว่างลงและบิต TXIF (บิต 4 ของรีจิสเตอร์ PIR1) จะเซต หากมีการเอนเอเบิลอินเตอร์รัปต์ไว้ ก็จะมีการอินเตอร์รัปต์ขึ้น บิต TXIF ไม่สามารถเคลียร์ได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ แต่จะเคลียร์ได้ก็ต่อเมื่อมีการถ่ายทอดข้อมูลใหม่ลงในรีจิสเตอร์ TXREG ส่วนสถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์ TSR จะแสดงผ่านบิต TRMT (บิต 1 ของรีจิสเตอร์ TXSTA) เมื่อ TSR ว่างจะเซตบิตนี้ ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถเขียนโปรแกรมตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่บิตนี้ เพื่อเริ่มต้นการส่งข้อมูลก็ได้

การเริ่มต้นส่งข้อมูลออกจากโมดูล USART เกิดขึ้นเมื่อเซตบิต TXEN (บิต 5 ของรีจิสเตอร์ TXSTA) แต่การเริ่มต้นจริงในทางปฏิบัติจะเกิดขึ้นหลังจากที่รีจิสเตอร์ TXREG ได้รับการเขียนข้อมูลและบอกระยะจเนอเรเตอร์สร้างสัญญาณนาฬิกาของการถ่ายทอดข้อมูลขึ้น ข้อมูลจาก TXREG จะส่งไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์ TSR แล้วทยอยส่งออกไปทางขาพอร์ต RB2/TxD/CK โดยที่ขาพอร์ตยังมีวงจรมัลติเพล็กซ์และสัญญาณควบคุมอีก 1 เส้น คือ บิต SPEN (บิต 7 ของรีจิสเตอร์ RCSTA) ซึ่งต้องเซตบิตนี้ มิฉะนั้นข้อมูลจะไม่สามารถส่งออกไปได้



รูปที่ 2.28 โคแอมการส่งข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัสของโมดูล USART ใน PIC16F628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

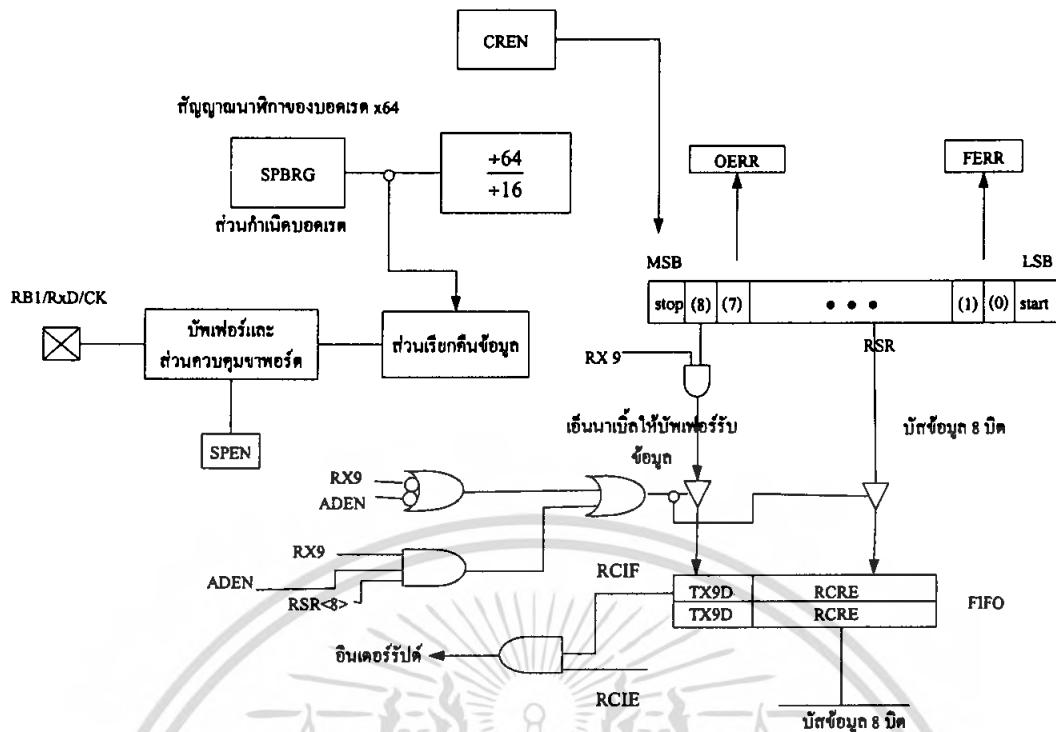
การเริ่มข้อมูลจะเริ่มต้นด้วยบิตเริ่มต้นด้วยข้อมูลบิต 0 จนถึงข้อมูลบิต 7 หรือ 8 ขึ้นอยู่กับ การกำหนดขนาดของข้อมูลที่ต้องการส่งแบบ 8 หรือ 9 บิตและส่งบิตปิดท้ายอีก 1 บิตสุดท้าย เป็นอันครบ 1 ชุดของข้อมูล บิต TRMT จะแจ้งว่าชิพรีจิสเตอร์ไม่ว่างตั้งแต่เริ่มส่งบิตเริ่มต้นและจะเซตเพื่อแจ้งว่าว่าง หลังจากทีส่งข้อมูลบิตสุดท้าย ก่อนส่งบิตปิดท้าย

สรุปขั้นตอนการกำหนดให้ไมโคร USART ใน PIC16F628 ส่งข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัสได้ ดังนี้

1. กำหนดข้อมูลสำหรับสร้างบอดเรตลงในรีจิสเตอร์ SPBRG ถ้าหากเลือกใช้การกำเนิดบอดเรต ความเร็วสูงต้องเซตบิต BRGH ด้วย
2. เลือกฟังก์ชันการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมและกำหนดให้ทำงานในโหมดอะซิงโครนัส โดยการเซตบิต SPEN และเคลียร์บิต SYNC
3. ถ้าต้องการให้เกิดอินเตอร์รัปต์ ต้องทำการเซตบิต TXIE
4. ถ้าเลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต ให้ทำการเซตบิต TX9
5. เอ็นเอเบิลการส่งข้อมูลโดยการเซตบิต TXEN ส่งผลให้แฟลก TXIF ถูกเซตตามไปด้วย
6. ถ้าหากเลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต ข้อมูลบิต 8 หรือบิตที่ 9 จะถูกส่งไปยังบิต TX9D
7. กำหนดข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ TXREG เพื่อเริ่มต้นส่งข้อมูล

2.5.21.3 การรับข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส

มีไดอะแกรมการทำงานแสดงในรูปที่ 2.29 การกำหนดให้ตัวรับข้อมูลแบบอะซิงโครนัสใน ไมโคร USART ทำงาน ต้องทำการเซตบิต CREN (บิต 4 ของรีจิสเตอร์ RCSTA) ส่วนข้อมูลจะถูกส่งเข้ามา ผ่านทางพอร์ต RB1/RxD/DT ทีละบิต ผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์เข้าสู่อินพุตส่วนเรียกคืนข้อมูล (data recovery) ซึ่ง ภายในเป็นตัวเลื่อนข้อมูลความเร็วสูง ทำงานที่ความเร็ว 16 เท่าของบอดเรต ทั้งนี้เพื่อให้ไมโคร USART สามารถรับข้อมูลเข้ามาและถ่ายถอดต่อไปยังชิพรีจิสเตอร์ตัวรับหรือ FSR (receive shift register) ได้เร็ว ขึ้น ส่งผลให้สามารถรับข้อมูลจากตัวส่งได้อย่างทันท่วงทีและครบถ้วน เช่นเดียวกับการส่ง ข้อมูลที่รับเข้า มาจะเริ่มจากบิตเริ่มต้น ต่อด้วยข้อมูลบิต 0 จนถึงบิต 7 หรือ 8 ขึ้นอยู่กับทางเลือกและสุดท้ายคือ บิตปิด ท้าย



รูปที่ 2.29 โค้ดแแกรมการรับข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัสของโมดูล USART ใน PIC16F628

หัวใจของการรับข้อมูล คือ ชิฟตรีจิสเตอร์ RSR หลังจากที่ตรวจจับบิตปิดท้ายจากการรับข้อมูลได้ ข้อมูลที่อยู่ใน RSR ซึ่งรับเข้ามาได้แล้วนั้นจะถูกถ่ายทอกลงไปยังรีจิสเตอร์ข้อมูลตัวรับ RCREG หลังจากที่มีการถ่ายทอข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ บิตแฟล็ก RCIF (บิต 5 ของรีจิสเตอร์ PIR1) จะถูกเซตหากมีการเอนอเบิลอินเตอร์รัปต์ไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น บิตแฟล็ก RCIF จะเคลียร์ได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เมื่อข้อมูลในรีจิสเตอร์ RCREG ถูกอ่านออกไปและว่างลง

รีจิสเตอร์ข้อมูลตัวรับ RCREG มีด้วยกัน 2 ชุด จึงมีลักษณะคล้ายกับเป็นที่พักข้อมูล 2 ชุดแบบ FIFO คือ ข้อมูลที่เข้าก่อน จะถูกส่งออกก่อน ทำให้การรับข้อมูลทำได้อย่างรวดเร็ว เพราะสามารถรับข้อมูล 3 ไบต์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยในขณะที่กำลังถ่ายทอข้อมูลทั้ง 2 ไบต์จากรีจิสเตอร์ RCREG ข้อมูลในไบต์ที่สาม สามารถเข้าสู่โมดูล USART ได้ทันที โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ที่ RSR ก่อน

ถ้าหากสามารถตรวจจับบิตปิดท้ายได้ แต่ในรีจิสเตอร์ RCREG ยังมีข้อมูลอยู่ก็จะเกิดเหตุการณ์ชนกันของข้อมูลขึ้นเรียกว่า โอเวอร์รัน (overrun error) บิต OERR จะถูกเซตเพื่อแจ้งความผิดพลาดดังกล่าว ส่งผลให้ข้อมูลใน RSR หายไปและการถ่ายทอข้อมูลจาก RSR ไปยังรีจิสเตอร์ RCREG จะถูกยับยั้งไว้ トラบเท่าที่บิต OERR ยังคงเซตอยู่ บิต OERR สามารถเคลียร์ได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

ความผิดพลาดอีกแบบหนึ่งที่จะเกิดขึ้นได้ คือ ความผิดพลาดทางเฟรมข้อมูล (framing error) จะเกิดขึ้นเมื่อการตรวจจับบิตปิดท้ายพบว่าเป็นลอจิก "0" ซึ่งจะตรงกับสถานะของบิตเริ่มต้นของข้อมูลในชุดหรือเฟรมถัดไป ส่งผลให้ไม่สามารถตีความได้ว่า ได้รับข้อมูลชุดก่อนหน้าเรียบร้อยแล้วหรือไม่ เมื่อการตรวจจับข้อมูลพบว่าเป็นลอจิก "0" การรับข้อมูลของตัวรับก็จะเริ่มต้นต่อไป ส่งผลให้เกิดการอ่านข้อมูลบิตแรกเป็น "0" ซึ่งแท้ที่จริงแล้วมันคือ บิตเริ่มต้นของข้อมูลชุดต่อไป ทำให้ข้อมูลที่รับเข้ามาเกิดความผิดพลาดได้ เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบนี้ขึ้น บิต FERR จะถูกเซตเพื่อแจ้งความผิดพลาดดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการอ่านค่าของรีจิสเตอร์ RCREG บิต FERR จะถูกปรับปรุงโดยอัตโนมัติ ถ้าหากการรับข้อมูลครั้งใหม่ถูกต้อง บิต FERR จะกลายเป็น “0” โดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามหากเกิดความผิดพลาดทางเฟรมข้อมูลขึ้นและเลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิต จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการอ่านข้อมูลจาก RCSTA ขึ้นมาก่อนเพื่อรักษาข้อมูลบิตที่ 9 เอาไว้ จากนั้นจึงทำการอ่านค่าของรีจิสเตอร์ RCREG เพื่ออ่านข้อมูลใน 8 บิตที่เหลือ พร้อมกับปรับปรุงค่าของบิต FERR ด้วย

สรุปขั้นตอนการกำหนดให้โมดูล USART รับข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส ได้ดังนี้

1. กำหนดข้อมูลสำหรับสร้างบอดเรตลงในรีจิสเตอร์ SPBRG ถ้าหากเลือกใช้การกำหนดบอดเรตความเร็วสูงต้องเซตบิต BRGH ด้วย

2. เลือกฟังก์ชันการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมและกำหนดให้ทำงานในโหมดอะซิงโครนัส โดยการเซตบิต SPEN และเคลียร์บิต SYNC

3. ถ้าต้องการให้เกิดอินเตอร์รัปต์ ต้องทำการเซตบิต RCIE

4. ถ้าเลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต ให้ทำการเซตบิต RX9

5. เอ็นเอเบิลการส่งข้อมูลโดยการเซตบิต CREN

6. บิตแฟล็ก RCIF ถูกเซตเมื่อรับข้อมูลเสร็จสมบูรณ์และจะเกิดอินเตอร์รัปต์หากเอ็นเอเบิลไว้

7. อ่านข้อมูลของรีจิสเตอร์ RCSTA เพื่ออ่านข้อมูลบิตที่ 9 ถ้าหากเลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิต และตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการรับข้อมูล

8. อ่านข้อมูล 8 บิตที่รับเข้ามา โดยอ่านผ่านทางรีจิสเตอร์ RCREG

9. ถ้าหากเกิดความผิดพลาดขึ้น ให้ทำการเคลียร์บิตแจ้งความผิดพลาด โดยการเคลียร์บิต CREN

2.5.21.4 การทำงานในโหมดอะซิงโครนัสของโมดูล USART

ในโหมดนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบ คือ ทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์และอุปกรณ์สเลฟ โดยทั้งสองแบบนี้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง แต่จะเป็นการรับ-ส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ทำให้ไม่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ในคราวเดียวกัน เมื่ออุปกรณ์ตัวหนึ่งส่ง อีกตัวหนึ่งต้องทำการรับข้อมูลเท่านั้น และจะส่งกลับได้ก็ต่อเมื่อตัวต้นทางหยุดส่งและหันกลับมารับข้อมูล สลับไปมาเช่นนี้ โดยสัญญาณนาฬิกาที่กำหนดจังหวะในการรับ-ส่ง จะมาจากแหล่งเดียวกัน ทำให้การรับ-ส่งข้อมูลในโหมดนี้มีความสัมพันธ์สอดคล้องและแน่นอนกว่าแบบอะซิงโครนัส แต่ความเร็วในการถ่ายถอดข้อมูลจะต่ำกว่า

2.5.21.5 การทำงานในโหมดอะซิงโครนัส-มาสเตอร์ของโมดูล USART

โมดูล USART จะเข้าสู่การทำงานในโหมดนี้เมื่อบิต SYNC , SPEN และ CSRC (บิต 7 ของรีจิสเตอร์ TXSTA) ถูกเซต ทำให้ขาพอร์ต RB2/TxD/CK ถูกกำหนดให้ทำงานเป็นขาสัญญาณนาฬิกา (CK) เพื่อกำหนดจังหวะของการรับ-ส่งข้อมูล ส่วนขา RB1/RxD/DT ถูกกำหนดให้ทำงานเป็นขาข้อมูล (DT) เนื่องจากกำหนดให้ทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์ ดังนั้นหน้าที่ของการกำหนดจังหวะการทำงานหรือป้อนสัญญาณนาฬิกาจึงเป็นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

2.5.21.6 การส่งข้อมูลในโหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ของโมดูล USART

ใช้ไอคอนการทำงานเดียวกับการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ชิฟต์รีจิสเตอร์ TSR ยังคงเป็นหัวใจหลักของการทำงาน โดยได้รับข้อมูลจากรีจิสเตอร์ TXREG ซึ่งได้ข้อมูลมาจากการเขียนโปรแกรม อีกทศหนึ่ง ชิฟต์รีจิสเตอร์ TSR จะเริ่มต้นรับข้อมูลจากรีจิสเตอร์ TXREG ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลบิตสุดท้ายของการส่งก่อนหน้าที่ถูกส่งออกไปแล้ว เมื่อ TSR ได้รับข้อมูลจากรีจิสเตอร์ TXREG แล้วและมีการเซตบิต TXEN การส่งข้อมูลจะเริ่มต้นขึ้น ข้อมูลบิตแรกคือ บิต 0 จะถูกส่งออกไปที่จังหวะขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาที่ขา RB2/TxD/CK และจะส่งข้อมูลในบิตต่อๆ ไป ที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาในจังหวะถัดไป

ถ้าหากมีการเคลียร์บิต TXEN ระหว่างการส่งข้อมูล จะทำให้การส่งข้อมูลสิ้นสุดลงทันทีและตัวส่งจะเกิดการรีเซต ทั้งขา DT และ CK จะกลับไปอยู่ในสภาวะอิมพีแดนซ์สูง นอกจากนั้นหากเกิดการเซตบิต CREN หรือ SREN ในขณะที่ทำการส่งข้อมูล การส่งก็จะหยุดลงเช่นกัน ขา DT จะเกิดสภาวะอิมพีแดนซ์สูง ในขณะที่ขา CK ยังคงมีสัญญาณนาฬิกาอยู่ ถ้าบิต CSRC ยังคงถูกเซตอยู่ ลักษณะเช่นนี้ ตัวส่งยังไม่ถูกรีเซต แม้ว่าจะไม่ได้เชื่อมต่อกับวงจรของขาพอร์ตแล้วก็ตาม ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดทั้งปวง ควรกำหนดลักษณะการรับข้อมูลของอุปกรณ์ปลายทางให้เรียบร้อย ก่อนที่จะมีการรับ-ส่งข้อมูลขึ้นในระบบ

สรุปขั้นตอนการกำหนดให้โมดูล USART ทำงานในโหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ได้ ดังนี้

1. กำหนดข้อมูลสำหรับสร้างบอดเรตลงในรีจิสเตอร์ SPBRG
2. เลือกฟังก์ชันการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมและกำหนดให้ทำงานในโหมดซิงโครนัส โดยการเซตบิต SPEN , SYNC และ CSRC
3. ถ้าต้องการให้เกิดอินเตอร์รัปต์ ต้องทำการเซตบิต TXIE
4. ถ้าเลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต ให้ทำการเซตบิต TX9
5. เอ็นเอเบิลการส่งข้อมูลโดยการเซตบิต TXEN
6. ถ้าหากเลือกการส่งข้อมูลแบบ 9 บิต ข้อมูลบิต 8 หรือบิตที่ 9 จะถูกส่งไปยังบิต TX9D
7. กำหนดข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ TXREG เพื่อเริ่มต้นส่งข้อมูล

2.5.21.7 การรับข้อมูลในโหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์ของโมดูล USART

เริ่มต้นด้วยการกำหนดบอดเรต แล้วตามด้วยการเซตบิต SYNC , SPEN และ CSRC จากนั้นเลือกลักษณะการรับข้อมูลโดยเคลียร์บิต SREN และ CREN หรือเซตบิตใดบิตหนึ่ง เนื่องจากไม่สามารถที่จะเลือกรับข้อมูลทั้งสองลักษณะในคราวเดียวกันและจะต้องไม่มีการเซตบิต SREN และ CREN เพิ่มเติมในระหว่างที่มีการรับ-ส่งข้อมูลเด็ดขาด เพราะจะทำให้การรับ-ส่งข้อมูลหยุดลงในทันที

การรับข้อมูลจะเริ่มต้นขึ้นที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาที่ขา RB2/TxD/CK เช่นเดียวกับการส่งข้อมูลและจะเริ่มรับข้อมูลบิต 0 ก่อน หากเลือกให้รับข้อมูลแบบครั้งเดียว หลังจากรับครบ 8 บิตแล้ว บิต SREN จะเคลียร์เอง แล้วหยุดรับข้อมูลจนกว่าจะมีการเซตบิต SREN หรือ CREN ถ้าหากกำหนดให้รับข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ต้องทำการเซตบิต CREN การรับข้อมูลจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จนกว่าจะเคลียร์บิต CREN

การตรวจสอบความผิดพลาดสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการเดียวกับการรับข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส คือ อ่านค่าของรีจิสเตอร์ RCSTA แล้วตรวจสอบบิต OERR และ FERR ส่วนการเคลียร์บิตแจ้งความผิดพลาดทั้งสองบิต สามารถทำได้โดยการเคลียร์บิต CREN

สรุปขั้นตอนการกำหนดให้โมดูล USART ใน PIC16F628 รับข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส มาสเตอร์ ได้ดังนี้

1. กำหนดข้อมูลสำหรับสร้างบอดเรตลงในรีจิสเตอร์ SPBRG
2. เลือกฟังก์ชันการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมและกำหนดให้ทำงานในโหมดอะซิงโครนัส โดยการเซตบิต SPEN, SYNC และ CSRC
3. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าบิต SREN และ CREN เป็นลอจิก "0"
4. ถ้าต้องการให้เกิดอินเตอร์รัปต์ ต้องทำการเซตบิต RCIE
5. ถ้าเลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิต ให้ทำการเซตบิต RX9
6. เลือกลักษณะการรับข้อมูล หากเลือกแบบรับครั้งเดียว ต้องทำการเซตบิต SREN แต่ถ้าต้องการเลือกรับข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ให้เซตบิต CREN แทน หลังจากเซตแล้ว การรับข้อมูลจะเริ่มต้นขึ้นทันที
7. บิตแฟล็ก RCIF ถูกเซตเมื่อการรับข้อมูลเสร็จสมบูรณ์และจะเกิดการอินเตอร์รัปต์ หากมีการเอ็นเอเบิลไว้
8. อ่านข้อมูลของรีจิสเตอร์ RCSTA เพื่ออ่านข้อมูลบิตที่ 9 ถ้าหากเลือกการรับข้อมูลแบบ 9 บิต และตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการรับข้อมูล
9. อ่านข้อมูล 8 บิตที่รับเข้ามาโดยอ่านผ่านทางรีจิสเตอร์ RCREG
10. ถ้าหากเกิดความผิดพลาดขึ้น สามารถเคลียร์บิตแจ้งความผิดพลาด โดยการเคลียร์บิต CREN

2.5.21.8 การทำงานในโหมดอะซิงโครนัส-สเลฟของโมดูล USART

การทำงานในโหมดนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกกำหนดให้เป็นอุปกรณ์ลูก ไม่สามารถกำหนดจังหวะการทำงานด้วยตนเองได้ การกำหนดจังหวะสัญญาณพิกจะขึ้นกับอุปกรณ์มาสเตอร์ที่ต่อร่วมด้วย นั่นคือแหล่งจ่ายสัญญาณพิกจะมาจากภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยป้อนเข้ายังขา RB2/TxD/CK ข้อดีของการทำงานในโหมดนี้คือ ยังคงสามารถทำงานอยู่ได้แม้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าสู่โหมดสลีปหรือโหมดประหยัดพลังงานก็ตาม

การกำหนดให้โมดูล USART ทำงานในโหมดนี้ทำได้โดยการเซตบิต SPEN และ SYNC เคลียร์บิต CSRC, CREN และ SREN เมื่อต้องการเริ่มต้นส่งข้อมูลต้องเซตบิต TXEN เสมอและการเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ TXREG

2.5.21.9 การส่งข้อมูลในโหมดอะซิงโครนัส-สเลฟของโมดูล USART

การทำงานจะเหมือนกับโหมดอะซิงโครนัส-มาสเตอร์ เพียงแต่โหมดนี้ยังคงสามารถทำงานอยู่ได้แม้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าสู่โหมดสลีปก็ตาม ถ้าหากเกิดการเขียนข้อมูล 2 ชุดไปยังรีจิสเตอร์ TXREG และมีการเอ็ทซิวต์คำสั่ง SLEEP เพื่อกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมดสลีป จะเกิดเหตุการณ์ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลชุดแรกจะถูกถ่ายทอดไปยังรีฟิรีจิสเตอร์ TSR และทำการส่งข้อมูลออกในทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลชุดที่สองยังคงเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ TXREG

3. บิตแฟล็ก TXIF จะไม่เซต

4. เมื่อข้อมูลชุดแรกถูกส่งออกจากชิพรีจิสเตอร์ TSR รีจิสเตอร์ TXREG จะทำการส่งข้อมูลชุดต่อไปไปยัง TSR และบิตแฟล็ก TXIF จะเซต

5. ถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ ก็จะทำให้เกิดการเวกอัพซีพียูขึ้น ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ออกจากโหมดสลีปและถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ ซีพียูก็จะกระโดดไปยังแอดเดรส 0x0004 เพื่อทำการบริการอินเตอร์รัปต์ต่อไป

2.5.21.10 การรับข้อมูลในโหมดซิงโครนัส-สเตฟของโมดูล USART

เช่นเดียวกับการส่งข้อมูล การรับข้อมูลในโหมดนี้เหมือนกับการรับข้อมูลในโหมดซิงโครนัสมาสเตอร์ เพียงแต่ในโหมดนี้ยังคงสามารถทำงานได้แม้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าสู่โหมดสลีปก็ตาม หลังจากที่ทำกรเอ็นเอเบิลการรับข้อมูล โดยการเซตบิต CREN แม้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะอยู่ในโหมดสลีป การรับข้อมูลยังคงดำเนินต่อไปอย่างปกติ จนกระทั่งรับข้อมูลครบถ้วน ชิพรีจิสเตอร์ RSR จะถ่ายทอดข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ RCREG และถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ ก็จะทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ออกจากโหมดสลีป พร้อมกันนั้นยังกระโดดไปยังแอดเดรส 0x0004 เพื่อทำการบริการอินเตอร์รัปต์อีกด้วย

2.5.21.11 ทฤษฎีอินฟราเรดรีโมทคอนโทรล

ในปัจจุบันการดำรงชีวิตของคนเรานั้นต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกในรูปแบบของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทันสมัย ซึ่งในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้มักนิยมใช้รีโมทคอนโทรลเป็นตัวควบคุม เนื่องจากใช้งานง่าย เครื่องส่งใช้กำลังไฟน้อยและราคาไม่แพง

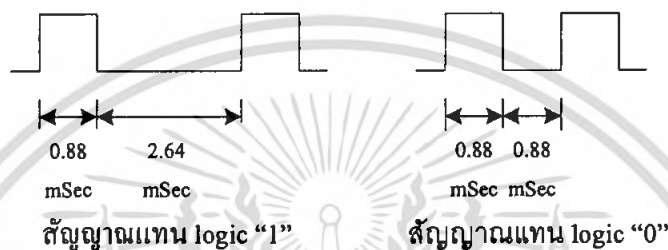
รีโมทคอนโทรล หมายถึง ระบบควบคุมระยะไกล ที่ทำหน้าที่เสมือนแขนขาของมนุษย์ จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและเริ่มเป็นสิ่งจำเป็นควบคู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในยุคนี้จึงให้ความสนใจการทำงานของระบบคาล์วโค้ดกันอย่างละเอียด

ระบบตัวเลขที่ใช้ในรีโมทคอนโทรลเป็นตัวเลขฐาน 2 ซึ่งมีสภาพทางลอจิก “0” และ “1” หรือหากพูดถึงระดับแรงไปสภาพลอจิก 1 ก็คือ สภาพที่วงจรสามารถจ่ายแรงดันไฟออกไปยังอุปกรณ์ในวงจรได้ ส่วนสภาพลอจิก 0 ก็คือ สภาพที่แรงดันไฟใกล้เคียงศูนย์โวลต์ นั่นคือระบบสัญญาณพัลส์นั่นเอง

กล่าวเฉพาะในส่วนของคุณลักษณะหลาย บิต การที่จะแยกออกมาได้อย่างชัดเจนว่าอันไหนเป็นลอจิก 0 อันไหนเป็นลอจิก 1 จำเป็นต้องใช้ฐานเวลาเข้ามาเป็นตัวแยกในทางปฏิบัติเป็นเรื่องค่อนข้างยากอยู่พอสมควร เนื่องจากบางครั้งผู้ใช้รีโมทอาจจะกดซ้ำ ระยะเวลาในแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากัน บางคนอาจกดแช่ไว้ บางคนอาจกดคีย์แล้วปล่อยเลย

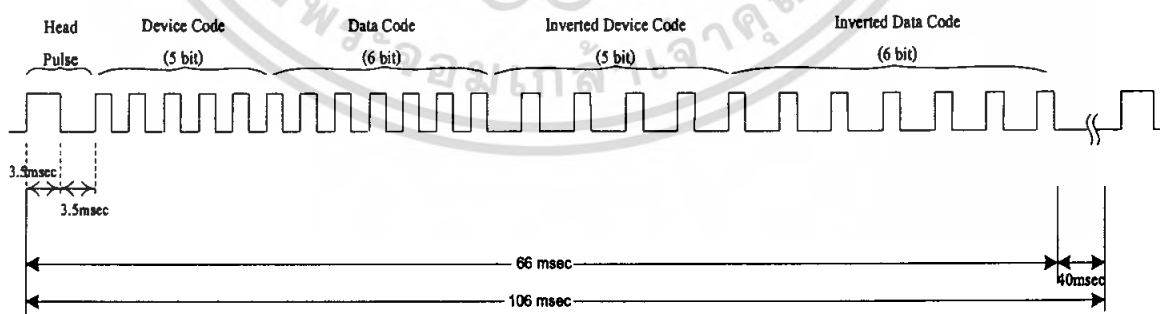
ดังนั้นเราจึงเลือกเอาระบบสแกนพัลส์ซึ่งเป็นรูปแบบการกวาดข้อมูลมาทดแทน เพื่อแก้ปัญหาเรื่องการที่จะต้องกำหนดฐานเวลา โดยหากเป็นลอจิก 0 เราจะให้พัลส์ที่ออกมาเป็นพัลส์ชืดหรือแคบกว่าและถ้าหากเป็นลอจิก 1 เราจะให้ระยะของพัลส์ทอดยาวออกไป การกำหนดฟังก์ชันทำได้โดยการใช้หลักการของคีย์แบบเมทริกซ์ (Matrix) เพื่อลดการใช้งานของไอซีและสายเชื่อมโยงต่างๆ ให้น้อยลง

เมื่อเรากำหนดพัลส์ในลักษณะที่กล่าวมา มีผลทำให้ฐานเวลาของข้อมูล (Data Time) แต่ละตัวมีความแตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ข้อมูลนั้นๆ มีสภาพลอจิก 0 เป็นจำนวนมาก บิตจะมีผลทำให้เวลาของข้อมูลสั้น หากมีสภาพทางลอจิก 1 มากกว่าจะมีผลเวลาของข้อมูลยาวนานขึ้น ดังนั้นในยุคปัจจุบันที่ใช้ข้อมูลหลายๆ บิต จะเกิดปัญหาในเรื่องความเหลื่อมของเวลาขึ้น ปัญหานี้มีผลต่อการรับข้อมูลในเครื่องรับเป็นอันมาก รวมไปถึงหากเราจะใส่ข้อมูลอย่างอื่นฝากไปด้วยจะทำให้ได้อย่างลำบาก เราจะพบว่ารีโมทคอนโทรลในปัจจุบันนี้ สามารถผ่านข้อมูลพิเศษเข้าไปได้มากที่สุด เครื่องรับแยกได้อย่างไรหากเวลาไม่แน่นอน จึงต้องมีการอินเวอร์ส (Inverse) ข้อมูลทั้งหมดให้กลายเป็นตรงข้ามเพื่อรักษาเวลาให้คงที่ และเพื่อไม่ต้องส่งสัญญาณชิงโครโนซ์ไปทำการควบคุมเครื่องรับซึ่งนับเป็นความซับซ้อนยุ่งยาก



รูปที่ 2.30 ลักษณะทางลอจิกในระบบสแกนพัลส์

ยกตัวอย่างเช่น เราส่งข้อมูลหรือคาสั่งใดก็ได้เป็นข้อมูลขนาด 6 บิต เป็นดังนี้ 000001 เราจะพบว่าเมื่อถูกแปรสภาพเป็นพัลส์แล้ว ลอจิก 0 มีจำนวน 5 บิต มีลอจิก 1 จำนวน 1 บิต จะพบว่าเวลารวมของพัลส์สั้นมากและหากเราส่งข้อมูลเป็น 111111 จะพบว่าเวลารวมของพัลส์จะยาวมาก แต่ถ้าหากเรานำมาอินเวอร์ตจะพบว่าเวลาทั้งหมดเท่ากัน นั่นคือ ข้อมูล 000001 เมื่อนำมาอินเวอร์ตแล้วจะเป็น 111110 ข้อมูลรวมคือ 000001111110 (แยกเป็นลอจิก 0 รวม 6 บิต ลอจิก 1 รวมเป็น 6 บิต) พบว่าระยะเวลาของข้อมูลจะเท่ากันโดยอัตโนมัติ ดังนั้นวิธีการอินเวอร์ตข้อมูลคือ การแก้ปัญหาฐานเวลาที่เกิดขึ้นกับเครื่องรับหรือตัวรับนั่นเอง



