ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ เครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้เสียงพูดคำไทย

Thai Speech Electric Equipment Control

ชื่อนักศึกษา

1. นายคณากร	ปันทะโชติ	รหัสประจำตัว	42035288
2. นางสาวจินตนา	จันทร์โสภา	รหัสประจำตัว	42035291
3. นายตติย	ศรีกระหวัน	รหัสประจำตัว	42035300
4. นางสาวพนิดา	หาญสงคราม	รหัสประจำตัว	42035311

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุชิน อาจหาญ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ	.....
2. อาจารย์สุชิน	อาจหาญ	.....
3. อาจารย์อำพล	ทองระอา	.....
4. อาจารย์ไพบูลย์	พวงวงศ์ตระกูล	.....
5. อาจารย์สุระชัย	พิมพ์สาลี	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันเสาร์ที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2543 เวลา 09.45 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

เครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้เสียงพูดคำไทย

THAI SPEECH ELECTRIC EQUIPMENT CONTROL

T040163

นายคณากร ปันทะโชติ

นางสาวจินตนา จันทร์โสภา

นายตติยะ ศรีกระหวัน

นางสาวพนิดา หาญสงคราม

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่
เลขทะเบียน 40163
วัน, เดือน, ปี 17 ส.ค. 2544

b 1092269
i

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้เสียงพูดคำไทย

Thai Speech Electric Equipment Control

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการรู้จำเสียงพูดโดยใช้คอมพิวเตอร์
2. เพื่อออกแบบระบบการรู้จำเสียงพูดโดยใช้คอมพิวเตอร์
3. เพื่อสร้างระบบการจดจำเสียงพูดคำไทย
4. เพื่อทดสอบระบบการจดจำเสียงพูดคำไทย
5. เพื่อนำระบบการจดจำเสียงพูดคำไทยไปใช้งานจริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ในการรู้จำเสียงพูด โดยใช้คอมพิวเตอร์
2. สามารถออกแบบระบบการรู้จำเสียงพูด โดยใช้คอมพิวเตอร์ได้
3. สามารถสร้างระบบการจดจำเสียงพูดคำไทยได้
4. สามารถทดสอบระบบการจดจำเสียงพูดคำไทยได้
5. สามารถนำระบบการจดจำเสียงพูดคำไทยไปใช้งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้เสียงพูดคำไทย
นักศึกษา	นายคณากร ปันทะโชติ
	นางสาวจินตนา จันทร์โสภา
	นายตติยะ ศรีกระหวัน
	นางสาวพนิดา หาญสงคราม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุชิน อาจหาญ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการตรวจสอบข้อมูลเสียงพูดคำไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ (Backpropagation) เพื่อให้รู้จำเสียงของผู้พูดคนเดียว โดยเสียงพูดจะถูกบันทึกผ่านเข้ามาทางไมโครโฟน สัญญาณที่ได้คือแอมพลิจูดในแกนเวลา และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วย การ์ดเสียง (Sound Blaster Card) จากนั้นจะผ่านส่วนของปรีโปรเซสซิ่ง (Preprocessing) เพื่อลดขนาด ข้อมูลเสียงโดยการปรับข้อมูลในแกนเวลา ข้อมูลเสียงนี้จะผ่านการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็วและได้สัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ จากนั้นทำการหาคุณลักษณะเฉพาะตัวของเสียงที่ต้องการทราบว่ามีความเหมือนหรือสอดคล้องกับเสียงในเสียงต้นแบบมากเพียงใด โดยใช้สหสัมพันธ์ ค่าที่ได้จะนำไปใช้เรียนรู้บนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมกับข้อมูลตัวอย่างสอดคล้องกับเอาต์พุตตามต้องการ เมื่อนำข้อมูลทดสอบป้อนให้กับอินพุทของโครงข่ายประสาทเทียม แล้วใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่คำนวณได้จากการเรียนมาอ้าง กับข้อมูลทดสอบ จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมตรวจสอบและแยกแยะเสียงได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Thai Speech Electric Equipment Control
Students	Mr.Khanakorn Puntachote
	Miss.Jintana Jansopa
	Mr.Tatiya Srikrawan
	Miss.Panida Hansongkram
Advisor	Mr.Amornchai Chaichana
Co-Advisor	Mr.Suchin Adhan
Education level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Electronic and computer
Academic year	2000

ABSTRACT

This thesis presents the Thai speech checked with backpropagation neural network, that use for numeral speech recognition. Speech signal will be detected from microphone, then converted to digital by sound blaster card. All data sets are transformed to frequency domain by FFT (Fast Fourier Transform) . The Transformed data are brought to find correlation and be used as a standard profile for matching. Then the correlated data are brought to train on neural network in order to accumulate the value of weight. The accumulated weight is used as a reference to the testing data. Consequently, the neural network is able to test and classify the numeral speech correctly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน และการสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์จากทางภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ขอขอบพระคุณ อาจารย์ สุชิน อาจหาญ และคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางการแก้ปัญหา ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล สุดท้ายที่ควรระลึกอย่างยิ่ง บิดา มารดา และ ครู-อาจารย์ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ที่เป็นผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ลักษณะของเสียงพูด	3
2.2 อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง	3
2.3 การเกิดเสียง	4
2.3.1 ขั้นตอนการเกิดของเสียง	4
2.3.2 เสียงที่เกิดขึ้น	4
2.4 ระบบการได้ยินและการวิเคราะห์เสียงของมนุษย์	5
2.5 หูและการได้ยิน	5
2.6 ธรรมชาติการรู้จำเสียง	6
2.7 หลักการของการเข้าถึงข้อมูลและการแปลงข้อมูล	7
2.8 โครงสร้างของการ์ดเสียง	8
2.9 ลักษณะทางกายภาพของเสียง	9
2.10 ฟังก์ชันของการ์ดเสียง	9
2.11 วงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	11
2.12 วงจร A/D แบบสโลปคู่	12
2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	15
2.13.1 คุณสมบัติของ MCS-51	16
2.13.2 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.13.3 พอร์ทของ MCS-51 และการใช้งาน	18
2.14 การแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว	19
2.15 ฟูริเยร์อย่างเร็วแบบฐานสอง	20
2.16 การลดทอนทางเวลาแบบอื่น	27
2.16.1 ขั้นตอนการคำนวณซ้ำที่	27
2.16.2 วิธีลดข้อมูลทางเวลาเรียงตามธรรมชาติ	28
2.16.3 ขั้นตอนวิธีสำหรับการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง	31
2.17 โครงข่ายประสาทเทียม	31
2.17.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม	31
2.17.2 โครงข่ายประสาทเทียมชีวภาพ	32
2.17.3 โครงข่ายประสาทเทียม	33
2.17.4 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ	34
2.17.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	37
2.17.6 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	38
2.17.7 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจแบบไม่เป็นเชิงเส้น	39
2.17.8 การฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม	39
2.17.9 วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้	40
2.17.10 การเรียนรู้แบบควบคุม	40
2.17.11 การเรียนรู้แบบอิสระ	41
2.17.12 วิธีการแก้ปัญหาการเรียนรู้	41
2.17.13 การประยุกติใช้เซลล์ประสาทกับการวิจัย	42
2.17.14 กระบวนการเรียนรู้	44
2.17.15 เงื่อนไขการหยุดการฝึกสอน	49
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	50
3.1 หน่วยความจำเสียงพูด	50
3.2 ระบบการรู้จำเสียง	50
3.3 การวิเคราะห์เสียงต้นแบบ	52
3.4 การปรับข้อมูลให้เหมาะสมกับโครงข่าย	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5 หลักการทำงานของส่วนฮาร์ดแวร์	54
3.6 รายละเอียดการทำงานของส่วนฮาร์ดแวร์	56
3.7 อัลกอริทึม	57
3.8 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ	58
3.9 หลักการออกแบบโปรแกรมการรู้จำเสียงพูด	58
3.9.1 การทำงานของโปรแกรมต่างๆ	60
3.9.2 การออกแบบผังงานของโปรแกรมส่วนต่างๆ	61
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	67
4.1 วิธีการทดลองเสียง	67
4.2 ผลการทดลอง	68
4.2.1 กระบวนการปรับข้อมูลให้เหมาะสม	68
4.2.2 การหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์	76
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา	78
5.1 บทสรุป	78
5.2 ปัญหา	78
5.3 แนวทางการแก้ปัญหา	80
5.4 แนวทางการพัฒนา	80
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	82
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	85
ภาคผนวก ค ผังการทำงานและโปรแกรม	88
บรรณานุกรม	138
ประวัติผู้แต่ง	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ท 3	17
ตารางที่ 3.1 รหัสการเปิดไฟ	57
ตารางที่ 3.2 รหัสการปิดไฟ	57
ตารางที่ 3.3 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ	58
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการรู้จำเสียง	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียงพูดของมนุษย์	4
รูปที่ 2.2 หูส่วนนอก หูส่วนใน และส่วนประกอบต่างๆ ของหู	6
รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลทางดิจิตอล	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะของสัญญาณไซน์	9
รูปที่ 2.5 (ก) การสุ่มสัญญาณอย่างละเอียด	11
(ข) การสุ่มสัญญาณอย่างหยาบ	11
รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์	14
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของวงจร A/D แบบสโลปคู่	15
รูปที่ 2.8 ขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051	16
รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อพอร์ท P1 กับ LED	19
รูปที่ 2.10 กราฟการไหลของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ FFT	24
รูปที่ 2.11 หน่วยผีเสื้อของการคำนวณตามขั้นตอนวิธีลดทอนทางเวลา	27
รูปที่ 2.12 กราฟการไหลสัญญาณ	28
รูปที่ 2.13 การสลับตำแหน่งของลำดับ x(n) ด้วยการผันกลับบิต	28
รูปที่ 2.14 วิธีของคูลีย์และทูคีย์	29
รูปที่ 2.15 วิธีของเยนเทิลแมนและแซนดี้	30
รูปที่ 2.16 วิธีของซิงเกิลตัน	30
รูปที่ 2.17 โครงสร้างตัวอย่างประสาทชีวภาพ	32
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้น	34
รูปที่ 2.19 หน่วยเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้นร่วมกับ Activation Function	35
รูปที่ 2.20 กราฟที่ได้จากสมการซิกมอยด์ลอจิสติกฟังก์ชัน	36
รูปที่ 2.21 ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent Function	37
รูปที่ 2.22 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	37
รูปที่ 2.23 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ แบบสองชั้น	39
รูปที่ 2.24 โครงสร้างของ Two Layer Feed-forward	43
รูปที่ 2.25 โครงสร้างการเชื่อมโยงระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 2 ชั้นของโครงข่ายแบบแพร่กลับ	43
รูปที่ 2.26 โครงสร้างของการปรับค่าน้ำหนัก ในชั้น Output Layer และ Hidden layer	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.27 โครงสร้างวิธีการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมของการเรียนรู้โดยใช้อัลกอริทึมแบบแพร่กลับ	47
รูปที่ 2.28 ผังงานของกระบวนการเรียนรู้ เพื่อหาค่าน้ำหนัก	48
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการปรับข้อมูลให้พร้อมนำไปทดสอบ	51
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเรียนรู้	52
รูปที่ 3.3 การทดสอบไฟล์เสียงที่ใช้ค่าน้ำหนัก จาก Network File ที่ได้จากการเรียนรู้	52
รูปที่ 3.4 วงจรการทำงานของตัวเครื่อง	55
รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของการวิเคราะห์โดยวิธีชอร์ตไทม์	57
รูปที่ 3.6 ผังงานโปรแกรมหลัก	61
รูปที่ 3.7 ผังงานโปรแกรมการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว	62
รูปที่ 3.8 ผังงานโปรแกรมอัดและบันทึกเสียง	63
รูปที่ 3.9 ผังงานโปรแกรมปรับค่าข้อมูลเสียงไม่ให้เกิน 1	64
รูปที่ 3.10 ผังงานโปรแกรมการหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์	65
รูปที่ 3.11 ผังงานโปรแกรมกระบวนการเรียนรู้	66
รูปที่ 4.1 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟหน้าบ้าน”	68
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟหน้าบ้าน”	68
รูปที่ 4.2 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟหน้าบ้าน”	69
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟหน้าบ้าน”	69
รูปที่ 4.3 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟหลังบ้าน”	69
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟหลังบ้าน”	69
รูปที่ 4.4 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟหลังบ้าน”	70
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟหลังบ้าน”	70
รูปที่ 4.5 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องนอน”	70
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องนอน”	70
รูปที่ 4.6 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องนอน”	71
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องนอน”	71
รูปที่ 4.7 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องครัว”	71
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องครัว”	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.8 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องครัว”	72
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องครัว”	72
รูปที่ 4.9 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องน้ำ”	72
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องน้ำ”	72
รูปที่ 4.10 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องน้ำ”	73
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องน้ำ”	73
รูปที่ 4.11 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดไฟหน้าบ้าน”	73
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟหน้าบ้าน”	73
รูปที่ 4.12 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดไฟหลังบ้าน”	74
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟหลังบ้าน”	74
รูปที่ 4.13 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดไฟห้องนอน”	74
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟห้องนอน”	74
รูปที่ 4.14 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดไฟห้องครัว”	75
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟห้องครัว”	75
รูปที่ 4.15 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดไฟห้องน้ำ”	75
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟห้องน้ำ”	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันมนุษย์เราได้พยายามพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่างๆ เพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกให้กับชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีทางด้านการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ก็เป็นอีกบทบาทหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ การนำคำพูดของมนุษย์มาใช้ในการสั่งงานคอมพิวเตอร์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีผู้ให้ความสำคัญเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถสร้างความสะดวกให้กับมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้พิการ หรือผู้ที่เป็นอัมพาต สามารถสั่งงานอุปกรณ์ต่างๆ ที่การทำงานถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้เอง

โครงงานการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้เสียงพูดคำไทยนี้ เป็นโครงงานเพื่อศึกษาเทคโนโลยีดังกล่าว ได้นำเสียงพูดที่เป็นคำพูดในภาษาไทยมาวิเคราะห์ แยกแยะ ความแตกต่างและนำมาเป็นเสียงตัวอย่างของคำสั่งในการสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้า สามารถนำมาควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้จริง และสามารถไปพัฒนาเพื่ออำนวยความสะดวกด้านอื่นๆ ได้อีก

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1. ใช้โปรแกรมภาษาซี ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้า
2. ใช้โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม แยกแยะ เปรียบเทียบ สัญญาณเสียงพูดในภาษาไทย
3. สามารถใช้คำพูดในภาษาไทยควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างน้อย 6 คำ เช่น เปิดไฟหน้าบ้านปิดไฟหน้าบ้าน, เปิดไฟห้องนอน, ปิดไฟห้องนอน, เปิดไฟห้องครัว และปิดไฟห้องครัว
4. สามารถใช้ผู้พูดในการควบคุม การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เฉพาะเจาะจงเพียงบุคคลหรือเฉพาะกลุ่ม