รูปที่ 2.31 คาสั่งสตรีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.22 สัญญาณมาตรฐานรีโมทคอนโทรล

การที่เราจะให้วงจรภาครับของรีโมทคอนโทรลรับรู้และทำการแยกสัญญาณหรือข้อมูลต่างๆ ได้อย่างถูกต้องจะต้องมีข้อมูลตัวอื่นเข้ามาเพื่อแก้ไขสิ่งซึ่งอาจผิดพลาด ดังนั้นนอกจากข้อมูล (Data) ซึ่งเป็นข้อมูลหลักที่เราส่งไปเป็นตัวเลขฐาน 2 ซึ่งในตอนนี้อยู่ในรูปของสแกนพัลส์พร้อมด้วยการอินเวิร์ตข้อมูลเพื่อรักษาค่าเวลาแล้วยังต้องมีข้อมูลอื่นเป็นส่วนประกอบ ซึ่งในกรณีนี้จะแสดงตัวอย่างของเครื่องเนชั่นแนล (ซึ่งโดยหลักการจะเหมือนกันทุกยี่ห้อ เพียงแต่ว่าใครจะใช้ข้อมูลกี่บิตและใช้ฐานเวลาเท่าไรนั่นเอง) นี่คือการยกตัวอย่างเพื่อนำไปสู่การทำความเข้าใจและทำการเปรียบเทียบกับยี่ห้ออื่นๆต่อไป

1. คาด้าโค้ด (Data Code) ในกรณีของรีโมทคอนโทรลซึ่งเป็นตัวส่งของเนชั่นแนลใช้ข้อมูลขนาด 6 บิตเป็นข้อมูลหลักที่ส่งออกไปควบคุมวงจรในส่วนภาครับ โดยคีย์เมตริกซ์จะเป็นตัวส่งงานเข้าสู่ระบบการเข้ารหัสข้อมูล กำหนดความเป็นไปของแต่ละฟังก์ชัน

2. อินเวิร์ตคาด้าโค้ด (Inverse Data Code) เป็นการกลับลอจิกของข้อมูลหลักเพื่อรักษามาตราฐานเวลาให้คงที่ทุกข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลขนาด 6 บิตเหมือนกัน

3. ดีไวส์โค้ด (Device Code) หรือบางครั้งใช้ศัพท์ "คัสตอมโค้ด" (Custom Code) เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องใช้ต่างๆ ล้วนเป็นระบบรีโมทคอนโทรลแบบอินฟราเรดกันทั้งนั้น การส่งงานจากรีโมทคอนโทรลอาจจะมีกรรบกวนอุปกรณ์อื่นๆ ได้ อย่างเช่น เครื่องรับโทรทัศน์อาจจะพ่วงอยู่กับเครื่องเล่นวีดีโอเทป จูนเนอร์พ่วงอยู่กับเครื่องขยายเสียงและคอมแพคดิสก์ เลเซอร์ดิสก์พ่วงอยู่กับเครื่องรับโทรทัศน์หรืออื่นๆ กรณีเช่นนี้ หากเราส่งเครื่องหนึ่งเครื่องใด เครื่องที่ต่อรวมอยู่ด้วยก็สามารถมารับเอาข้อมูลฟังก์ชันการทำงานเข้าไปด้วยจึงมีการสร้างข้อมูลของเครื่องเล่นแต่ละอย่างให้แตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น เครื่องรับโทรทัศน์เราใช้ดีไวส์โค้ด (Device Code) ซึ่งเป็นโค้ดที่ใช้แยกประเภทของเครื่องใช้ระบบ 00000 (5 บิต) ในขณะที่เครื่องเล่นวีดีโอเทปเราใช้ดีไวส์โค้ด 11111

4. อินเวิร์ตดีไวส์โค้ด (Inverse Device Code) เป็นการกลับข้อมูลดีไวส์โค้ดเพื่อรักษาเวลาเช่นเดียวกับระบบข้อมูลหลัก (Data Code) แนนอนข้อมูลดังกล่าวต้องมี 5 ชนิด เหมือนดีไวส์โค้ด

5. เฮดพัลส์ (Head Pulse) การกลับข้อมูลหรืออินเวิร์ตเป็นเพียงการรักษาเวลาของข้อมูล แต่การใส่เฮดพัลส์เป็นวิธีการตรวจเช็คข้อมูลเพิ่มความแน่นอนของข้อมูลขึ้นอีกเพราะในบางครั้งเราอาจจะกดคีย์แช่ไว้นานๆ ความต่อเนื่องของข้อมูลจะมีตลอด นั่นหมายความว่าเราจะแยกแยะได้อย่างไร ว่าอะไรคือข้อมูลหลัก อะไรคือข้อมูลรอง จึงมีเฮดพัลส์ขึ้นมา โดยเฮดพัลส์จะเป็นสัญญาณนำร่องก่อนจะมีข้อมูลต่างๆ ส่งเข้ามาและในกรณีที่เราส่งอย่างต่อเนื่อง จะมีเฮดพัลส์ส่งออกมาเป็นช่วงๆ ให้เครื่องรับสามารถแยกแยะกลุ่มข้อมูลออกมาได้

รีโมทคอนโทรลจะส่งสัญญาณออกมา แต่ละคีย์ที่กดจะใช้เวลาที่เท่ากัน เนื่องจากการอินเวิร์ตดีไวส์โค้ดและอินเวิร์ตคาด้าโค้ดตามลำดับ คาด้าสตรีม (Data Stream) หรือระบบในการเรียงข้อมูล จะเป็นไปตามรูปที่ 2.32 โดยเฮดพัลส์จะเข้ามาเป็นอันดับแรกเป็นการบอกว่าตอนนี้อปชั่นภายในตัวส่งสัญญาณรีโมทคอนโทรลแบบอินฟราเรดพร้อมที่จะทำงานแล้ว ซึ่งการที่ตัวตรวจสอบหรือตัวกระตุ้นความพร้อมของตัวรับว่าต่อไปนี้จะมีการส่งข้อมูล

เมื่อเครื่องรับรับรู้การทำงาน (ซึ่งเราก็คีย์ออกไป สัญญาณแฮคพัลส์บางที่เราเรียกว่าตัว “คอลล์”) เครื่องรับแสดงการรับรู้การเรียกข้อมูลด้วยการกระพริบของแอลอีดีและข้อมูลลำดับต่อมาคือ ดีไวส์โค้ด 5 บิตตามด้วยคาต้าโค้ด 6 บิต อินเวิร์ตดีไวส์ 5 บิตและปิดท้ายด้วยอินเวิร์ตคาต้าโค้ด 6 บิตก่อนที่ช่วงให้เกิดแฮคพัลส์ครั้งต่อไป ให้ตัวรับสามารถรับรู้ความต่อเนื่องของข้อมูลอีกครั้งหรือหลายๆ ครั้งต่อไป

2.5.22.1 รหัสสัญญาณรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน

ในปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ใช้รีโมทคอนโทรล จะใช้ความถี่ในการส่งผ่านสัญญาณ (Carrier Frequency) ที่ 40 kHz ในโครงการนี้จะยกตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อโซนี่(Sony) สำหรับอินฟราเรดรีโมทคอนโทรลโปรโตคอลของโซนี่ อาศัยการเข้ารหัสด้วยวิธีพัลส์วิดท์ (Pulse-Width) โดยใช้คลื่นพาห์ 40 kHz ส่งข้อมูล 14 บิต โดยข้อมูลจะเรียงตามลำดับดังนี้

1) พัลส์เริ่มต้น (Start Pulse) มีความกว้าง 2.4 มิลลิวินาทีหรือเท่ากับ 4 เท่าของ T โดยที่ T จะเท่ากับ 600 ไมโครวินาที

2) เฮดเดอร์ (Header) จะประกอบด้วยคำสั่ง 7 บิตและแอดเดรส 5 บิต คำสั่งแต่ละแอดเดรสจะเข้ารหัสด้วยลอจิก 0 และ 1 ซึ่งมีความหมายคือ

0 = สเปนซ์ (Space) 600 ไมโครวินาที (1T) แล้วตามด้วยพัลส์ 600 ไมโครวินาที (2T)

1 = สเปนซ์ (Space) 600 ไมโครวินาที (1T) แล้วตามด้วยพัลส์ 1200 ไมโครวินาที (1T)

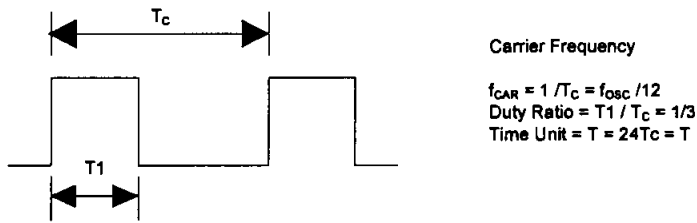
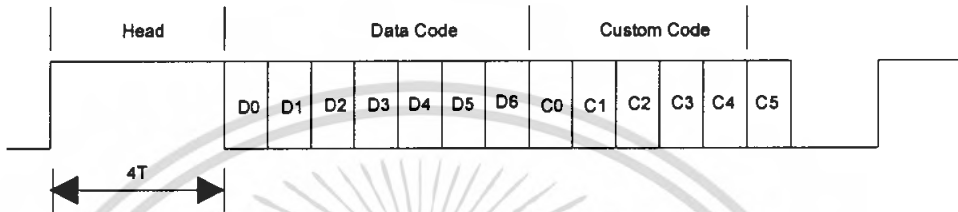
นอกจากรูปแบบที่กล่าวมา โซนียังมีอีก 4 รูปแบบรวมๆ เรียกว่าเป็นโซนี่เอสไออาร์ซีโปรโตคอล (Sony SIRC protocol) ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. SONY D7C5 (ข้อมูล 7 บิต , คำสั่ง 5 บิต , ตอนที่ 1)
2. SONY D7C6 (ข้อมูล 7 บิต , คำสั่ง 6 บิต)
3. SONY D7C8 (ข้อมูล 7 บิต , คำสั่ง 8 บิต)
4. SONY D7C13 (ข้อมูล 7 บิต , คำสั่ง 13 บิต)
5. SONY 50119P

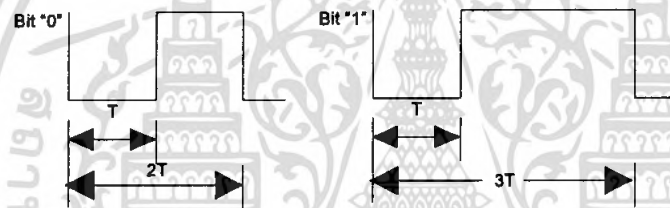
รายละเอียดรูปคลื่น (Waveform) สำหรับรูปแบบอื่น ๆ มีดังนี้

SONY - D7C6

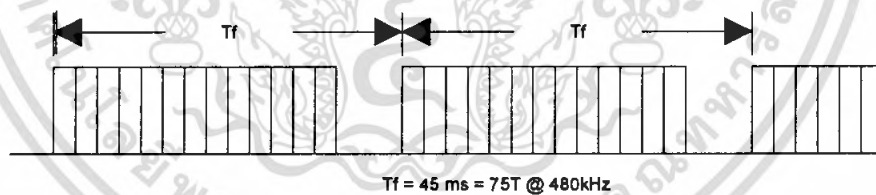
A single pulse, modulated with 40 kHz signal at 480 kHz

- Configuration of Frame
1st frame

- Bit Description

- Flame Interval : T_f

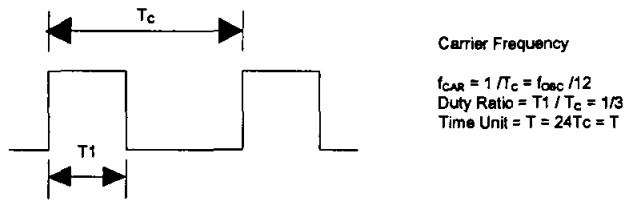
The transmitted waveform as long as a key is depressed



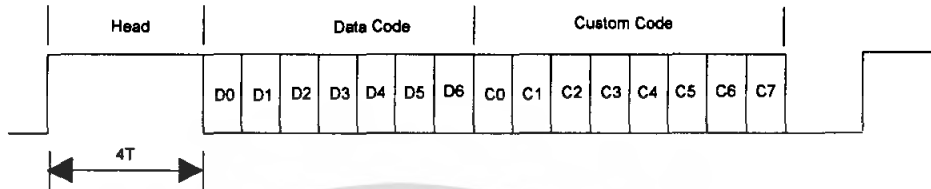
รูปที่ 2.32 อินฟราเรดรีโมทคอนโทรลโปรโตคอลของ SONY D7C6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

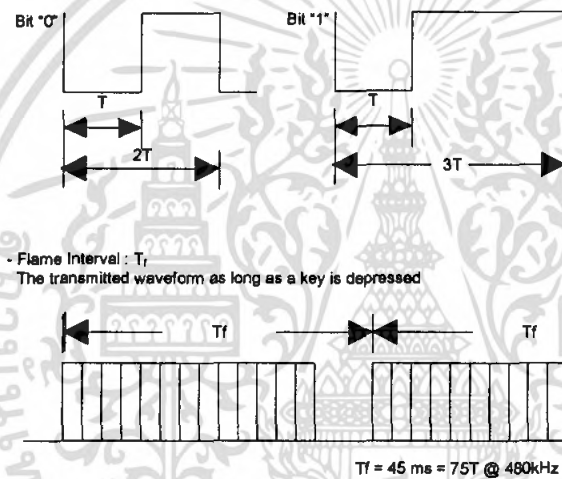
SONY – D7C8
A single pulse, modulated with 40 kHz signal at 480 kHz



- Configuration of Flame
1st flame



- Bit Description



รูปที่ 2.33 อินฟราเรดรีโมทคอนโทรลโปรโตคอลของ SONY D7C6

ส่วน D7C13 คล้ายกับ D7C5 , D7C6 , D7C8 แต่จะมีข้อมูล 13 บิต
สำหรับ Sony มีคุณลักษณะทางเทคนิคดังนี้

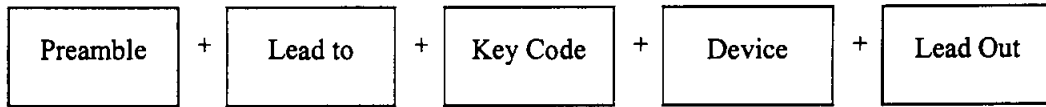
ตารางที่ 2.9 คุณลักษณะทางเทคนิคของ Sony

Parameter	Decimal Value	HEX Value
Carrier Frequency	40 kHz	
Unit of Burst Time	25 cycles of the carrier	
Lead in Burst	24	0060 0018
“1” Burst Pattern	24	0030 0018
“0” Burst Pattern	24	0018 0018
Lead Out	X, 1024	0018 03f6 หรือ 0030 03f6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณลักษณะนี้ สัญญาณ “0” และ “1” จะใช้ T_{0n} เป็น 22 เท่ากัน ส่วนค่า T_{0n} ถ้าเป็น “1” ต้อง 96 เท่านี้ มากกว่าหรือน้อยกว่าถือว่าเป็น “0”

โครงสร้างสัญญาณ



รูปที่ 2.34 โครงสร้างสัญญาณรีโมทคอนโทรล Sony DVD S7000

Lead Out จะอยู่ตอนท้ายของสัญญาณเพื่อให้ภาครับทราบว่าสัญญาณจบการส่งแล้วต่อหนึ่งรอบของสัญญาณ 7 บิตหลังจาก Lead In จะบอกถึงปุ่มที่กดบนแป้นรีโมท เมื่อทราบปุ่มก็จะทราบถึงฟังก์ชันการทำงานของปุ่มนั้นว่าจะให้เครื่องใช้ทำอะไร ส่วน Device Code คือ ตัวบอกว่าเป็นเครื่องอะไร โดยทั่วไป Device Code จะมีจำนวนบิตเป็น 5 บิต 8 บิต หรือ 13 บิต ตามยุคสมัย ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของสัญญาณรีโมทคอนโทรล Sony DVD S7000 มีลักษณะเป็นเลขฐาน 16 ดังต่อไปนี้

0000, 0067, 0000, 0015, 0060, 0018, 0018, 0018, 0030, 0018, 0030, 0018, 0030, 0018, 0018, 0018 0030, 0018, 0018, 0018, 0018, 0018, 0030, 0018, 0018, 0018, 0030, 0018, 0030, 0018, 0030, 0018 0018, 0018, 0018, 0018, 0030, 0018, 0018, 0018, 0018, 0018, 0030, 0018, 0018, 03f6 โดยในแต่ละ Word มีความหมายดังนี้

ตัวอย่าง Preamble (4 Word) 0000 0067 0000 0015

Word 1 เป็น 0 เสมอให้ภาครับ ทราบถึงสัญญาณรีโมทที่จะตามมา

Word 2 เท่ากับ 103 ในเลขฐานสิบ จะบอกถึงความถี่ที่ใช้ Carrier มีสูตรเป็น

$$\text{Frequency} = 1 \times 10^6 / (N \times 0.241246) \quad N = \text{เลขฐาน 10 ใน Word 2}$$

เมื่อแทนลงในสูตรจะได้ $40,244 \text{ Hz} \approx 40 \text{ kHz}$ นั่นเอง

Word 3 คือ One Sequence ถ้ามีค่าใน Word นี้จะบอกถึงจำนวนบิตที่ส่งออกไปให้ภาครับ แต่จะส่งสัญญาณเพียงครั้งเดียวไม่มีการรบกวนสัญญาณซ้ำ ในกรณีนี้เท่ากับ 0 จึงไม่ใช้วิธีการนี้ Word 4 คือ Repeat Sequence ถ้ามีค่าใน Word นี้จะบอกถึงจำนวนบิตที่ส่งให้ภาครับเช่นกัน แต่การส่งจะส่งสัญญาณเข้าไปเรื่อยๆ จนกว่าจะปล่อยปุ่ม ในที่นี้มีค่าเป็น 21 บิต การส่งสัญญาณของการวนซ้ำในส่วนของ 21 บิตนี้คือ

$$\text{LEAD IN (1) + KEY CODE (7) + DEVICE CODE (12) + LEAD OUT (1) = 21\#}$$

Word 5,6 $(0060 \ 0018)_{16} = (96 \ 24)_{10}$ คือ Lead In ให้เครื่องทราบถึงส่วนของสัญญาณควบคุมที่จะตามมา

Word 7,8 $(0018 \ 0018)_{16} = (24 \ 24)_{10} \rightarrow \text{KEY CODE No.1} = "0"$

Word 9,10 $(0030 \ 0018)_{16} = (48 \ 24)_{10} \rightarrow \text{KEY CODE No.2} = "1"$

Word 11,12 $(0030 \ 0018)_{16} = (48 \ 24)_{10} \rightarrow \text{KEY CODE No.3} = "1"$

Word 13,14 $(0030 \ 0018)_{16} = (48 \ 24)_{10} \rightarrow \text{KEY CODE No.4} = "1"$

Word 15,16 $(0018 \ 0018)_{16} = (24 \ 24)_{10} \rightarrow \text{KEY CODE No.5} = "0"$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Word 17,18 (0030 0018)₁₆ = (48 24)₁₀ → KEY CODE No.6 = "1"

Word 19,20 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → KEY CODE No.7 = "0"

จากข้อมูลด้านบนถอดรหัสได้เป็น 011010 เรียงรหัสใหม่จาก No.7 ไปหา No.1 จะได้เลข Binary เป็น (0101110)₂ = (46)₁₀ ต่อจาก Key Code จะเป็น Device Code

Word 21, 22 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → DEVICE CODE No.1 = "0"

Word 23, 24 (0030 0018)₁₆ = (48 24)₁₀ → DEVICE CODE No.2 = "1"

Word 25, 26 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → DEVICE CODE No.3 = "0"

Word 27, 28 (0030 0018)₁₆ = (48 24)₁₀ → DEVICE CODE No.4 = "1"

Word 29, 30 (0030 0018)₁₆ = (48 24)₁₀ → DEVICE CODE No.5 = "1"

Word 31, 32 (0030 0018)₁₆ = (48 24)₁₀ → DEVICE CODE No.6 = "1"

Word 33, 34 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → DEVICE CODE No.7 = "0"

Word 35, 36 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → DEVICE CODE No.8 = "0"

Word 37, 38 (0030 0018)₁₆ = (48 24)₁₀ → DEVICE CODE No.9 = "1"

Word 39, 40 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → DEVICE CODE No.10 = "0"

Word 41, 42 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → DEVICE CODE No.11 = "0"

Word 43, 44 (0030 0018)₁₆ = (48 24)₁₀ → DEVICE CODE No.12 = "1"

Word 45, 46 (0018 0018)₁₆ = (24 24)₁₀ → LEAD OUT = "0"

จากข้อมูลด้านบนถอดรหัสได้เป็น 0101110010010 เรียงรหัสจาก LEAD OUT → No.12 → No.1 ได้เป็น (0100100111010)₂ = (2362)₁₀

เมื่อรวมรหัส KEY CODE และ DEVICE CODE ได้ทราบว่า SONY DVD S7000 มีรหัสประเภท อุปกรณ์เป็น 2362 และฟังก์ชันที่ 46 ถูกเรียกใช้ ซึ่งเป็นปุ่ม POWER ON

จากข้อมูลของ DEVICE CODE จะเห็นว่า SONY ได้เอา LEAD OUT ไปรวมกับ DEVICE CODE ซึ่งจะเป็นเช่นนี้ไปจนกว่าจะถึงการรวบรวมข้อมูลสุดท้าย LEAD OUT จึงถูกนำมาใช้เพื่อให้เครื่องทราบว่าจบข้อมูล

รีโมทคอนโทรลของ SONY มีภาครับที่มีประสิทธิภาพในการกรองสัญญาณรบกวนสูง ทั้งภาคส่งยังส่งได้แรง จึงแทบไม่จำเป็น จะต้องมีส่วนของการตรวจสอบสัญญาณเลย

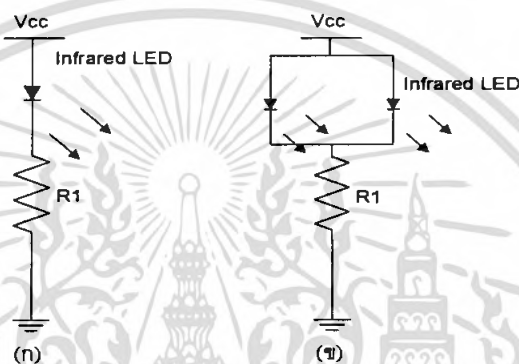
การจะให้ไอซีที่เป็นตัวส่งรีโมทคอนโทรลแบบรับรู้รหัสข้อมูลใดๆนั้น วงจรเอนโค้ดเดอร์จะต้องทำการเข้ารหัส โดยการนำเอาสแกนพัลส์ที่เกิดจากวงจร ไทม์มิงเจนเนอเรเตอร์ไปเป็นตัวอ้างอิงให้คีย์เมตริกแต่ละตัวส่งข้อมูลที่ไม่ว่างกันเข้าสู่วงจรเข้ารหัสข้อมูลและจะมีการเรียงลำดับข้อมูลต่างๆ ให้เป็นขั้นตอนที่ถูกต้อง เนื่องจากรีโมทคอนโทรลแบบนี้เป็นการส่งแบบไร้สายจึงอาจจะเกิดการรบกวนใน

ระหว่างที่ความถี่เดินทางได้ (ความถี่ของแสงอินฟราเรดหรือความถี่ต่ำกว่าสีแดง) จึงต้องมีการผสมความถี่ วิทยุพุ่งเข้าไปในขั้นตอนสุดท้าย

2.5.23 การใช้แสงอินฟราเรด

การใช้แสงอินฟราเรดเป็นสัญญาณควบคุมของรีโมทคอนโทรล สามารถตัดปัญหาการรบกวน แสงภายนอกอื่นๆ ที่สามารถมองเห็นได้โดยเด็ดขาด ยิ่งไปกว่านั้นวงจรใช้งานของระบบอินฟราเรดยังเป็น วงจรที่ง่ายและไม่ซับซ้อน มีความเชื่อถือได้สูงในการใช้งานและไม่เกิดอันตรายต่อผู้ใช้

การส่งสัญญาณแสงอินฟราเรดสามารถทำได้ด้วยวงจรง่ายๆ ดังรูปที่ 2.35(ก) ซึ่งประกอบด้วย แอลอีดีที่เปล่งแสงในย่านอินฟราเรดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ โดยความต้านทาน R1 ทำหน้าที่จำกัดกระแส



รูปที่ 2.35 การไบอัสอินฟราเรด (ก) การไบอัสกระแสโดยตรง (ข) การไบอัสกระแสผ่านวงจรรวม

สัญญาณแสงที่ส่งออกโดยเพียงแอลอีดีตัวเดียวจะเหมาะกับการใช้งานที่ไม่กี่เมตรเท่านั้น การเพิ่ม กำลังส่งของอินฟราเรดให้ไปได้ไกลขึ้นนั้น ทำได้โดยใช้แอลอีดีหลายตัวต่อขนานกันดังรูปที่ 2.35(ข) โดย ที่ R1 จะต้องมีค่าลดลงจากเดิมเพราะต้องขับกระแสมากขึ้น ปัจจุบันมีแอลอีดีย่านอินฟราเรดรุ่นใหม่ ที่ให้ กำลังส่งหรือความเข้มแสงสูงช่วยให้ส่งสัญญาณได้ไกลกว่าเดิม

2.5.23.1 กระบวนการแผ่ (Radiating Process) มี 2 แบบ

1. เกิดจากอิเล็กตรอนและโฮลและส่วนที่อยู่ใกล้ๆ กับจังก์ชัน (junction) ซึ่งจะให้พลังงานโฟตอนประมาณเท่ากับแบนด์แก๊ปเอเนอร์จี (Band Gap Energy) ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง
2. การที่อิเล็กตรอนและโฮลจะเคลื่อนที่มารวมกันบริเวณแทรปเลเวล (Trap Level) โฟตอนจะมี พลังงานออกมาเท่ากับเอเนอร์จีแก๊ป (Energy Gap) ลบออกด้วยค่าไบนด์อิงเอเนอร์จี (Binding Energy) และจากกระบวนการทั้งสองจะได้โฟตอนออกมา ซึ่งจะมีค่าความยาวคลื่นตามสมการข้างล่างนี้

$$\lambda = \frac{1240}{\Delta E} \quad (2.26)$$

ΔE = ค่าความแตกต่างของพลังงาน หน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์

เพราะฉะนั้นเมื่อแอลอีดีมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปจะทำให้ ΔE เปลี่ยนแปลงไปด้วยค่าความยาวคลื่น จึงเปลี่ยนไป จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าถ้าใช้สารต่างชนิดกัน ค่า ΔE จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งเราสามารถ ดูได้จากตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ LED

วัสดุ	ช่องว่างของพลังงาน	การแผ่รังสี (nm)	ชนิดของการส่งรังสี
Ge	0.66	1880	โดยอ้อม
Si	1.09	1140	โดยอ้อม
GaAs	1.43	910	โดยตรง
Gap	2.24	560	โดยอ้อม
GaAs60P40	1.91	650	โดยตรง
AlSb	0.60	775	โดยอ้อม
InSb	0.18	6900	โดยตรง
SiC	2.2-3.0	563.413	โดยอ้อม

จากตาราง 2.10 เป็นการแสดงถึงแอลอีดีชนิดต่างๆ ซึ่งให้โฟตอนที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กันและจะเห็นว่าแอลอีดีที่สร้างจากแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) จะให้คลื่นอยู่ในช่วงอินฟราเรด ซึ่งมีค่าประมาณ 900 nm

2.5.23.2 ตัวกำเนิดแสงอินฟราเรด

จากหลักการกำเนิดแสงอินฟราเรด โดยนำเอาอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง ซึ่งจะได้ความยาวคลื่นแสงที่ออกจากตัวอุปกรณ์ตัวนี้ที่มีความยาวอยู่ในช่วงอินฟราเรด ดังที่กล่าวมาอุปกรณ์ตัวนี้คือ Infrared Light Emitter Diode (Infrared LED) ซึ่งมีข้อดีหลายประการคือ

- 1) กระแสและแรงดันที่ใช้ในการผลิตคลื่นมีน้อยมาก
- 2) สามารถควบคุมการทำงานของแอลอีดีให้มีค่าแน่นอน
- 3) มีความเร็วในการตอบสนอง (Speed Response) สูง

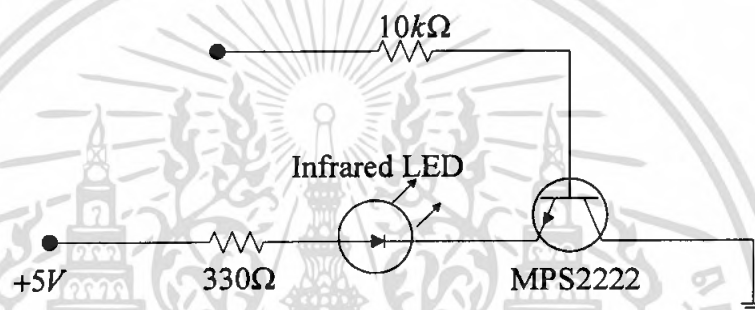
ลักษณะอินฟราเรดแอลอีดีที่เหมือนกับแอลอีดีทั่วไป คือ จะเป็นสารกึ่งตัวนำที่ถูกโด๊ป โดยสารที่มีอิเล็กตรอนชั้นนอกสุด (Valence electron) ต่างกัน โดยสารที่มีอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดมากกว่าปกติจะเป็น N-type และสารที่มีอิเล็กตรอนน้อยกว่าปกติจะเป็นสารประเภท P-type เมื่อนำสารทั้งสองชนิดมาต่อกัน จะทำให้มีการแบ่งกันระหว่างอิเล็กตรอนชั้นทำให้เกิดความแตกต่างศักดาไฟฟ้าที่เรียกว่าโพเทนเชียลแบเรีย (Potential Barrier) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าขนาดของเอนอร์จีแก๊พ ดังนั้นอิเล็กตรอนจากด้าน N-type จะเคลื่อนย้ายมายังด้าน P-type ต้องใช้พลังงานค่าหนึ่ง เมื่อเราป้อนแรงดันค่าหนึ่งให้กับแอลอีดีจะมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากด้าน N-type มารวมกับโฮลทางด้าน P-type ซึ่งการรวมตัวกันนี้มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ กระบวนการแพร่พลังงานจะแสดงออกมาในรูปโฟตอนหรือความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของตัวรับแสงอินฟราเรดเราใช้อุปกรณ์รับแสง (Detector) คือสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงที่รับเข้ามาไปเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ประเภทนี้เช่น โฟโตไดโอด (Photo Diode), โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) เป็นต้น จัดเป็นสวิทซ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง แต่อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจรระบบควบคุมโดยมากคือ โฟโตไดโอดและโฟโตทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์รับแสงในระบบควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย (Remote Control By Optoelectronic) ซึ่งจะรับแสงในย่านอินฟราเรดเป็นส่วนมาก เพราะว่าจะไม่ทำให้สภาพแสงตามธรรมชาติเข้าไปรบกวนในการควบคุมได้

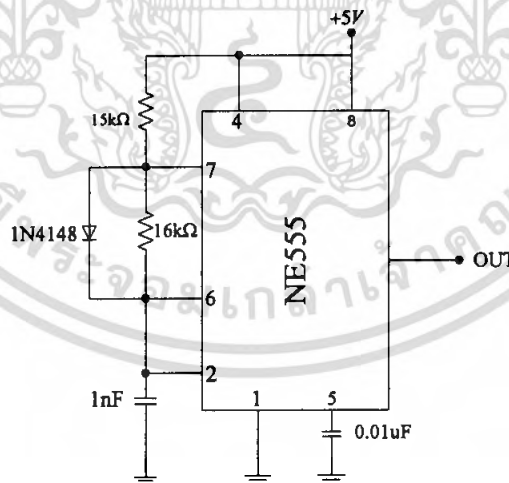
2.5.23.3 ภาคส่งสัญญาณอินฟราเรด

ภาคนี้จะเป็นตัวส่งข้อมูลจากการเข้ารหัสของ IC MC145026 (จากขา 15) จะถูกนำมาเข้าวงจร NAND gate เบอร์ LS74132 กับสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 40 kHz เมื่อทำการมอดูเลตแล้วก็จะทำการส่งแสงอินฟราเรดไดโอดไปยังภาครับต่อไป



รูปที่ 2.36 ภาคส่งสัญญาณอินฟราเรด

วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาเราใช้ IC Timer 555 รูปวงจรแสดงดังรูปที่ 2.37

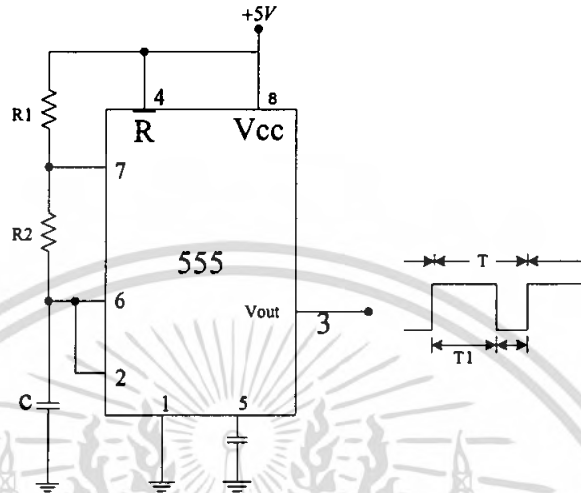


รูปที่ 2.37 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 2.28 สามารถสร้างสัญญาณพิก้าที่มีความถี่เท่ากับ 38 kHz IC 555 เป็นไอซีที่ประยุกต์ใช้งานซึ่งไม่ต้องการความแม่นยำสูงมากนักได้อย่างกว้างขวาง ในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้งาน 3 ประเภท

1. การใช้เป็นตัวผลิตความถี่ (Astable Multivibrator) ความถี่ที่ผลิตได้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ซึ่งมีวงจรพื้นฐานดังรูปที่ 2.38



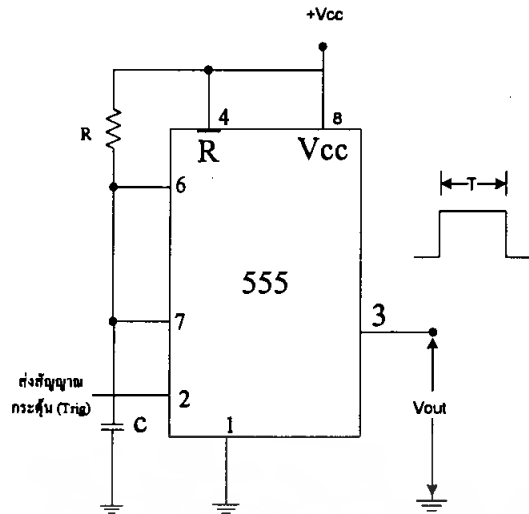
รูปที่ 2.38 วงจรผลิตความถี่พื้นฐานใช้ IC 555

ถ้าให้ T = คาบเวลา

T_1 = ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "High"

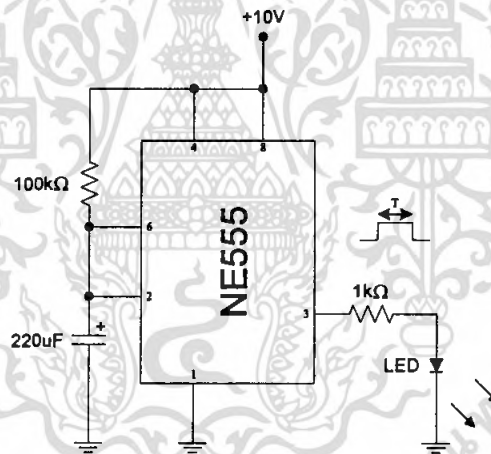
T_2 = ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "Low"

2. การใช้เป็นตัวผลิตความถี่ (Monostable Multivibrator) โมโนสเตเบิลเป็นวงจรที่เอาต์พุตเสถียรที่ระดับลอจิก '0' หรือ '1' เพียงสถานะเดียวเมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นจะเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุตไปเป็นสถานะที่ไม่เสถียรชั่วขณะนานเท่ากับช่วงเวลาที่กำหนดโดย RC วงจรพื้นฐานเป็นดังรูปที่ 2.39 โดยที่ช่วงเวลา T_1 จะกำหนดได้โดย $T = 0.693RC$



รูปที่ 2.39 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ใช้ IC 555 Ω

3. การสร้างสัญญาณ Single Shot โดยหลักการของการสร้างสัญญาณแบบ Single shot คือ วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์นั่นเอง เพียงแต่สร้างสัญญาณครั้งเดียวแล้วหยุด การหาค่าคาบเวลาทำได้เช่นเดียวกับวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์



รูปที่ 2.40 วงจร Single shot คาบเวลา T ของวงจรคือ $T = 0.693RC$

จากรูปที่ 2.41 การตรวจสอบสภาพการทำงานของวงจรมีสามารถทำได้โดย ทุกครั้งที่จ่ายไฟให้วงจร จะได้สัญญาณพัลส์ 1 ครั้งนานเท่ากับคาบเวลา T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

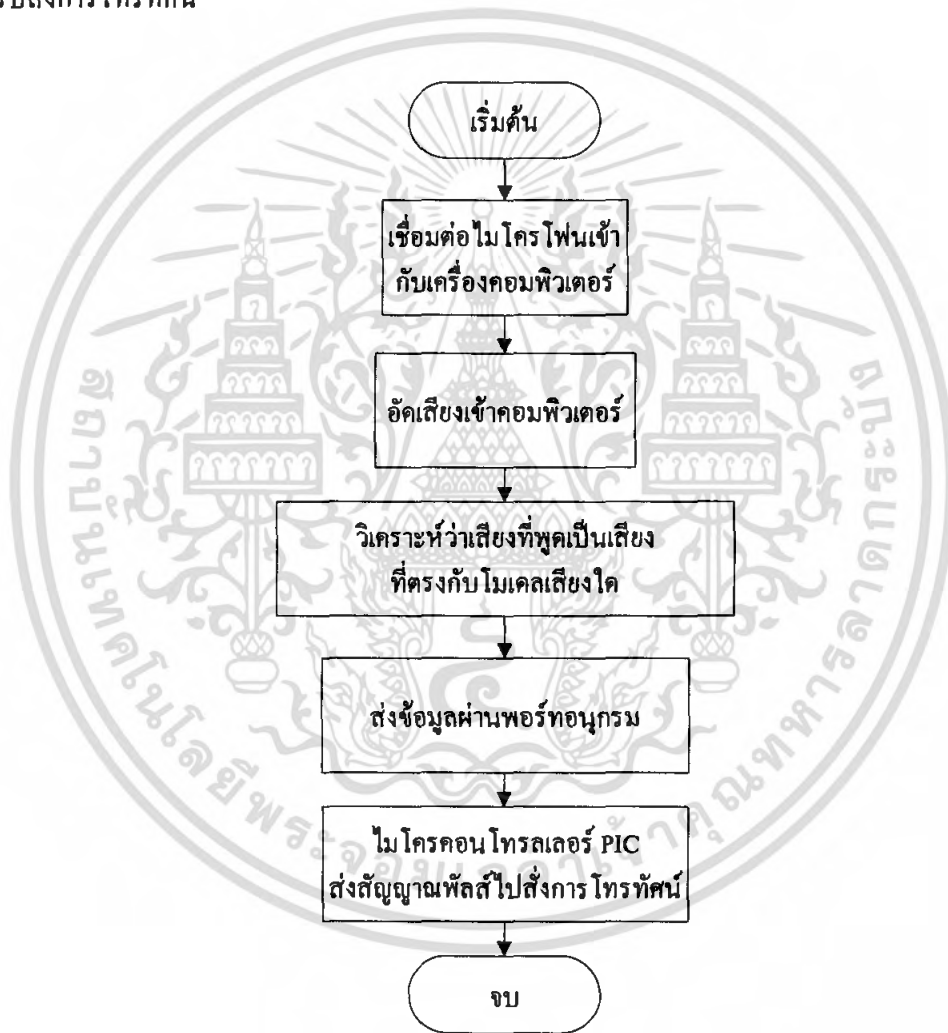
บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

3.1 องค์ประกอบหลักของรีโมทคอนโทรลโทรศัพท์คนสั่งการด้วยเสียงพูด

องค์ประกอบหลักของรีโมทคอนโทรลโทรศัพท์คนสั่งการด้วยเสียงพูดนั้นจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ด้านซอฟต์แวร์และด้านฮาร์ดแวร์ ด้านซอฟต์แวร์นั้นจะประกอบไปด้วย การสร้างโมเดลของเสียงที่ต้องการใช้ในการสั่งการและการวิเคราะห์ว่าเสียงที่สั่งการนั้นเป็นเสียงซึ่งตรงกับโมเดลใด

ส่วนของฮาร์ดแวร์จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณพัลส์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้สำหรับสั่งการโทรศัพท์



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 องค์ประกอบในส่วนซอฟต์แวร์



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเสียง

3.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเสียง จะประกอบด้วย

1. การหาลักษณะสำคัญของเสียง ให้อยู่ในค่าสเกลบาร์ก
2. การตัดสติใจจะทำหน้าที่วิเคราะห์หาว่าเสียงมีความคล้ายคลึงกับ โมเดลใดมากที่สุดจากนั้นจะส่งเป็นคำสั่งการออกไป



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาลักษณะสำคัญของเสียง

3.3 การหาลักษณะสำคัญของเสียง

การหาลักษณะสำคัญของเสียงเป็นกระบวนการที่นำเสียงที่ต้องการรู้จำมาหาค่าลักษณะเด่นของแต่ละเสียงซึ่งแตกต่างกันออกไป ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 การตัดเสียงที่ไม่ต้องการออก

เนื่องจากเสียงที่เราทำการพูดเพื่อที่จะส่งการรีโมทคอนโทรลในแต่ละครั้งจะประกอบไปด้วยส่วนที่เงียบและส่วนที่มีเสียงพูด ซึ่งในการรู้จำเสียงนั้นเราต้องการเฉพาะเสียงที่เป็นเสียงพูดเท่านั้นจึงได้มีการตัดเสียงในช่วงเวลาที่เงียบบางส่วนออก ซึ่งในการตัดเสียงที่ไม่ต้องการออกจะใช้การหาค่าพลังงานของเสียงพูดที่เข้ามา โดยการตัดเสียงจะตัดเสียงตำแหน่งแรกที่สัญญาณเสียงมากกว่า 3% ของกำลังงานสูงสุดไปจนถึงตัวสุดท้ายที่มีกำลังงานมากกว่า 3% ของกำลังงานสูงสุด เสียงที่ตัดจะถูกนำไปเก็บไว้เพื่อใช้ในการรู้จำ โดยค่า 3% ของกำลังงานสูงสุดนั้น ได้มาจากการทำการตัดเสียงที่กำลังงานต่างๆ แล้วทำการพิจารณาสัญญาณว่าสามารถที่จะนำไปใช้ในการรู้จำได้หรือไม่

3.3.2 กระบวนการพรีเอมฟาซิส

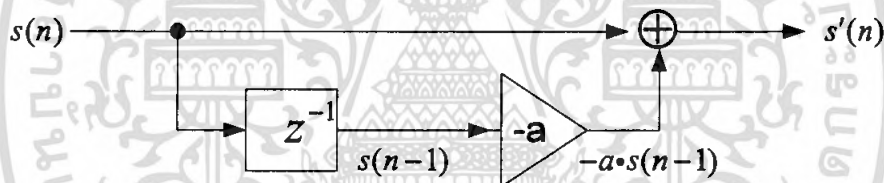
เนื่องจากสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์ จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่บริเวณความถี่ต่ำ เมื่อเทียบกับแถบความถี่ปฏิบัติงาน (Bandwidth) ไม่เกิน 5 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นเพื่อให้อัตราส่วนสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงความถี่ปฏิบัติงานนี้ เราจึงต้องมีการพรีเอมฟาซิส โดยเน้นความถี่สูงให้มีขนาดสูงขึ้น ดังนั้นการพรีเอมฟาซิสก็คือ การกรองสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ซึ่งมักนิยมใช้วงจรกรองอันดับหนึ่ง มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

$$H(z) = 1 - a \cdot z^{-1} \quad (0.9 < a < 1.0) \quad (3.1)$$

$$\text{จาก } H(z) = \frac{S'(z)}{S(z)}$$

$$\begin{aligned} \frac{S'(z)}{S(z)} &= 1 - a \cdot z^{-1} \\ S'(z) &= S(z) - a \cdot (S(z)) \\ s'(n) &= s(n) - a \cdot s(n-1) \end{aligned} \quad (3.2)$$

สัญญาณเสียงที่ผ่านการพรีเอมฟาซิสแล้วนั้นจากสมการที่ 3.2 สามารถนำไปวาดเป็นวงจร

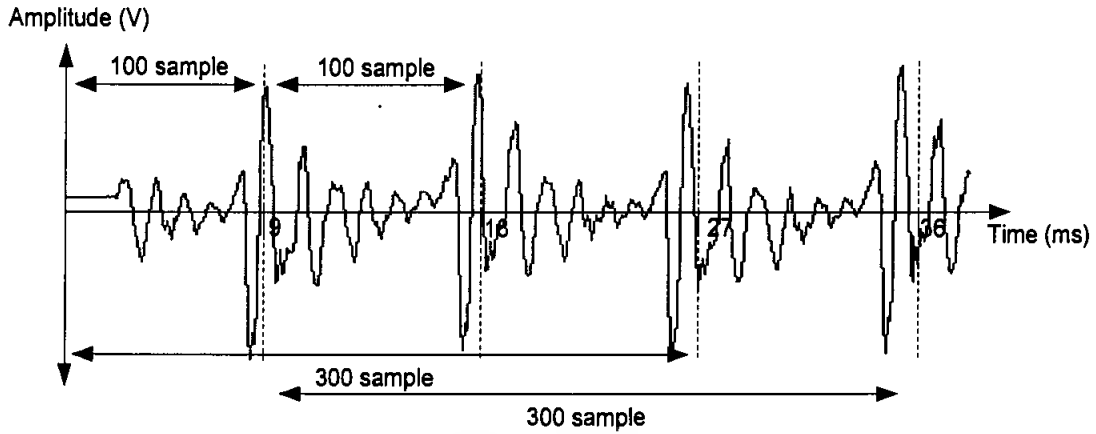


รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

โดยค่า a ที่นิยมใช้สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ LPC คือ $\frac{15}{16} = 0.9375$

3.3.3 การแบ่งช่วงของสัญญาณ

การแบ่งช่วงของสัญญาณจะทำการแบ่งเฟรมเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ในการสุ่มข้อมูลใช้ความถี่ในการสุ่มคือ 11.025 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาดของเฟรมคือ 300 ตัวอย่าง โดยในการวิเคราะห์แต่ละครั้งจะทำการเลื่อนเฟรมไปครั้งละ 100 ตัวอย่าง ช่วงเวลาของเฟรมที่ทำการวิเคราะห์ คือ 27.21 มิลลิวินาทีและช่วงเวลาในการเลื่อนเฟรมเพื่อทำการวิเคราะห์คือ 9.07 มิลลิวินาที ดังแสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 การแบ่งช่วงของสัญญาณเสียงในแต่ละช่วงเพื่อทำการวิเคราะห์

3.3.4 การคูณด้วยฟังก์ชันแฮมมิงวินโดว์

เมื่อเราทำการพิจารณาสัญญาณที่ผ่านการแบ่งช่วงของสัญญาณ ถ้ามองในโดเมนความถี่ ก็จะมี ความถี่สูงเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะลดองค์ประกอบทางความถี่ที่สูงเหล่านี้ เราจะคูณด้วยฟังก์ชันวินโดว์ เพื่อ ลดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณที่ขอบและไม่ทำให้สเปกตรัมของสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำเปลี่ยนแปลงไป มากนัก ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวินโดว์แฮมมิง ซึ่งนิยามโดยสมการดังนี้ คือ

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n / (N-1)) \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.3)$$

3.3.5 การหาค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น

สมมติว่าสัญญาณเดิมเป็น $s(n)$ เราจะสามารถประมาณค่าของสัญญาณ $s'(n)$ โดยอธิบายได้จาก สมการการประมาณเชิงเส้นด้วยสมการต่อไปนี้

$$s'(n) = \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k) \quad (3.4)$$

เมื่อค่า α_k เป็นค่าคงที่ เรียกวิธีการนี้ว่า การประเมินเชิงเส้น อันดับที่ p โดยมีเงื่อนไขว่า ค่า α_k ที่ใช้ในการประมาณค่า ต้องมีค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดนั่นคือ

$\sum e^2(n) = \sum \{s(n) - s'(n)\}^2$ จะมีค่าต่ำที่สุดและจากสมการการหาค่าอัตโนมัติสัมพันธ์

$$R_n(k) = \sum_{m=0}^{N-1-k} s_n(m) s_n(m+k) \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราสัมพันธ์กับค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น

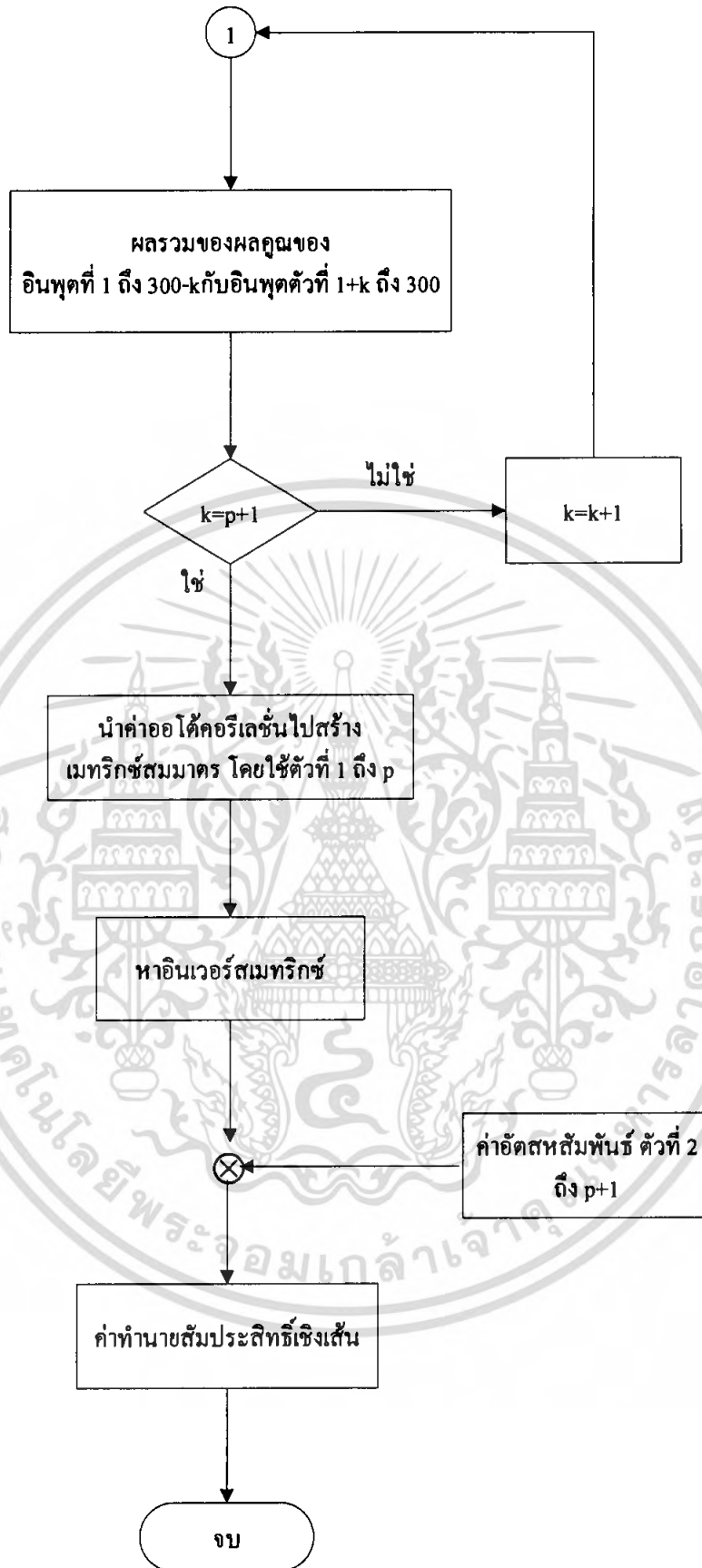
$$\begin{bmatrix} R_n(0) & R_n(1) & \cdots & R_n(p-1) \\ R_n(1) & R_n(2) & \cdots & R_n(p-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_n(p-1) & R_n(p-2) & \cdots & R_n(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_n(1) \\ R_n(2) \\ \vdots \\ R_n(p) \end{bmatrix}$$

$$\therefore \alpha = R_n^{-1} \cdot r_n \quad \text{โดยที่} \quad r_n = \begin{bmatrix} R_n(1) \\ R_n(2) \\ \vdots \\ R_n(p) \end{bmatrix}$$



รูปที่ 3.6 โฟลว์ชาร์ต การเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าอัตราสัมพันธ์และค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 โฟลว์ชาร์ต การเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าอีตสหสัมพันธ์และค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (ต่อ)

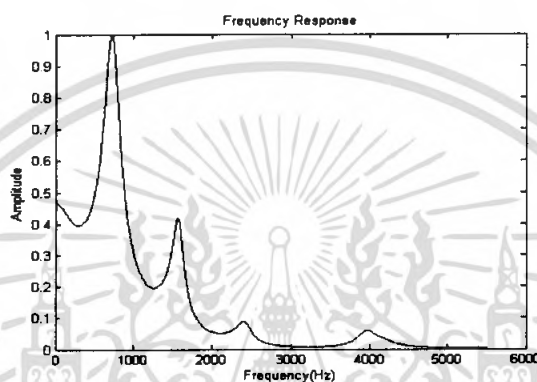
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การหาค่าสเกลบาร์ก

จากการหาทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณจะนำไปสร้างเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน โดยใช้สมการ

$$H(z) = \frac{S(z)}{GU(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}}$$

จากฟังก์ชันถ่ายโอน สามารถที่จะนำไปหาผลตอบสนองทางความถี่ได้ดังรูปที่ 3.8



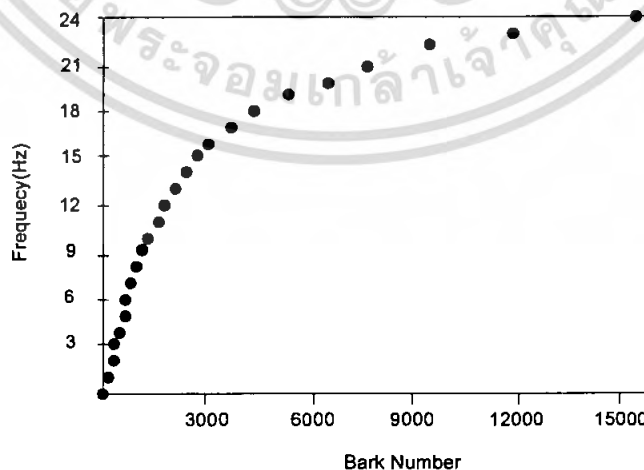
รูปที่ 3.8 ผลตอบสนองทางความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอน

โดยผลตอบสนองทางความถี่ปกตินั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์กับสเกลบาร์กได้จากสมการ

$$B = 13 \arctan(0.76 f / kHz) + 3.5 \arctan(f / 7.5 kHz)^2 \tag{3.6}$$

จากนั้นทำการหาค่าความเข้มของสัญญาณเสียงในแต่ละย่านความถี่ โดยความเข้มของสัญญาณเสียงสามารถที่จะหาได้จาก

$$I_B(f) = \int_{B-0.5 \text{Bark}}^{B+0.5 \text{Bark}} \frac{dI}{dB} dB$$



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองทางความถี่กับความเข้มของสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 ถ้าผลตอบสนองทางความถี่อยู่ในย่านความถี่ที่สูงมากขึ้น ลำดับของค่าบารกสเกลก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยเสียงของมนุษย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในย่านความถี่ 0 ถึง 4 กิโลเฮิร์ต ดังนั้นจะใช้ค่าของสเกลบารก 18 ลำดับ

3.4 การตัดสินใจ

เป็นการนำลักษณะสำคัญของเสียงที่รับเข้ามาไปทำการตัดสินใจว่าเป็นเสียงใด โดยในการตัดสินใจจะอาศัยแบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟ

3.4.1 การสร้างแบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟ

3.4.1.1 การสร้างแบบจำลองเสียง

3.4.1.1.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น

ทำการกำหนดค่า $a = 0.5$ และค่า $\pi = [100000]$ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขแบบจำลอง Left-Right เปลี่ยนแปลงสเทตได้ไม่เกิน 1 สเทต



รูปที่ 3.10 แบบจำลอง Left-Right

3.4.1.1.2 การหาค่าการกระจายของความน่าจะเป็น

เป็นการนำลักษณะสำคัญของเสียงที่อยู่ในรูปของ Bark Scale มาทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 6 สเทต โดยจะแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจะทำการสมมติว่าอินพุตที่เข้ามามีจำนวนเฟรมทั้งหมด 12 เฟรม แต่ละเฟรมจะประกอบไปด้วยลักษณะสำคัญ 18 ค่า

Bark scale

1	B(1,1)	B(1,2)	B(1,3)	B(1,4)	B(1,5)	B(1,6)	B(1,7)	B(1,8)	B(1,9)	B(1,10)	B(1,11)	B(1,12)
2	B(2,1)	B(2,2)	B(2,3)	B(2,4)	B(2,5)	B(2,6)	B(2,7)	B(2,8)	B(2,9)	B(2,10)	B(2,11)	B(2,12)
3	B(3,1)	B(3,2)	B(3,3)	B(3,4)	B(3,5)	B(3,6)	B(3,7)	B(3,8)	B(3,9)	B(3,10)	B(3,11)	B(3,12)
4	B(4,1)	B(4,2)	B(4,3)	B(4,4)	B(4,5)	B(4,6)	B(4,7)	B(4,8)	B(4,9)	B(4,10)	B(4,11)	B(4,12)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
18	B(18,1)	B(18,2)	B(18,3)	B(18,4)	B(18,5)	B(18,6)	B(18,7)	B(18,8)	B(18,9)	B(18,10)	B(18,11)	B(18,12)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	state 1		state 2		state 3		state 4		state 5		state 6	

รูปที่ 3.11 การแบ่งข้อมูลออกเป็น 6 ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.1.3 การนำข้อมูลในแต่ละสเตตมาทำการหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนในแต่ละสเกลบาร์ก

$$\mu_{11} = \frac{B(1,1) + B(1,2)}{2}, \quad \mu_{12} = \frac{B(1,3) + B(1,4)}{2}$$

Bark scale

1	$\mu_{1,1}$	$\mu_{1,2}$	$\mu_{1,3}$	$\mu_{1,4}$	$\mu_{1,5}$	$\mu_{1,6}$
2	$\mu_{2,1}$	$\mu_{2,2}$	$\mu_{2,3}$	$\mu_{2,4}$	$\mu_{2,5}$	$\mu_{2,6}$
3	$\mu_{3,1}$	$\mu_{3,2}$	$\mu_{3,3}$	$\mu_{3,4}$	$\mu_{3,5}$	$\mu_{3,6}$
4	$\mu_{4,1}$	$\mu_{4,2}$	$\mu_{4,3}$	$\mu_{4,4}$	$\mu_{4,5}$	$\mu_{4,6}$
⋮	●	●	●	●	●	●
⋮	●	●	●	●	●	●
⋮	●	●	●	●	●	●
18	$\mu_{18,1}$	$\mu_{18,2}$	$\mu_{18,3}$	$\mu_{18,4}$	$\mu_{18,5}$	$\mu_{18,6}$
	1	2	3	4	5	6 state

รูปที่ 3.12 การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละสเตต

$$\sigma_{11}^2 = \left[\frac{B(1,1)^2 + B(1,2)^2}{2} - \left(\frac{B(1,1) + B(1,2)}{2} \right)^2 \right]$$

$$\sigma_{12}^2 = \left[\frac{B(1,3)^2 + B(1,4)^2}{2} - \left(\frac{B(1,3) + B(1,4)}{2} \right)^2 \right]$$

Bark scale

1	σ_{11}^2	σ_{12}^2	σ_{13}^2	σ_{14}^2	σ_{15}^2	σ_{16}^2
2	σ_{21}^2	σ_{22}^2	σ_{23}^2	σ_{24}^2	σ_{25}^2	σ_{26}^2
3	σ_{31}^2	σ_{32}^2	σ_{33}^2	σ_{34}^2	σ_{35}^2	σ_{36}^2
4	σ_{41}^2	σ_{42}^2	σ_{43}^2	σ_{44}^2	σ_{45}^2	σ_{46}^2
⋮	●	●	●	●	●	●
⋮	●	●	●	●	●	●
⋮	●	●	●	●	●	●
18	$\sigma_{18,1}^2$	$\sigma_{18,2}^2$	$\sigma_{18,3}^2$	$\sigma_{18,4}^2$	$\sigma_{18,5}^2$	$\sigma_{18,6}^2$
	1	2	3	4	5	6 state

รูปที่ 3.13 การหาค่าความแปรปรวนในแต่ละสเตต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.1.4 การหาค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, *pdf*) โดยใช้การแจกแจงข้อมูลแบบปกติ ซึ่งมีสมการคือ

$$pdf = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

นำข้อมูลที่ได้จากการหาลักษณะสำคัญทั้งหมดมาทำการหาการกระจายของข้อมูลในแต่ละสแตต

$$d_{1,1} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{18} \times \left(\prod_{i=1}^{18} \sigma_{i1}^2\right)}} \times e^{\left(-\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{18} \left(\frac{(b_{j,1}-\mu_{j1})^2}{\sigma_{j1}^2}\right)\right)}$$

$$d_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{18} \times \left(\prod_{i=1}^{18} \sigma_{i2}^2\right)}} \times e^{\left(-\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{18} \left(\frac{(b_{j,2}-\mu_{j2})^2}{\sigma_{j2}^2}\right)\right)}$$

$$d_{2,1} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{18} \times \left(\prod_{i=1}^{18} \sigma_{i2}^2\right)}} \times e^{\left(-\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{18} \left(\frac{(b_{j,1}-\mu_{j,2})^2}{\sigma_{j,2}^2}\right)\right)}$$

$$d_{2,2} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{18} \times \left(\prod_{i=1}^{18} \sigma_{i2}^2\right)}} \times e^{\left(-\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{18} \left(\frac{(b_{j,2}-\mu_{j,2})^2}{\sigma_{j,2}^2}\right)\right)}$$

state

1	$d_{1,1}$	$d_{1,2}$	$d_{1,3}$	$d_{1,4}$	$d_{1,5}$	$d_{1,6}$	$d_{1,7}$	$d_{1,8}$	$d_{1,9}$	$d_{1,10}$	$d_{1,11}$	$d_{1,12}$
2	$d_{2,1}$	$d_{2,2}$	$d_{2,3}$	$d_{2,4}$	$d_{2,5}$	$d_{2,6}$	$d_{2,7}$	$d_{2,8}$	$d_{2,9}$	$d_{2,10}$	$d_{2,11}$	$d_{2,12}$
3	$d_{3,1}$	$d_{3,2}$	$d_{3,3}$	$d_{3,4}$	$d_{3,5}$	$d_{3,6}$	$d_{3,7}$	$d_{3,8}$	$d_{3,9}$	$d_{3,10}$	$d_{3,11}$	$d_{3,12}$
4	$d_{4,1}$	$d_{4,2}$	$d_{4,3}$	$d_{4,4}$	$d_{4,5}$	$d_{4,6}$	$d_{4,7}$	$d_{4,8}$	$d_{4,9}$	$d_{4,10}$	$d_{4,11}$	$d_{4,12}$
5	$d_{5,1}$	$d_{5,2}$	$d_{5,3}$	$d_{5,4}$	$d_{5,5}$	$d_{5,6}$	$d_{5,7}$	$d_{5,8}$	$d_{5,9}$	$d_{5,10}$	$d_{5,11}$	$d_{5,12}$
6	$d_{6,1}$	$d_{6,2}$	$d_{6,3}$	$d_{6,4}$	$d_{6,5}$	$d_{6,6}$	$d_{6,7}$	$d_{6,8}$	$d_{6,9}$	$d_{6,10}$	$d_{6,11}$	$d_{6,12}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

frame

รูปที่ 3.14 การกระจายของข้อมูลในแต่ละสแตต

3.4.1.1.5 การหาพารามิเตอร์ α , β สามารถหาได้จากค่าพารามิเตอร์ a,b โดยพิจารณาจากค่าลำดับปรากฏต่างๆ $O = \{o_1, o_2, \dots, o_7\}$ ซึ่งเรียกว่าลำดับทรนนิ่ง ตามวิธีการของ Forward และ Backward Procedure โดยใช้ลำดับปรากฏหลายๆ ค่าเข้ามาทำการทรนนิ่งเพื่อที่จะได้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