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้ คือ ลักษณะของเสียงพูด, อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง, การเกิดเสียง, ระบบการได้ยินและการวิเคราะห์เสียงของมนุษย์, หูและการได้ยิน, ธรรมชาติการรู้จำ, หลักการของการเข้าถึงข้อมูลและการแปลงข้อมูล, ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ, การแปลงสัญญาณอานาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล, MCS-51, การแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว, โครงข่ายประสาทเทียม บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับ การทำงานของส่วนตัวเครื่อง และโปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน ดังนี้ คือ หน่วยการรู้จำเสียงพูด, อัลกอริทึม, หลักการออกแบบโปรแกรมการรู้จำเสียงคำไทย

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลองโปรแกรม เพื่อเป็นการรับเสียงคำไทยเข้ามา เพื่อมาเปรียบเทียบเสียง แล้วแสดงคำไทยดังกล่าวบนจอคอมพิวเตอร์

บทที่ 5 บทสรุปปัญหา และแนวทางการพัฒนา กล่าวถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน, ปัญหา, แนวทางการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาโครงงาน

ภาคผนวก จะแบ่งออกเป็น 4 ภาค ซึ่งประกอบด้วย

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค ผังการทำงานและโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ประกอบในการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญของหัวข้อหลักๆ ของทฤษฎี และหลักการ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนี้

2.1 ลักษณะของเสียงพูด

คนเราสามารถเปล่งเสียงพูดด้วยอวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง (Organs of Speech) โดยเปล่งเสียงสำคัญที่มีอยู่ในระบบภาษาคน แม้ว่าคนที่อยู่ในสังคมเดียวกันจะใช้ภาษาเดียวกัน แต่ถ้าพิจารณาโดยละเอียดจะสังเกตได้ว่าเสียงที่เปล่งออกมาในแต่ละครั้ง จะมีความแตกต่างกัน เราจึงสามารถจดจำเสียงพูดของคนที่เราค้นเคยได้ โดยไม่ต้องเห็นหน้า เสียงพูดนี้มีลักษณะที่จะอธิบายได้ด้วยหลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสากล ว่าแม้ภาษาๆ หนึ่งจะมีความแตกต่างกันจะมีเสียงที่แตกต่างกันออกไป แต่ละเสียงก็สามารถนำมาพิจารณา อธิบายให้รู้ลักษณะการออกเสียง และตำแหน่งของเสียงที่เกิดขึ้นได้ เรียกว่าวิชา “วิชาสัทศาสตร์”

ในการศึกษาเรื่องเสียงพูดสามารถแบ่งได้เป็นสองลักษณะคือ

1) สรีระศาสตร์ (Articulatory Phonetics) เป็นการศึกษาเสียงพูดจากอวัยวะ และการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่ทำให้เกิดเสียงพูดขึ้น การอธิบาย ก็จะอาศัยโดยลักษณะและอาการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการเปล่งเสียง

2) กลสัทศาสตร์ (Acoustic Phonetics) เป็นการศึกษาเสียงพูดจากลักษณะคลื่นเสียงที่ผู้เปล่งออกมาแล้วผู้ฟังได้ยินว่ามีลักษณะทางกลศาสตร์เป็นอย่างใด การศึกษาตามแนวนี้ต้องอาศัยความรู้ทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์เข้าช่วยอธิบายลักษณะของคลื่นเสียง

2.2. อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียง

อวัยวะที่ใช้ในการพูดมีอยู่หลายส่วน แต่ละส่วน แต่ละส่วนสามารถให้เสียงที่แตกต่างกันไป เช่น ปากและส่วนต่างๆ ในช่องปาก เช่น ช่องปาก ช่องคอ ช่องจมูกและกล่องเสียง อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียงแบ่งออกเป็น 2 พวก ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) อวัยวะที่ใช้ในการกระทำอาการ (Articulator) หมายถึงอวัยวะที่เคลื่อนไหว เพื่อผลักลมไปยังส่วนต่างๆ ของอวัยวะ ตัวกระทำที่สำคัญคือ ลิ้น ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนไหวได้มากที่สุด

2) อวัยวะที่เป็นตำแหน่งที่เกิดเสียงต่างๆ (Point of Articulator) หมายถึงตำแหน่งหรือฐานที่เกิดเสียงต่างๆ เช่น ริมฝีปาก ฟัน เพดานส่วนต่างๆ เป็นต้น

รูปที่ 2.1 อวัยวะที่ใช้ในการออกเสียงพูดของมนุษย์

2.3 การเกิดเสียง

2.3.1 ขั้นตอนการเกิดของเสียง แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1) ขั้นเริ่มต้น (Initiation) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ลมเริ่มถูกขับออกจากปอดเพื่อเดินทางเข้าสู่ขั้นตอนที่สองต่อไป

2) ขั้นตอนการดัดแปลงเสียงที่เป็นเส้น (Phonation) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ลมจากปอดผ่านมายังหลอดลมและกล่องเสียง ซึ่งกล่องเสียงนี้จะมีเส้นเสียงทำหน้าที่เป็น ลิ้นเปิด ลิ้นปิด ทำให้เกิดเสียงได้สองชนิด คือเสียงก้อง (Voiced Sound) และเสียงที่ไม่ก้อง (Unvoiced Sound) อวัยวะที่ใช้ตอนนี้คือ ส่วนที่ต่อจากปอดขึ้นมาจนถึงริมฝีปาก

2.3.2 เสียงที่เกิดขึ้น จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) เสียงก้อง (Voiced Sound) เกิดเนื่องจากการออกเสียงในลักษณะที่เส้นเสียงถูกดึงเข้ามาใกล้กันเกือบปิดช่องทางลมเสียสนิท ลมที่ดันออกจากปอดจะทำให้เสียงสั่น ลมที่ออกมาไม่สะดวก เพราะต้องบีบตัวผ่านช่องแคบเป็นจังหวะจนทำให้เกิดเสียงขึ้น เรียกว่า “เสียงก้อง”

2) เสียงไม่ก้อง (Unvoiced Sound) เป็นการออกเสียงในขณะที่เส้นเสียงยังเปิดกว้างโดยเปิดช่องระหว่างเส้นเสียงหรือช่องคอหอย (Glottis) ให้ลมหายใจผ่านเข้าออกสะดวก เรียกเสียงเหล่านี้ว่า “เสียงไม่ก้อง”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบการได้ยินและการวิเคราะห์เสียงของมนุษย์

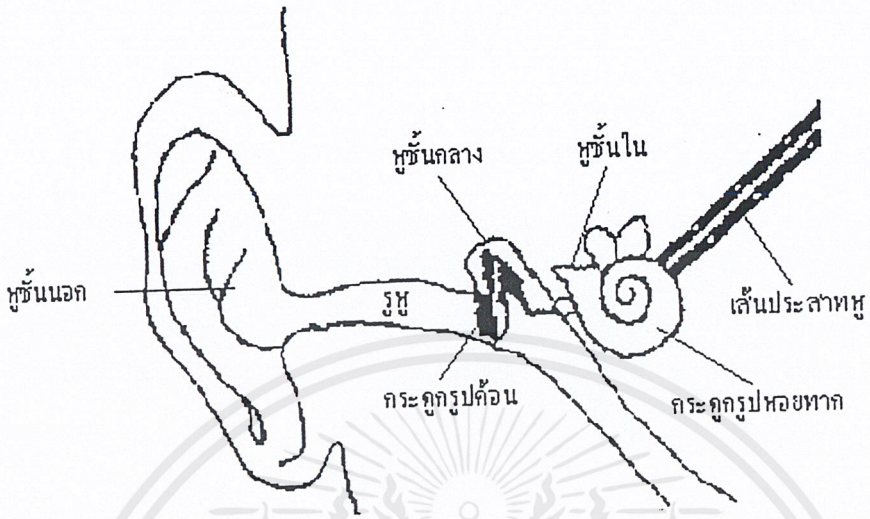
เราอาจแบ่งระบบการรับรู้ด้านเสียงของมนุษย์ได้ 2 ส่วน คือ ระบบการได้ยิน และระบบการวิเคราะห์ความหมายของเสียง ระบบการได้ยินประกอบด้วยอวัยวะต่างๆ ที่ใช้ในการรับเสียงที่ทำหน้าที่รับเสียงจากสิ่งแวดล้อมแปลงเป็นสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) ผ่านเส้นประสาทเสียงไปยังสมองส่วนรับรู้เสียง (Auditory) ที่ทำหน้าที่เป็นระบบวิเคราะห์ความหมายของเสียง

2.5 หูและการได้ยิน

หูเป็นอวัยวะที่ใช้ในการรับรู้เสียงทุกๆ เสียงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ หูส่วนนอก หูส่วนกลางและหูส่วนใน แรงอัดและขยายของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จะเดินทางเข้ามาทางใบหู (Pinna) ช่องหู (Auditory Channel) ซึ่งเป็นหูส่วนนอก ผ่านหูส่วนกลางที่มีโพรงอากาศประกอบด้วย Ear drum และกระดูก 3 ชิ้น ได้แก่ Hammer Anvil และ Stirrup ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดความสั่นสะเทือนสู่ของเหลวที่บรรจุอยู่ในอวัยะรูปเปลือกหอยทาก (The Snale-Shaped Cochlea) ซึ่งเป็นหูส่วนใน ของเหลวที่อยู่ในอวัยวะรูปเปลือกหอยทากจะถ่ายทอดความสั่นสะเทือนเคลื่อนไปตามความยาวของภายในเยื่อที่เซลล์ขน ที่มีคุณลักษณะการตอบสนองความถี่แตกต่างกันนับพันแผ่อยู่ตั้งแต่ฐานถึงยอดของ Cochlea (The Basilar Membrane) ภายในเยื่อ Basilar เซลล์ขน (Hair Cell) ที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันนับพัน แผ่อยู่ตั้งแต่ฐานถึงยอดของ Cochlea เมื่อเซลล์ขนเหล่านี้ถูกของเหลวจะทำให้มีลักษณะเปลี่ยนไป โดยจะเกิดเป็นสัญญาณอิมพัลส์ไฟฟ้า (Electric Impulse) กระตุ้นเป็นทอดๆ ผ่านประสาทเสียง (Auditory Nerve) เข้าสู่สมอง โดยเซลล์ขนจะมีคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ต่ำ ที่ยอดของ Cochles และที่ส่วนฐานของเซลล์ขนจะมีคุณลักษณะการตอบสนองความถี่สูง

คุณลักษณะของเสียงที่มนุษย์สามารถแยกแยะได้นั้นประกอบด้วย ปริมาณ (Volume) พิท (Pitch) และโทน (Tone) ปริมาณความดังของเสียงนี้ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดหรือความเข้มของคลื่นเสียง พิทเป็นความสัมพันธ์กับความถี่ของเสียง หมายถึง จำนวนของคลื่นที่ผ่านจุดอ้างอิงต่อหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อความถี่สูงขึ้นพิทก็จะมากขึ้น โทนหรือ Quality ของเสียงที่มีคุณสมบัติที่ซับซ้อนมากกว่าวอลุ่ม โดยพิท Guality จะแปลตามจำนวนและชนิดของ Overtone หรือฮาร์โมนิคส์ (Combination of Frequency) โดยทั่วไปมนุษย์สามารถได้ยินเสียงความถี่ตั้งแต่ 30 Hz ถึง 20 kHz และช่วงแถบความถี่ที่เสียงพูดที่ใช้ในระบบสื่อสารมีแบนวิดธ์อยู่ในช่วง 300 Hz ถึง 3.4 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 หูส่วนนอก หูส่วนใน และส่วนประกอบต่างๆ ของหู

2.6 ธรรมชาติการรู้จำเสียง

ระบบการรู้จำเสียงของมนุษย์ มีความละเอียดซับซ้อน มีการเรียนรู้ และปรับปรุงความสามารถไปพร้อมกับการพัฒนาของร่างกายตั้งแต่เยาว์วัย ระดับการรู้จำจะดำเนินไปตามขั้นตอนของมันจนกระทั้งมีการเชี่ยวชาญในการฟังประกอบกับมีโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับระบบการได้ยิน ทำให้สามารถแยกแยะคำและเสียงที่ซับซ้อนได้อย่างดี ความชำนาญในการฟังเกิดจากการเรียนรู้ ฝึกฝน และมีการปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา จากการศึกษาพฤติกรรมพบว่าการวิเคราะห์และการรู้จำเสียงของมนุษย์มีคุณลักษณะและความสามารถหลายอย่าง ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1) การตีความหมายของคำที่ได้ยินนั้นจะขึ้นกับสถานการณ์ เวลา สถานที่ ความรู้สึก เรื่องที่กำลังสนใจ

2) สามารถรับรู้ความหมายเดียวกันได้ แม้ความดัง ความถี่ พิท ความยาวของเสียงที่เปล่งแตกต่างกัน

3) ขณะที่สนใจจะวิเคราะห์เสียงใดเสียงหนึ่ง ความสามารถวิเคราะห์เสียงอื่นรอบข้างจะด้อยลง

4) สามารถเลือกฟังเสียงที่ต้องการเพื่อตีความหมายได้

5) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเสียงภาษาของคนทั่วไปและเฉพาะบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) สามารถรับรู้ทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้

7) สามารถตีความได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียงพูด

8) รับรู้อารมณ์ ความรู้สึก น้ำเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงพูดได้

9) การรับรู้มีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อคู่สนทนาได้เห็นลีลา สายตา ท่าทางประกอบการพูด

10) สามารถแยกแยะคุณสมบัติของเสียงที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ

11) มีการเรียนรู้ตลอดเวลา และปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว (ก่อนการวิเคราะห์เสียงใดๆ ได้ถูกต้อง ต้องมีประสบการณ์การเรียนรู้มาก่อน)

12) การปรับระดับความดังของการรับฟัง ให้อยู่ในระดับที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ได้อย่างอัตโนมัติ โดยไม่คำนึงแหล่งกำเนิดเสียงว่ามีความดังเพียงใด

13) มีการทำงานสอดคล้องประสานกับจิตใจ ที่สามารถควบคุมการวิเคราะห์จากการได้ยินเสียงได้

ดังนั้นการสร้างเครื่องจักรให้สามารถรู้จำเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าเทียมมนุษย์เป็นเรื่องค่อนข้างยาก หากจะสร้างเครื่องจักรจะต้องทำให้มีลักษณะการลอกเลียนแบบพฤติกรรมมนุษย์ คือ “การเรียน การฝึกฝน มีการปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา และจะต้องกระทำแบบอัตโนมัติ”