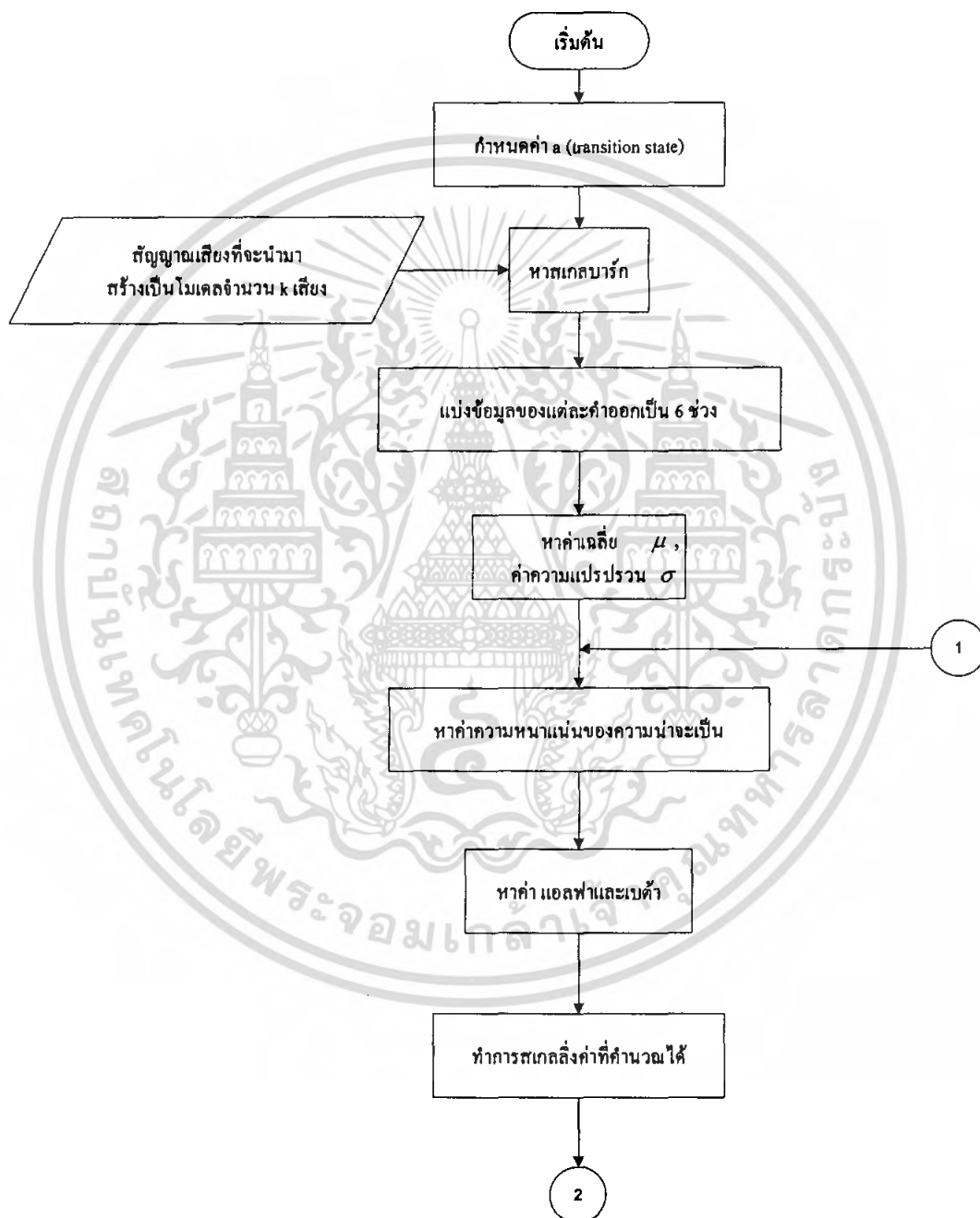
สมการของ Forward Procedure คือ $\alpha_{t+1}(j) = \left[\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.1.7 การหาค่าพารามิเตอร์ a, b, π ที่ให้ความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะเป็นแบบจำลอง λ ที่เหมาะสมของเสียง

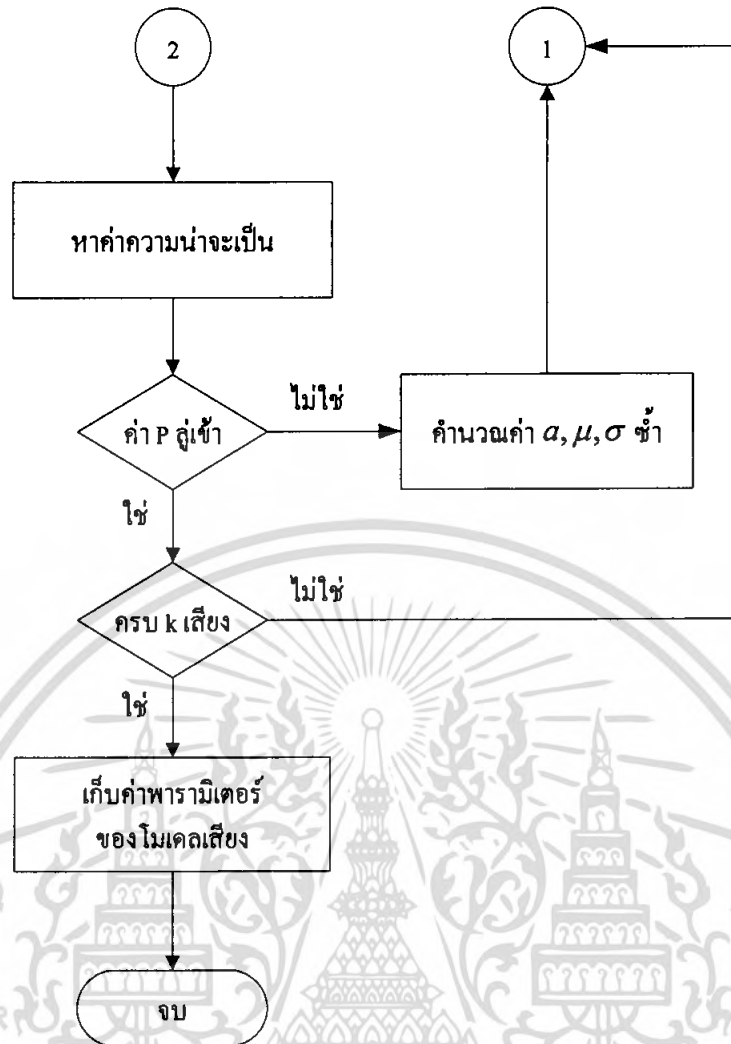
3.4.1.1.8 การตรวจสอบค่าความน่าจะเป็นของโมเดล โดยใช้วิธีการคำนวณค่า a, b ซ้ำจนกระทั่งค่าความน่าจะเป็นของโมเดลมีการลู่เข้า โดยระดับของการลู่เข้าที่ตั้งไว้ในที่นี้คือ มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.01 จำนวน 2 ครั้ง

3.4.1.1.9 การเก็บค่าพารามิเตอร์ a, b, π ที่ได้จากในขั้นที่ 6 เป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองใหม่



รูปที่ 3.17 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมสร้างโมเดลเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมสร้างโมเดลเสียง(ต่อ)

3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบข้อมูล

เมื่อได้แบบจำลองของเสียงที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการรู้จำแล้ว เมื่อมีเสียงที่ไม่ทราบว่าเป็นเสียงใดเข้ามาทดสอบการรู้จำเสียงพูดโดยผ่านไมโครโฟน โปรแกรมจะทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นของลำดับค่าปรากฏที่เกิดขึ้นและหาค่าความเหมือนในแต่ละโมเดลโดยใช้วิธีการอัลกอริทึมวิเทอบี เพื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของโมเดล จากนั้นจะทำการเลือกค่าที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดและทำการส่งค่าของค่าส่งที่เราต้องการออกไปทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้จะเป็นลอจิก 0 ซึ่งมีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นบวกและลอจิก 1 ซึ่งมีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นลบ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าสู่วงจรแปลงระดับแรงดันให้กลายเป็น 0 โวลต์ ถึง +5 โวลต์

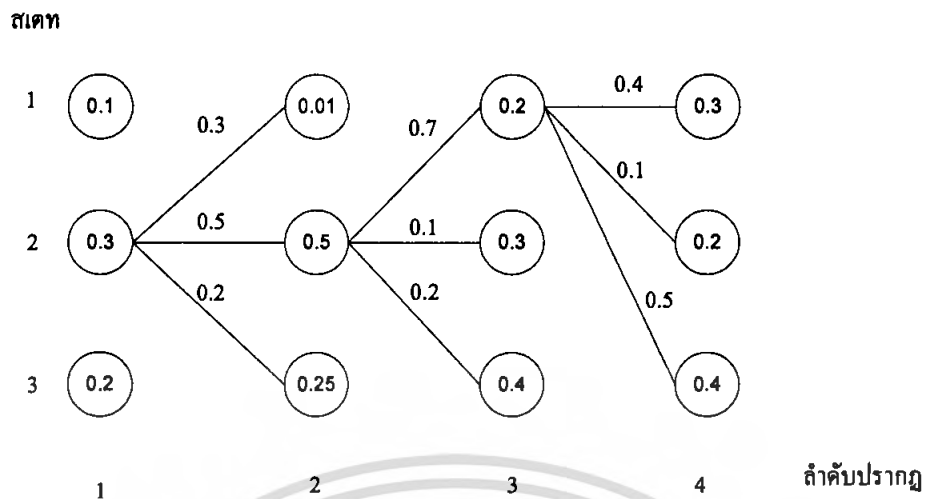
3.4.2.1 ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมวิเทอบี

$$\text{จากสมการ } \delta_t(i) = \max_{q_1, q_2, \dots, q_{t-1}} P[q_1 q_2 \dots q_{t-1}, q_t = i, O_1 O_2 \dots O_t | \lambda]$$

ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นสูงสุดของเส้นทางที่เกิดขึ้นในแต่ละลำดับปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง



รูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมวิเทอบี

จากรูปที่ 3.19 ในแต่ละสเตตของแต่ละลำดับปรากฏจะประกอบด้วยค่าความน่าจะเป็นของความน่าจะเป็น โดยแต่ละลำดับปรากฏจะเชื่อมโยงกันด้วยการเปลี่ยนแปลงสเตต ในการหาค่าความน่าจะเป็นของโมเดล (Model Likelihood) สามารถทำได้โดย

ลำดับปรากฏที่ 1

เริ่มต้นจากสเตตที่ 2 เพราะมีความน่าจะเป็นสูงสุด

ลำดับปรากฏที่ 2

$$P[q_2=1] = (0.3)(0.3)(0.01) = 0.0009, P[q_2=2] = (0.3)(0.5)(0.5) = 0.075$$

$$P[q_2=3] = (0.3)(0.2)(0.25) = 0.015$$

ลำดับปรากฏที่ 3

$$P[q_3=1] = (0.075)(0.7)(0.2) = 0.0105, P[q_3=2] = (0.075)(0.1)(0.3) = 0.0025$$

$$P[q_3=3] = (0.075)(0.2)(0.4) = 0.006$$

ลำดับปรากฏที่ 4

$$P[q_4=1] = (0.0105)(0.4)(0.3) = 0.00126, P[q_4=2] = (0.0105)(0.1)(0.2) = 0.00021$$

$$P[q_4=3] = (0.0105)(0.5)(0.4) = 0.0021$$

ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นสูงสุดของเส้นทางหรือค่าความน่าจะเป็นของโมเดลคือ 0.0021

โดยในการคำนวณสามารถใช้ลิสต์การทิมมาช่วยในการคำนวณได้คือ

$$1) \tilde{a}_{ij} = \log(a_{ij})$$

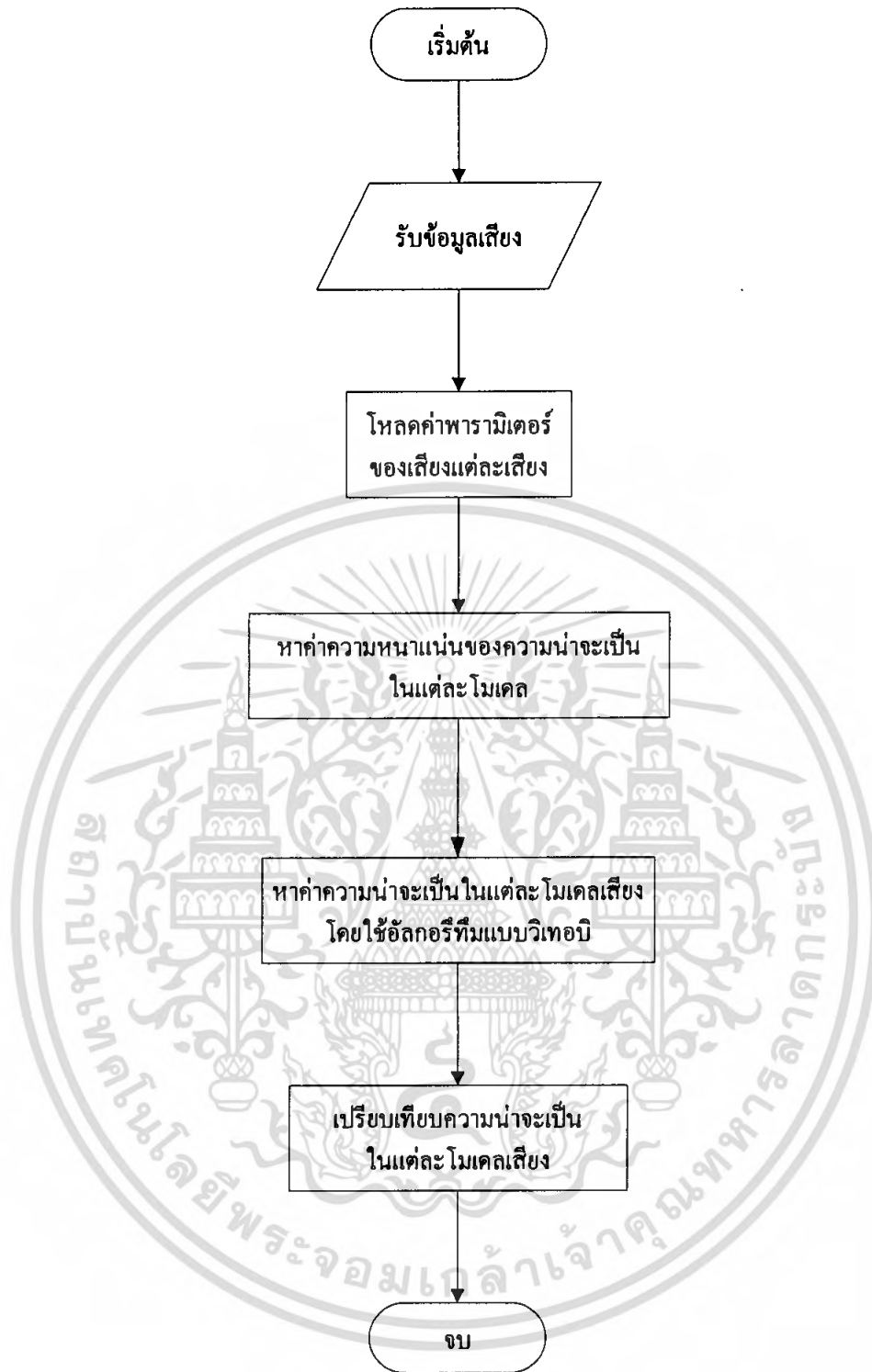
$$2) \tilde{b}_j(o_t) = \log[b_j(o_t)]$$

$$3) \tilde{\delta}_1(i) = \log(\delta_1(i)) = \log(\pi_i) + \tilde{b}_i(o_1)$$

$$4) \tilde{\delta}_t(j) = \log(\delta_t(j)) = \max_{1 \leq i \leq N} [\tilde{\delta}_{t-1}(i) + \tilde{a}_{ij}] + \tilde{b}_j(o_t)$$

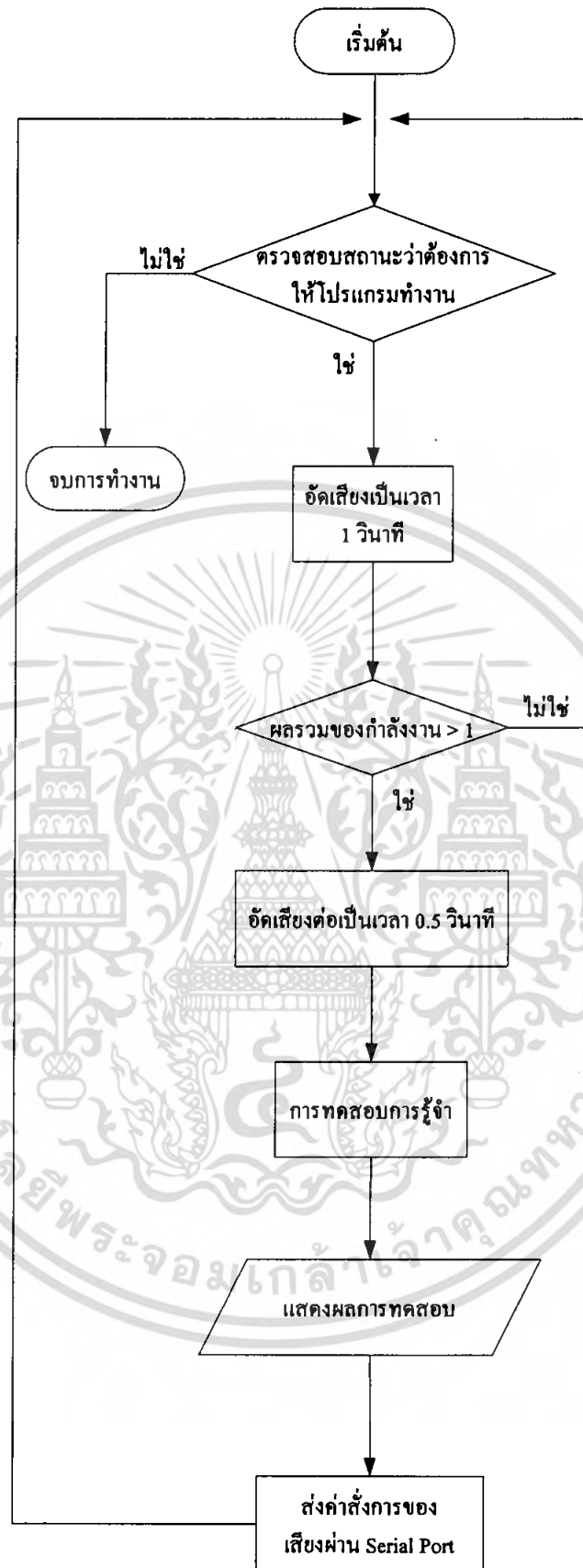
ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าลิสต์การทิมของความน่าจะเป็นของโมเดล (Model Log-Likelihood)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 โฟลว์ชาร์ตของการวิเคราะห์และรู้จำเสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



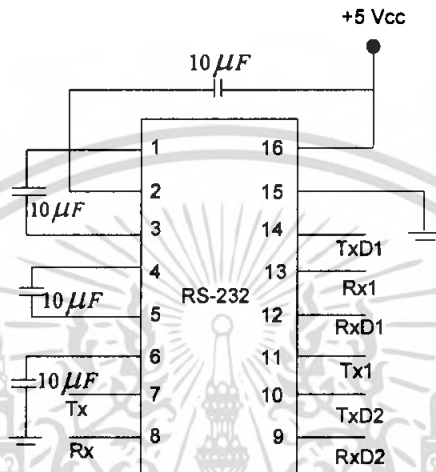
รูปที่ 3.21 แผนผังการทำงานของโปรแกรมรู้จำเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 องค์ประกอบในส่วนฮาร์ดแวร์

3.5.1 หลักการทำงานของวงจรแปลงแรงดัน

จากวงจรจะใช้ C ต่อที่ระหว่างขา 1 กับ 3 , ขา 4 กับ 5 , ขา 2 กับ 16 และขา 6 กับ 15 เป็นตัวกำหนดระดับแรงดันที่ใช้ในการเชื่อมต่อ โดยขา R11 และ R10 จะเป็นขาที่รับระดับแรงดัน -15 โวลต์ ถึง +15 โวลต์และแปลงออกเป็นแรงดัน 0 โวลต์และ +5 โวลต์ ตามลำดับ ออกที่ขา R10 และ R20 ส่วนขา T10 และ T11 จะรับแรงดันที่เป็น 0 โวลต์และ +5 โวลต์ ตามลำดับ แปลงเป็นระดับแรงดัน -10 โวลต์ +10 โวลต์ ออกที่ขา 7 และ 10



รูปที่ 3.22 วงจรแปลงระดับแรงดัน

3.5.2 การออกแบบวงจรรีโมทคอนโทรล

ในโครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 เป็นตัวสร้างพัลส์ของรีโมท ดังนี้



รูปที่ 3.23 วงจรควบคุมการส่งพัลส์

ขา 5 เป็นขากราวด์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ขา 14 เป็นขาไฟเลี้ยง +5 โวลต์

ขา 15 และ 16 ต่อกับคริสตัลความถี่ 4 MHz เพื่อเป็นฐานเวลาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC โดยอาศัยความถี่ของคริสตัลเป็นตัวกำหนดฐานเวลา

หลังจากนั้นนำเอาท่วงทำนองที่เป็นสัญญาณพัลส์ที่ได้ มาต่อเข้ากับวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำเอาที่พูดที่เป็นสัญญาณพัลส์ที่ได้ มาต่อเข้ากับวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรด

3.5.3 การออกแบบวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรด

วงจรส่งสัญญาณรีโมทคอนโทรลใช้ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์เพื่อเปิด-ปิดวงจร ทำให้ LED อินฟราเรดส่งสัญญาณอินฟราเรดออกมาตามค่าที่อ่านได้ ค่าสัญญาณที่อ่านได้จะเก็บไว้ใน RAM (ซึ่งสัญญาณถูกถอดคลื่นพาห์แล้ว) เมื่อนำมาสร้างใหม่ที่ส่วนวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรดรีโมทคอนโทรล ซึ่งความละเอียดของสัญญาณใหม่นี้อาจจะไม่เท่ากับสัญญาณต้นแบบ

การคำนวณ

จากสูตร

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(RA+2RB)C} \quad (3.1)$$

พิจารณาจากรูปวงจรของ Pulse Position Modulation

โดยโครงการนี้ต้องการความถี่ 40 kHz จึงมาคำนวณเพื่อหาค่า RA, RB และค่า C มีการคำนวณดังนี้

สมมติให้

ค่า RB มีค่า 2.2 kΩ

ค่า C มีค่า 4.7 nF

เพื่อหาค่า RA จากสูตร $f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(RA+2RB)C}$ แทนค่า RB, C ลงในสมการ (3.1)

$$40k = \frac{1.44}{RA+2(2.2k)4.7n}$$

$$(RA+4.4k) = \frac{1.44}{40k \times 4.7n}$$

$$RA+4.4k = \frac{1.44}{0.188m}$$

$$RA = 7.66k - 4.4k$$

$$RA \approx 3.26k$$

จะได้ RA ≈ 3.26 kΩ

เมื่อ RA มีค่าประมาณ 3.26 kΩ จึงเลือกใช้ค่า RA ดังนี้

เลือกค่า RA คงที่ 470 Ω และ RA ปรับค่า 5 kΩ ดังนั้นความถี่ที่ได้มีค่าเป็นช่วงที่ RA มีค่าเท่ากับ 470 Ω จะได้ความถี่เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

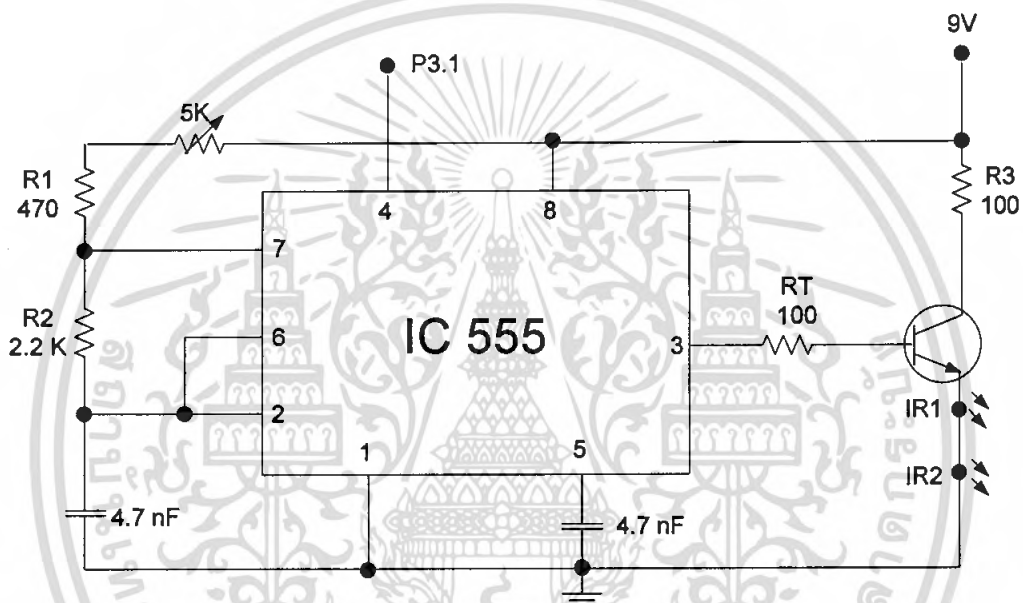
$$= 62.9 \text{ kHz}$$

ที่ RA มีค่าเท่ากับ $5,470 \Omega$ จะให้ความถี่เท่ากับ $= 62.9 \text{ kHz}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(5470 + 2(2.2k)4.7n)}$$

$$= 31 \text{ kHz}$$

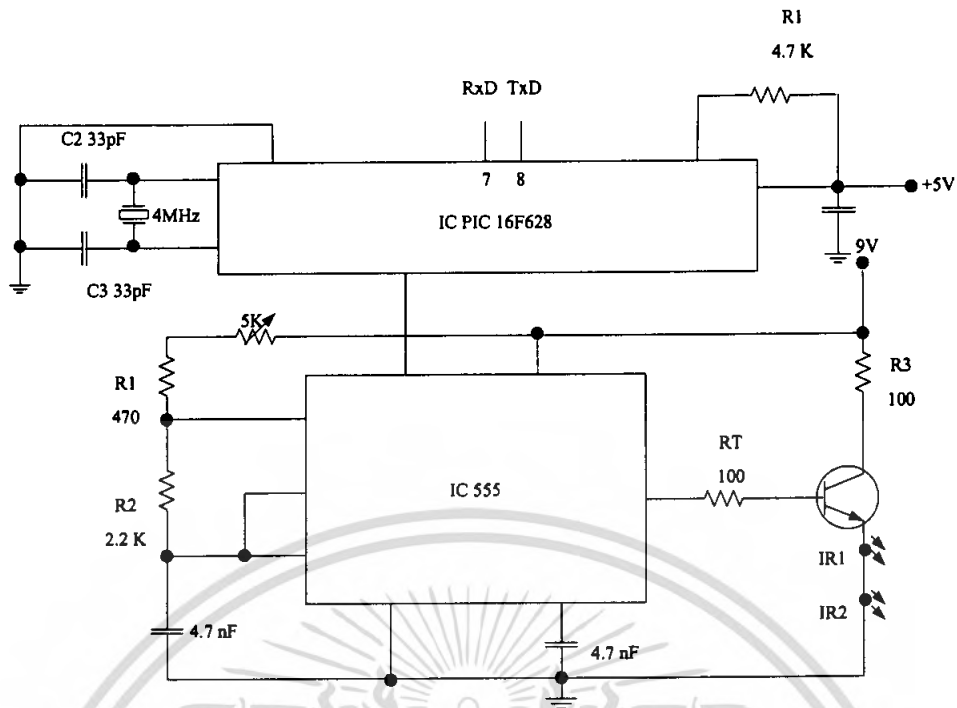
ดังนั้นความถี่ที่ได้ก็จะอยู่ในช่วง $31 - 62.9 \text{ kHz}$ นำค่า RA , RB และ C มาเขียนวงจรได้ดังรูปที่ 3.24



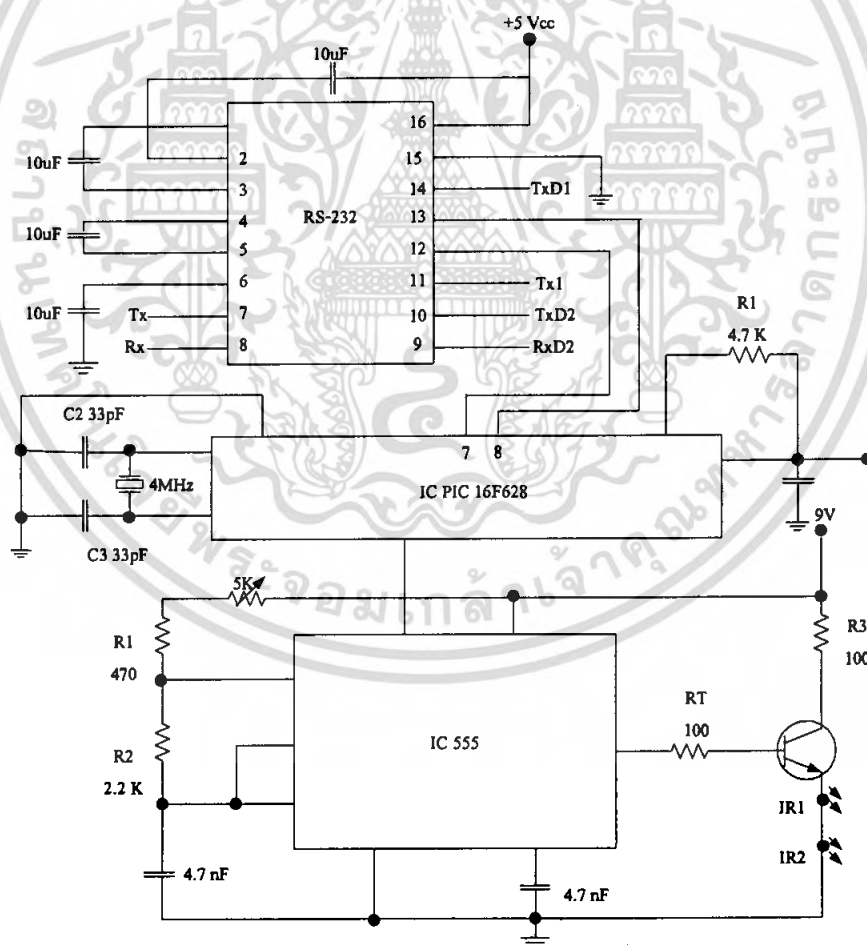
รูปที่ 3.24 วงจรควบคุมการส่งสัญญาณอินฟราเรด

หลังจากนั้นทำการต่อเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากการสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (ขา 10) เข้ากับอินพุตของวงจรควบคุมการส่งสัญญาณอินฟราเรด (ขา 4) โดยสัญญาณพัลส์ที่สร้างได้ จะถูกนำไปมอดูเลตที่ความถี่พาห์ 40 KHz แล้วถูกส่งออกไปโดยตัวส่งอินฟราเรด ดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 วงจรรีโมทคอนโทรล



รูปที่ 3.26 วงจรรวม

จากรูปที่ 3.26 แสดงวงจรที่ใช้สำหรับรับค่าจากคอมพิวเตอร์แล้วส่งพัลส์ออกไปยังเครื่องรับโทรทัศน์

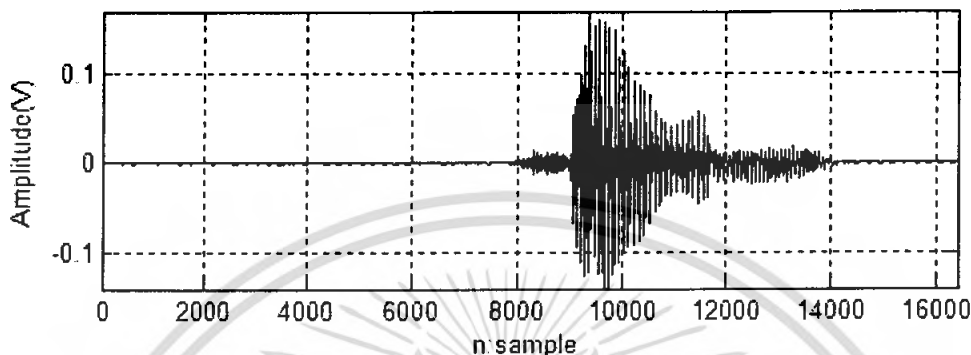
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