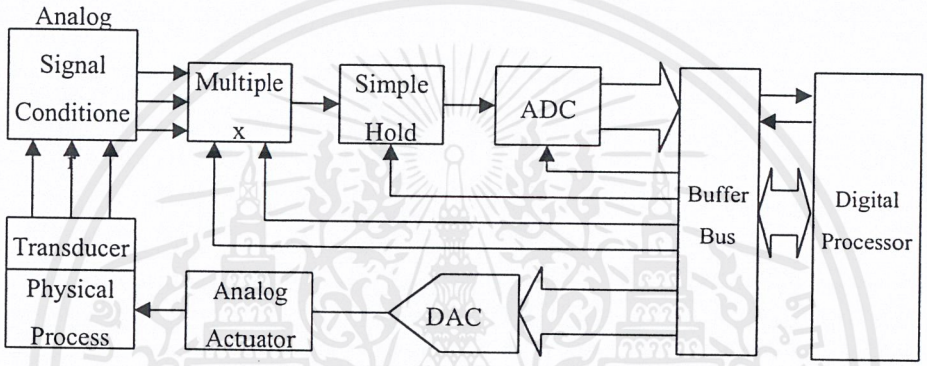
การวิจัยดังกล่าวยังต้องอาศัยเวลาอีกพอสมควร เพราะต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงมากในขั้นตอนการฝึกฝน ซึ่งต้องใช้เวลามากหากมีการฝึกฝนบ่อยๆ และเมื่อต้องการให้ระบบรู้จักคำมากขึ้น ประสิทธิภาพและความเร็วก็จะลดลง นอกจากนี้ระบบก็ต้องการอัลกอริทึมหลายๆ แบบร่วมกันที่ให้ความเร็วสูง หากพิจารณาดูคุณลักษณะสมบัติการวิเคราะห์เสียงของมนุษย์จะพบความละเอียดอ่อน มีความแม่นยำสูง ลึกซึ้ง ทำงานร่วมกับจิตใจซึ่งเป็นการยากที่จะสร้างระบบการวิเคราะห์เสียงมนุษย์ การวิจัยจึงมุ่งสร้างระบบการรู้จำเสียงในจำนวนจำกัด กลุ่มทดสอบการใช้งานและกลุ่มตัวอย่างที่ค่อนข้างแคบแต่เพียงกำหนดให้เพียงพอต่อการใช้งานเฉพาะกิจ โดยมุ่งเน้นความถูกต้องเป็นหลัก

2.7 หลักการของการเข้าถึงข้อมูลและการแปลงข้อมูล

รูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่เราพบเห็นและคุ้นเคยในชีวิตประจำวันจะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่าสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งแต่เดิมจะนำเอาสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวมาประมวลกระทำในรูปแบบแอนะล็อกนั่นเอง แต่เมื่อเริ่มมีเทคนิคการประมวลสัญญาณดิจิตอลจึงได้รับการพิจารณา เนื่องจากพบว่าในรูปแบบของดิจิตอลการประมวลผล และการแสดงผลสามารถทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ดังนั้นในรูปแบบของการเปลี่ยนสัญญาณจึงมีความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงจากสัญญาณแอนะลอกที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter) หรือ ADC และนำมาประมวลโดยประมวลทางดิจิตอล เช่น คอมพิวเตอร์ จากนั้นจะถูกนำมาแสดงผลเลย หรือถูกเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปแอนะลอกที่ใช้งานได้ง่ายกว่า โดยใช้วงจรการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก (Digital to Analog Converter) หรือ DAC ในรูปที่2.3 ซึ่งแสดงระบบควบคุมโดยการประมวลข้อมูลในระบบดิจิตอล



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลทางดิจิตอล

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไม่ว่าลักษณะใดๆ ก็ตาม เช่น ความดันอุณหภูมิ จะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแอนะลอก โดยทรานสดิวเซอร์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับรูปแบบทางกายภาพนั้น สัญญาณไฟฟ้านั้นจะถูกปรับให้อยู่ในรูปและขนาดที่เหมาะสม โดยวงจรจัดสัญญาณ เช่น วงจรขยายหรือฟิลเตอร์

2.8 โครงสร้างของการ์ดเสียง

การ์ดเสียง เป็นการรวมเอาการ์ด 5 การ์ดเข้าด้วยกัน คือ

1) CMS Game Blaster Card โดยนำเอา Stereo Chip มาใช้บนการ์ดเสียง

2) Adlib Music Synthesizer Card โดยนำเอา FN Chip มาใช้บนการ์ดเสียง

3) Digital Signal Processing (DSP)Card เพื่อทำงานเกี่ยวกับเสียงแบบดิจิตอล และแอนะลอก

4) Midi Card เพื่อใช้สื่อสารกับสัญญาณแบบ Synthesizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) Joystick Card เพื่อเล่นเกมส์

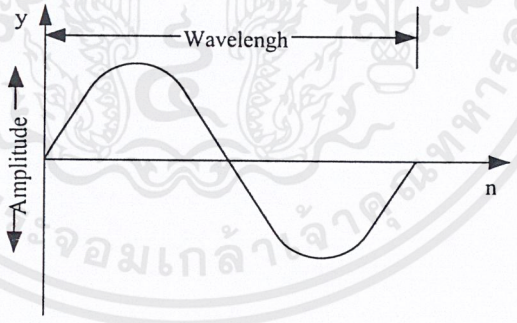
2.9 ลักษณะทางกายภาพของเสียง

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนเรียกว่า "คลื่นเสียง" เมื่อคลื่นเสียงถูกผลิตขึ้นซ้ำๆ กันเป็นจังหวะๆ จะเกิดเป็นเสียงความถี่คงที่ เมื่อคลื่นเสียงเกิดไม่เป็นจังหวะจะเกิดเป็นระดับต่ำๆ หรือไม่เกิดเลย และให้กำเนิดเสียงที่ไม่คงที่เป็นเสียงปัง หรือ คลิก

ความถี่ของเสียงถูกกำหนดด้วยตัวเลขที่เป็นจำนวนการเกิดคลื่นเสียงซ้ำในหนึ่งคาบเวลา ระดับเสียงถูกกำหนดโดยความถี่ ถ้าความถี่สูงระดับเสียงก็จะสูง โดยหน่วยที่ใช้วัดความถี่เรียกว่า "เฮิรตซ์" หรือเขียนสัญลักษณ์ว่า Hz เป็นหน่วยของคลื่นเสียงต่อวินาที โดยหูของคนจะได้ยินเสียงในช่วง (20 ถึง 20,000 Hz)

เพื่อที่จะได้มีความเข้าใจเกี่ยวกับคลื่นเสียง และการใช้งานคลื่นเสียงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นรูปของสัญญาณเสียงที่เป็นสัญญาณไซน์ ซึ่งในรูปจะเป็นการพล็อตเมื่อสัญญาณเปลี่ยน ตัวอย่างจากรูปเสียงนี้เกิดจากการเป่าฟลุต เข้าไมโครโฟน โดยมีสัญญาณปรากฏที่จอออสซิสโลสโคป

ในรูปแกน n แสดงถึงเวลาและแกน y แสดงถึงขนาดแอมปลิจูดในการวัดสิ่งต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นของคลื่นเสียง ซึ่งความสูงของแอมปลิจูดจะแสดงถึงความดังของเสียง



รูปที่ 2.4 ลักษณะของสัญญาณไซน์

2.10 ฟังก์ชันของการ์ดเสียง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงฟังก์ชันของการ์ดเสียงโดยละเอียด แต่จอยสติ๊กไม่ได้ใช้งานเกี่ยวกับงานทางเสียงจึงขอกล่าวถึงเพียงฟังก์ชัน CMS, FM, DSP และ Middy

1) CMS (Stereo Chip)

การ์ดเสียงบลาสเตอร์ไม่ใช่การ์ดทางเสียงการ์ดแรกที่ผลิตขึ้นมา แต่การ์ดนี้ผลิตโดย Creative Labs บริษัทแรกที่ผลิตการ์ดทางเสียงคือ Game Blaster การ์ดนี้ใช้วิธีวิเคราะห์แบบ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ์ด Game Blaster ถูกผลิตในปี 1987 และใช้เป็นการ์ดเสียงของ IBM PC แต่การ์ดนี้ไม่นิยมใช้ เนื่องจากไม่สามารถใช้ได้กับ Adlib Card

อย่างไรก็ตามการ์ดเสียงได้รับเอาอุปกรณ์มาจาก Game Blaster คือ CMS หรือ Creative Music System ซึ่งเป็นชิพสเตอริโอ ซึ่งเมื่อชิพ CMS ได้รับเสียง 12 เสียง ที่ไม่เหมือนกันในระบบสเตอริโอจะได้เสียงที่เกิดใหม่ซึ่งไม่เหมือนเดิมในชิพนี้ ซึ่งเราสามารถปรับวอลุ่ม คือได้ทั้งซ้ายและขวา และความถี่ได้

ถ้าไม่ได้ติดตั้ง CMS จะทำให้ขาดเครื่องทุ่นแรงใน 2 ลักษณะ คือ เมื่อเราต้องการเขียนโปรแกรมให้ซอฟแวร์ต้องใช้งานร่วมกับ CMS อย่างไรก็ตามมีการสำรองใช้งานชิพ CMS ไว้แล้ว เมื่อชิพ CMS ถูกนำมาใช้ในการ์ดเสียง ซึ่งไม่มีการใช้ชิพ CMS ดังนั้นไม่จำเป็นต้องใช้

2) การแปลงความถี่เสียงด้วยชิพ FM

คำว่า "FM ย่อมาจาก Frequency Modulation" ด้วยชิพตัวนี้เราสามารถแปลงความถี่เสียงได้ด้วยการผสมสัญญาณไซน์กับสัญญาณ FM ความถี่เสียงที่ผลิตขึ้นมานี้สามารถทำให้เกิดได้ 3 ลักษณะ คือการออกเสียง, Fimebre และระดับของสัญญาณ ดังนั้นเราสามารถตกแต่งแก้ไขเสียงทั้ง 3 นี้ได้ด้วยชิพเอฟเอ็ม

3) การกำหนดลักษณะของชิพ FM

กำหนดเสียงได้ 11 เสียง แบ่งเป็นเสียงพูด 6 เสียง และเสียงดนตรี 5 เสียง ซึ่งทั้ง 6 เสียงนี้สามารถสร้างได้ตามใจชอบ แต่เสียงดนตรี 5 เสียงจะมีข้อจำกัด ซึ่งชิพ FM นี้ สามารถผลิตเสียงทั้ง 11 เสียงให้มีความถูกต้อง และชัดเจนสูงในเวลาเดียวกัน

กำหนดเสียง FM ได้ 9 เสียง ทั้ง 9 เสียงสามารถกำหนดได้ตามใจชอบ

4) การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

โดยปกติแล้วคลื่นเสียงจะเป็นแบบแอนะลอก การขึ้นลงของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงความถี่ และแอมปลิจูดอย่างต่อเนื่อง จะพบว่าคอมพิวเตอร์ไม่สามารถเก็บเสียงนี้ไว้ได้ ในการเก็บรักษาเสียงมีรูปแบบที่ต้องการให้คอมพิวเตอร์เก็บรักษาเสียง หรือผสมกับข้อมูลในหน่วยความจำได้ หรือกล่าวได้ว่า ต้องการสื่อความหมายแบบดิจิตอล โดยการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นเลขดิจิตอลซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้

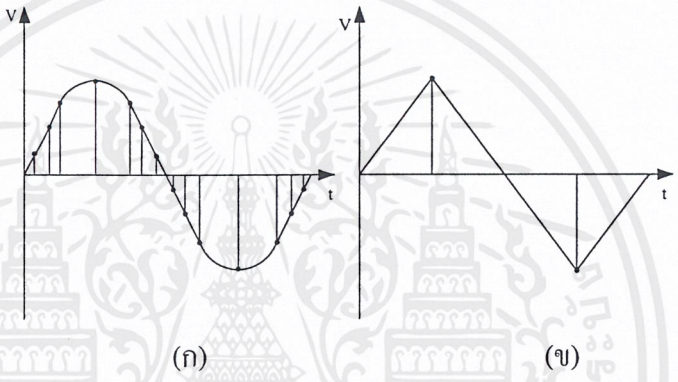
การทำคลื่นเสียงให้เป็นค่าดิจิตอล คอมพิวเตอร์จะต้องมีวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นเลขดิจิตอล ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้

การทำคลื่นเสียงให้เป็นค่าดิจิตอล คอมพิวเตอร์จะต้องมีวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ซึ่งจะเปลี่ยนข้อมูลได้โดยวิธีการนี้ กล่าวคือ คอมพิวเตอร์สามารถสร้างสัญญาณแซมปลิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสุ่ม บางครั้งก็ทำให้สัญญาณเกิดการสูญเสียได้เพราะ ADC การสุ่มไม่ต่อเนื่องอาจจะเกิดการผิดเพี้ยนขึ้นในคาบสัญญาณระหว่างการสุ่ม นี่ก็คือเหตุผลที่ทำไมถึงการสุ่มที่อัตราสูงๆ ซึ่งทำงานได้ความแน่นอนสูง เช่นในสัญญาณเสียงพูดนั้นใช้อัตราการแซมปลิ้งอย่างน้อยเท่ากับ 8 kHz เมื่อต้องการทำสัญญาณกลับมาเหมือนเดิม แต่ถ้าหากเราต้องใช้การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

ADC ที่ทำหน้าที่บันทึกและเก็บสัญญาณแอนะลอก และ DAC ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่บันทึกไว้กลับมา ซึ่งสามารถรวมเข้าด้วยกันเป็น Digital Signal Processor



รูปที่ 2.5 (ก) การสุ่มสัญญาณอย่างละเอียด
(ข) การสุ่มสัญญาณอย่างหยาบ

5) อุปกรณ์ที่ใช้ต่อกับ Middy

Middy (Music Instrument Digital Interface) หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “Middy” เป็นอินเตอร์เฟสแบบอนุกรมแบบมาตรฐาน เพื่อใช้วิเคราะห์เสียงสร้างเสียงดนตรี Middy เป็นอุปกรณ์มาตราฐานที่ช่วยให้การเข้ารหัสดนตรีและเสียงได้อย่างถูกต้อง เพื่อติดต่อระหว่างอุปกรณ์ด้วยกัน

ในปัจจุบันนี้นักแต่งเพลง มักจะทำงานด้วยซินทิไซเซอร์ในการแต่งเพลงทั่วๆ ไป ซึ่ง Middy นั้น สามารถสร้างเสียงที่แตกต่างจากเสียงธรรมดาได้ซึ่งได้รับการยอมรับจากทั่วโลกโดยอาจกล่าวได้ว่า Middy เป็นหัวใจของดนตรีและการ์ดเสียงทั้งหมด

2.11 วงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

วงจร A/D (Analog to Digital Converter) จะทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือกระแสที่เป็นสัญญาณแอนะลอกไปเป็นสัญญาณตัวเลขหรือสัญญาณดิจิตอลวงจร A/D มีด้วยกันหลายแบบแต่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมใช้กันแพร่หลายมี 3 แบบคือ แบบสโลปคู่ (Dual Slope) แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่ (V to F Converter) และแบบประมาณทีละบิต (Successive Approximation)

วงจร A/D แบบสโลปคู่เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมากนัก ก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียตรงที่ใช้เวลาการแปลงสัญญาณนานมาก จึงไม่เหมาะในการใช้วัดแรงดันในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น การวัดรูปคลื่น ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง แบบสโลปคู่นี้เหมาะสมสำหรับใช้วัดค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสจึงนิยมใช้กันมากในมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล และเครื่องวัดแสดงผลเป็นตัวเลขทั่วๆ ไป วงจร A/D แบบสโลปคู่ที่เป็นไอซีสำเร็จรูปมีด้วยกันหลายเบอร์ ราคาไม่แพงมากนัก ส่วนมากจะให้ความแม่นยำในการแปลงสัญญาณดีกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีทั้งแบบแปลงเป็นตัวเลขขนาด 3 ½ หลัก และ 4 ½ หลัก หลักสุดท้ายจะแสดงค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น จึง เรียกง่ายๆ ว่า ½ หลัก

วงจร A/D แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่และแบบประมาณทีละบิตนั้นมีข้อดีตรงที่สามารถแปลงสัญญาณได้รวดเร็ว มีความแม่นยำดี เพียงแต่วงจรมีความซับซ้อนมากกว่าจึงมีราคาแพง

2.12 วงจร A/D แบบสโลปคู่

จากรูป 2.6 ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบพื้นฐาน อุปกรณ์ที่มีสัญลักษณ์ เป็นสามเหลี่ยมนั้นเป็นออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแตกต่าง R และ C ในวงจรเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้เกิดการชาร์จประจุเข้าไปใน C ทำให้ได้รูปคลื่นแรงดันขาออกซึ่งเท่ากับเป็นการอินทิเกรตสัญญาณอินพุท

สมมุติว่ามีแรงดัน E_i ป้อนเข้าทางอินพุท จะมีกระแส I ซึ่งมีค่า E_i/R ไหลผ่าน R ไหลเข้าไปในวงจร กระแสนี้จะไม่ไหลเข้าออปแอมป์ เพราะออปแอมป์มีความต้านทานขาเข้าสูง แต่จะไหลผ่านไปชาร์จตัวเก็บประจุ C ทั้งหมดเป็นผลให้แรงดันคร่อม C สูง ขึ้นไปเรื่อยๆ ขั้วลบของออปแอมป์จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 โวลท์ เท่ากับขั้วบวกซึ่งต่อลงกราวด์ ดังนั้นแรงดันตกคร่อม C จึงเป็นแรงดันเมื่อเทียบกับกราวด์ แรงดันขาออก E_o ซึ่งเท่ากับแรงดันตกคร่อม C ซึ่งเป็นลบ แรงดันนี้จะค่อยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เป็นเส้นตรง แรงดันขาออกวงจรจึงเหมือนกับเป็นการอินทิเกรตแรงดันขาเข้า เพราะเมื่อเราอินทิเกรตค่าคงที่ได้เส้นตรงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

รูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นขาออกของวงจรอินทิเกรตเมื่อป้อนแรงดันอินพุทต่าง ๆ เช่น กรณีอินพุทเป็นลบ และกรณีอินพุทเป็นทั้งบวกและลบโดยเป็นบวกนาน t_1 วินาที และเป็นลบนาน t_2 วินาที จะเห็นว่าถ้าอินพุทเป็นบวกเอาท์พุทจะเป็นเส้นตรงที่มีสโลปเป็นลบ และถ้าอินพุทเป็นลบจะได้สโลปเป็นบวก การให้วงจรอินทิเกรเตอร์ทำการอินทิเกรตขึ้นและลงแบบนี้จะได้เส้นตรงสโลปคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.7 เป็นรูปแสดงหลักการทำงานของวงจร A/D แบบสโลปคู่ อินพุท E_i ของวงจรอินทิเกรเตอร์ และอินพุทมาตราฐาน E_{REF} มีขั้วสลับกันเสมอ และจะผลักดันต่อเข้ากับวงจรอินทิเกรเตอร์ ทำให้มีการอินทิเกรเตอร์ขึ้นและลงเป็นจังหวะอยู่ตลอดเวลา เอาท์พุท E_o ของวงจรอินทิเกรเตอร์จะค่อยต่อเข้ากับวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งจะทำหน้าที่ตรวจจับว่ามีแรงดัน E_o เมื่อใดเป็น 0 โวลท์

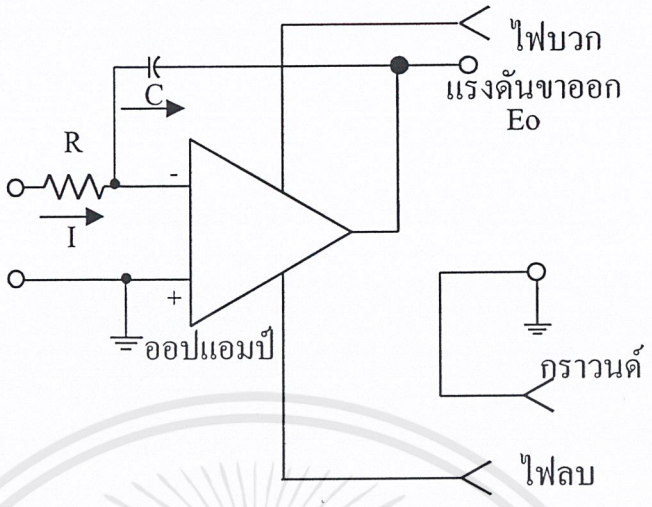
วงจรควบคุมในวงจร A/D นี้เป็นวงจรดิจิตอล ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมดที่สำคัญ จะควบคุมสวิตซ์ S_1 และ S_2 เพื่อต่ออินพุทให้กับวงจรอินทิเกรเตอร์

การทำงานของวงจรเริ่มจาก เมื่อแรงดัน $E_o = 0$ โวลท์ วงจรควบคุมจะปิดสวิตซ์เพื่อให้แรงดันที่จะวัด E_i ต่อเข้ากับวงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรควบคุม จะปล่อยให้วงจรอินทิเกรเตอร์ทำการอินทิเกรตสัญญาณ E_i เป็นระยะเวลา t_1 วินาที การจับเวลา t_1 นี้ทำได้ไม่ยากนัก โดยทั่วไปมักจะใช้วงจรนับ นับพัลส์ที่มีความถี่คงที่จนได้ค่าที่กำหนดไว้

เมื่อครบเวลา t_1 วงจรควบคุมจะเปิดสวิตซ์ S_1 ในขณะนั้นแรงดันเอาท์พุทของอินทิเกรเตอร์ E_oจะมีค่าแปรผันกับแรงดัน E_i เป็นระยะเวลา t_1 วินาที การจับเวลา t_1 นี้ทำได้ยากนัก โดยทั่วไปมักจะใช้วงจรนับ นับพัลส์ที่มีความถี่คงที่จนได้ค่าที่กำหนดไว้

เมื่อครบเวลา t_1 วงจรควบคุมจะเปิดสวิตซ์ S_1 ในขณะนั้นแรงดันเอาท์พุทของอินทิเกรเตอร์ E_o จะมีค่าแปรผันกับแรงดัน E_i จากนั้นวงจรควบคุมจะปิดสวิตซ์ S_2 เพื่อต่อแรงดันไฟมาตราฐาน E_{REF} เข้ากับวงจรอินทิเกรเตอร์และรีเซตวงจรนับ แรงดัน E_{REF} จะมีขั้วตรงข้ามกับ E_i สมมุติให้ E_{REF} เป็นแรงดันลบ คราวนี้วงจรอินทิเกรเตอร์จะอินทิเกรตสัญญาณทำให้เกิดเส้นตรงที่มีสโลปตรงข้ามแรงดัน E_o จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุด 0 โวลท์ ในช่วงนี้สมมุติว่าใช้เวลา t_2 ขณะเดียวกันวงจรนับจะเป็นสัญญาณพัลส์ไปเรื่อยๆ เมื่อ E_o=0โวลท์ วงจรเปรียบเทียบจะตรวจจับเหตุการณ์นี้แล้วส่งสัญญาณไปยัง วงจรควบคุม วงจรควบคุมจะเปิดสวิตซ์ S_2 และให้วงจรนับหยุดพัลส์ ค่าที่ได้ในวงจรนับขณะนั้นจะเท่ากับค่าแรงดันที่ต้องการวัดพอดีที่เป็นเช่นนี้ เพราะแรงดัน E_{REF} มีค่าคงที่ช่วงเวลา t_2 ในการอินทิเกรตสัญญาณจนแรงดันเป็นศูนย์จะแปรผันกับแรงดันขาเข้า E_s ถ้า E_i มีค่ามาก ค่า E_o หลักจากการอินทิเกรตครั้งแรกจะมาก จึงใช้เวลา t_2 ในการอินทิเกรตครั้งที่ 2 มากตามไปด้วย สมมุติให้ E_i=1 โวลท์ E_{REF} =-1 โวลท์ ได้ $t_1 = t_2$ เท่ากับการนับพัลส์ 1000 ลูก ถ้าให้ E_i =1.5 โวลท์ $t_2 = 1.5\ t_1$ หรือเท่ากับการนับพัลส์ 1,500 ลูก จะสังเกตเห็นว่าค่านับพัลส์นี้ตรงกับค่าแรงกัน E_i ซึ่งเป็นแรงดันที่ต้องการวัด ค่านับของวงจรนี้สามารถส่งออกไปที่แลตซ์ และถอดรหัสเพื่อแสดงผลด้วย LED 7 ส่วนอีกทีหนึ่ง ทำให้เราสามารถอ่านค่าแรงดันเป็นตัวเลขได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

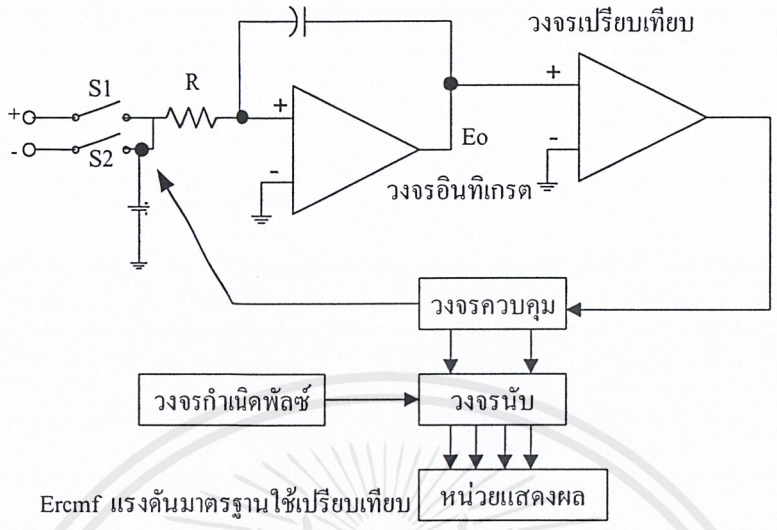


รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรอินทริเกรเตอร์

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่มีอยู่ทั่วไป มักแสดงผลสูงสุดเป็น 1999 แสดงว่า t_2 จะเท่ากับการนับพัลส์ไม่เกิน 2000 ลูก ถ้าในวงจรเราให้พัลส์ความถี่ 10 กิโลเฮริตซ์ ในการวัดหนึ่งครั้งจะต้องมีการอินทิเกรต 2 ครั้ง กินเวลา $t_1 + t_2$ หรือเท่ากับการนับพัลส์จำนวนสูงสุดไม่เกิน 1000 + 2000 ลูก ซึ่งจะกินเวลา 0.3 วินาที นับว่าเป็นเวลาที่ยาวนานพอสมควร ในหนึ่งวินาทีจะวัดได้ไม่เกิน 3 ครั้งเท่านั้น ถ้าเป็นดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่แสดงผลสูงสุดเป็น 19999 ก็ยิ่งมีการนับพัลส์เป็นจำนวนมากขึ้นถึง 10 เท่า ถ้าใช้พัลส์ความถี่ 10 กิโลเฮริตซ์ เท่าเดิม จะต้องใช้เวลาถึง 3 วินาที ในการวัดหนึ่งครั้งซึ่งยาวนานเกินไป ดังนั้นคงต้องเพิ่มความถี่ของพัลส์ให้สูงขึ้น

ไอซีที่เป็นวงจร A/D แบบสโลปคู่นี้มีด้วยกันหลายเบอร์ และผลิตกันหลายบริษัท บางเบอร์ก็ใช้เพียงไอซีตัวเดียว บางเบอร์ก็ใช้ไอซี 2-3 ตัวต่อเป็นชุด ปกติมักใช้อุปกรณ์ภายนอกเช่น R และ C ต่อเพิ่มอีกเพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของวงจร A/D แบบสโลปคู่

2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS –51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นชื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่บรรลุความสามารถมากมายไม่ว่าจะเป็นหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุท วงจรขับสัญญาณออกทางเอาท์พุท หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยช่วยลดจำนวนของอุปกรณ์และขนาดของระบบลง ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้นภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็น ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดจะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรง และลักษณะของขาต่างๆ จะเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.1 คุณสมบัติของ MCS-51

1) มีหน่วยความจำ ROM 4 Kbytes

2) มีหน่วยความจำ RAM 128 bytes

3) มีพอร์ท อินพุทเอาท์พุท ขนาด 8 บิต 4 พอร์ท

4) มี Timer 16 บิต 2 ตัว

5) สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 ตำแหน่ง

6) มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรนาฬิกาบนชิพ

7) มีพอร์ทอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง

8) อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 Kbytes

9) อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 Kbytes

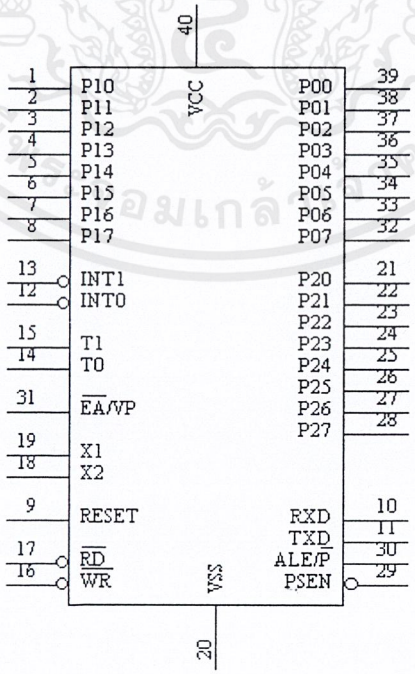
10) สามารถประมวลผลทีละบิตได้

11) สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง

12) หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

2.13.2 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โครงสร้างไอซีเป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขาโดยขาต่างๆ จะใช้เป็นขาพอร์ทอินพุท, เอาท์พุท, ขาสัญญาณควบคุม, ขาตำแหน่งหน่วยความจำ และขาข้อมูลดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

1) พอร์ท 0 (Port 0)

พอร์ท 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MC-51 สามารถใช้เป็นอินพุทเอาท์พุทได้นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย

2) พอร์ท 1 (Port 1)

พอร์ท 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ท 8 บิต สามารถอ้างทีละบิตได้ คือ P1.0, P1.1,....etc

3) พอร์ท 2 (Port 2)

พอร์ท 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 จะใช้งาน 2 หน้าที่ คือใช้เป็นพอร์ท 8 บิตกับใช้เป็นขาแอดเดรส 8 บิตในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

4) พอร์ท 3 (Prot 3)

พอร์ท 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งานสองหน้าที่คือ เป็นพอร์ทอินพุทและเอาท์พุท และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ท 3

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.2	$\overline{INT_0}$	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	$\overline{INT_1}$	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T_0	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่0
P3.5	T_1	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	$\overline{WR}$	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	$\overline{RD}$	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

5) $\overline{PSEN}$ (Program Store Enable)

ขา $\overline{PSEN}$ เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือขา 29 ขานี้จะแอคทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา $\overline{PSEN}$ จะต่อกับขา Output Enable ($\overline{OE}$) ของ EPROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40163

6) ALE (Address latch Enable)

เนื่องจากพอร์ท 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ได้แก่ขา 30 จากนั้นจะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ Port 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้นจะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับ Port 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทาง Port 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอก ให้เก็บค่า Address Bus ของ Port 0 ไว้เพื่อใช้ Port 0 เป็น Data Bus ต่อไป