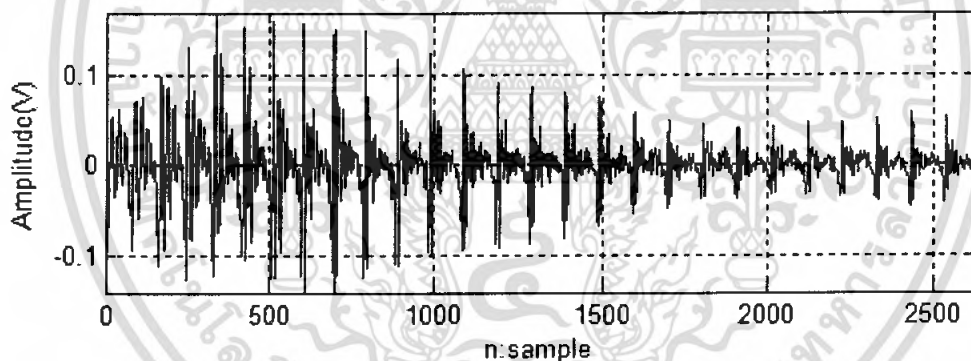
4.1 การทดลองหาค่าลักษณะสำคัญของเสียง

4.1.1 ผลการทดลองของโปรแกรมตัดเสียงในส่วนที่ไม่ต้องการออก



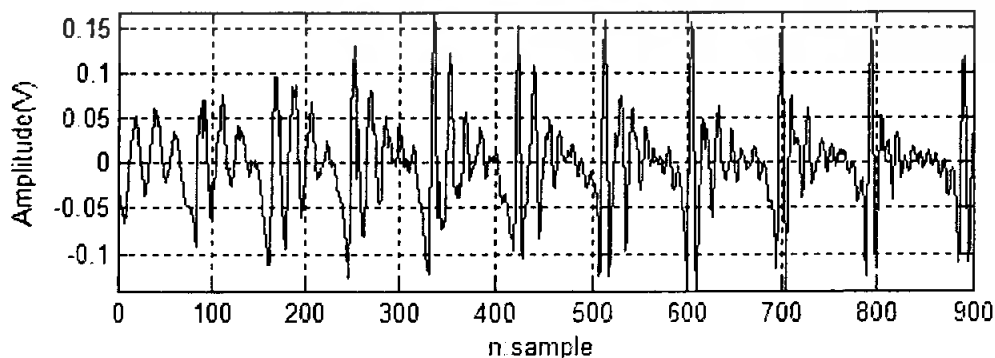
รูปที่ 4.1 สัญญาณเสียง “สาม”

จากรูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณเสียงที่รับเข้ามาผ่านทางไมโครโฟน โดยทำการแอมป์ลิงสัญญาณเสียงที่มีความถี่ 11.025 kHz แอมป์เปิดแต่ละตัวมีขนาด 16 บิต



รูปที่ 4.2 สัญญาณเสียง “สาม” ที่ผ่านการตัดเสียงในส่วนที่เจือบออก

จากรูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเสียงที่รับเข้ามาและผ่านโปรแกรมตัดเสียงในส่วนที่เจือบซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการออก

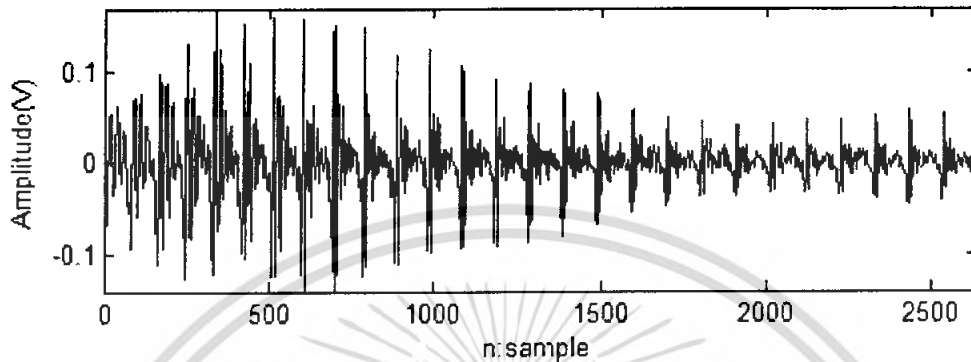


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเสียง “สาม” ในช่วง 900 แอมป์เปิดแรก

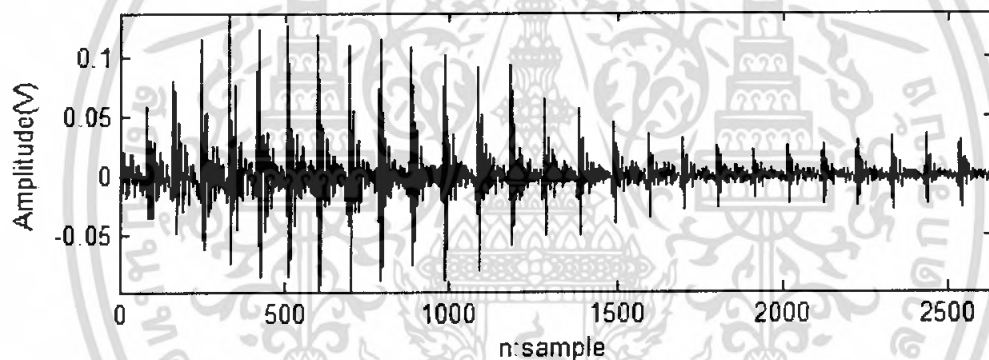
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเสียง 900 แซมเปิลแรกของเสียงที่รับเข้ามา ซึ่งเสียงจะถูกนำไปวิเคราะห์ครึ่งละหรือเฟรมละ 300 แซมเปิล โดยจะทำการเลื่อนเฟรมที่ทำการวิเคราะห์ครึ่งละ 100 แซมเปิล ตัวอย่างเช่นเฟรมที่หนึ่งใช้แซมเปิลตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 300 เฟรมที่สองใช้แซมเปิลตัวที่ 100 ถึงตัวที่ 400 เป็นต้น

4.1.2 ผลการทดลองเมื่อสัญญาณเสียงผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิส

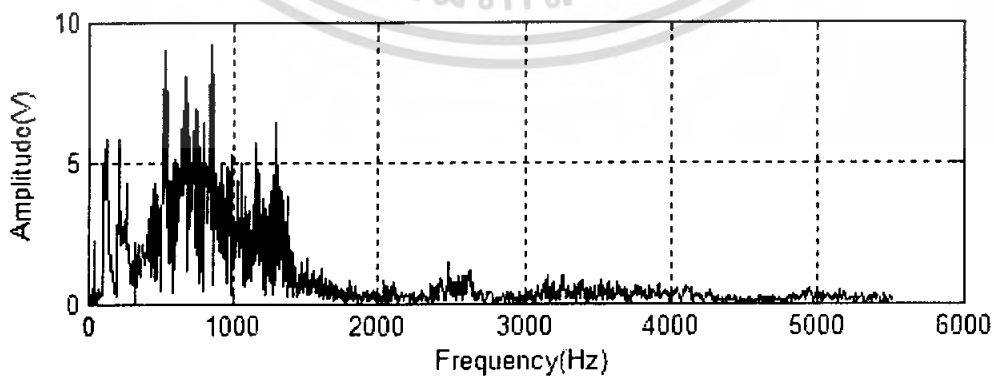


รูปที่ 4.4 สัญญาณเสียง “สาม” ก่อนผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิส



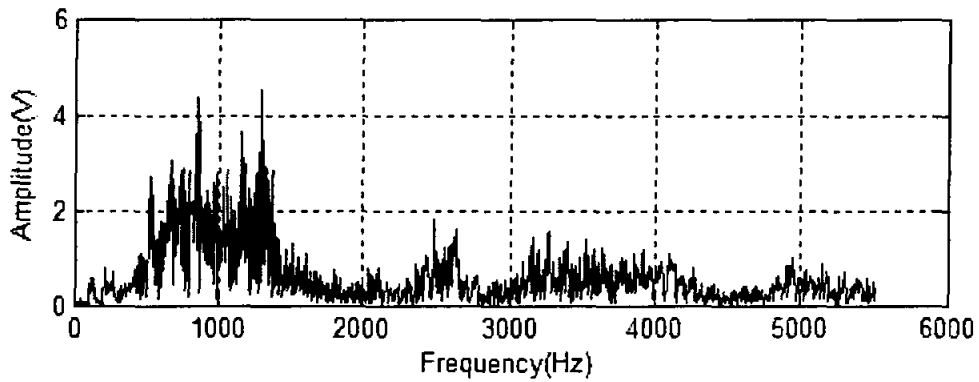
รูปที่ 4.5 สัญญาณเสียง “สาม” หลังผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิส

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของเสียงในเชิงเวลาเมื่อเสียงผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิส ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันไม่มากนัก



รูปที่ 4.6 สัญญาณเสียง “สาม” ก่อนผ่านกระบวนการพรีเอมฟาซิสในโดเมนความถี่

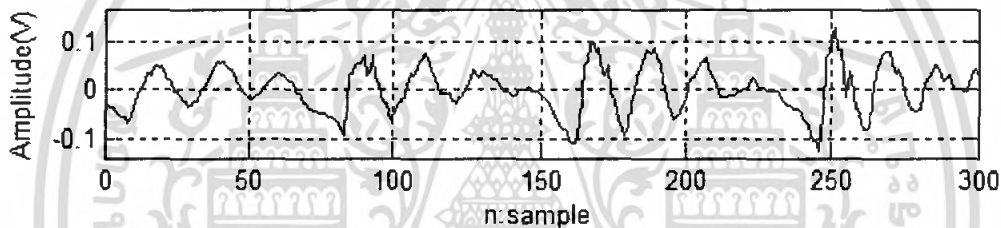
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



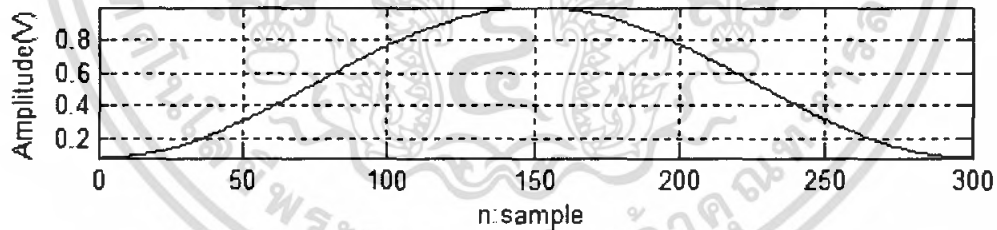
รูปที่ 4.7 สัญญาณเสียง “สาม” หลังผ่านกระบวนการฟูริเยร์ในโดเมนความถี่

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 เป็นการแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของเสียงในเชิงความถี่เมื่อเสียงผ่านกระบวนการฟูริเยร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อสัญญาณผ่านกระบวนการฟูริเยร์สัญญาณที่มีความถี่ต่ำจะมีจำนวนลดลง

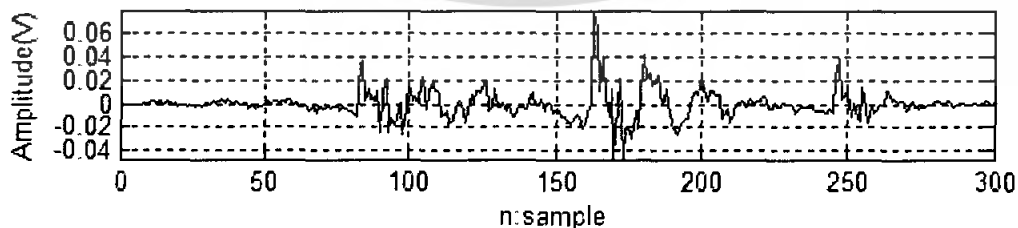
4.1.3 ผลการทดลองเมื่อสัญญาณเสียงผ่านกระบวนการคูณด้วยฟังก์ชันวินโดว์



รูปที่ 4.8 สัญญาณเสียง “สาม” เฟรมที่ 1



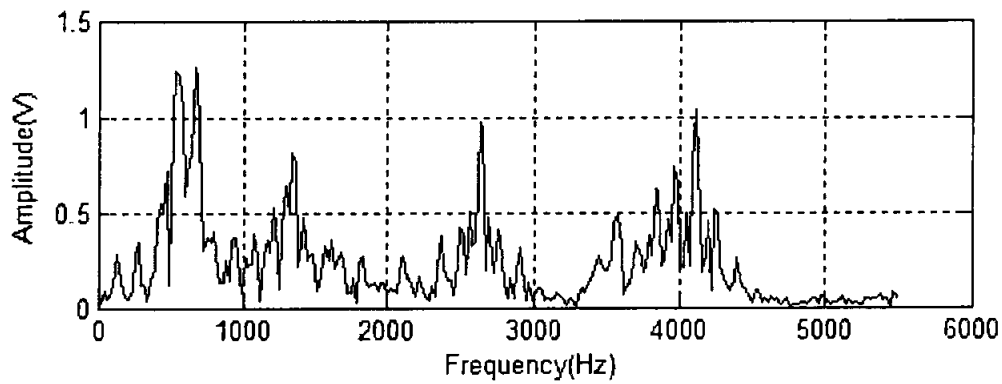
รูปที่ 4.9 สัญญาณของฟังก์ชันแฮมมิงวินโดว์



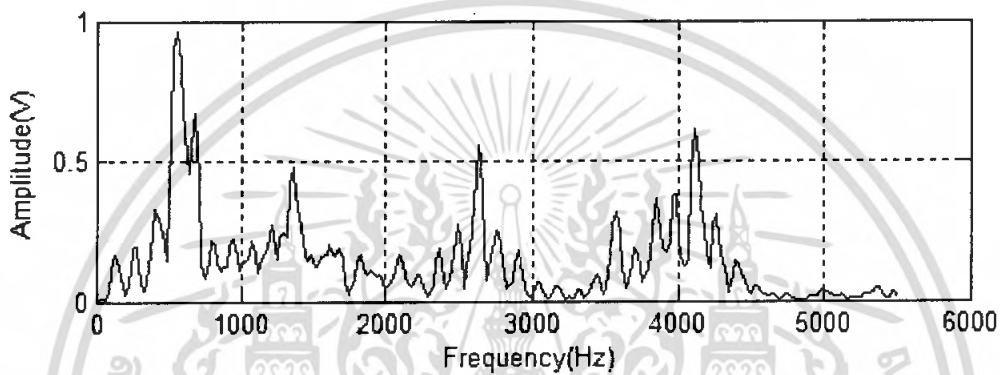
รูปที่ 4.10 สัญญาณเสียงที่ผ่านการคูณด้วยฟังก์ชันวินโดว์

จากรูปที่ 4.10 เป็นการนำฟังก์ชันแฮมมิงวินโดว์ในรูปที่ 4.8 ไปคูณกับรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



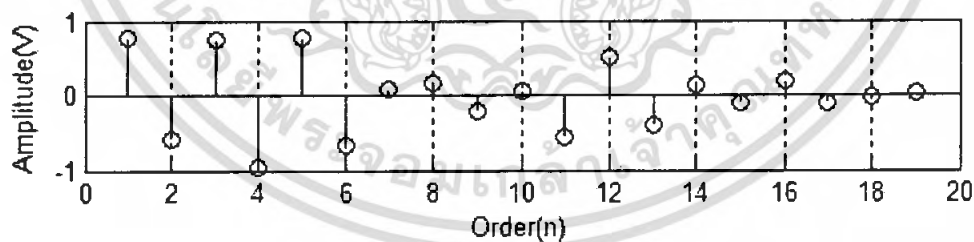
รูปที่ 4.11 สัญญาณเสียงก่อนผ่านการกรองด้วยฟังก์ชันวินโดว์ในโดเมนความถี่



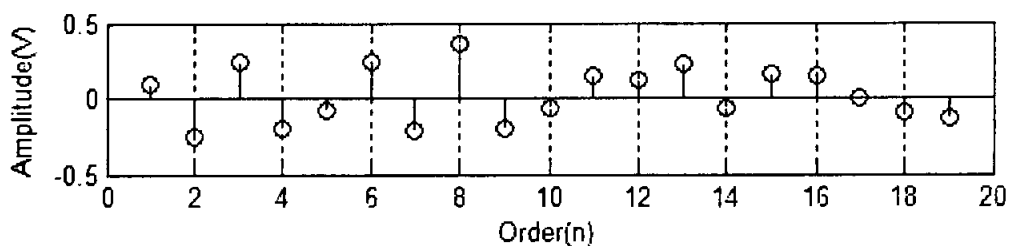
รูปที่ 4.12 สัญญาณเสียงหลังผ่านการกรองด้วยฟังก์ชันวินโดว์ในโดเมนความถี่

จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณในเชิงความถี่ ก่อนและหลังการกรองด้วยฟังก์ชันวินโดว์ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อกรองด้วยฟังก์ชันวินโดว์สัญญาณในเชิงความถี่จะมีความต่อเนื่องและราบเรียบมากยิ่งขึ้น

4.1.4 ผลการทดลองการหาค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง

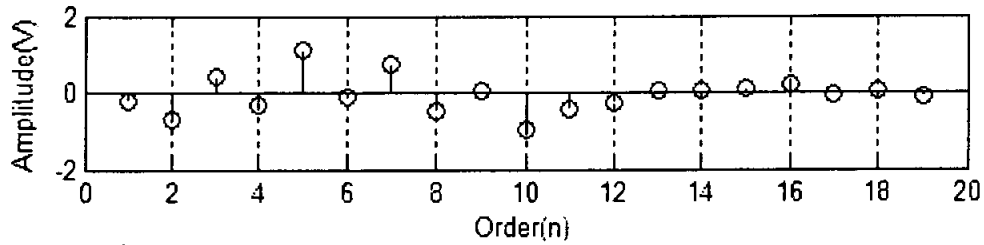


รูปที่ 4.13 (a) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “สาม” ในเฟรมที่หนึ่ง

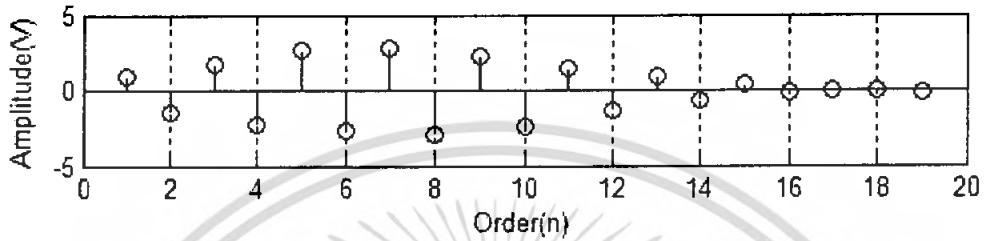


รูปที่ 4.13 (b) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ห้า” ในเฟรมที่หนึ่ง

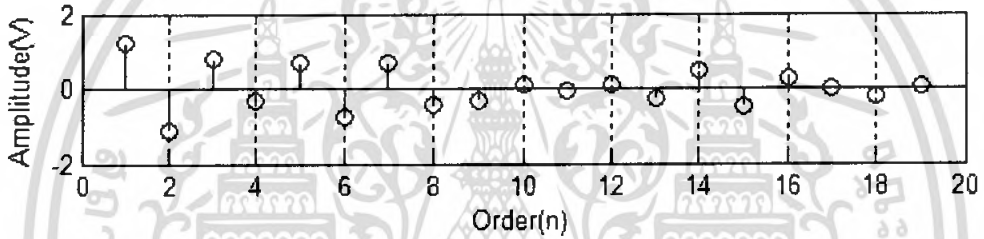
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



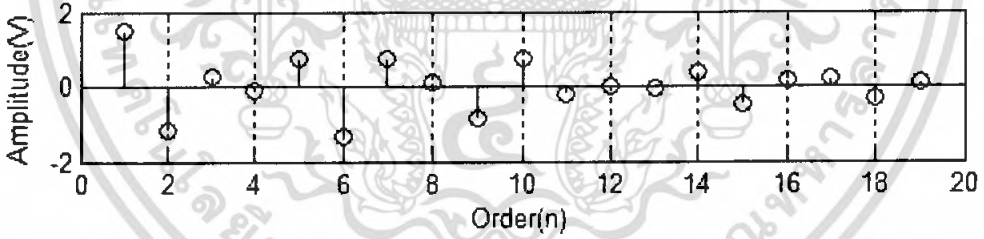
รูปที่ 4.13 (c) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เจ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง



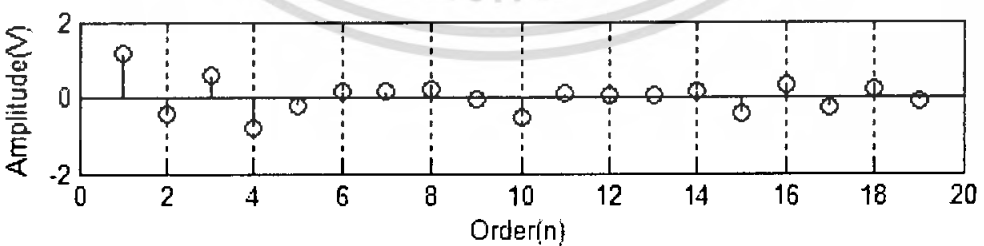
รูปที่ 4.13 (d) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เก้า” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.13 (e) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “สิบเอ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง

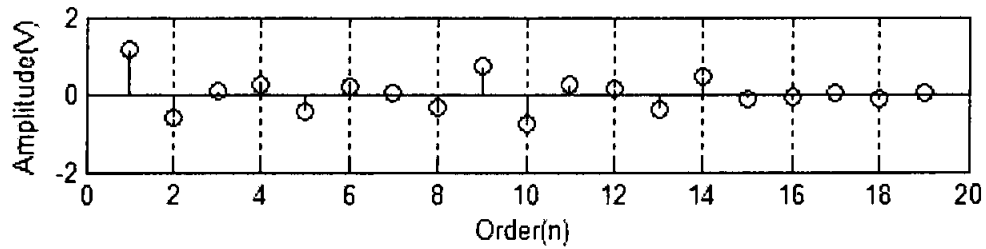


รูปที่ 4.13 (f) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ไอทีวี” ในเฟรมที่หนึ่ง

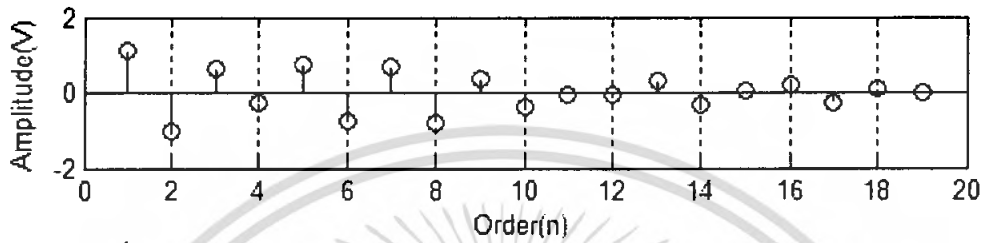


รูปที่ 4.13 (g) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ลดเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง

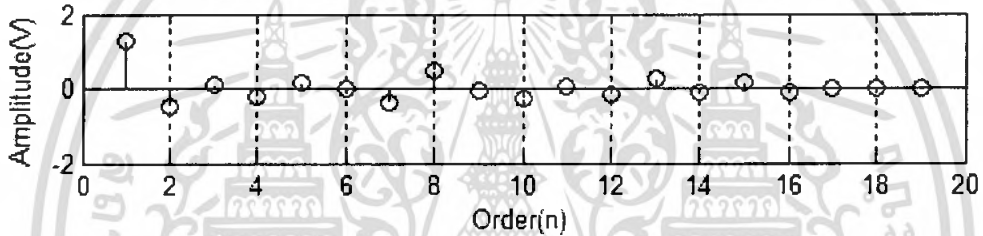
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 (h) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เพิ่มเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.13 (i) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง

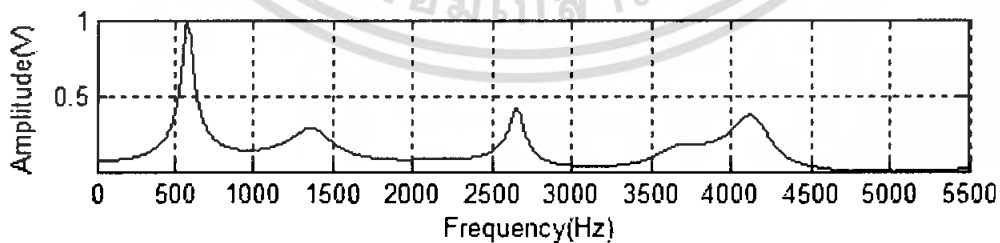


รูปที่ 4.13 (j) ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง

รูปที่ 4.13 ค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของแต่ละคำสั่ง

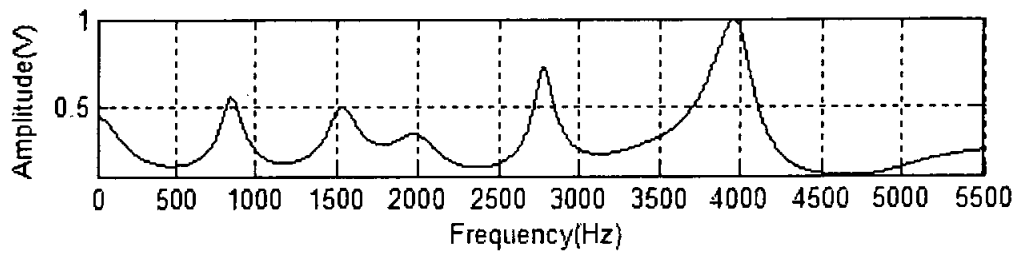
จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าสัญญาณเสียงแต่ละสัญญาณเสียงในเฟรมที่หนึ่ง จะมีค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นแตกต่างกันออกไป

4.1.5 ผลการทดลองการหาค่าสเปกตรัมของค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง

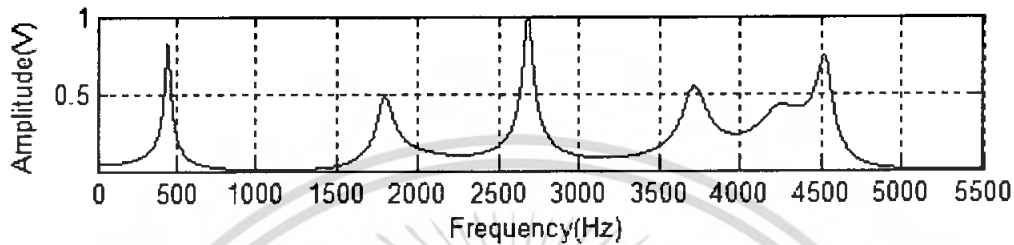


รูปที่ 4.14 (a) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “สาม” ในเฟรมที่หนึ่ง

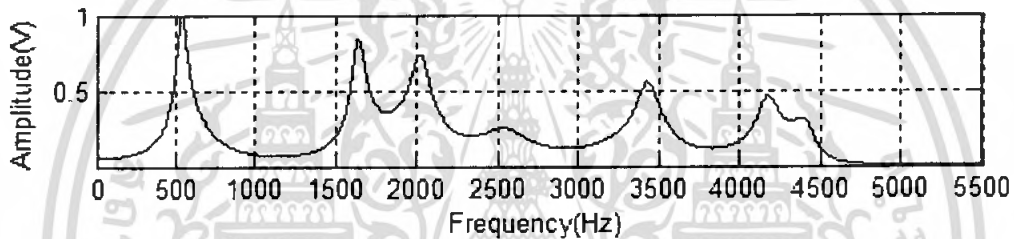
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



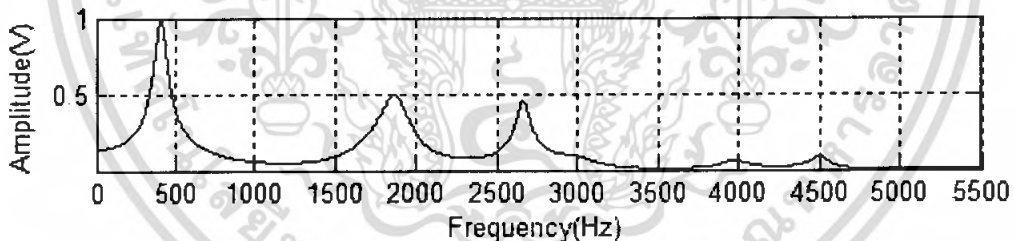
รูปที่ 4.14 (b) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ห่า” ในเฟรมที่หนึ่ง



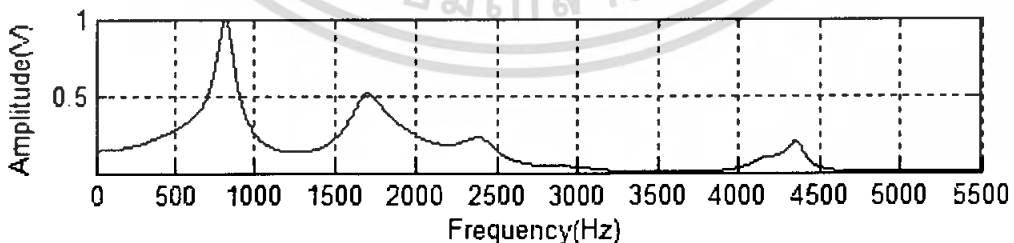
รูปที่ 4.14 (c) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เจ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.14 (d) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “แก้ว” ในเฟรมที่หนึ่ง

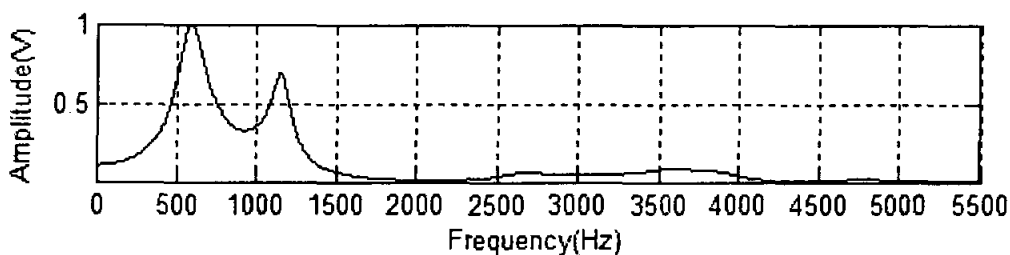


รูปที่ 4.14 (e) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “สิบเอ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง

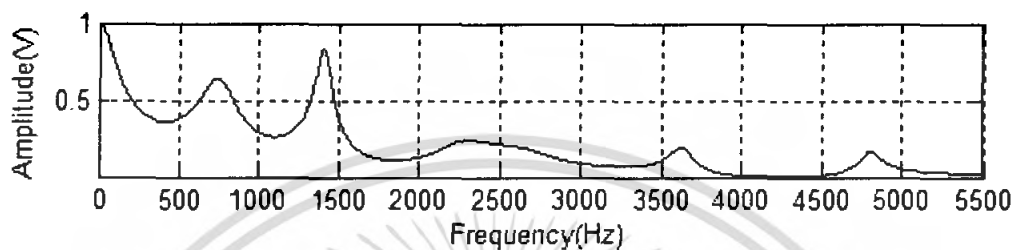


รูปที่ 4.14 (f) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ไอทีวี” ในเฟรมที่หนึ่ง

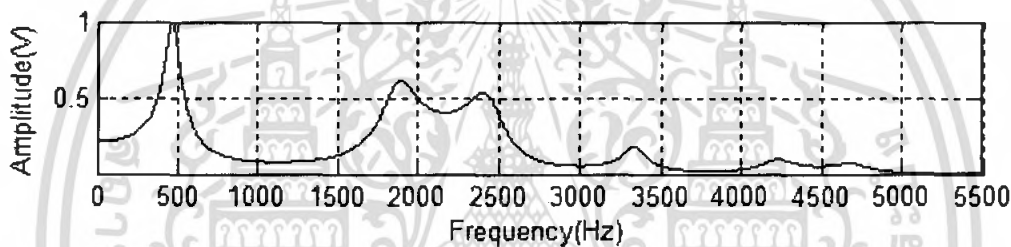
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



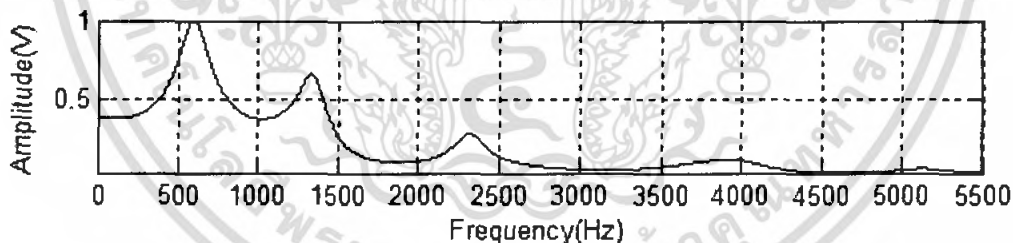
รูปที่ 4.14 (g) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ลุดเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.14 (h) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เพิ่มเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.14 (i) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “ปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง



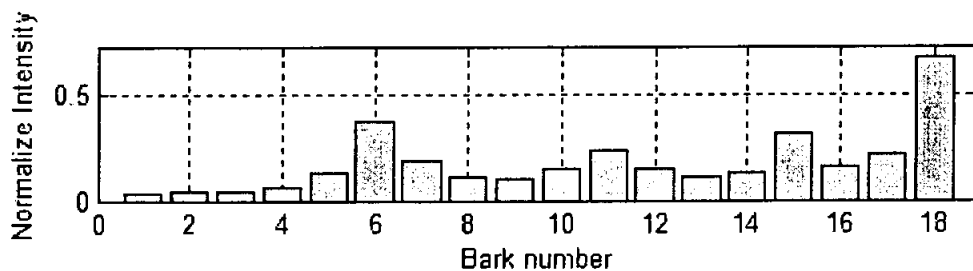
รูปที่ 4.14 (j) สเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของสัญญาณเสียง “เปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง

รูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของแต่ละคำตั้ง

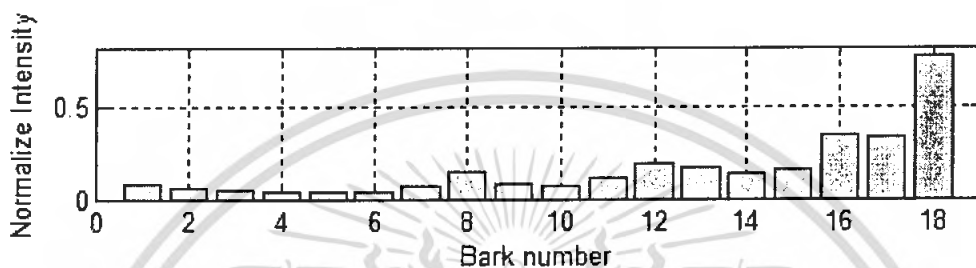
จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าสัญญาณเสียงแต่ละสัญญาณเสียงในเฟรมที่หนึ่ง จะมีค่าสเปกตรัมค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของแต่ละคำแตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

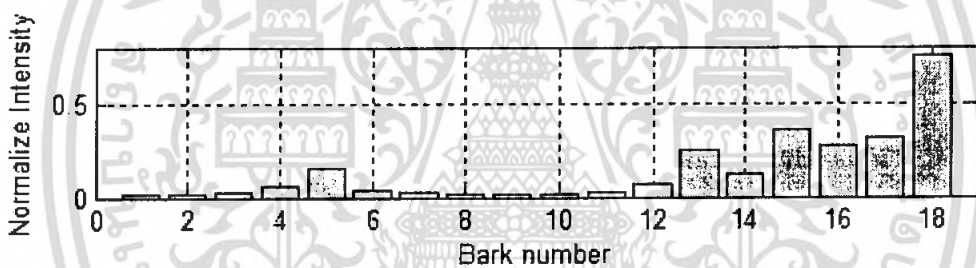
4.1.6 ผลการทดลองการหาค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์ค



รูปที่ 4.15 (a) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “สาม” ในเฟรมที่หนึ่ง



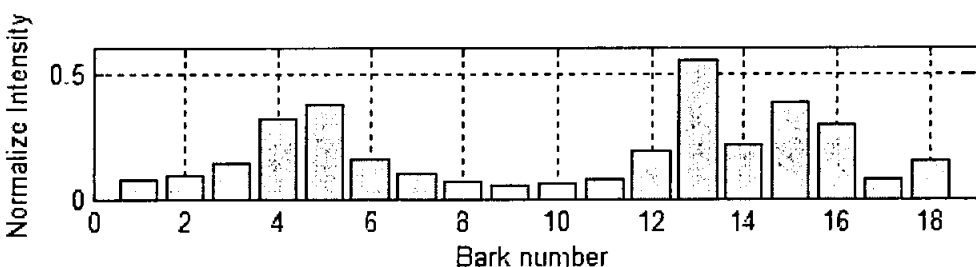
รูปที่ 4.15 (b) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “ห้า” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.15 (c) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “เจ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง

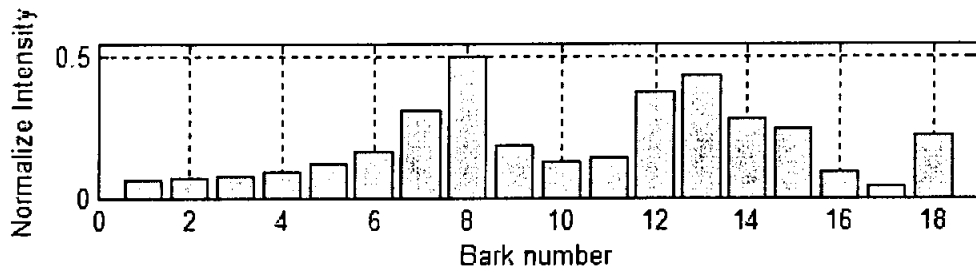


รูปที่ 4.15 (d) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “เก้า” ในเฟรมที่หนึ่ง

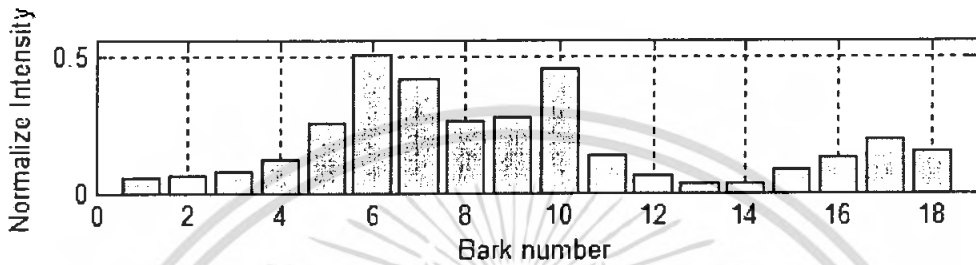


รูปที่ 4.15 (e) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “สิบเอ็ด” ในเฟรมที่หนึ่ง

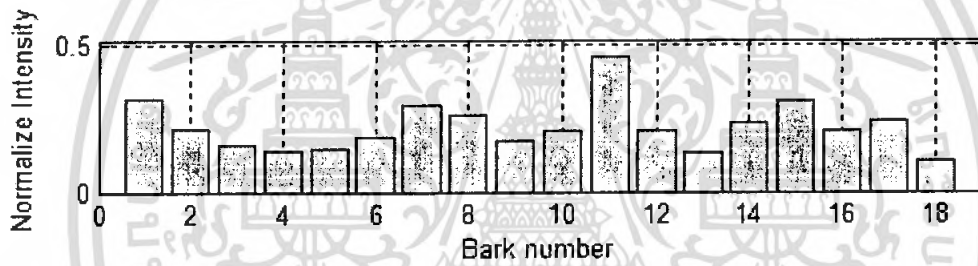
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



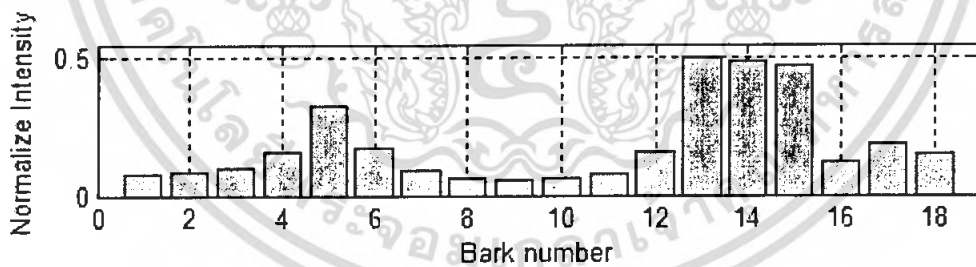
รูปที่ 4.15 (f) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “ไอทีวี” ในเฟรมที่หนึ่ง



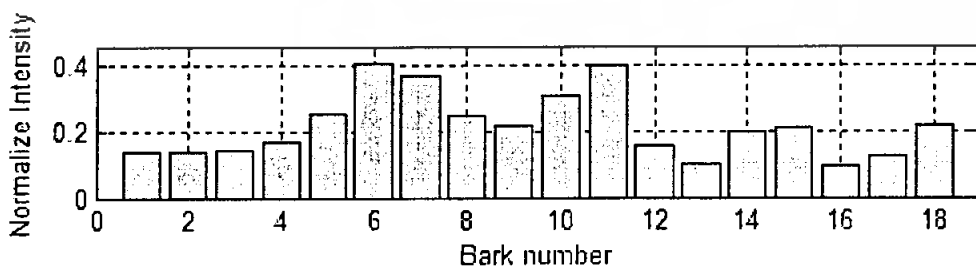
รูปที่ 4.15 (g) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “ลดเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.15 (h) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “เพิ่มเสียง” ในเฟรมที่หนึ่ง



รูปที่ 4.15 (i) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “ปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง



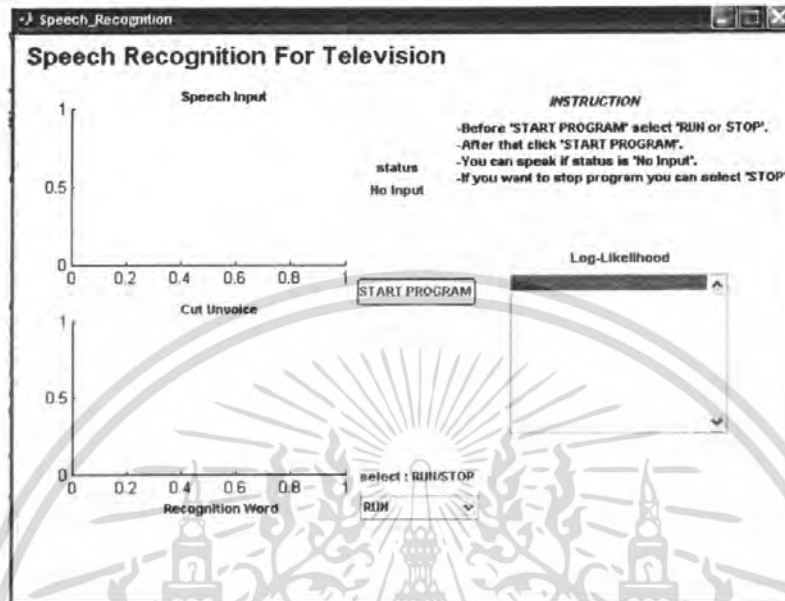
รูปที่ 4.15 (j) ค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คของสัญญาณเสียง “เปิด” ในเฟรมที่หนึ่ง

รูปที่ 4.15 Critical Band Intensity บนสเกลบาร์คของแต่ละคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

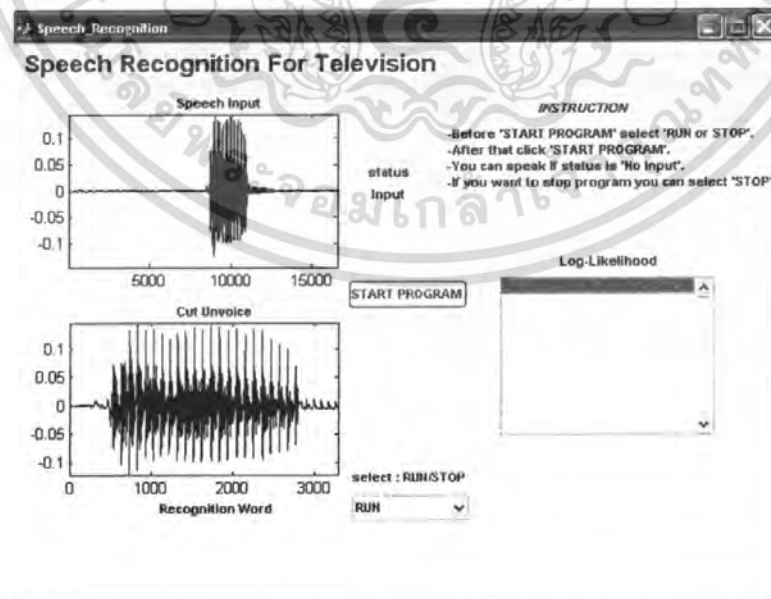
จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าสัญญาณเสียงแต่ละสัญญาณเสียงในเฟรมที่หนึ่ง จะมีค่าความเข้มเสียงบนสเกลบาร์คแตกต่างกันออกไป ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะนำความแตกต่างนี้ไปใช้ในการรู้จำเสียงพูดได้

4.2 การทดลองการใช้งานโปรแกรมรู้จำเสียงพูด



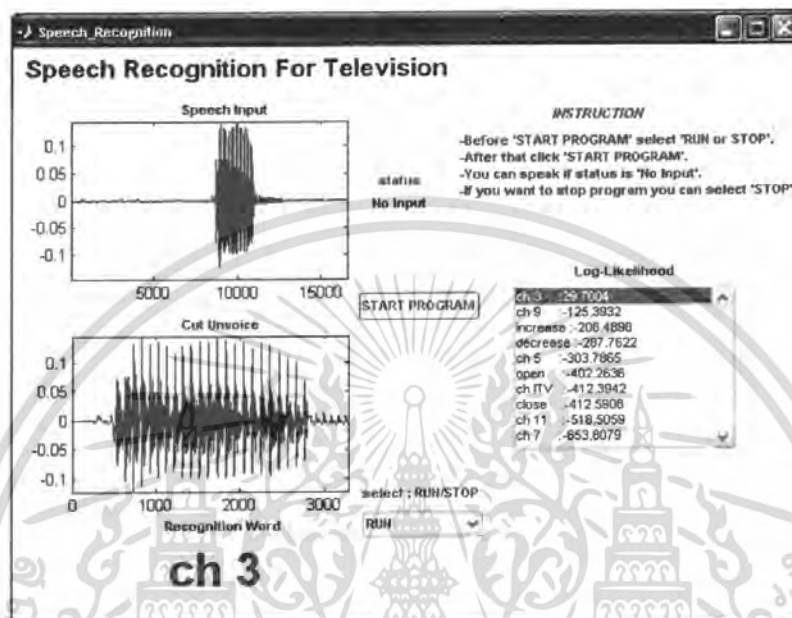
รูปที่ 4.16 (a) ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จำเสียงพูด

จากรูปที่ 4.16 (a) เมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม คอมพิวเตอร์จะรอรับสัญญาณเสียงที่เข้ามาโดยผ่านไมโครโฟน ขณะที่สัญญาณเสียงยังไม่เข้ามา โปรแกรมจะมีสถานะเป็น “No Input” แต่ถ้ามีเสียงเข้ามา โปรแกรมจะมีสถานะเป็น “Input”



รูปที่ 4.16 (b) ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จำเสียงพูดเมื่อมีเสียงเข้ามา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 (b) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีเสียงเข้ามาโปรแกรมจะมีสถานะเป็น “Input” โดยหน้าต่าง Speech Input จะเป็นกราฟที่แสดงลักษณะของสัญญาณเสียงที่เข้ามาโดยผ่านการอัดเสียงเป็นเวลา 1.5 วินาที ส่วนในหน้าต่าง Cut Unvoice จะแสดงถึงสัญญาณเสียงที่ถูกตัดส่วนที่เงียบออก เพื่อนำในส่วนของเนื้อหาของเสียงไปหาลักษณะสำคัญและทำการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.16 (c) ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมรู้จำเสียงพูดขณะแสดงผลลัพธ์

จากรูปที่ 4.16 (c) จะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณเสียงว่าเป็นเสียงใด โดยจะแสดงผลลัพธ์ในหน้าต่างของ Recognition Word และในส่วนของหน้าต่าง Log-Likelihood นั้น จะแสดงค่าล็อกการิทึมของความน่าจะเป็นของเสียงที่รับเข้ามากับเสียงในแต่ละโมเดล โดยค่าล็อกการิทึมของความน่าจะเป็นของเสียงจะสามารถที่จะนำไปเปรียบเทียบความเหมือนของเสียงว่ามีความคล้ายคลึงกับโมเดลใดมากที่สุด โดยจะพิจารณาค่าของโมเดลใดสูงที่สุดก็จะให้ผลลัพธ์เป็นคำสั่งการนั้น โดยจากรูปที่ 4.16 (c) ค่าล็อกการิทึมของความน่าจะเป็นของโมเดลสัญญาณเสียงของคำสั่งการ “สาม” จะมีค่ามากที่สุด รองลงมาก็คือ “เก้า”

4.3 การทดสอบการรู้จำเสียงพูด

ในการทดสอบการรู้จำเสียงพูดที่มีการแบ่งกลุ่มผู้ทดสอบการรู้จำเสียงออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่นำเสียงพูดของตนเองมาใช้ในการสร้างโมเดลเพื่อใช้ในการรู้จำจะเรียกว่าผู้พูดที่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่ผู้ทดสอบไม่ได้นำเสียงมาใช้ในการสร้างโมเดล การรู้จำจะเรียกว่า ผู้พูดที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การนำเสียงผู้พูดที่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงมาทำการทดสอบการรู้จำ

4.3.1.1 เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศชาย

วิธีการทดลอง

การนำเสียงของผู้พูด 50 คน ประกอบไปด้วยเพศหญิง 25 คนและเพศชาย 25 คน มาทำการสร้างโมเดลเสียง จากนั้นให้ผู้ชายที่มีเสียงพูดอยู่ในโมเดลมาทำการทดสอบการรู้จำ โดยในการทดสอบจะให้พูดคำสั่งการละ 1 ครั้งต่อคน ใช้คนในการทดสอบจำนวน 25 คน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศชายอยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบเอ็ด	ไอทีวี	ลดเสียง	เพิ่มเสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	21			4							84.00%
ห้า	1	20		2					2		80.00%
เจ็ด			21		3				1		84.00%
เก้า	1	1		23							92.00%
สิบเอ็ด					21	1		2		1	84.00%
ไอทีวี						24		1			96.00%
ลดเสียง							24	1			96.00%
เพิ่มเสียง					1		5	19			76.00%
ปิด			2						23		92.00%
เปิด							1			24	96.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											88.00%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้พูดเป็นเพศชายโดยใช้โมเดลอ้างอิงซึ่งประกอบด้วยเสียงจำนวน 50 เสียง ประกอบด้วย เพศชาย 25 เสียง เพศหญิง 25 เสียง เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องอยู่ที่ 88 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศหญิง

วิธีการทดลอง

การนำเสียงของผู้พูด 50 คน ประกอบไปด้วยเพศหญิง 25 คน และเพศชาย 25 คน มาทำการสร้างโมเดลเสียง จากนั้นให้ผู้หญิงที่ไม่มีเสียงพูดอยู่ในโมเดลมาทำการทดสอบการรู้จำ โดยในการทดสอบจะให้พูดคำสั่งการละ 1 ครั้งต่อคน โดยใช้คนในการทดสอบจำนวน 25 คน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศหญิงอยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบเอ็ด	ไอทีวี	ลดเสียง	เพิ่มเสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	21	1		3							84.00%
ห้า		22		3							88.00%
เจ็ด			21		1		1		1	1	84.00%
เก้า	1			23			1				92.00%
สิบเอ็ด			1		23			1			92.00%
ไอทีวี						25					100.00%
ลดเสียง							20	5			80.00%
เพิ่มเสียง							3	22			88.00%
ปิด			1		1	2			21		84.00%
เปิด		1					1			23	92.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											88.40%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้พูดเป็นเพศหญิงโดยใช้โมเดลอ้างอิงซึ่งประกอบด้วยเสียงจำนวน 50 เสียง ประกอบด้วยเพศชาย 25 เสียง เพศหญิง 25 เสียง เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องอยู่ที่ 88.40 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตารางที่ 4.1 กับตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการรู้จำเสียงพูดระหว่างเพศชายกับเพศหญิงจึงไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การนำเสียงผู้พูดที่ไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงมาทำการทดสอบการรู้จำ

4.3.2.1 เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศชาย

วิธีการทดลอง

การนำเสียงของผู้พูด 50 คน ประกอบไปด้วยเพศหญิง 25 คนและเพศชาย 25 คน มาทำการสร้างโมเดลเสียง จากนั้นให้ผู้ชายที่ไม่มีเสียงพูดอยู่ใน โมเดลมาทำการทดสอบการรู้จำ โดยในการทดสอบจะให้พูดคำสั่งการละ 1 ครั้งต่อคน โดยใช้คนในการทดสอบจำนวน 30 คน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศชายที่ไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบ	ไอ	ลด	เพิ่ม	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	22			8							73.33%
ห้า	3	22		5							73.33%
เจ็ด			25		3	2					83.33%
เก้า	3			27							90.00%
สิบเอ็ด			4		24				2		80.00%
ไอทีวี						30					100.00%
ลดเสียง							25	5			83.33%
เพิ่มเสียง							7	23			76.67%
ปิด			5						25		83.33%
เปิด				1						29	96.67%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											84.00%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้พูดเป็นเพศชายและเสียงไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง โดยใช้โมเดลอ้างอิงซึ่งประกอบด้วยเสียงจำนวน 50 เสียงประกอบด้วยเพศชาย 25 เสียง เพศหญิง 25 เสียง เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องอยู่ที่ 84 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตารางที่ 4.1 กับตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดมีเสียงอยู่ในกลุ่มที่สร้างโมเดลจะมีความถูกต้องสูงกว่าผู้พูดที่ไม่อยู่ในกลุ่มเสียงที่ใช้สร้างโมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเพศหญิง

วิธีการทดลอง

การนำเสียงของผู้พูด 50 คน ประกอบไปด้วยเพศหญิง 25 คนและเพศชาย 25 คน มาทำการสร้างโมเดลเสียง จากนั้นให้ผู้หญิงที่ไม่มีเสียงพูดอยู่ในโมเดลมาทำการทดสอบการรู้จำ โดยในการทดสอบจะให้พูดคำสั่งการละ 1 ครั้งต่อคน ใช้คนในการทดสอบจำนวน 30 คน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเพศหญิงไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบ เอ็ด	ไอ ทิวี่	ลด เสียง	เพิ่ม เสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	26			4							86.67%
ห้า	3	19		6				1	1		63.33%
เจ็ด			24		5	1					80.00%
เก้า	2			28							93.33%
สิบเอ็ด			3		26		1				86.67%
ไอทิวี่			1		1	26				2	86.67%
ลดเสียง							19	11			63.33%
เพิ่มเสียง							3	27			90.00%
ปิด									30		100.00%
เปิด		3		4						23	76.66%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											82.76%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้พูดเป็นเพศหญิงและเสียงไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง โดยใช้โมเดลอ้างอิงซึ่งประกอบด้วยเสียงจำนวน 50 เสียง ประกอบด้วยเพศชาย 25 เสียง เพศหญิง 25 เสียง เปรอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องอยู่ที่ 82.76 เปรอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตารางที่ 4.2 กับตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการรู้จำเสียงพูดเมื่อผู้พูดมีเสียงอยู่ในกลุ่มที่สร้างโมเดลจะมีความถูกต้องสูงกว่าผู้พูดที่ไม่อยู่ในกลุ่มเสียงที่ใช้สร้างโมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นเด็ก

วิธีการทดลอง

การนำเสียงของผู้พูด 70 คน ประกอบไปด้วยเพศหญิง 25 คน เพศชาย 25 คนและเด็ก 20 คน มาทำการสร้างโมเดลเสียง จากนั้นให้เด็กที่ไม่มีเสียงพูดอยู่ในโมเดลมาทำการทดสอบการรู้จำ โดยในการทดสอบจะให้พูดคำสั่งการละ 1 ครั้งต่อคน โดยใช้คนในการทดสอบจำนวน 20 คน

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คน หญิง 25 คนและเด็ก 20 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบเอ็ด	ไอทีวี	ลดเสียง	เพิ่มเสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	16			4							80.00%
ห้า	2	14		3						1	70.00%
เจ็ด			18		2						90.00%
เก้า				19						1	95.00%
สิบเอ็ด			4		15		1				75.00%
ไอทีวี						20					100.00%
ลดเสียง							16	4			80.00%
เพิ่มเสียง							2	18			80.00%
ปิด									20		100.00%
เปิด										20	100.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											87.00%

จากผลการทดลองเมื่อผู้พูดเป็นเด็ก เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องจะอยู่ที่ 87 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.4 เมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดเป็นผู้สูงอายุ

วิธีการทดลอง

การนำเสียงของผู้พูด 70 คน ประกอบไปด้วยเพศหญิง 25 คน เพศชาย 25 คนและเด็ก 20 คน มาทำการสร้างโมเดลเสียง จากนั้นให้ผู้สูงอายุที่ไม่มีเสียงพูดอยู่ในโมเดลมาทำการทดสอบการรู้จำ โดยในการทดสอบจะให้พูดคำสั่งการละ 2 ครั้งต่อคน โดยใช้คนในการทดสอบจำนวน 5 คน

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นผู้สูงอายุไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คน หญิง 25 คนและเด็ก 20 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบ เอ็ด	ไอ ทรี	ลด เสียง	เพิ่ม เสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	6	4									60.00%
ห้า		10									100.00%
เจ็ด			10								100.00%
เก้า		4		7							70.00%
สิบเอ็ด			1		7	2					70.00%
ไอทรี						10					100.00%
ลดเสียง							10				100.00%
เพิ่มเสียง								10			100.00%
ปิด							3		7		70.00%
เปิด										10	100.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											87.00%

จากผลการทดลองเมื่อผู้พูดเป็นผู้สูงอายุ เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องจะอยู่ที่ 87 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.5 เมื่อเพิ่มจำนวนเสียงที่นำมาใช้เป็นโมเดลอ้างอิง

วิธีการทดลอง

ในการสร้างโมเดลในการรู้จำเสียงพูดนั้น จะมีการทดลองเปลี่ยนจำนวนของเสียงที่นำมาใช้ในการสร้างโมเดล โดยจะเริ่มจากการใช้ 40 เสียง 50 เสียง 60 เสียง 80 เสียงและ 100 เสียง จากนั้นจะสังเกตประสิทธิภาพของการรู้จำเสียงพูดว่าเป็นอย่างไร เมื่อผู้พูดที่ทำการทดสอบการรู้จำเสียงจะพูดคำที่ใช้ในการสังเกตุค่าละ 1 ครั้งต่อคน ใช้คนในการทดสอบจำนวน 20 คน โดยผู้ที่ทำการทดสอบจะไม่มีเสียงอยู่ในโมเดลอ้างอิง

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูด ไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และ โมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 20 คนและหญิง 20 คน

	ตาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบเอ็ด	ไอทีวี	ลดเสียง	เพิ่มเสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
ตาม	11	3		6							55.00%
ห้า	3	9		4	1					3	45.00%
เจ็ด			9		6	2				3	45.00%
เก้า		1		19							95.00%
สิบเอ็ด					17		1	1	1		85.00%
ไอทีวี						19				1	95.00%
ลดเสียง							14	6			70.00%
เพิ่มเสียง							7	13			65.00%
ปิด									4	16	80.00%
เปิด	1				1		1			17	85.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											72.00%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์เฉลี่ยของความถูกต้องจะอยู่ที่ 72 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง
และ โมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 25 คนและหญิง 25 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบ เอ็ด	ไอ ทรี	ลด เสียง	เพิ่ม เสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	16			4							80.00%
ห้า	2	13		5							65.00%
เจ็ด			18			1			1		90.00%
เก้า				20							100.00%
สิบเอ็ด			3		15		1	1			75.00%
ไอทรี						18			2		90.00%
ลดเสียง							12	8			60.00%
เพิ่มเสียง							4	16			80.00%
ปิด			2						18		90.00%
เปิด				2	2					16	80.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											81.00%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องจะอยู่ที่ 81 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง
และโมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 30 คนและหญิง 30 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบ เอ็ด	ไอ ทิวี่	ลด เสียง	เพิ่ม เสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	14			6							70.00%
ห้า		17		3							85.00%
เจ็ด			19						1		95.00%
เก้า				20							100.00%
สิบเอ็ด			4		16			1			80.00%
ไอทิวี่						19			1		95.00%
ลดเสียง							17	1			85.00%
เพิ่มเสียง							1	17			85.00%
ปิด								1	19		95.00%
เปิด				1						19	95.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											88.50%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องจะอยู่ที่ 88.50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง และ โมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 40 คนและหญิง 40 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบ เอ็ด	ไอ ทิวี่	ลด เสียง	เพิ่ม เสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	16	1		3							80.00%
ห้า	1	15		4							75.00%
เจ็ด			15		5						75.00%
เก้า	1			19							95.00%
สิบเอ็ด			2		18						90.00%
ไอทิวี่						16			4		80.00%
ลดเสียง							18	2			90.00%
เพิ่มเสียง							2	16			80.00%
ปิด									20		100.00%
เปิด								1		19	95.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											86.00%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องจะอยู่ที่ 86 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

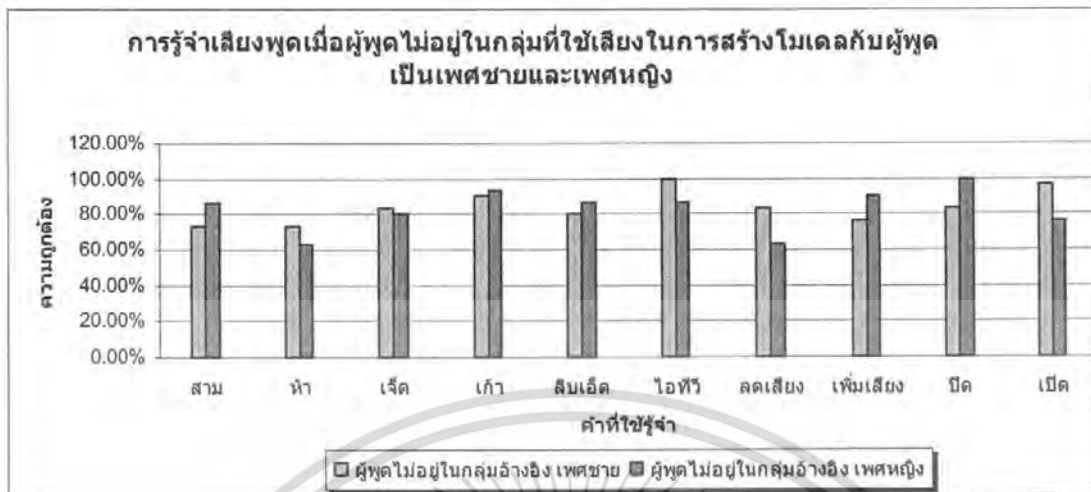
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการรู้จำเสียงพูด เมื่อผู้พูดเป็นเด็กเพศชายไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง
และ โมเดลเสียงประกอบด้วยชาย 50 คนและหญิง 50 คน

	สาม	ห้า	เจ็ด	เก้า	สิบ เอ็ด	ไอ ทิวี่	ลด เสียง	เพิ่ม เสียง	ปิด	เปิด	ความถูกต้อง
สาม	16			4							80.00%
ห้า	3	15		2							75.00%
เจ็ด			17		3						85.00%
เก้า				20							100.00%
สิบเอ็ด			3		17						85.00%
ไอทิวี่						19			1		95.00%
ลดเสียง							16	4			80.00%
เพิ่มเสียง							5	15			75.00%
ปิด									20		100.00%
เปิด				1						19	95.00%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง											87.00%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความถูกต้องจะอยู่ที่ 87 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบการรู้จำเสียงพูดจากโปรแกรมในกรณีต่างๆ



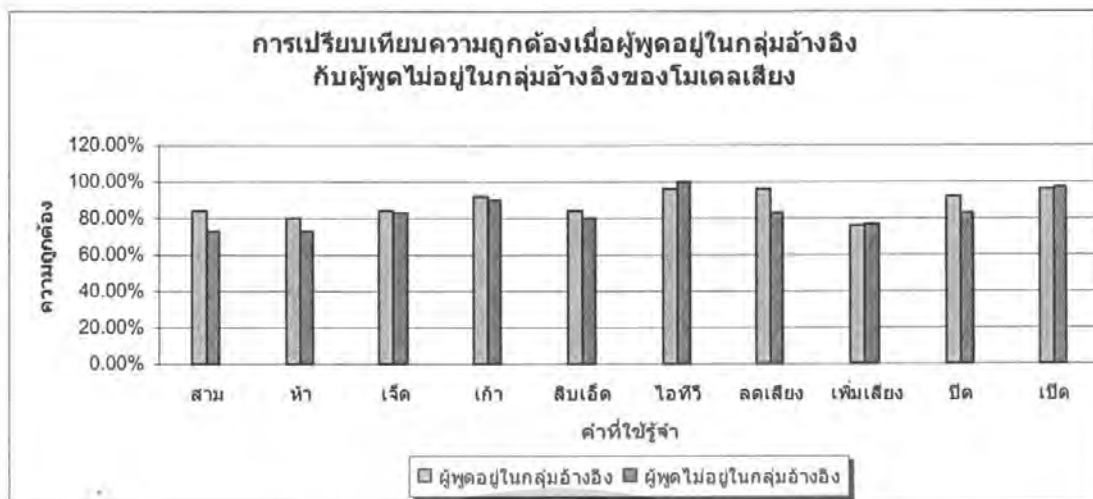
รูปที่ 4.17 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและต่างเพศกัน