7) $\overline{EA}$ (External Access)

ขา $\overline{EA}$ ได้แก่ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก “1” จะใช้กับเบอร์ 8051/8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก “0” จะบอกว่าให้ MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา $\overline{EA}$ จะเป็น “0” เสมอ เพราะว่าไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายใน แต่ถ้าใช้เบอร์ 8051/8052 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในและให้ขา $\overline{EA}$ เป็น “0” ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

8) RST (Reset)

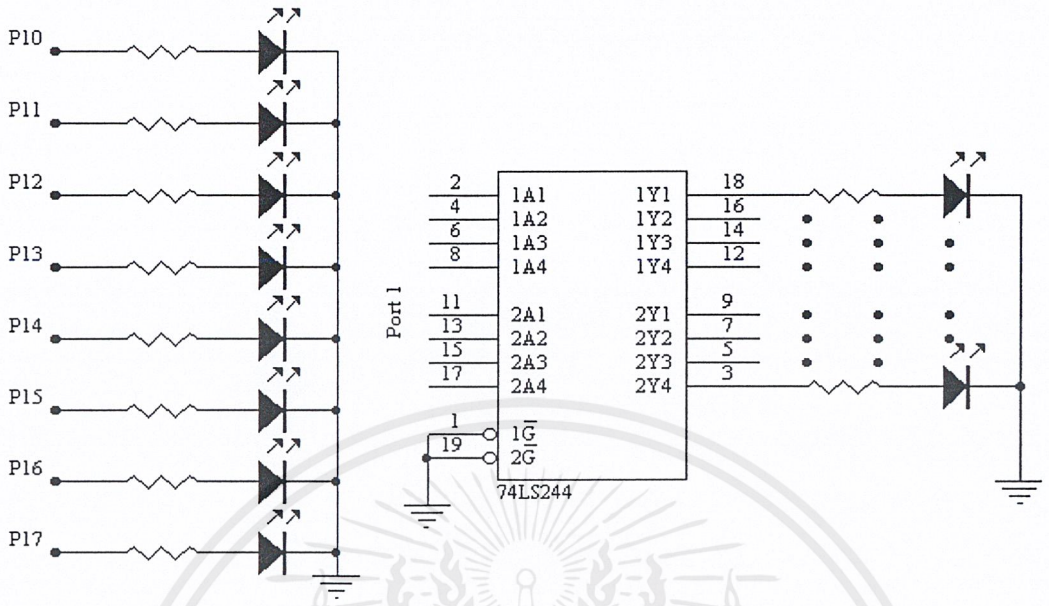
ขา RST ได้แก่ขา 9 จะใช้ในการรีเซต MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก “1” อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะรีเซตระบบได้

2.13.3 พอร์ทของ MCS-51 และการใช้งาน

ตามที่ทราบมาแล้วว่า MCS-51 จะประกอบด้วยพอร์ท 4 พอร์ท คือ P0, P1, P2 และ P3 ซึ่งพอร์ททั้ง 4 พอร์ท สามารถใช้เป็นอินพุทพอร์ท (Input Port) และเอาท์พุทพอร์ท (Output Port) ได้ แต่ส่วนใหญ่มักใช้พอร์ท P1 ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพราะบางขณะ P0, P2, และ P3 ถูกใช้ในงานด้านอื่นด้วยโครงสร้างของพอร์ทภายใน MCS-51

ยกตัวอย่างการใช้พอร์ท 1 เป็นเอาท์พุท สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับพอร์ท P1 สำหรับรับส่งข้อมูลนั้นทำได้โดยการเขียนข้อมูลไปที่หน่วยความจำของพอร์ท P1 ซึ่งก็คือตำแหน่ง 90 H ของหน่วยความจำภายใน MCS-51 ในกรณีใช้ P1 เป็นอินพุทพอร์ท ก็ทำได้โดยการอ่านค่าจากตำแหน่ง 90H นอกจากนี้ตำแหน่งของหน่วยความจำ P1 นี้สามารถอ้างเป็นระดับบิตได้อีกด้วย ในที่นี้จะ ยกตัวอย่างวงจรที่ต่อพอร์ทเป็นวงจรไฟวิ่งโดยใช้ P1 เป็นพอร์ทเอาท์พุทโดยต่อกับ LED ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อพอร์ท P1 กับ LED

ถ้า P1 เป็นลอจิก "1" LED จะสว่าง ถ้าเป็นลอจิก "0" LED จะดับ จากการทดลองทางอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน เราทราบว่าการใช้งาน LED กระแสที่เหมาะสมที่ไหลผ่าน LED จะอยู่ในช่วง 10-30 mA ดังนั้นการต่อ MCS-51 กับ LED ควรมีตัวต้านทานที่เหมาะสมต่ออนุกรมอยู่ด้วย เพื่อให้กระแสอยู่ในช่วงดังกล่าว บางครั้งการใช้พอร์ท P1 ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจะต้องมีบัฟเฟอร์ระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ MCS-51 ด้วย เพื่อช่วยในการขับกระแสและถ้าเกิดเหตุขัดข้องต่างๆ แทนที่ MCS-51 ตัวไอซีบัฟเฟอร์ก็จะเสียหายแทน

2.14 การแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งความแม่นยำและความแน่นอนจากการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ก็มีมาก จึงทำให้การวิจัยและพัฒนาของระบบการประมวลสัญญาณเชิงเลข เพื่อนำไปใช้งานในสาขาวิชาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประมวลผลทางวิชาอิเล็กทรอนิกส์มีอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่นการประมวลสัญญาณเสียง การประมวลสัญญาณภาพ การประมวลสัญญาณเรดาร์ และการประมวลสัญญาณชีวภาพ เป็นต้น การประมวลสัญญาณดังกล่าวมานี้มีการคำนวณผลการประสานสำคัญ โดยทั่วไปแล้วการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วย (DFT) นั้นสามารถนำมาใช้ในการคำนวณการประสานได้ แต่การคำนวณ DFT เองนั้น เมื่อลำดับข้อมูลมีมากก็ใช้เวลามากในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างเช่น การคำนวณ DFT สำหรับลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเข้ายาว N ลำดับ คอมพิวเตอร์ต้องทำการคำนวณจำนวนเชิงซ้อนถึง NxN ครั้ง และบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก N(N-1) ครั้ง ซึ่งคอมพิวเตอร์ทั่วไปแล้วไม่มีคำสั่งภาษาเครื่องที่ใช้การคูณตัวเลขจึงต้องเขียนเป็นโปรแกรมย่อย หรือเพิ่มเติมวงจรคูณโดยเฉพาะเข้าไป ส่วนการบวกตัวเลขของคอมพิวเตอร์นั้นทำได้ง่ายและรวดเร็ว จึงสามารถกล่าวได้ว่ากระบวนการคูณตัวเลขนั้นใช้เวลาคำนวณมากกว่าการบวกตัวเลขมาก จากผลอันนี้ทำให้เห็นชัดว่าความเร็วในการคำนวณ DFT จึงขึ้นปนอยู่กับความเร็วและจำนวนครั้งในการคูณตัวเลขเป็นสำคัญ ถ้าหากสามารถหาวิธีการคำนวณ DFT ที่ใช้จำนวนครั้งในการคูณน้อยลงแล้วก็เป็นประโยชน์อย่างมาก โดยจะได้แสดงให้เห็นว่า DFT นั้นจะช่วยในการคำนวณ การประสานการคำนวณ การแปลงเซต การทำสหสัมพันธ์ ดังนั้นถ้ามี DFT ที่คำนวณได้เร็วก็ทำให้การคำนวณที่กล่าวไปเร็วขึ้นด้วย

ขั้นตอนวิธีหรือลำดับในการคำนวณ DFT ให้เร็วมีชื่อว่า "การแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว (ต่อไปจะเรียกย่อว่า FFT)" ที่ได้มีการพัฒนาวิธีการต่างๆ กันอย่างมากนั้น เป็นผลมาจากผลงานของคูลีย์กับทูคีย์ ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ.1965 หลังผลงานชิ้นนี้แล้วทำให้เกิดการพัฒนาวิธีการขึ้นมาอีกหลายวิธี FFT จะทำให้การคำนวณ DFT ใช้ในการคูณเชิงซ้อนเพียง $N\log_2 N$ ครั้งเท่านั้น หรือจำนวนครั้งในการคูณตัวเลขลดลงไปถึงจำนวน $N/(\log_2 N)$ เท่า ผลอีกประการหนึ่งก็ทำให้การสร้างวงจรเฉพาะเพื่อการคำนวณ DFT ทำได้ง่ายและคำนวณได้เร็วขึ้น เป็นผลให้การประมวลผลสัญญาณเชิงเลขสามารถนำไปประยุกต์กับระบบเวลาจริงได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีชื่อเรียกว่าการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว แต่ตัว FFT เองนั้นไม่ใช่การแปลงฟูริเยร์ แท้จริงแล้วเป็นเพียงวิธีการหรือลำดับการในการคำนวณ DFT ซึ่งเป็นการแปลงฟูริเยร์ที่รวดเร็วขึ้น

จนถึงปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้น ดัดแปลงและเสนอผลงานเกี่ยวกับ FFT มากมายหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป และโดยทั่วไปแล้วแบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิดลดทอนทางเวลา และลดทอนทางความถี่ ทั้งสองชนิดนี้โดยหลักการแล้วมีความคล้ายคลึงกันดังนั้นในการอธิบายจะขออธิบายเพียงหลักการลดทอนทางเวลาอย่างละเอียดเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะอธิบายเพียงหลักการเบื้องต้นก่อน เพื่อให้เห็นว่าวิธีการ FFT สามารถลดการคำนวณได้อย่างไร ส่วนการดัดแปลงเพื่อให้ได้วิธีการแบบอื่นจะแสดงได้โดยการใช้กราฟการไหลแทน

2.15 ฟูริเยร์อย่างเร็วแบบฐานสอง

หลักการเบื้องต้นของ FFT ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงนิยามการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วย รวมถึงคุณสมบัติต่างๆ แต่เพื่อสะดวกแก่การอธิบายจะขอนำคำนิยามมากล่าวไว้ก่อน การแปลงฟูริเยร์แบบเต็มหน่วย สำหรับลำดับ x(m) ที่ยาว N จุด สามารถนิยามได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} (m).W^{mk} \qquad (2.1)$$

โดยดรรชนี k, m = 0, 1, ..., N-1 และจำนวนเชิงซ้อน w = exp $^{(j2/N)}$ ในทางวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ลำดับ x(m) มักจะเกี่ยวข้องกับสัญญาณในโดเมนของเวลา ส่วน X(k) เกี่ยวของกับสัญญาณในโดเมนของความถี่หรือที่เรียกว่าสเปคตรัมของสัญญาณ สำหรับการเขียนสมการ นั้นความจริงแล้ว การคำนวณหา DET จะต้องมีพจน์ 1/N ประกอบด้วยเสมอ แต่ที่ละไว้ก็เพื่อความสะดวกในการอธิบาย

สมการที่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเมตริกซ์ได้ คือ

$$X = \{ A \} . \{ x \} \qquad (2.2)$$

โดยที่ X และ x เป็นเวกเตอร์แนวตั้ง ที่ประกอบด้วย X(k) และ x(m) ตามลำดับจำนวน N ลำดับ และ A เป็นเมตริกซ์จัตุรัส ขนาด NxN ที่มีสมาชิกเป็นจำนวนเชิงซ้อน W^{mk} ตัว อย่างเช่น พิจารณาสำหรับ N = 4 ระบบสมการ สมการสามารถเขียนแยกออกเป็น

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^0 & W^0 & W^0 & W^0 \\ W^0 & W^1 & W^2 & W^3 \\ W^0 & W^2 & W^4 & W^6 \\ W^0 & W^3 & W^6 & W^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} \qquad (2.3)$$

การคำนวณจากสมการ 2.3 นี้ สังเกตเห็นได้ว่า ต้องใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อน 4x4 หรือ 16 ครั้ง จะต้องทำการบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก N(N-1) = (4(4-1)) = 12 ครั้ง จากหลักการของ FFT ที่สามารถลดจำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อนได้ก็โดยการอาศัยคุณสมบัติภาวะเป็นคาบของจำนวนเชิงซ้อนคือ

$$W^{mk} = W^{(mkmof(N))} \qquad (2.4)$$

ซึ่ง (mk mod(N)) หมายถึง ส่วนที่เหลือจากการหารพจน์ mk ด้วย N โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นคาบทำให้สมการ 2.3 อาจเขียนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W^1 & W^2 & W^3 \\ 1 & W^2 & W^0 & W^2 \\ 1 & W^3 & W^2 & W^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

จากคุณสมบัติเป็นคาบนี้เองทำให้ เราสามารถแยกตัวประกอบของเมตริกซ์ A ออกเป็นเมตริกซ์ย่อยหลายเมตริกซ์คูณกัน และสมาชิกในเมตริกซ์ย่อยควรให้มีค่าเป็นศูนย์มากที่สุด วิธีแยกตัวประกอบนี้อาจจะไม่กระทำได้โดยตรงจาก A แต่จะมีการสลับตำแหน่งหรือจัดกลุ่มของเมตริกซ์ด้วยวิธีการแปรผันกลับบิต และเมตริกซ์หลังจากสลับแถวแล้วจำนำมาแยกตัวประกอบอีกครั้งหนึ่ง

ในที่นี้จะขออธิบายวิธีแยกตัวประกอบด้วยการเขียนแทน ดรรชนี k และ m ของสมการด้วยตัวเลขฐานสอง ซึ่งสำหรับกรณี N = 4 ซึ่งดรรชนี k และ m จะมีค่าได้เพียง 0, 1, 2 และ 3 เท่านั้น เพราะฉะนั้นเราสามารถแทนตัวเลข 4 ฐานสิบ ได้ด้วยตัวเลขฐานสองได้สองหลักคือ

$$k = (k1, k0) , m = (m1, m0) \tag{2.6}$$

โดยที่ k1, k0, m1 และ m0 เป็นเลขโดดที่มีค่าได้แค่ “0” หรือ “1” เท่านั้น ดรรชนีในสมการที่ นี้สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$k = 2k1 + k0 , m = 2m1 + m0 \tag{2.7}$$

เมื่อนำค่าดรรชนี k และ m นี้ ไปแทนลงในสามการ ทำให้ได้

$$k(k_1, k_0) = \sum_{m0=0}^{1} \sum_{m1=0}^{1} X(m1, m0) W^{(2ma-m0)(sk1+k0)} \tag{2.8}$$

จากคุณสมบัติการเป็นคาบของ ω ทำให้ได้ความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} W^{(2m1+m0).(2k1+k0)} &= W^{(2m1-m0)} . W^{(2m1+m0)} \\ &= W^{4m1k1} . W^{2m1+k0} . W^{(2k1-k0)m0} \\ &= W2^{m1k0} . W^{(2k1+k0)m0} \end{aligned}$$

โดยที่ $W^{4m1k1} = 1$ เพราะฉะนั้นเขียนสมการใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(k_1, k0) = \sum_{m=0}^{1} \{S1(k0, m0)\} W^{(2k1+k0)m0} \tag{2.9}$$

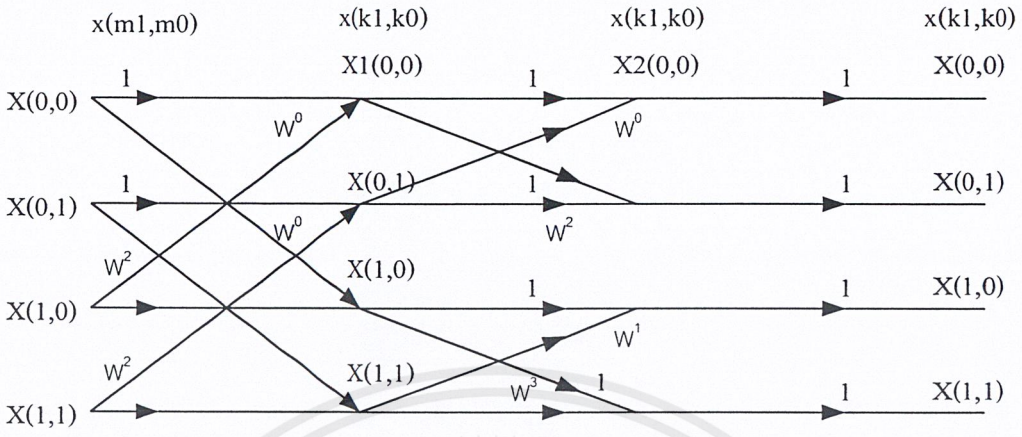
โดยการสมมติให้ ตัวแปร X1 (k0, m0) ในการคำนวณระหว่างกลาง ผลจากสมการอาจเขียนเป็นเมตริกซ์ได้คือ

$$\begin{matrix} (k1,k0) \\ \begin{bmatrix} X_1(0,0) \\ X_1(0,1) \\ X_1(1,0) \\ X_1(1,1) \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & W^2 & 0 & 0 \\ 1 & W^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & W^1 \\ 0 & 0 & 1 & W^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & W^0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \\ 1 & 0 & W^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \end{bmatrix} \begin{matrix} (m1,m0) \\ \begin{bmatrix} X_1(0,0) \\ X_1(0,1) \\ X_1(1,0) \\ X_1(1,1) \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{2.10}$$

ผลที่ได้จากสมการ 2.10 ซึ่งเป็นการแยกตัวประกอบของ A นี้ จะเห็นว่าตัวประกอบนั้นมีเพียง 2 ตัวเท่านั้นที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ และในสองตัวนี้มีสมาชิกตัวหนึ่งมีค่าเป็นหนึ่งเสมอ ส่วนอีกตัวหนึ่งเป็นจำนวนเชิงซ้อน แต่ถ้าพิจารณาการคูณเมตริกซ์ย่อยจะเห็นว่าต้องการคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียง N = 4 ครั้ง โดยที่ N อยู่ในรูปของสองยกกำลังใดๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีโดยทั่วๆ ไป หากเรามีวิธีในการแยกการคำนวณ DET ให้เมตริกซ์ย่อยก็จะทำให้จำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อนน้อยลง

ความจริงแล้วจำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อนอาจลดลงไปได้อีก ซึ่งต่อมาก็ได้มีผู้เสนอวิธีการคำนวณ FFT แบบอื่นขึ้นมา ผลงานเหล่านี้หลักการใหญ่แล้วเหมือนกันต่างกันเพียงรายละเอียดย่อยเท่านั้น ในรูป 2.10 เป็นการไหลของสัญญาณ (Signal Flow Graph) ที่แสดงวิธีการคำนวณ FFT โดยที่หัวลูกศรชี้ทิศทางการคำนวณ ส่วนอักษรกำกับเป็นตัวคูณค่าของสัญญาณที่ต้นทางลูกศรนั้น และบัพ หรือ ปม (Node) เป็นการรวมหรือบวกกันของสัญญาณ ส่วน x1(k0, m0) เป็นค่า DFT ของลำดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟการไหลของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ FFT

วิธีที่เสนอ คูลีย์และทูคีย์ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นการจัดแบ่งกลุ่มลำดับสัญญาณในโดเมนเวลา x(m) ที่มีขนาด N จุด ออกเป็นสองลำดับสัญญาณที่มีความยาว N/2 จุดเท่ากัน ทั้งสองลำดับนี้ให้เรียกชื่อว่า "ลำดับสัญญาณคู่" และ "ลำดับสัญญาณคี่" โดยที่ลำดับสัญญาณคู่เกิดจากการเอาลำดับในตำแหน่งเป็นเลขคู่มาเรียงกัน ที่เหลือก็เป็นลำดับสัญญาณคี่ ดังนั้นถ้าเรานิยามให้ xe(m) เป็นลำดับสัญญาณคู่ และลำดับสัญญาณคี่เป็น xo(m) ตามลำดับ

$$\begin{aligned} xe &= x(2m) \quad ; \; m = 0, 1 \ldots, (N/2) \\ xe &= x(2m+1) \quad ; \; m = 0, 1 \ldots, (N/2) \end{aligned} \tag{2.11}$$

ด้วยการจัดแบ่งเช่นนี้ ถ้าให้ W_N แทนค่า W ของลำดับความยาว N จุด ทำให้การคำนวณการแปลง DET ของลำดับสัญญาณ x(m) ที่ยาว N จุดเขียนใหม่ได้เป็น

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} X\in(m)(W_N^{km}) + \sum_{m=0}^{N-1} Xo(m)(W_N^{km})$$

$$= \sum_{m=0}^{N/2} X(2m)(W_N^{(2m+1)k}) + \sum_{m=0}^{N/2} X(2m)(W_N^{(2m+1)k}) \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่เขียนให้พจน์ (W^2_N)

$$(W^2_N) = \exp\left(\frac{j2}{N^2}\right)$$

$$= W_{N/2} \qquad (2.13)$$

ซึ่ง $W_{N/2}$ หรือค่า W ของค่าลำดับยาว N/2 จุด เพราะฉะนั้น จัดพจน์ใหม่ได้เป็น

$$X(k) = \sum_{m=0}^{(N/2)-1} X\in(2m)(W_{\frac{N}{2}}^{km}) + W_N^k + \sum_{m=0}^{(N/2)-1} X0(m)(W_{\frac{N}{2}}^{km}) \qquad (2.14)$$

โดย X1(k) และ X2(k) แทนผลการแปลง DFT ขนาด N/2 ของลำดับ xe(m) และ Xo(m) ตามลำดับสมการที่ แสดงให้เห็นว่าการคำนวณ DFT ขนาด N จุดนั้น สามารถแบ่งคำนวณย่อยออกเป็นการคำนวณ DFT ขนาด N/2 สองอันดับได้ และข้อสำคัญคือการคูณจำนวนเชิงซ้อนจะลดลงเหลือ $2(N/2)^2 = N^2/2$ ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าลดเวลาคำนวณลงไปได้ถึง 50% โดยอาศัยหลักการเดียวกับการแบ่งทอนลำดับ xe(m) และ xo(m) ออกเป็นลำดับคู่และคี่ลงไปตามลำดับ จนในที่สุดเหลือเป็นลำดับขนาด 2 จุดจำนวน N/2 ภาคด้วยกัน ข้อสังเกตที่สำคัญก็คือการซอย เพื่อแบ่งลำดับ x(n) ออกเป็นทีละครึ่งจนเหลือการคำนวณ DFT ขนาดสองจุดนี้สำหรับสัญญาณขนาด N ลำดับ จะทำการแบ่งออกได้ $\log_2 N$ ครั้ง

ปัญหาต่อมาเมื่อทำการแบ่งย่อยลงไปแล้วจะเอาการแปลง DFT ขนาด 2 จุด จำนวน N/2 ภาคนี้มาประกอบหรือรวมกันเพื่อให้เป็นการคำนวณ DFT ขนาด N จุดได้อย่างไร เพราะถ้านำมาประกอบกันอย่างไม่มีหลักเกณฑ์ ผลการคำนวณ DFT ที่ได้ก็จะมีค่าผิดพลาดไปด้วย ตัวอย่างเช่น การนำเอา DFT ขนาด N/2 จุดมาต่อกันโดยตรงตามสมการ 2.14 ย่อม มีข้อผิดพลาดเพราะว่าทั้ง X1(k) และ X2(k) เป็น DFT ขนาด N/2 ที่นิยามเฉพาะสำหรับช่วง $0 < k < N/2$ เท่านั้น การนำมาประกอบกันสำหรับลำดับสัญญาณ N ลำดับอย่างถูกต้อง เราต้องทำการนิยามค่าของสมการ 2.14 สำหรับค่า $k > N/2$ ด้วยซึ่งทำได้โดยเขียน

$$X(k) = X1(k) + (W_N^k)X2(k) \quad ; \frac{N}{2} < k < \left(\frac{N}{2}\right) - 1 \qquad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พจน์ (W_N^k) ในสมการ 2.15 นี้มีชื่อเรียกว่า "ตัวประกอบหมุน" พจน์นี้เป็นส่วนสำคัญร่วมกับ DFT ขนาด 2 จุด หรือขนาด N/2 จุด ที่จะนำมาประกอบกันเข้าเป็น DFT ขนาด N จุด ได้เหมือนเดิม

ในสมการที่ 2.15 นี้ถ้าหากเรานำเอาความสัมพันธ์ แทนลงไปแล้ว สมการนี้สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$X(k) = X1\left(k-\frac{N}{2}\right) - (W_N^{k-(N/2)}) \quad ; \frac{N}{2} < k < \left(\frac{N}{2}\right) - 1 \tag{2.16}$$

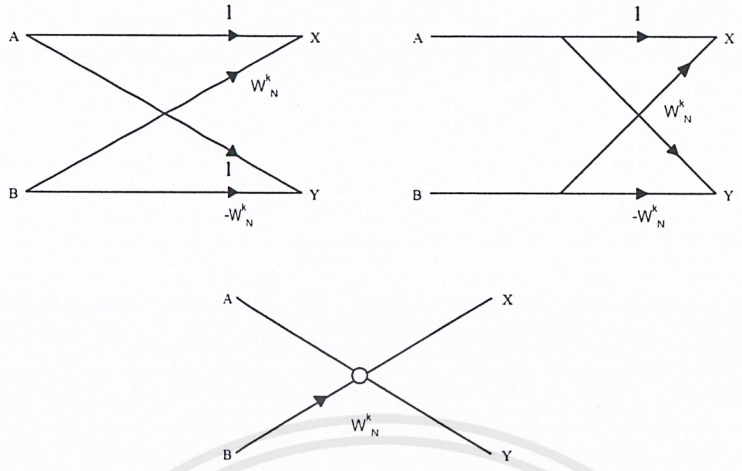
สมการที่ได้เป็นหลักการสำคัญสำหรับฟาสฟูริเยร์ ซึ่งสมการที่ 2.16 บอกเราว่าในการคำนวณหา DFT ของลำดับคู่หนึ่ง จะประกอบไปด้วยลำดับ X(k) ซึ่งห่างออกไปจากลำดับ X(k) นั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียงข้างเดียวเท่านั้นจากผลนี้เราสามารถที่จะนำไปสร้างหน่วยคำนวณที่มีชื่อเรียกว่า หน่วยผีเสื้อ โดยหน่วยคำนวณนี้มีข้อมูลเข้า 2 ข้อมูล คือ A และ B และจะให้ข้อมูลออกเป็น X และY

$$\begin{aligned} X &= A + (W_N^k).B \\ &= A - (W_N^k).B \end{aligned} \tag{2.17}$$

จากรูปที่ 2.11 มีข้อสังเกตคือ ลำดับสัญญาณเข้า x(n) ไม่ได้ถูกจัดเรียงอย่างต่อเนื่องหรือตามธรรมชาติแต่ได้ถูกสลับตำแหน่งกันอย่างมีหลักเกณฑ์ คือ การสลับตำแหน่งหรือการสลับอันดับกันนี้เป็นไปตามวิธีที่เรียกว่าการผันกลับบิต นั่นคือถ้าเราแทนดรรชนี n ของลำดับ x(n) ด้วยเลขฐานสองโดยที่จำนวนบิตของเลขฐานสองต้องเพียงพอที่จะแทนค่า N ได้

อย่างไรก็ตามสำหรับ N มีค่าใหม่ การที่จะเขียนโปรแกรมหรือสร้างวงจร ซึ่งสามารถใช้กับกรณีทั่วๆไปได้ด้วยนั้น ข้อสังเกตเหล่านั้นจำเป็นต้องมีโปรแกรม หรือวงจรส่วนหนึ่งเพื่อมาวิเคราะห์ด้วย ทำให้เกิดความยุ่งยากโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การคูณจำนวนเชิงซ้อนของลำดับฟาสฟูริเยร์ มีปริมาณ $N\log_2 N$ ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



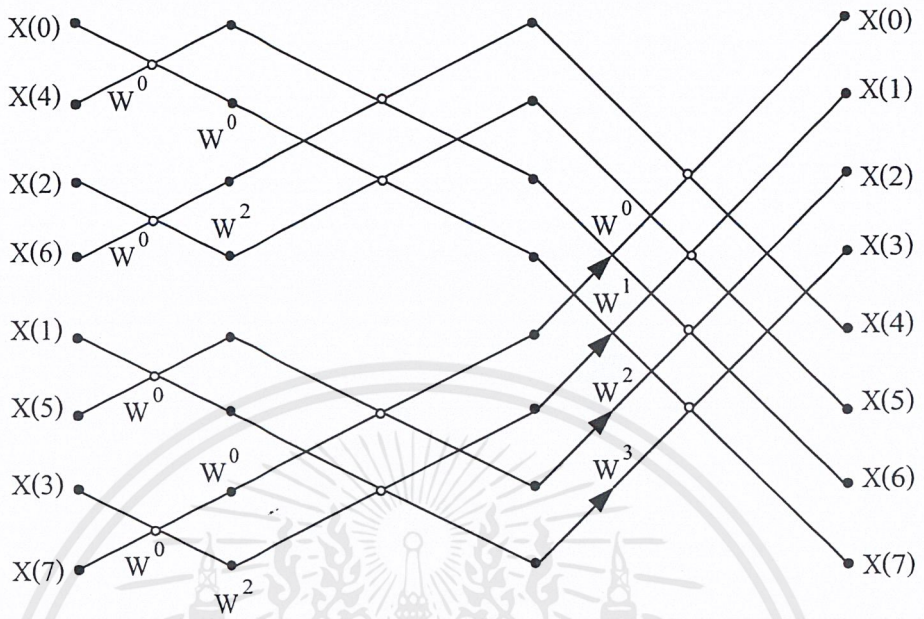
รูปที่ 2.11 หน่วยผีเสื้อของการคำนวณตามขั้นตอนวิธีลดทอนทางเวลา