ตารางที่ 4.12 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและต่างเพศกัน

คำสั่งการ	ผู้พูดเป็นเพศชาย	ผู้พูดเป็นเพศหญิง
สาม	73.33%	86.67%
ห้า	73.33%	63.33%
เจ็ด	83.33%	80.00%
เก้า	90.00%	93.33%
สิบเอ็ด	80.00%	86.67%
ไอทีวี	100.00%	86.67%
ลดเสียง	83.33%	63.33%
เพิ่มเสียง	76.67%	90.00%
ปิด	83.33%	100.00%
เปิด	96.67%	76.66%
ความถูกต้อง	84.00%	82.76%

จากรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบการรู้จำเสียงพูดเมื่อผู้พูดต่างเพศกัน โดยการทดสอบนั้นผู้พูด จะไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงที่สร้างโมเดลเสียง โมเดลเสียงจะประกอบไปด้วยชายและหญิงอย่างละ 30 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



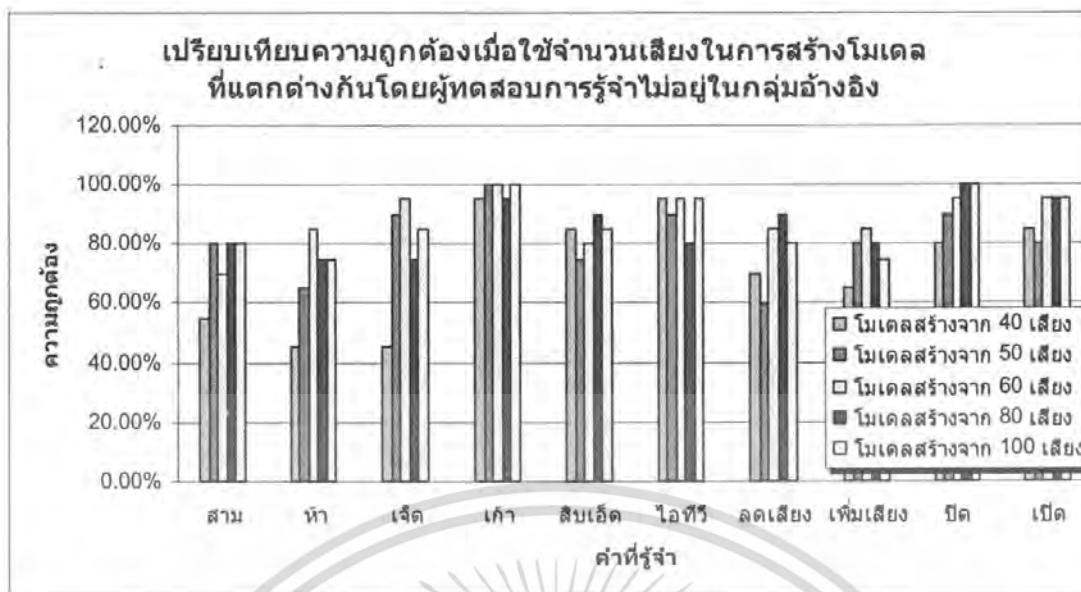
รูปที่ 4.18 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้พูดอยู่ในกลุ่มอ้างอิงและผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง

ตารางที่ 4.13 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้พูดอยู่ในกลุ่มอ้างอิงและผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง

คำสั่งการ	ผู้พูดอยู่ในกลุ่มอ้างอิง	ผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง
สาม	84.00%	73.33%
ห้า	80.00%	73.33%
เจ็ด	84.00%	83.33%
เก้า	92.00%	90.00%
สิบเอ็ด	84.00%	80.00%
ไอทีวี	96.00%	100.00%
ลดเสียง	96.00%	83.33%
เพิ่มเสียง	76.00%	76.67%
ปิด	92.00%	83.33%
เปิด	96.00%	96.67%
ความถูกต้อง	88.00%	84.00%

จากรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบการรู้จำเสียงพูดระหว่างผู้พูดอยู่ในกลุ่มอ้างอิงกับผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง โดยการทดสอบนั้นผู้พูดจะไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงที่สร้างโมเดลเสียง โดยโมเดลเสียงจะประกอบไปด้วยชายและหญิงอย่างละ 30 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

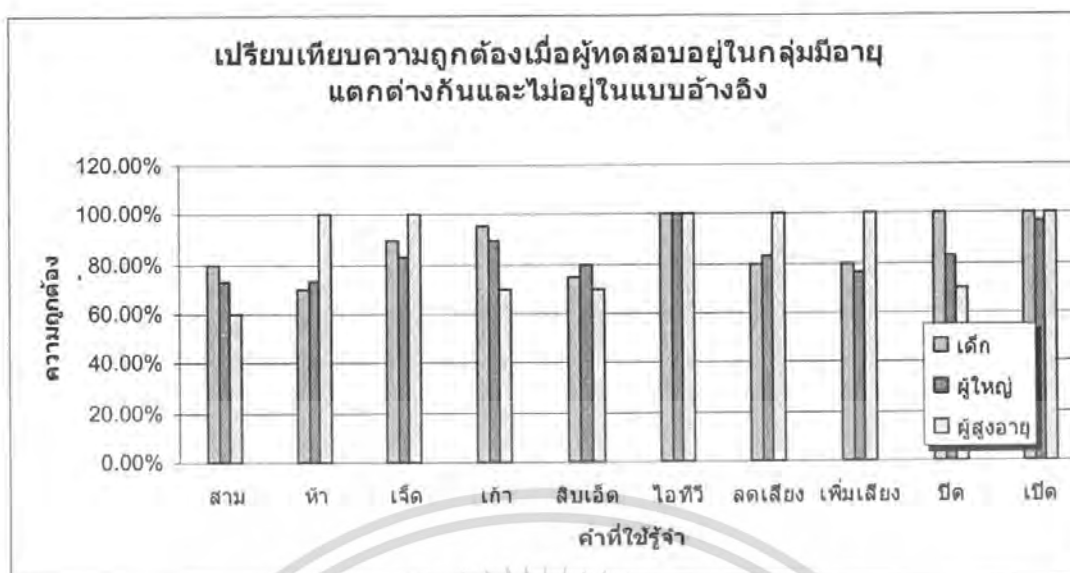


รูปที่ 4.19 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง โดยมีโมเดลในกลุ่มอ้างอิงที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.14 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้พูดไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง
และมีจำนวนเสียงที่นำมาใช้เพื่อสร้างโมเดลแตกต่างกันออกไป

คำสั่งการ	40 เสียง	50 เสียง	60 เสียง	80 เสียง	100 เสียง
สาม	55.00%	80.00%	70.00%	80.00%	80.00%
ห้า	45.00%	65.00%	85.00%	75.00%	75.00%
เจ็ด	45.00%	90.00%	95.00%	75.00%	85.00%
เก้า	95.00%	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%
สิบเอ็ด	85.00%	75.00%	80.00%	90.00%	85.00%
ไอทิว	95.00%	90.00%	95.00%	80.00%	95.00%
ลดเสียง	70.00%	60.00%	85.00%	90.00%	80.00%
เพิ่มเสียง	65.00%	80.00%	85.00%	80.00%	75.00%
ปิด	80.00%	90.00%	95.00%	100.00%	100.00%
เปิด	85.00%	80.00%	95.00%	95.00%	95.00%
ความถูกต้อง	72.00%	81.00%	88.50%	86.00%	87.00%

จากรูปที่ 4.19 เป็นการเปรียบเทียบการรู้จำเสียงพูดระหว่างการสร้างโมเดลเสียงพูดด้วยกลุ่มอ้างอิง 40 ตัวอย่าง ชาย 20 ตัวอย่างหญิง 20 ตัวอย่าง และ โมเดลเสียงพูดด้วยกลุ่มอ้างอิง 50 ตัวอย่าง ชาย 25 ตัวอย่างหญิง 25 ตัวอย่าง เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยการรู้ทดสอบนั้นผู้พูดจะไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ทำการเปรียบเทียบเมื่อผู้ทดสอบไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและมีวัยที่แตกต่างกัน

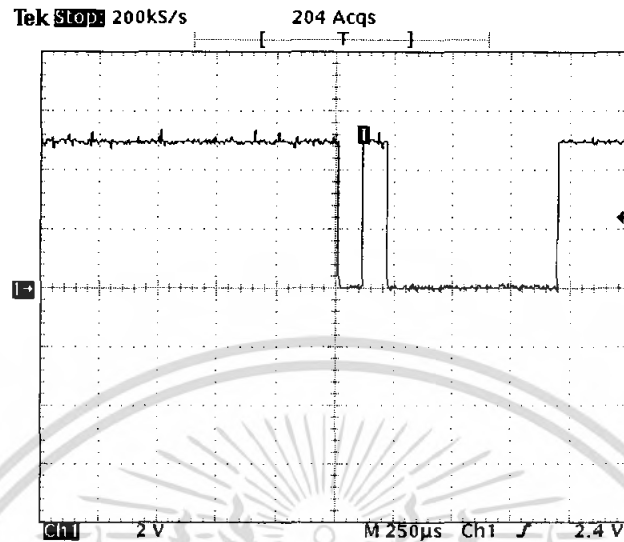
ตารางที่ 4.15 ผลการรู้จำเสียงเมื่อผู้ทดสอบไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและมีวัยที่แตกต่างกัน

คำสั่งการ	ผู้ทดสอบเป็นเด็ก	ผู้ทดสอบเป็นผู้ใหญ่	ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ
สาม	80.00%	73.33%	60.00%
ห้า	70.00%	73.33%	100.00%
เจ็ด	90.00%	83.33%	100.00%
เก้า	95.00%	90.00%	70.00%
สิบเอ็ด	75.00%	80.00%	70.00%
ไอทีวี	100.00%	100.00%	100.00%
ลดเสียง	80.00%	83.33%	100.00%
เพิ่มเสียง	80.00%	76.67%	100.00%
ปิด	100.00%	83.33%	70.00%
เปิด	100.00%	96.67%	100.00%
รวม	87.00%	84.00%	87.00%

จากรูปที่ 4.20 เป็นการเปรียบเทียบการรู้จำเสียงพูดเมื่อผู้ทดสอบไม่อยู่ในกลุ่มอ้างอิงและประกอบไปด้วยผู้ทดสอบวัยเด็ก วัยผู้ใหญ่ และวัยสูงอายุ โมเดลเสียงจะประกอบไปด้วยชายกับหญิงอย่างละ 30 ตัวอย่าง และเด็ก 20 ตัวอย่าง

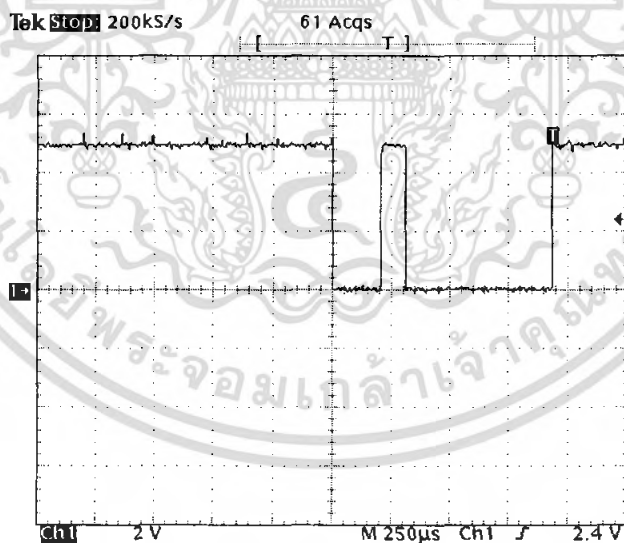
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองในส่วนของการประมวลผลจากคอมพิวเตอร์ แล้วส่งเอาท์พุทที่ได้ออกมาในรูปของเลขฐานสองทั้งหมด 8 บิต ผ่านทางพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 4.21 (a) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “สาม”

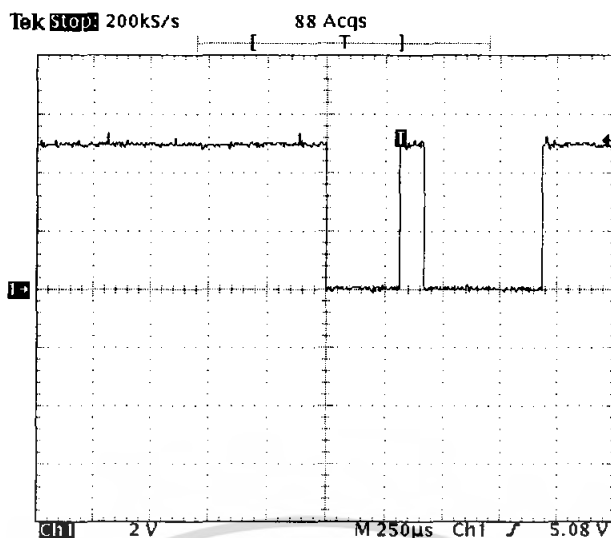
จากรูปที่ 4.21 (a) แสดงค่าเอาท์พุทที่ได้จากการพูดคำว่าสามคือ $(00000001)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที



รูปที่ 4.21 (b) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ห้า”

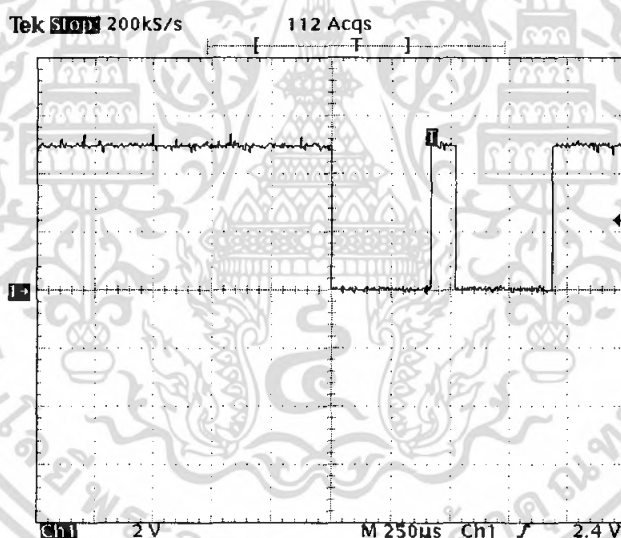
จากรูปที่ 4.21 (b) แสดงค่าเอาท์พุทที่ได้จากการพูดคำว่าห้าคือ $(00000010)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 (c) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “เจ็ด”

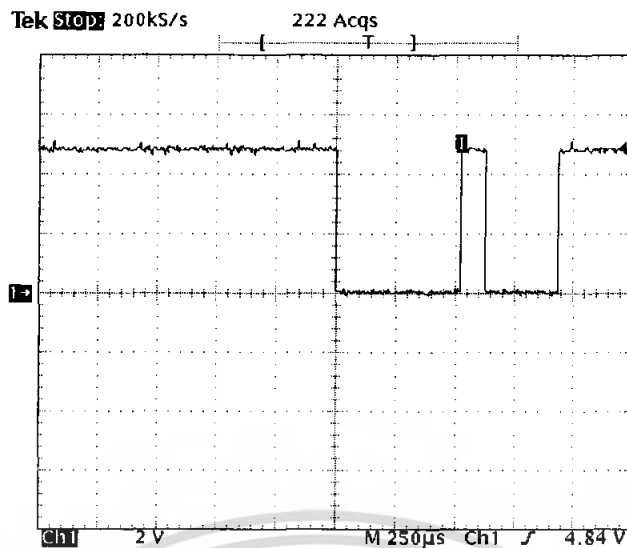
จากรูปที่ 4.21 (c) แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการพูดคำว่าเจ็ดคือ $(00000100)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที



รูปที่ 4.21 (d) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “เก้า”

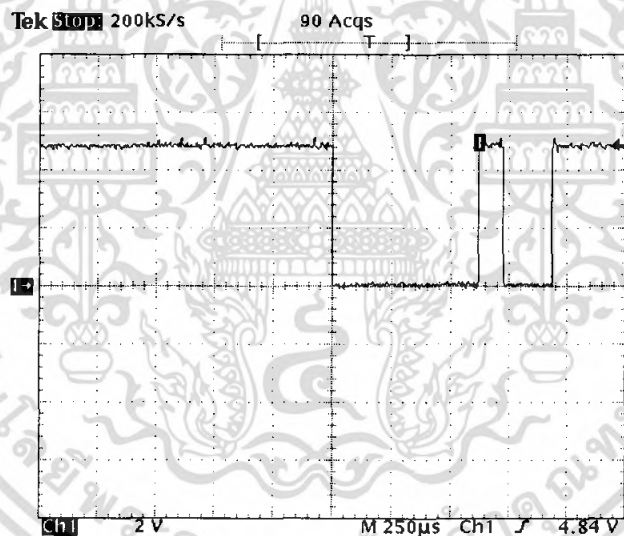
จากรูปที่ 4.21 (d) แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการพูดคำว่าเก้าคือ $(00001000)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 (e) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “สิบเอ็ด”

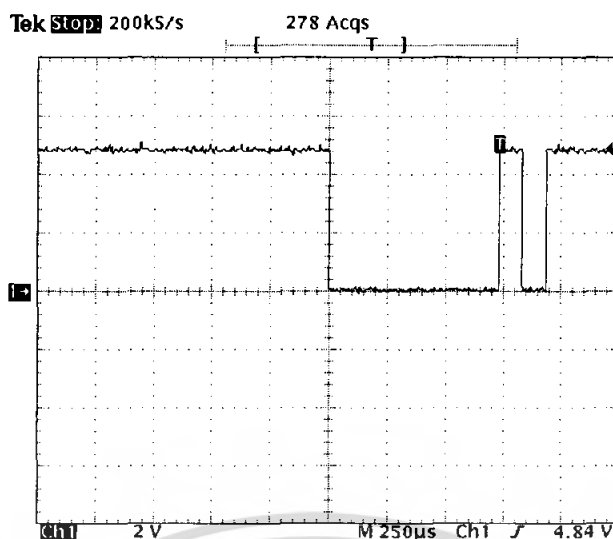
จากรูปที่ 4.21 (e) แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการพูดคำว่าสิบเอ็ดคือ $(00010000)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที



รูปที่ 4.21 (f) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ไอทีวี”

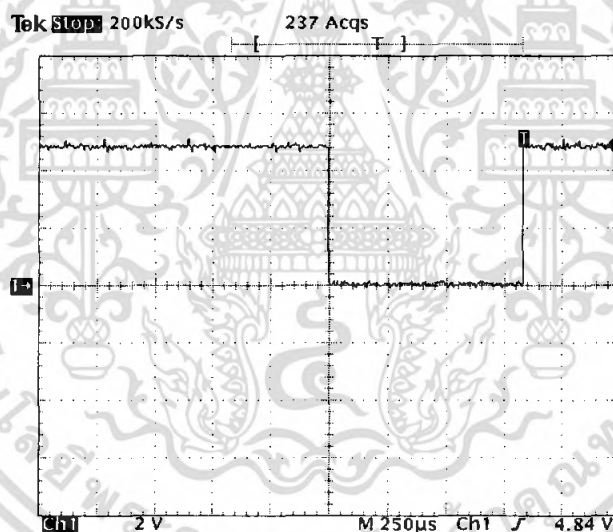
จากรูปที่ 4.21 (f) แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการพูดคำว่าไอทีวีคือ $(00100000)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 (g) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “เพิ่มเสียง”

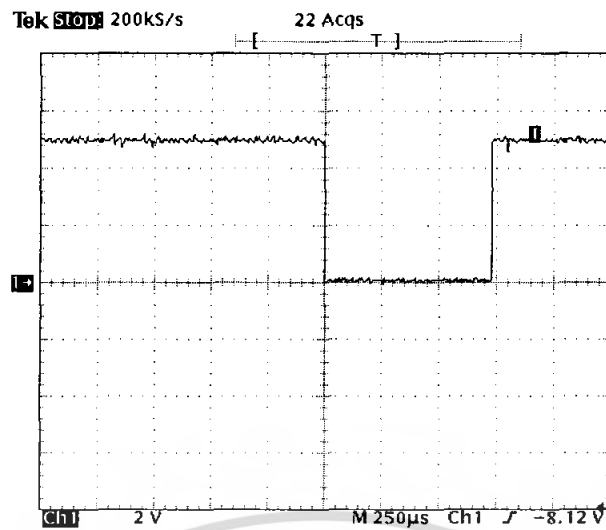
จากรูปที่ 4.21 (g) แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการพูดคำว่าเพิ่มเสียงคือ $(01000000)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที



รูปที่ 4.21 (h) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ลดเสียง”

จากรูปที่ 4.21 (h) แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการพูดคำว่าลดเสียงคือ $(10000000)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

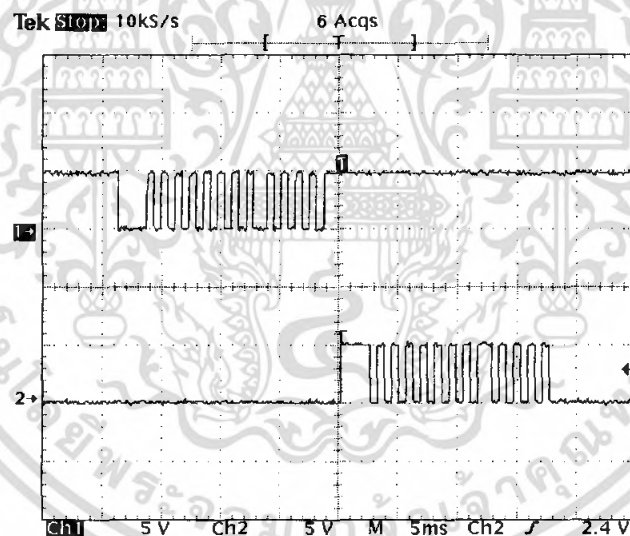


รูปที่ 4.21 (i) สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำว่า “ปิดหรือเปิด”

รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเมื่อพูดคำสั่งต่างๆ

จากรูปที่ 4.21 แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการพูดคำว่าปิดหรือเปิดคือ $(11000000)_2$ โดยทำการส่งด้วยอัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที

4.6 ผลการทดลองในส่วนของการสร้างสัญญาณรีโมทคอนโทรลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC



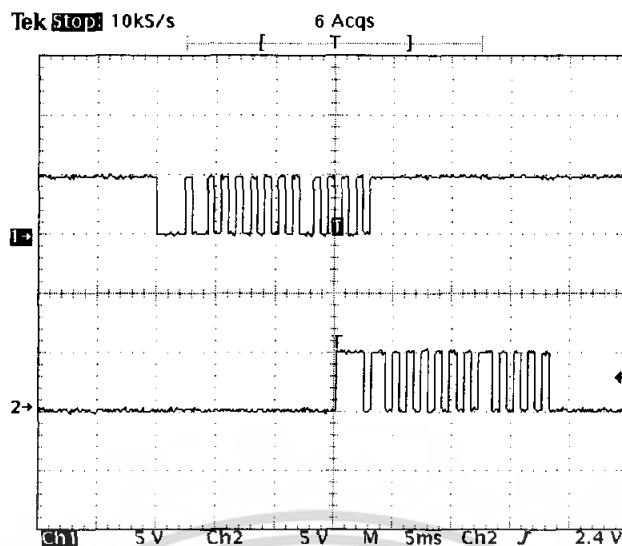
รูปที่ 4.22 (a) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 1

จากรูปที่ 4.22 (a) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 000000010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

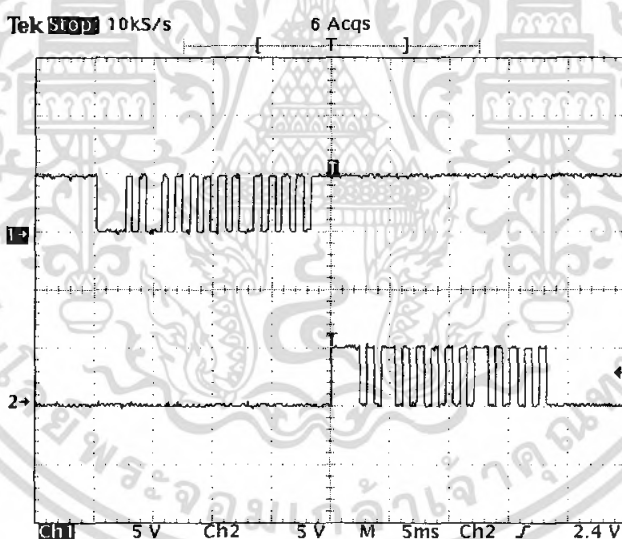


รูปที่ 4.22 (b) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 2

จากรูปที่ 4.22 (b) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 100000010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC



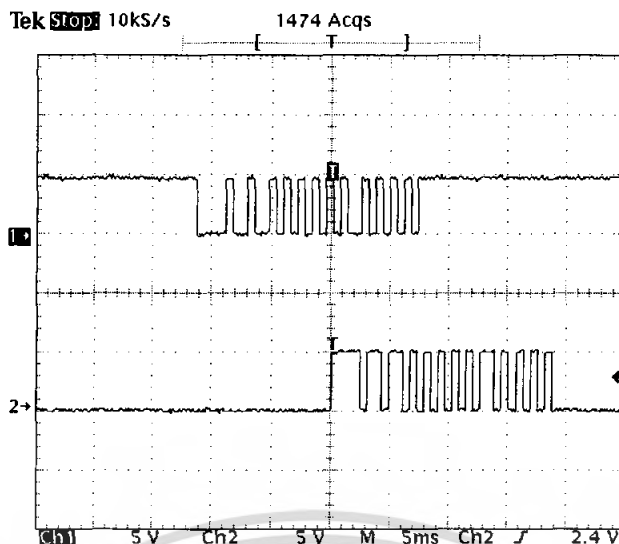
รูปที่ 4.22 (c) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 3

จากรูปที่ 4.22 (c) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 010000010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

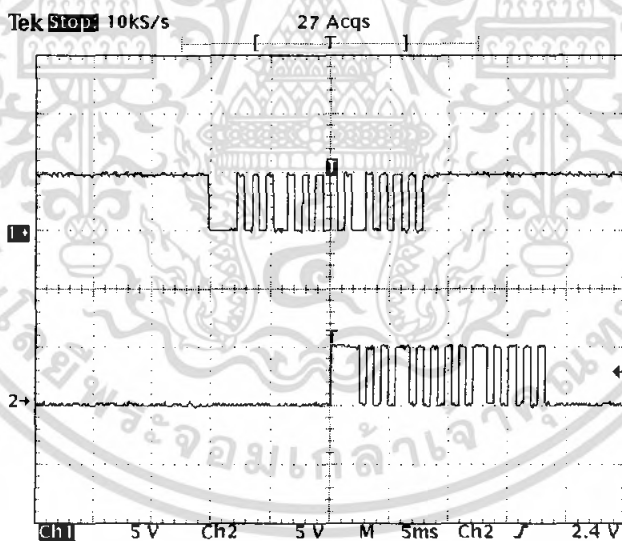


รูปที่ 4.22 (d) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 4

จากรูปที่ 4.22 (d) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 110000010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC



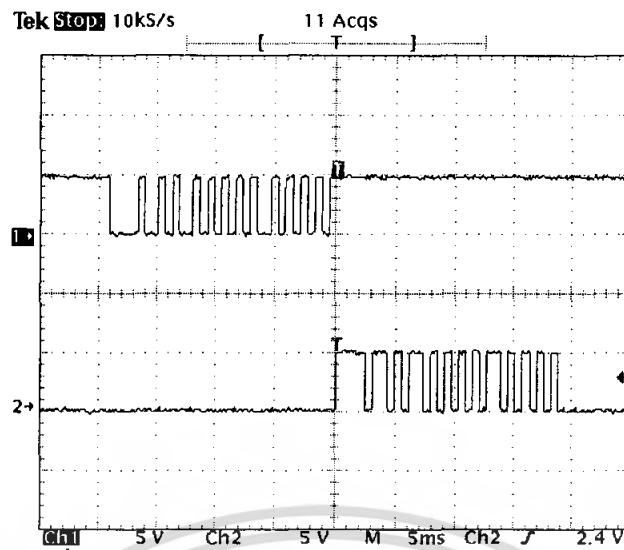
รูปที่ 4.22 (e) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 5

จากรูปที่ 4.22 (e) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 001000010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

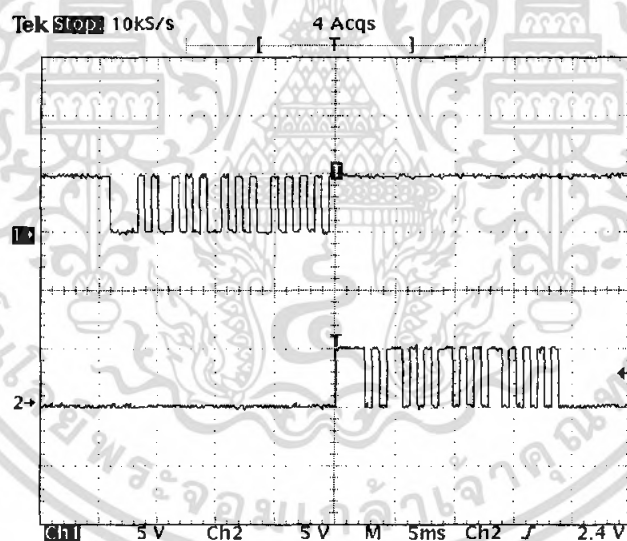


รูปที่ 4.22 (f) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม 6

จากรูปที่ 4.22 (f) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 101000010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC



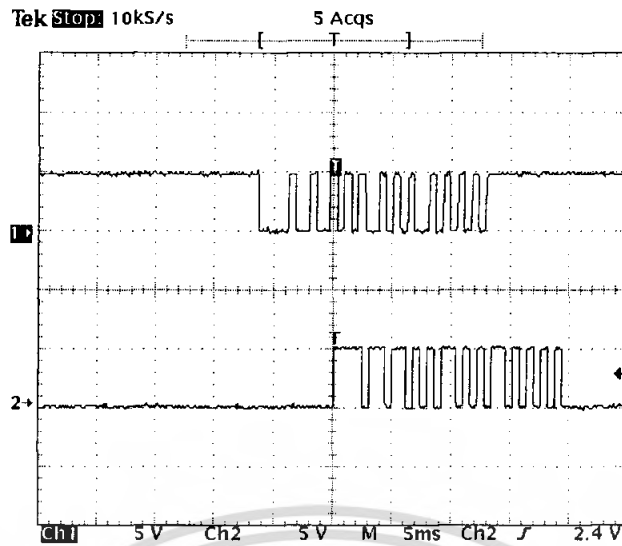
รูปที่ 4.22 (g) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม VOL +

จากรูปที่ 4.22 (g) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 010010010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

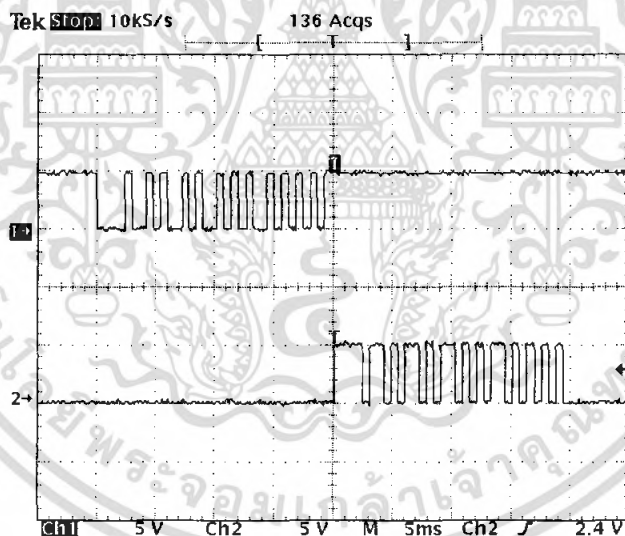


รูปที่ 4.22 (h) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม VOL –

จากรูปที่ 4.22 (h) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 110010010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC



รูปที่ 4.22 (i) สัญญาณรีโมทคอนโทรลเมื่อทำการกดปุ่ม POWER

รูปที่ 4.22 แสดงผลการทดลองการสร้างพัลส์ของรีโมท

จากรูปที่ 4.22 (i) แสดงสัญญาณที่ผ่านรีโมทคอนโทรล ซึ่งอ่านค่าได้คือ 101010010000 โดยที่

Ch1 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่รับได้ทางด้านรับจากตัวรับอินฟราเรด

Ch2 : แสดงพัลส์ของรีโมทคอนโทรลที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในส่วนของการวิเคราะห์เสียงโดยการสั่งการด้วยคอมพิวเตอร์นั้น จากผลการทดลองการหา ลักษณะสำคัญของเสียง เมื่อพิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ซึ่งหาได้จากค่าทำนายสัมประสิทธิ์เชิงเส้น ทำการหาค่าให้อยู่ในรูปของสเกลบาร์ก จะพบว่าคำสั่งการแต่ละคำก็จะมีผลตอบสนองทางความถี่และค่า สเกลบาร์กแตกต่างกันออกไป ซึ่งค่าจากผลการทดลองดังกล่าวก็สามารถที่จะนำไปใช้ในการรู้จำคำสั่งการ ได้ โดยในการตัดสินใจของคำสั่งการนั้น จากผลการทดลองเมื่อทำการแบ่งกลุ่มผู้ทดสอบการรู้จำออกเป็น กลุ่มที่ใช้เสียงในการสร้าง โมเดลและกลุ่มที่ไม่ใช้เสียงในการสร้าง โมเดล เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องกันจะเห็นได้ว่าถ้าผู้พูดเป็นผู้ที่ใช้เสียงของตนในการสร้าง โมเดลสำหรับการรู้จำ ความถูกต้อง ในการรู้จำเสียงพูดคือ 88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะสูงกว่าความถูกต้องของการรู้จำเสียงพูดที่สั่งการ โดยผู้พูดไม่ได้ ใช้เสียงของตนเองในการสร้าง โมเดล สำหรับการรู้จำซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลอง เมื่อมีการเพิ่มจำนวนเสียงที่ใช้ในการสร้าง โมเดลจะเห็นได้ว่าความถูกต้องในการรู้จำ เสียงจะมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นและจากผลการทดลองเมื่อผู้ทดสอบการรู้จำเสียงพูดมีวัยที่ต่างกันก็ สามารถที่จะใช้งานระบบสั่งการด้วยเสียงได้ เพราะเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องก็ยังคงมีค่าใกล้เคียงกันและ จากผลการทดลองการรู้จำเสียงพูดในกรณีต่างๆ ส่วนใหญ่จะมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจและสามารถที่จะนำไปใช้ในการสั่งการโทรทัศน์ ได้ แต่ถ้าพิจารณาถึงในแง่ความผิดพลาดที่ยังคงเกิดขึ้นอยู่ ก็จะสามารถนำ โปรแกรมการรู้จำเสียงพูด นี้ไปใช้งานได้ เพราะเมื่อโทรทัศน์เกิดการเปลี่ยนช่องผิดพลาดก็ไม่สร้างความเสียหาย

ในส่วนของการสร้างสัญญาณพัลส์รีโมทคอนโทรล ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC สามารถสร้าง สัญญาณได้เหมือนพัลส์ที่วัดได้จากรีโมทจริง ทำให้ไม่เกิดปัญหาในการส่งพัลส์เข้าเครื่องรับ โทรทัศน์

ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. ผู้พูดสั่งการต้องพูดสั่งการด้วยน้ำเสียงที่มีความชัดเจนจึงจะสามารถสั่งการ ได้
2. ในการตัดสินใจด้วยกระบวนการของแบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟนั้นเป็น โมเดลทางสถิติ ที่ยากต่อการเข้าใจ จึงต้องใช้เวลาศึกษาเป็นเวลานาน

หนังสืออ้างอิง

[1] L.R. Rabiner, B.H. Juang, Fundamentals of Speech Recognition, New Jersey : Prentice Hall, Inc. 1993.