2.16 การลดทอนทางเวลาแบบอื่น

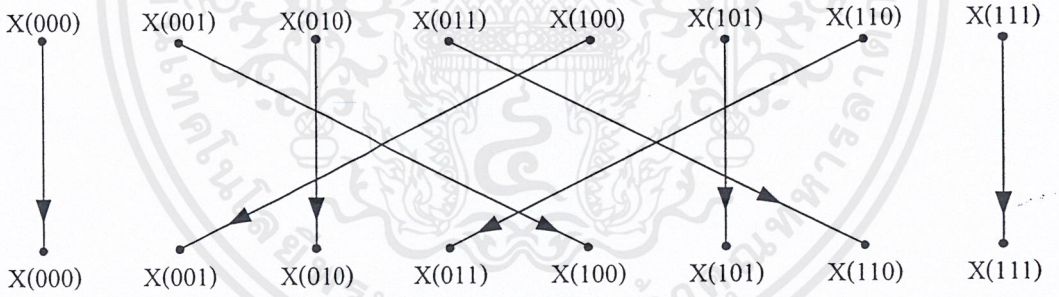
2.16.1 ขั้นตอนการคำนวณซ้ำที่

คุณสมบัติบางประการซึ่งเป็นข้อดีของการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็วตามรูปที่ 2.12 โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าการคำนวณ DFT นั้นแท้จริงก็คือ การนำกลุ่มลำดับจำนวนเชิงซ้อนที่มีอยู่ N ลำดับมาทำการแปลงให้เป็นลำดับจำนวนเชิงซ้อนอีกกลุ่มหนึ่งที่มีอยู่ N ลำดับเช่นกัน โดยการใช้ฟาสฟูริเยร์ การแปลงนี้จะกระทำ $\log_2 N$ ขั้นตอนด้วยกันตามรูปที่ 2.12 ซึ่ง N = 8 ควรต้องมีหน่วยความจำถึง $\log_2 N$ หรือ 3 แถวลำดับด้วยกัน สำหรับข้อมูลที่ต้องการใช้การคำนวณ โดยที่ แถวลำดับแรกไว้เก็บข้อมูล x(n) สองแถวลำดับต่อมาไว้เก็บผลกาคำนวณระหว่างกลาง x1(k) และแถวลำดับสุดท้ายสำหรับผลลัพธ์ X(k) ทีนี้มาพิจารณาลำดับการคำนวณที่อธิบายด้วยกราฟการไหลตามรูปที่ 2.12 นั้นการคำนวณประกอบขึ้นด้วยหน่วยผีเสื้อ ถ้าหากเรามีหน่วยความจำต่างหากไว้สำหรับเก็บค่า ผลคูณของจำนวนเชิงซ้อน ผลลัพธ์ X กับ Y ที่คำนวณสามารถเก็บแทนที่ไว้ในหน่วยความจำที่เก็บลำดับ ข้อมูลเข้า A และ B ได้ โดยลักษณะการคำนวณเช่นนี้ จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ในการคำนวณทางด้านขวามือสามารถบรรจุแทนในหน่วยความจำทางด้านซ้ายมือได้ โดยไม่มีผลต่อการคำนวณส่วนอื่นๆ ซึ่งการคำนวณเหล่านี้ จึงเรียกว่า “การคำนวณซ้ำที่ (In Place)” ซึ่งมีข้อดีคือใช้หน่วยความจำเพียงหนึ่งแถวลำดับหรือต้องการหน่วยความจำสำหรับเก็บจำนวนเชิงซ้อนเพียง N+1 ค่าเท่านั้น ส่วนข้อเสียคือการทำการคำนวณลำดับ x(n) ต้องมีการสลับตำแหน่งกันตามวิธีผันกลับบิต นั่นหมายถึงว่าเราต้องมีโปรแกรมหรือวงจรเพิ่มเติมเพื่อทำการจัดเรียงข้อมูลนี้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟการไหลสัญญาณ



รูปที่ 2.13 การสลับตำแหน่งของลำดับ x(n) ด้วยการผันกลับบิต

2.16.2 วิธีลดข้อมูลทางเวลาเรียงตามธรรมชาติ

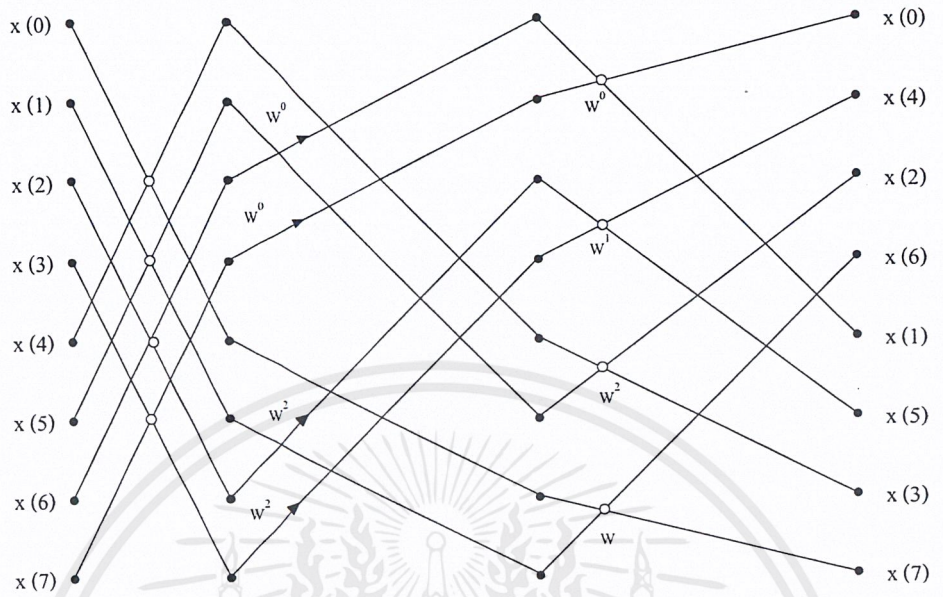
วิธีการแบบนี้ทำโดยจากรูปที่ 2.12 จัดให้ลำดับ x(n) ถูกจัดเรียงกันตามธรรมชาติ โดยที่ปมที่อยู่ในแถวเดียวกับ x(n) ก็จัดเรียงอยู่ในแถวเดียวกันด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้วิธีนี้ให้ x(n) ที่เรียงกันตามธรรมชาติ แต่ลำดับของ X(k) กลับถูกจัดเรียงแบบกลับบิต และข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ ดรรชนีชี้กำลังของตัวประกอบหมุน (W_N^k) ไม่ได้จัดเรียงจากน้อยไปมากจึงทำให้เพิ่มความยุ่งยากตอนนำไปสร้างใช้งาน รูปที่ 2.14 ในที่จริงก็คือวิธีการที่เสนอโดยคูลีย์และทูคีย์นั่นเอง ขั้นตอนอีกวิธีแบบหนึ่งที่ได้เสนอโดยเยนเทิลแมนกับแซนดี้นั้น เป็นการจัดลำดับการคำนวณในรูปที่ 2.13 เสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

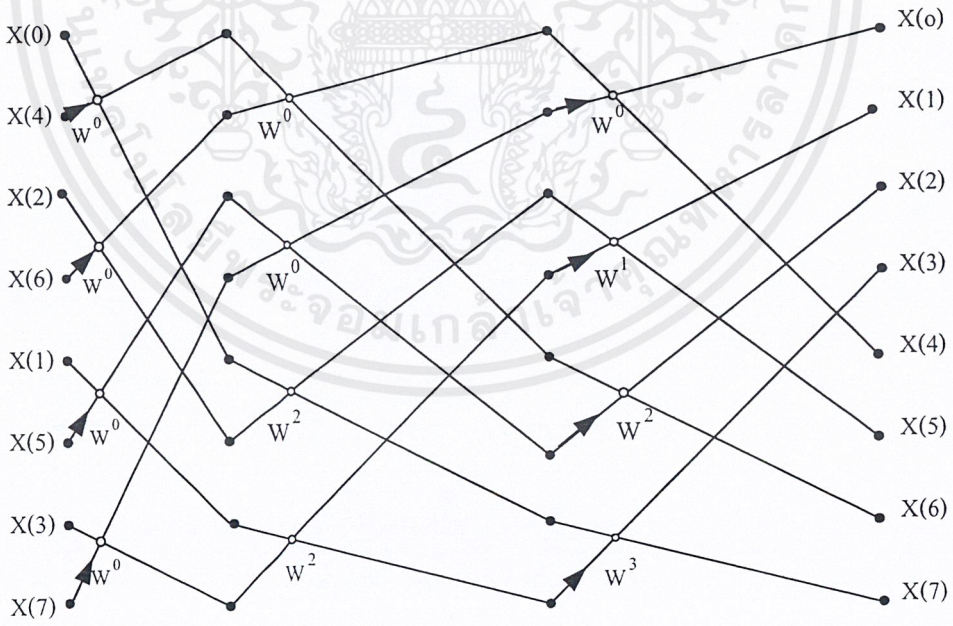
ใหม่ เพื่อให้ได้ลำดับการคำนวณที่ x(n) และ x(k) ถูกจัดเรียงกันตามธรรมชาติ โดยขั้นตอนวิธีแบบนี้สามารถเขียนเป็นกราฟการไหลได้ตามรูปที่ 2.15 ถึงแม้ผลที่ได้กำลังของตัวประกอบหมุน (W_N^k) จะเรียงจากน้อยไปหาค่ามากก็ตาม แต่ผลการคำนวณระหว่างกลางได้สลับตำแหน่งไปจากแถวที่มีอยู่เดิม ทำให้การคำนวณทำแบบซ้ำทำไม่ได้ ซึ่งหมายถึงลำดับการคำนวณแบบนี้ต้องมีหน่วยความจำสำหรับเก็บจำนวนเชิงซ้อน N ค่า ถึงสองแถวลำดับ

รูปที่ 2.14 วิธีของคูลีย์และทูคีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วิธีของเยนเทิลแมนและแซนดี้



รูปที่ 2.16 วิธีของซิงเกิลตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.3 ขั้นตอนวิธีสำหรับการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง

ในคอมพิวเตอร์นั้นปกติข้อมูลที่ต้องใช้บ่อยหรือต้องการความเร็วในการอ่านค่า หรือจะเก็บค่าสูงมากข้อมูลเหล่านี้จะบรรจุในหน่วยความจำประเภทที่มีชื่อเรียกว่า “แรม” หน่วยความจำชนิดนี้มีราคาแพงดั้งนั้นขนาดหน่วยความจำแบบนี้มีจำกัดและมีจำนวนไม่มาก ส่วนข้อมูลที่สำคัญรองลงไปนั้นก็มักจะบรรจุลงในหน่วยความจำที่ต้องใช้เวลาในการอ่านช้ากว่า เช่นหน่วยความจำประเภทเทปแม่เหล็กเป็นต้น หน่วยความจำประเภทนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่ต้องการอ่านหรืออ่านบรรจุค่าไว้ต่อเนื่องกันไปทีละมากๆ ข้อมูลหรือการคำนวณประเภทที่ต้องการอ่านหรือเก็บข้อมูลที่เก็บไว้อย่างไม่เป็นระเบียบหรือเรียงตามลำดับ จึงไม่เหมาะกับหน่วยความจำประเภทนี้ ดังนั้นถ้าหาก N มีค่ามากลำดับข้อมูล x(n) ไม่อาจเก็บในแรมได้หมดที่เหลือจึงจำเป็นต้องบรรจุในเทปแม่เหล็ก ถ้าพิจารณาฟาสฟูริเยร์ แบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมานั้น ต่างต้องการหน่วยความจำแบบเก็บไว้อย่างไม่ ต่อเนื่องได้ ตัวอย่างเช่น กราฟการไหลของรูปที่ 2.12 ข้อมูลเข้าของหน่วยผีเสื้อสำหรับการคำนวณระหว่างกลาง จะถูกเก็บในหน่วยความจำตำแหน่งถัดไป แต่สำหรับข้อมูลเข้าของหน่วยผีเสื้อที่ใช้คำนวณนั้นอยู่ห่างข้ามถัดไปหนึ่งตำแหน่ง ถ้าหาก N มีค่ามากการคำนวณสัญญาณระหว่างกลางจะมีมากขึ้น ข้อมูลเข้าหน่วยผีเสื้อก็อยู่ถัดไปอีกเรื่อยๆ และเป็นไปได้ที่อาจจะถูกเก็บลงไปในหน่วยความจำแตกต่างชนิดกันออกไปได้

จากรูปที่ 2.12 เป็นกราฟการไหลแสดงวิธีการคำนวณของฟาสฟูริเยร์ แบบนี้จะเห็นว่าการคำนวณสัญญาณระหว่างกลางหรือผลลัพธ์ มีขั้นตอนการคำนวณที่เหมือนกัน ดังนั้นถ้าหากเรามีเทปแม่เหล็กอยู่ 4 ม้วน การคำนวณก็ทำได้โดยวิธีการแบ่งลำดับสัญญาณออกเป็นสองส่วน ส่วนละ N/2 จุดเท่าๆกัน ข้อมูลเข้า N/2 จุดแรกจะเก็บไว้ในเทป จากนั้นเมื่อคำนวณสัญญาณระหว่างกลางได้ก็จะเก็บไว้ในม้วนเทปที่ 2 ตามลำดับเช่นกัน เทปอีก 2 ม้วนก็ทำแบบเดียวกันกับสองม้วนแรกแต่เป็นการคำนวณสำหรับข้อมูล N/2 จุดหลัง จากนั้นทำการคำนวณสัญญาณระหว่างกลางตอนถัดไป เทปแม่เหล็กที่เก็บผลลัพธ์ก็จะทำหน้าที่เป็นเทปข้อมูลเข้า และเทปสำหรับข้อมูลเข้าเดิมก็นำมาใช้สำหรับเก็บข้อมูลต่อไป

2.17 โครงข่ายประสาทเทียม

2.17.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม

ในช่วงระยะเวลา 8-9 ปีที่ผ่านมา ในต่างประเทศมีการตื่นตัวในการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks:, ANN) อย่างกว้างขวาง ทั้งทางด้านทฤษฎีและหลักการใช้งาน จนกระทั่งถึงปัจจุบันได้มีการประยุกต์นำโครงข่ายประสาทเทียม มาใช้ในอุปกรณ์ต่างๆมากขึ้น เช่น สามารถบอกได้ว่าฝูงปลาที่กำลังตรวจจับอยู่นั้นเป็นปลาชนิดใด, จำนวนเท่าไร

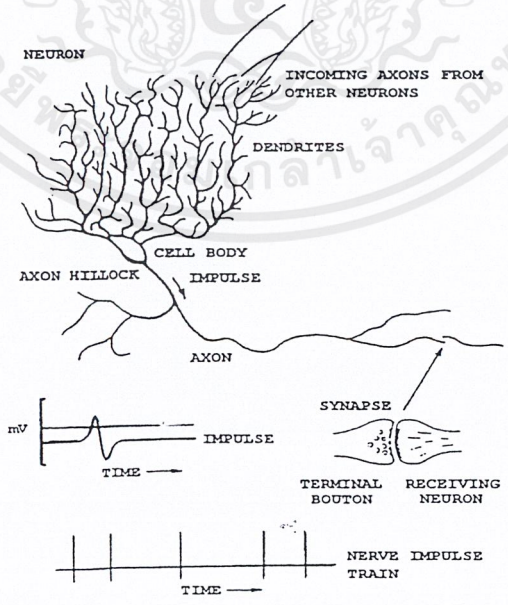
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องโทรศัพท์ที่สามารถเรียกเลขหมายปลายทางให้อัตโนมัติ (Voice Phone) เพียงยกหูแล้วพูดชื่อผู้ที่จะติดต่อเท่านั้น เครื่องอ่านตัวอักษร (OCR) ที่สามารถเปลี่ยนภาพอักษรให้เป็นรหัสตัวอักษรแบบ แอสกี้ ระบบนักบินอัตโนมัติ (Auto Pilot Aircraft) ระบบการคาดเดาอนาคตจากข้อมูลในอดีต (Forecasting, Prediction) ฯลฯ ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำเอา ANN มาใช้ช่วยวิเคราะห์นั้นจะมีความฉลาดมากขึ้นและมีระบบความคิดที่มีการทำงานในลักษณะคล้ายกับของมนุษย์