[2] ภักดี จันทร์เกษ ,“การรู้จำเสียงตัวเลขภาษาไทย โดยการวิเคราะห์เสียงสระและเสียงวรรณยุกต์ด้วยวิธีความเข้มแถบวิกฤติและควอนไทซ์พิทช์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] สุกิจ แก้วปาน, “การรู้จำเสียงพยัญชนะต้นควบสระในภาษาไทยโดยวิธีสเปกตรัม LPC บนสเกลบาร์กและ HIDDEN MARKOV DOELING,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] นริศ บุญศักดิ์เฉลิม, วรา คงคำวิฑูร, ไกรสิน ส่วงวัฒนา, “การรู้จำหน่วยสระเสียงเดียวสำหรับภาษาไทยโดยการใช้ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของอวัยวะกำทอนเสียงบนสเกลบาร์ก,” NECTEC Technical Journal, Vol. III, No. 10 .

[5] ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิสัย, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628,” บริษัท อินโนเวทีฟ เอกซ์เพอร์ริเมนต์ จำกัด .

ภาคผนวก

```
%-----%  
%                               MATLAB PROGRAM                               %  
%-----%
```

```
% โปรแกรมหาลักษณะสำคัญของเสียง
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%                               Feature Extraction                               %  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function [b,s] = find_cbi(s,fs)  
f=fs/2;  
%Cut Unvoice  
a=s.^2/max(s.^2);  
amax=max(a);  
for j=1:length(a);  
    if a(j)>0.05*amax;  
        a(j)=0;  
    else  
        a(j)=amax;  
    end  
end  
pos=find(a == 0);  
if (pos(1)>300)&((length(s)-pos(length(pos)))>300);  
    s=s(pos(1)-300:pos(length(pos))+300);  
else  
    s=s(pos(1):pos(length(pos)));  
end  
%Preemphasis by HPF  
s1 = s(2:length(s),1)-0.9375*s(1:length(s)-1,1);  
%define frame size(n) and frame shift(m)  
%Frame Size 300 samples  
n=300; m=100; nframe=floor((length(s1)-n)/m)+1; p=19; b=[];  
%hamming window  
w = hamming(300,'symmetric');  
for i=0:nframe-1 %0:nframe-1  
%frame blocking  
    s2=s1([1:n]+i*m);  
%Multiply Input and Humming window  
    s2=s2.*w;  
%find lpc  
    a=[];  
    a=lpc(s2,p);  
    a1=-1*a(2:p+1);  
%find transfer function  
    hz=freqz(1,a,1:f,fs);  
    hz=abs(hz)/max(abs(hz));  
%find critical band intensity  
    cb_edge=[0;100;200;300;400;510;630;770;920;1080;1270;1480;1720;  
            2000;2320;2700;3150;3700;4400;5300;6400;];  
    CBI=zeros(1,20);  
    barkno = 2;  
    for i = 2:length(hz)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if i-1 <= cb_edge(barkno,1)
    CBI(1,barkno-1) = CBI(1,barkno-1) + (hz(1,i) + hz(1,i-1))*0.5;
else
    barkno = barkno + 1;
    CBI(1,barkno-1) = CBI(1,barkno-1) + (hz(1,i) + hz(1,i-1))*0.5;
end
end
CBI=CBI(1:18);
%Unit Vector
uCBI = CBI/sqrt(sum(CBI.*CBI));
b=[b,uCBI'];
end
b=log10(b);

```

% โปรแกรมสร้างโมเดลเสียงโดยใช้แบบจำลองฮิดเดินมาร์คอฟโมเดล

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Hidden Markov Model                               %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
function [A,mu,sigma,nloop,clogl] = hm(xdata,wseg,nstate,nbark)
```

```

delti = 2; nword = size(wseg,2) - 1;
seg1 = [];
for j=1:size(wseg,2)-1
    seg = [0];
    for i=1:nstate
        seg = [seg,floor((wseg(1,j+1)-wseg(1,j))*i/nstate+0.5)];
    end
    seg1 = [seg1;seg];
end
%Find Mu and Sigma
% Find Mean and Variance
mu = []; sigma = [];
for i=1:nstate
    me = [];
    for j=1:nword
        me = [me,xdata(:,wseg(1,j)+[seg1(j,i)+1:seg1(j,i+1)])];
    end
    mu = [mu,mean(me)'];
    sigma = [sigma,mean((me.*me)') - mean(me)'.*mean(me)'];
end
sigma = preventzero(sigma);
%State transition probability matrix
%Create transition metrix
A = ones(nstate*delti-1,1)*0.5; A(nstate*delti-1,1) = 1;
loop = 1; logl = 0; nloop = 0; clogl = [];
while loop == 1
    gamma = []; gamma2 = []; A_ = 0;
    for w=1:nword
        wdata = xdata(:,[wseg(1,w)+1:wseg(1,w+1)]);
%Find Gamma
        nframe = size(wdata,2); gamma1 = [];
%Compute density values
        nm = prod(sigma);
        nm = preventzero(nm);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

nm = 1./sqrt((2*pi)^nbark*nm));
dens = [];
for i=1:nstate
    de = [];
    for j=1:nframe
        de = [de,(wdata(:,j)-mu(:,i)).*(wdata(:,j)-mu(:,i))./sigma(:,i)];
    end
    dens = [dens;exp(-0.5*sum(de)).*nm(1,i)];
end

%Initial state probability matrix, first state is 1
ProbInt = zeros(nstate,1);
ProbInt(1,1) = 1;
%Forward variable
alpha = ProbInt.*dens(:,1);
scale1 = 1;
for i=2:nframe
    alpha = [alpha,ones(nstate,1)];
    alpha(1,i) = alpha(1,i-1)*A(1,1)*dens(1,i);
    for j=2:nstate
        alpha(j,i) = (alpha(j-1,i-1)*A(2*(j-1),1)+alpha(j,i-1)*A(2*(j-1)+1,1))*dens(j,i);
    end
    alpha = preventzero(alpha);
    scale1 = [scale1,sum(alpha(:,i))];
    alpha(:,i) = alpha(:,i)/scale1(1,i);
end
%Backward variable
beta = ones(nstate,nframe);
for i=nframe-1:-1:1
    beta(nstate,i) = beta(nstate,i+1)*A(nstate*2-1,1)*dens(nstate,i+1);
    for j=nstate-1:-1:1
        beta(j,i) = beta(j+1,i+1)*A(2*j,1)*dens(j+1,i+1)+beta(j,i+1)*A(2*j-1,1)*dens(j,i+1);
    end
    beta(:,i) = beta(:,i)/scale1(1,i);
end
%Log-likelihood
loglikelihood = log10(sum(alpha(:,nframe))) + sum(log10(scale1));
%Reestimate transition parameter
A_i = [];
for i=1:nframe-1
    for j=1:nstate-1
        A_i(j*2-1,i) = alpha(j,i)*dens(j,i+1)*beta(j,i+1)*A(j*2-1,1);
        A_i(j*2,i) = alpha(j,i)*dens(j+1,i+1)*beta(j+1,i+1)*A(j*2,1);
    end
    A_i(j*2+1,i) = alpha(j+1,i)*dens(j+1,i+1)*beta(j+1,i+1)*A(j*2+1,1);
    A_i(:,i) = A_i(:,i)/sum(A_i(:,i));
    gammal = [gammal,alpha(:,i).*beta(:,i)];
end
A_ = A_ + sum(A_i');
gammal = [gammal,alpha(:,size(wdata,2)).*beta(:,size(wdata,2))];
sumg = sum(gammal);
for i=1:nstate
    gammal(i,:) = gammal(i,)./sumg;
end
logl = mean([logl;loglikelihood]);
gamma = [gamma,gammal];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    gamma2 = [gamma2,gamma1(:,1:nframe-1)];
end
den = sum(gamma2');
%Normalize transition probability matrix
newA = [];
for i=1:nstate-1
    newA(2*i-1,1) = A_(2*i-1,1)/den(i,1);
    newA(2*i,1) = A_(2*i,1)/den(i,1);
end
newA(2*i+1,1) = A_(2*i+1,1)/den(i+1,1);
newA(delti*nstate-1,1) = 1;
%Recalculate mean and variance
newmu = [];
newsigma = [];
for i=1:nstate
    nmu = [];
    nsigma = [];
    for j=1:size(xdata,1)
        nmu = [nmu;xdata(j,:).*gamma(i,:)];
        nsigma = [nsigma;xdata(j,:).*xdata(j,:).*gamma(i,:)];
    end
    newmu = [newmu,sum(nmu)'/sum(gamma(i,:))];
    newsigma = [newsigma,sum(nsigma)'/sum(gamma(i,:)) - (newmu(:,i).*newmu(:,i))];
end
%Change A,mu,sigma
A = newA;
mu = newmu;
sigma = newsigma;
sigma = preventzero(sigma);
nloop = nloop + 1;
clogl = [clogl;logl];
if size(clogl,1) > 2
    if (abs(clogl(end,1) - clogl(end-1,1)) < 0.01 & abs(clogl(end,1) - clogl(end-2,1)) < 0.01) | (nloop >
100)
        loop = 0;
    end
end
end
A = zeros(nstate,nstate);
for i=1:5
    A(i,i)=newA(2*i-1,1);
    A(i,i+1)=newA(2*i,1);
end
A(6,6)=newA(11,1);

```

```

% โปรแกรมกำหนดค่าที่เท่ากับศูนย์ให้มีค่าน้อยมาก
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Prevent zero                               %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

function mat = preventzero(mat)
[rs,cs] = find(mat == 0);
if ~isempty(rs)
    if size(rs,1) < size(rs,2)
        rs = rs'; cs = cs';
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end
for i=1:size(rs,1)
    mat(rs(i),cs(i)) = 10^-1000;
end
end
%โปรแกรมสร้างโมเดลเสียงสำหรับการรู้จำ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Training Model                               %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

nstate = 6; nbark = 18;
fnames = dir('pre_training\*.dat');
totalfile = size(fnames,1);
delete('Model\*.');
for i = 1:totalfile
    load(['pre_training\',fnames(i).name],'-mat');
    b2 = []; wseg1 = 0; wseg = [0,wseg];
    for j = 1:120
        b = find_cbi(b1(:,sum(wseg(:,1:j))+1:sum(wseg(:,1:j+1))),r1(1,j));
        b2 = [b2,b];
        wseg1 = [wseg1,size(b2,2)];
    end
    [A,mu,sigma,nloop,clogl] = hm(b2,wseg1,nstate,nbark);
    save(['Model\',strrep(fnames(i).name,'.dat','.mod')],A,'mu','sigma','-mat');
end

%โปรแกรมทดสอบการรู้จำเสียงพูด
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Recognition by GUI                               %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function varargout = Speech_Recognition(varargin)
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @Speech_Recognition_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn',  @Speech_Recognition_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn',  [], ...
    'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Function Recognition                               %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function logl = recog(xdata,modelpath,nstate,nbark)
fnames = dir([modelpath,'*.mod']);
logl = [];
warning off;
for model=1:size(fnames,1)
%Find Likelyhood
nframe = size(xdata,2);
fn1 = [modelpath,'\fnames(model).name];
data = load(fn1,'-mat');
sigma = data.sigma; mu = data.mu; A = data.A;
nm = prod(sigma);
nm = preventzero(nm);
nm = 1./(sqrt((2*pi)^nbark*nm));
logdens = [];
for j = 1:nframe
logdens1 = [];
for i = 1:nstate
logdens1 = [logdens1;sum((xdata(:,j) - mu(:,i)).*(xdata(:,j) - mu(:,i))./sigma(:,i))];
end
logdens = [logdens,log(exp(-0.5*logdens1).*nm)];
end
A = log(preventzero(A));
ProbInt 0 = zeros(nstate,1);
ProbInt (1,1) = 1;
ProbInt 0 = log(preventzero(ProbInt 0));
plogl = zeros(nstate,nframe);
plogl(:,1) = ProbInt 0 + logdens(:,1);
for i = 2:nframe
for j = 1:nstate
plogl(j,i) = plogl(1,i-1) + A(1,j);
for k = 2:nstate
if plogl(j,i) < plogl(k,i-1) + A(k,j)
plogl(j,i) = plogl(k,i-1) + A(k,j);
end
end
plogl(j,i) = plogl(j,i) + logdens(j,i);
end
end
plogl = max(plogl(:,nframe));
logl = [logl;plogl];
end

```

% โปรแกรมเรียงลำดับตัวเลขจากมากไปหาน้อย

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Function Arrange Number Maximum to Minimum                               %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

function [logl1,ind] = max2min(logl)
logl1 = [];
logl2 = [];
ind = [];
[logl1(1),ind(1)]=max(logl);
[logl1(10),ind(10)]=min(logl);
for i = 1:10
if ((logl(i)<logl1(1))& (logl(i)>logl1(10)));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        logl2=[logl2;logl(i)];
    end
end
logl1(2)=max(logl2);
ind(2) = find(logl1==max(logl2));
logl1(9)=min(logl2);
ind(9) = find(logl1==min(logl2));
logl2 = [];
for i = 1:10
    if ((logl(i)<logl1(2))& (logl(i)>logl1(9)));
        logl2=[logl2;logl(i)];
    end
end
logl1(3)=max(logl2);
ind(3) = find(logl1==max(logl2));
logl1(8)=min(logl2);
ind(8) = find(logl1==min(logl2));
logl2 = [];
for i = 1:10
    if ((logl(i)<logl1(3))& (logl(i)>logl1(8)));
        logl2=[logl2;logl(i)];
    end
end
logl1(4)=max(logl2);
ind(4) = find(logl1==max(logl2));
logl1(7)=min(logl2);
ind(7) = find(logl1==min(logl2));
logl2 = [];
for i = 1:10
    if ((logl(i)<logl1(4))& (logl(i)>logl1(7)));
        logl2=[logl2;logl(i)];
    end
end
logl1(5)=max(logl2);
ind(5) = find(logl1==max(logl2));
logl1(6)=min(logl2);
ind(6) = find(logl1==min(logl2));
%-----

function Speech_Recognition_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = Speech_Recognition_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in start.
function start_Callback(hObject, eventdata, handles)
sp = serial('COM1','BaudRate',9600);
nstate = 6; nbark = 18;
modelpath = ['model'];
fnames1 = dir([modelpath,'*.mod']);
r1 = 11025 ;
z = 0 ;
chk = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while z == 0
    status='No Input';
    set(handles.status,'String',status);
    pause(0.000000000001);
    cmd_index = get(handles.command, 'Value');
    pause(0.0000001);
    switch cmd_index
        case 1
            z = 0;
        case 2
            z = 1;
    end
    x=wavrecord(1*r1,r1,'double');
    if sum(x.^2) > 1
        status = 'Input';
        set(handles.status,'String',status);
        pause(0.000000000001);
        s=wavrecord(0.5*r1,r1,'double');
        s=[x;s];
        axes(handles.input);
        plot(s); axis([-Inf +Inf -abs(max(s)) +abs(max(s))]);
        pause(0.0000001);
        [b,play_back] = find_cbi(s,r1);
        axes(handles.cut);
        plot(play_back); axis([0 length(play_back) -Inf +Inf]);
        pause(0.0000001);
        length = size(b,2);
        logl = recog(b,modelpath,nstate,nbark);
        [c,ind] = max2min(logl);
        word_rec = strrep(fnames1(ind(1)).name,'.mod','');
        blank = ' ';
        blank1 = ' ';
        set(handles.likelihood,'String','');

        for y = 1:length(logl);
            show_name = strrep(fnames1(ind(y)).name,'.mod','');
            show1 = [show_name,blank1(1,1:9-size(show_name,2)),'.',num2str(c(y))];
            show1 = [show1,blank1(1,1:30-size(show1,2))];
            show1 = [get(handles.likelihood,'string');show1];
            set(handles.likelihood,'string',show1);
            pause(0.00001);
        end
        word_rec = strrep(fnames1(ind(1)).name,'.mod','');
        set(handles.word_rec, 'String', word_rec);
        pause(0.00001);
    %Send Data Through Serial
    switch word_rec
        case ('ch 3')
            fopen(sp); for i=1:2 ; fwrite(sp,1) ; end ; fclose(sp);
        case ('ch 5')
            fopen(sp) ; for i=1:2 ; fwrite(sp,2) ; end ; fclose(sp);
        case ('ch 7')
            fopen(sp) ; for i=1:2 ; fwrite(sp,4) ; end ; fclose(sp);
        case ('ch 9')
            fopen(sp) ; for i=1:2 ; fwrite(sp,8) ; end ; fclose(sp);
        case ('ch 11')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        fopen(sp); for i=1:2; fwrite(sp,16); end; fclose(sp);
    case ('ch ITV')
        fopen(sp); for i=1:2; fwrite(sp,32); end; fclose(sp);
    case ('decrease')
        fopen(sp); for i=1:2; fwrite(sp,64); end; fclose(sp);
    case ('increase')
        fopen(sp); for i=1:2; fwrite(sp,128); end; fclose(sp);
    case ('close')
        fopen(sp); for i=1:2; fwrite(sp,1); end; fclose(sp);
    case ('open')
        fopen(sp); for i=1:2; fwrite(sp,1); end; fclose(sp);
    end
end
end
clear sp;

function word_rec_Callback(hObject, eventdata, handles)

function word_rec_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function command_Callback(hObject, eventdata, handles)

function command_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function likelyhood_Callback(hObject, eventdata, handles)

function likelyhood_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสร้างพัลส์รีโมทคอนโทรลในส่วนของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์

```

LIST      P=16F628,W=-302
PORTA    EQU      0X05
PORTB    EQU      0X06
PIR1     EQU      0X0C
RCSTA    EQU      0X18
RCREG    EQU      0X1A
CMCON    EQU      0X1F
TRISA    EQU      0X85
TRISB    EQU      0X86
TXSTA    EQU      0X98
SPBRG    EQU      0X99
COUNT0  EQU      0x70
COUNT1  EQU      0x71
COUNT2  EQU      0x72
COUNT3  EQU      0x73
COUNT4  EQU      0x74
COUNT5  EQU      0x75
TXIF     EQU      4
TXEN     EQU      5
BRGH     EQU      2
SPEN     EQU      7
CREN     EQU      4

    _CONFIG    0X3F61
    ORG        0X0000
    MOVLW     .7
    MOVWF    CMCON
    BANKSEL   TRISB
    BCF      TRISB,4
    MOVLW     .25
    MOVWF    SPBRG
    BSF      TXSTA,BRGH
    BANKSEL   RCSTA
    CLRF     PORTA
    CLRF     PORTB
    BSF      RCSTA,SPEN
    BSF      RCSTA,CREN
WAIT     BTFS   PIR1,RCIF
    GOTO     WAIT
    MOVFW    RCREG
    BANKSEL   TRISB
    BCF      TRISB,4
    BANKSEL   PORTB
    BTFSC    RCREG,0
    GOTO     CH_1
    BTFSC    RCREG,1
    GOTO     CH_2
    BTFSC    RCREG,2
    GOTO     CH_3
    BTFSC    RCREG,3
    GOTO     CH_4
    BTFSC    RCREG,4
    GOTO     CH_5
    BTFSC    RCREG,5
    GOTO     CH_6
    BTFSC    RCREG,6
    BTFSS    RCREG,6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	BTFSC	RCREG,7
	BTFSS	RCREG,7
	GOTO	I_VOL
	BTFSS	RCREG,6
	GOTO	D_VOL
	BTFSC	RCREG,7
	GOTO	POWER
CH_1	MOVLW	0x28
	MOVWF	COUNT1
L1	BCF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0
	DECFSZ	COUNT0,1
	GOTO	\$_-1
	DECFSZ	COUNT1,1
	GOTO	L1
	MOVLW	0x04
L2	MOVWF	COUNT2
	BSF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0
	DECFSZ	COUNT0,1
	GOTO	\$_-1
	DECFSZ	COUNT2,1
	GOTO	L2
	MOVLW	0x07
L3	MOVWF	COUNT3
	BCF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0
	DECFSZ	COUNT0,1
	GOTO	\$_-1
	BSF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0
	DECFSZ	COUNT0,1
	GOTO	\$_-1
	DECFSZ	COUNT3,1
	GOTO	L3
L4	BCF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0
	DECFSZ	COUNT0,1
	GOTO	\$_-1
	BSF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0
	DECFSZ	COUNT0,1
	GOTO	\$_-1
	BSF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0
	DECFSZ	COUNT0,1
	GOTO	\$_-1
	MOVLW	0x04
L5	MOVWF	COUNT4
	BCF	PORTB,4
	MOVLW	.200
	MOVWF	COUNT0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                DECFSZ    COUNT0,1
                GOTO     $-1                ;
                BSF      PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1
                DECFSZ  COUNT4,1
                GOTO     L5
                BCF     PORTB,4
                GOTO     WAIT
CH_2           MOVLW   0x28
L6            MOVWF   COUNT1
                BCF     PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1
                DECFSZ  COUNT1,1
                GOTO     L6
                MOVLW   0x04
                MOVWF   COUNT2
L7            BSF      PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1
                DECFSZ  COUNT2,1
                GOTO     L7
L8            BCF     PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1                ;
                BSF     PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1
                BSF     PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1
L9            MOVLW   0x06
                MOVWF   COUNT3
                BCF     PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1                ;
                BSF     PORTB,4
                MOVLW   .200
                MOVWF   COUNT0
                DECFSZ  COUNT0,1
                GOTO     $-1
                DECFSZ  COUNT3,1
                GOTO     L9
L10           BCF     PORTB,4
                MOVLW   .200

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1          ;
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
MOVLW    0x04
MOVWF    COUNT4
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1          ;
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT4,1
GOTO     L11
BCF      PORTB,4
GOTO     WAIT
CH_3     MOVLW    0x28
L12      MOVWF    COUNT1
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT1,1
GOTO     L12
MOVLW    0x04
MOVWF    COUNT2
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT2,1
GOTO     L13          ;
L14      BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1          ;
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
L15      BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT4
BCF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
DECFSZ    COUNT4,1
GOTO      L16
BCF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT5
BCF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
DECFSZ    COUNT5,1
GOTO      L18
BCF       PORTB,4
GOTO      WAIT
CH_4     MOVLW    0x28
MOVWF    COUNT1
L19     BCF       PORTB,4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
DECFSZ    COUNT1,1
GOTO      L19
MOV LW    0x04
MOV WF    COUNT2
L20      BSF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
DECFSZ    COUNT2,1
GOTO      L20      ;
MOV LW    0x02
MOV WF    COUNT3
L21      BCF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1      ;
BSF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
DECFSZ    COUNT3,1
GOTO      L21
MOV LW    0x05
MOV WF    COUNT4
L22      BCF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1      ;
BSF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
DECFSZ    COUNT4,1
GOTO      L22
L23      BCF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1      ;
BSF    PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO      $-1
BSF    PORTB,4
MOV LW    .200

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
MOVLW    0x04
MOVWF    COUNT5
L24      BCF     PORTB,4
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1 ;
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT5,1
GOTO     L24
BCF      PORTB,4
GOTO     WAIT
CH_5     MOVLW    0x28
L25      MOVWF    COUNT1
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT1,1
GOTO     L25
L26      MOVLW    0x04
MOVWF    COUNT2
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT2,1
GOTO     L26 ;
MOVLW    0x02
L27      MOVWF    COUNT3
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1 ;
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT3,1
GOTO     L27
MOVLW    0x02
L28      MOVWF    COUNT4
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1 ;
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
MOVLW   0x04
MOVWF    COUNT5
L29      BCF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT5,1
GOTO     L29
DECFSZ   COUNT4,1
GOTO     L28
BCF      PORTB,4
GOTO     WAIT
CH_6     MOVLW   0x28
L30      MOVWF    COUNT1
BCF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT1,1
GOTO     L30
MOVLW   0x04
L31      MOVWF    COUNT2
BSF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT2,1
GOTO     L31
L32      BCF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW   .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
L33      BCF      PORTB,4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1          ;
BSF       PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1
MOV LW    0x02
MOV WF    COUNT3
BCF       PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1          ;
BSF       PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF       PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1
MOV LW    0x04
MOV WF    COUNT4
BCF       PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1          ;
BSF       PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ    COUNT4,1
GOTO     L35
DECFSZ    COUNT3,1
GOTO     L34
BCF       PORTB,4
GOTO     WAIT
I_VOL    MOV LW    0x28
L36      MOV WF    COUNT1
BCF       PORTB,4
MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ    COUNT1,1
GOTO     L36
MOV LW    0x04
MOV WF    COUNT2
BSF       PORTB,4
L37      MOV LW    .200
MOV WF    COUNT0
DECFSZ    COUNT0,1
GOTO     $-1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

GOTO      $-1
BSF       PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
MOVLW    0x02
MOVWF    COUNT3
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT3,1
GOTO     L47
DECFSZ   COUNT4,1
GOTO     L46
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
MOVLW    0x04
MOVWF    COUNT5
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
BSF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1
DECFSZ   COUNT5,1
GOTO     L49
BCF      PORTB,4
GOTO     WAIT
POWER    MOVLW    0x28
L50      MOVWF    COUNT1
BCF      PORTB,4
MOVLW    .200
MOVWF    COUNT0
DECFSZ   COUNT0,1
GOTO     $-1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	DECFSZ	COUNT1,1	
	GOTO	L50	
	MOVLW	0x04	
L51	MOVWF	COUNT2	
	BSF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	
	DECFSZ	COUNT2,1	
	GOTO	L51	
	MOVLW	0x03	
L52	MOVWF	COUNT3	
	BCF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	;
	BSF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	
	BSF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
L53	GOTO	\$-1	
	BCF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	;
	BSF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	
	DECFSZ	COUNT3,1	
L54	GOTO	L52	
	BCF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	;
	BSF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
L55	GOTO	\$-1	
	BCF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	;
	BSF	PORTB,4	
	MOVLW	.200	
	MOVWF	COUNT0	
	DECFSZ	COUNT0,1	
	GOTO	\$-1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

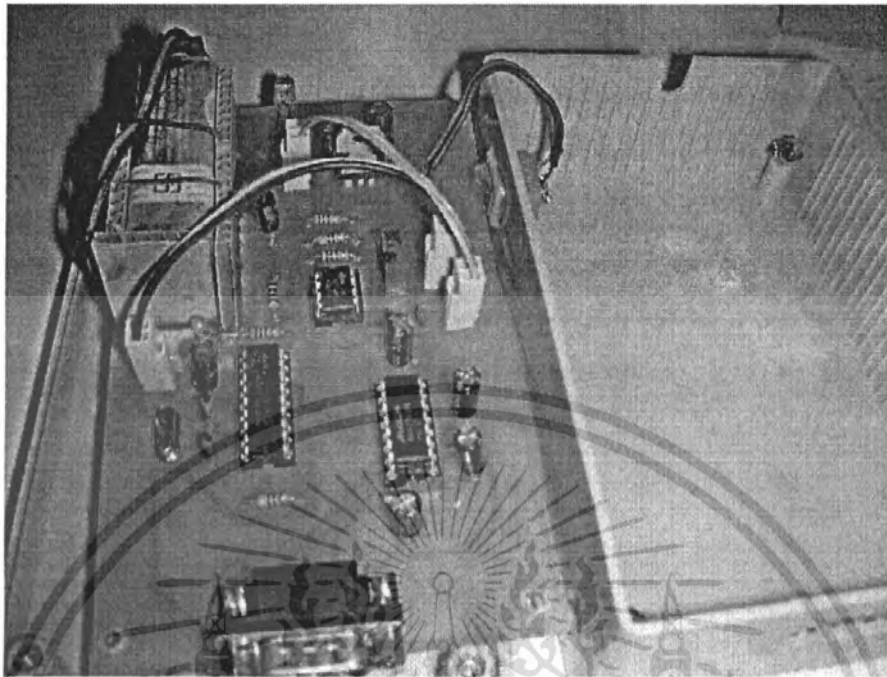
L56

```
BSF          PORTB,4
MOVLW       .200
MOVWF       COUNT0
DECFSZ      COUNT0,1
GOTO        $-1
MOVLW       0x04
MOVWF       COUNT4
BCF         PORTB,4
MOVLW       .200
MOVWF       COUNT0
DECFSZ      COUNT0,1
GOTO        $-1
BSF         PORTB,4
MOVLW       .200
MOVWF       COUNT0
DECFSZ      COUNT0,1
GOTO        $-1
DECFSZ      COUNT4,1
GOTO        L56
BCF         PORTB,4
GOTO        WAIT
END
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายชิ้นงาน



a) รูปถ่ายวงจรรีโมทคอนโทรล



b) รูปถ่ายรีโมทคอนโทรลสั่งการด้วยเสียงพูด

จากรูป a) จะแสดงภาพถ่ายวงจรรีโมทคอนโทรลโทรทัศน์สั่งการด้วยเสียงก่อนใส่กล่อง ส่วนรูป b) เป็นรูปถ่ายหลังจากที่นำชิ้นงานใส่กล่องแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้