โครงข่ายประสาทเทียม หมายถึง โครงข่ายใยประสาทที่เชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์ประสาทจำนวนมากมายมหาศาล มีความสามารถประมวลผลสูงบรรจุอยู่ในสมอง สมองชีวภาพที่เป็นจุดศูนย์กลางการควบคุมกิจกรรมของการดำเนินชีวิต การวิจัยสร้างโครงข่ายประสาทเทียมมีแนวคิดเลียนแบบการทำงานของสมองชีวภาพ โดยเรียนรู้และศึกษาการทำงานของสมองชีวภาพเพื่อกำหนดแนวทางสำหรับการสร้างแบบจำลองขึ้นมา แล้วพยายามสมมติฐานลักษณะการทำงานโดยจำลองเป็นโมเดลคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะเดียวกัน แล้วดำเนินการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์

2.17.2 โครงข่ายประสาทเทียมชีวภาพ

ระบบคิดคำนึงของมนุษย์ มีโครงสร้างพื้นฐานจากเซลล์สมอง หรือเซลล์ประสาทที่เรียกว่านิวรัล (Neurons) เรียงเป็นชั้นๆ อย่างซับซ้อนจำนวนมหาศาล ประมาณหมื่นล้านนิวรัลและอาจมีจุดเชื่อมโยงส่งผ่านจุดเชื่อมโยงภายในถึงพันล้านๆจุด แต่ละเซลล์ประสาทจะมีคุณลักษณะแตกต่างกันไปโดยมีการทำงานคล้ายคลึงกันคือ รับเข้า, ประมวลผล, ส่งออกสัญญาณไฟฟ้าเคมีผ่านไปยังเซลล์ประสาท ซึ่งจะส่งสื่อสารไปตามระบบของสมอง



รูปที่ 2.17 โครงสร้างตัวอย่างประสาทชีวภาพ

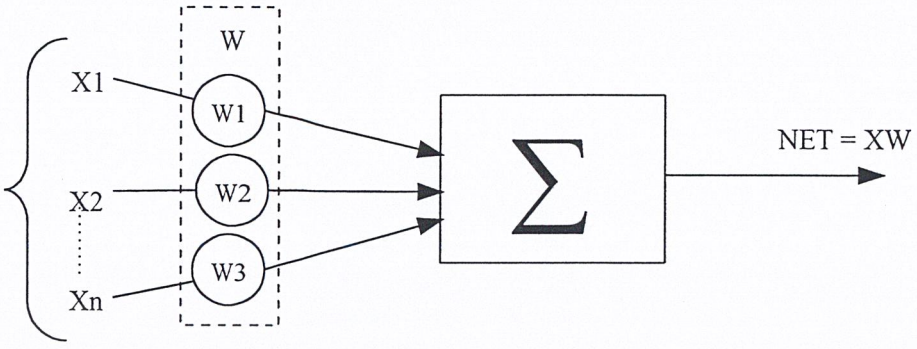
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.17 ส่วนของแขนงที่ขยายแยกออกไปจากตัวเซลล์ต่อไปยังเซลล์อื่นๆเพื่อรับสัญญาณเรียกว่า เดนไดรท์ (Dendrites) จุดรับสัญญาณจากเซลล์อื่นเข้ามายังตัวเซลล์จะผ่านมายังจุดเชื่อมต่อเรียกว่า ซินแนปส์ (Synapse) ซึ่งแอกซอน (Axon) จะเป็นตัวส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปยังเซลล์ประสาทอื่น จากผลการวิจัยพบว่า แต่ละเซลล์ประสาทจะเชื่อมต่อไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ ซึ่งแต่ละเซลล์ประสาทจะมีคุณสมบัติในการเพิ่มขยาย หรือลดทอนความเข้มของสัญญาณบางสัญญาณที่เข้ามาทางเดนไดรท์ ของเซลล์ อาจสามารถกระตุ้นตัวเซลล์ แต่บางสัญญาณก็อาจจะยับยั้งตัวเซลล์ นอกจากเซลล์ประสาทหนึ่งเซลล์มีเดนไดรท์มาก ฉะนั้นสัญญาณกระตุ้นจากเดนไดรท์ ที่รับเข้ามาจากเซลล์ประสาทอื่นๆ จะถูกนำมารวบกันที่ตัวเซลล์ประสาท ที่เซลล์ประสาทจะมีค่าเทรสโฮล (Threshold) ค่าหนึ่งหากผลรวมของสัญญาณไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) มีค่ามากกว่าเทรสโฮลเซลล์ เซลล์ประสาทก็จะส่งสัญญาณขนาดหนึ่งผ่านทางแอกซอนไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ การจัดเรียงชั้น (Layer) และลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างนิวรัลในสมองนั้นมีการจัดเรียงที่ซับซ้อน สอดคล้องกับหน้าที่การทำงานเฉพาะส่วน มีการเจริญเติบโตสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม และมีการเรียนรู้ตลอดเวลาซึ่งใช้เวลาเรียนนับปี ดังนั้นจึงยากที่จะสร้างโมดูลขึ้นมาเพื่อเลียนแบบให้มีคุณลักษณะคล้ายกับสมองชีวภาพได้ทั้งหมด ผลงานที่ได้จากการทำวิจัยในปัจจุบันเป็นเพียงการจำลอง การเลียนแบบและการทำงานเฉพาะบางส่วนของโครงข่ายประสาท มาใช้เฉพาะกับงานใดงานหนึ่งซึ่งมีการวิจัยลักษณะโครงข่ายแบบต่างๆ ขึ้นมา โดยแต่ละแบบจะเหมาะกับงานหนึ่งๆ เท่านั้น

2.17.3 โครงข่ายประสาทเทียม

การออกแบบสร้างประสาทเทียมนั้นมีสมมติฐานขั้นแรก จากคุณสมบัติของประสาทชีวภาพ ดังที่กล่าวมา กล่าวคือ ชุดรับสัญญาณข้อมูล อินพุทของเซลประสาทหนึ่งได้จากสัญญาณเอาท์พุทของเซลล์ประสาทอื่นๆ ผ่านทางซินแนปส์และเดรนไดร์ท ข้อมูลแต่ละค่าที่ได้รับมาจะถูกลดขนาดด้วย ซินแนปติกส์ ซึ่งภายในประกอบด้วยสารเคมีประเภท K^+, Ca^{++}, Na^+, Cl^- ซึ่งจะมีลักษณะทางความนำพัลล์ สัญญาณไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้โมดุลประสาทเทียมที่สร้างขึ้นจะต้องมีการถ่วงน้ำหนัก ให้กับโมดุลก่อนที่จะนำเข้าสู่โมดุลประสาทเทียม จุดนี้เรียกว่าซินแนปติกส์เวจท์ ปริมาณของข้อมูลที่เข้าสู่เซลล์ประสาท จะถูกนำมารวมกัน และตัดสินใจด้วยระดับความสนใจของเซลล์ประสาท แล้วจะส่งเป็นเอาท์พุทออกไปยังแอกซอนไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้น

จากรูปที่ 2.18 เป็นโมดุลที่สร้างขึ้นโดยแนวคิดจากเซลล์ประสาทชีวภาพ สัญญาณอินพุท คือ $X_1, X_2, \ldots, X_n$ ก่อนที่จะเข้าสู่เซลล์ประสาทที่สร้างขึ้น ซึ่งเปรียบเทียบได้กับสัญญาณที่ป้อนเข้าไปยังแนปส์ของเซลล์ประสาทชีวภาพ สัญญาณอินพุทนี้จะถูกนำไปคูณกับค่าซินแนปติกส์เวจน์ที่มีค่าตั้งแต่ 0.00-1 $W_1, W_2, \ldots, W_n$ ก่อนที่จะเข้าสู่บล็อกซัมเมชัน ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะสอดคล้องกับค่า สเตรงท์ ของจุดต่อซินแนปส์ชีวภาพแต่ละจุด บล็อกซัมเมชันนี้ก็จะ ทำหน้าที่สอดคล้องคล้ายกับตัวเซลประสาทชีวภาพ ผลรวมทางคณิตศาสตร์ของอินพุทและน้ำหนักเป็นเอาท์พุท เราเรียกว่า เน็ต (NET) ซึ่งจะรวมกันในรูปของเว็กเตอร์ได้ดังนี้

$$NET=X_1W_1+X_2W_2+\ldots.X_nW_n \tag{2.18}$$

จะได้

$$NET=XW \tag{2.19}$$

2.17.4 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ

เมื่อได้สัญญาณ NET แล้วกระบวนการต่อมาที่เซลล์ประสาทต้องทำก็คือตัดสินใจ จึงต้องทำการกำหนดฟังก์ชันการตัดสินใจ เพื่อใช้เป็นระดับของการตัดสินใจให้กับเซลล์ประสาท เพื่อให้ได้สัญญาณ เอาท์พุทของเซลล์ประสาทออกมา ซึ่งเชื่อมต่อไปยังเซลล์ประสาทตัวอื่น ๆ เป็นโครงข่าย OUT ที่ได้อาจเป็น Simple Liner Function โดย

$$OUT=K[NET] \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

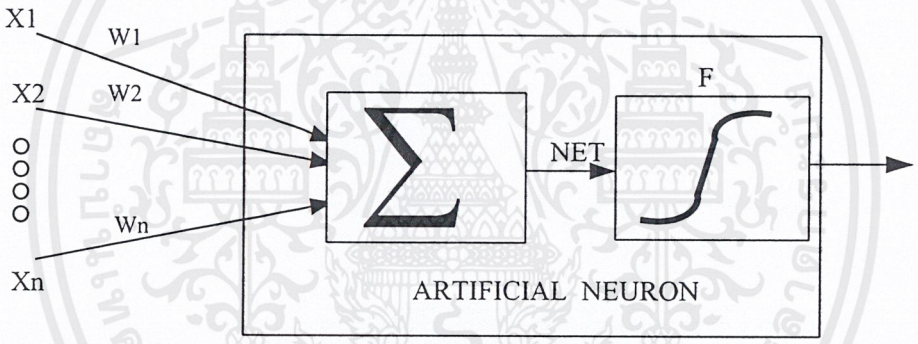
โดยที่ K เป็นค่าคงที่ ที่เรียกว่า Threshold Function

ตัวอย่างเช่น

OUT = 1 ถ้า NET > T

OUT = 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น (2.21)

และค่า T เป็นค่าเทรสโฮลคงที่ หรืออาจเป็นฟังก์ชันอื่นๆ ที่เลียนแบบคุณสมบัติที่เป็นเชิงเส้นของเซลล์ประสาทชีวภาพได้อย่างใกล้เคียงกว่า และใช้เป็นฟังก์ชันให้กับโครงข่ายทั่วไปได้

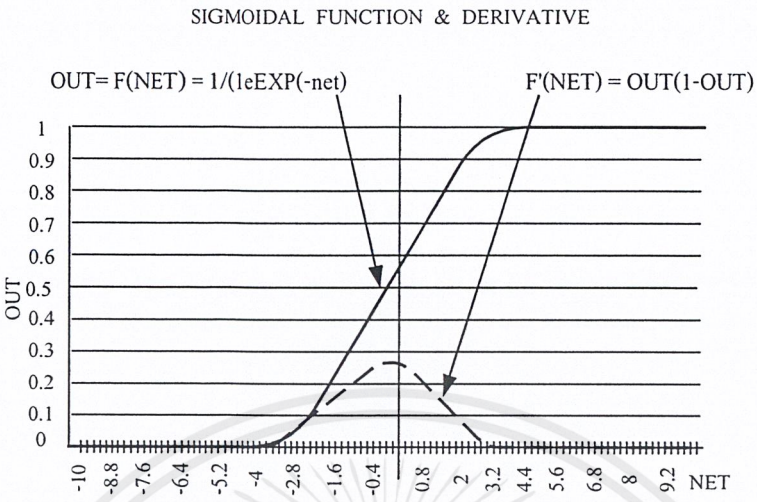


รูปที่ 2.19 หน่วยเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้นร่วมกับ Activation Function

ในรูปที่ 2.19 บล็อก F จะรับผลที่ได้จาก NET มาสร้างเป็นสัญญาณเอาท์พุทที่ OUT โดยกระบวนการภายในบล็อก F จะบีบช่วงของ OUT ให้อยู่ในขอบเขตจำกัด ตามต้องการ ดังนั้นค่า OUT จะมีค่าไม่ต่ำกว่าช่วงที่กำหนดของ NET เรียกบล็อก F นี้ว่าสแควชชิ่งฟังก์ชัน และโดยทั่วไปสแควชชิ่งฟังก์ชัน (Squashing Function) ที่ใช้แบบลอจิสติกฟังก์ชัน หรือซิกมอยด์ (Logistic Function or "Sigmoid") ซึ่งมีรูปร่างคล้ายตัว S โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$F(x) = \frac{1}{\left(1 - e^{-x}\right)} \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



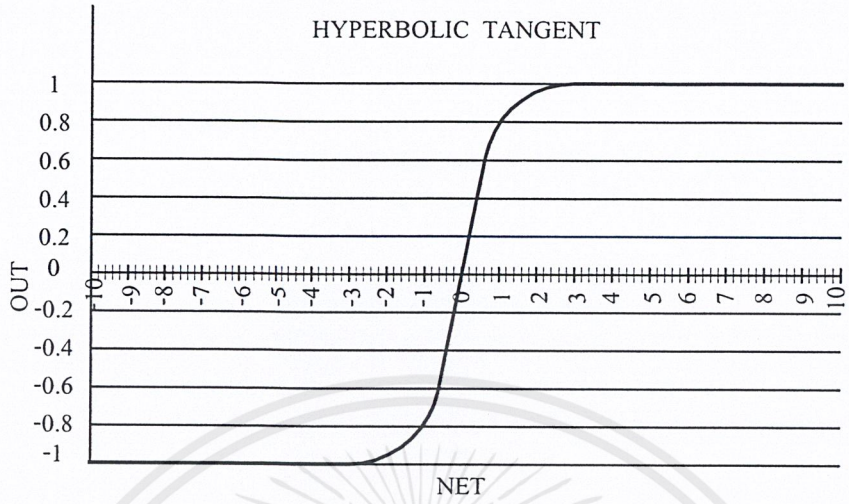
รูปที่ 2.20 กราฟที่ได้จากสมการซิกมอยด์ลอจิสติกฟังก์ชัน

ลักษณะของเทรสโฮลฟังก์ชันมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เช่น S-Curve เราจะได้ค่าเอาท์พุทที่มีความไวต่อสัญญาณอินพุทที่มีขนาดเล็กๆ และเฉลี่ยต่อสัญญาณแรง ๆ ซึ่งสัญญาณอ่อนๆ ไปทางบวกเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ OUT ใกล้เคียง “1” กระตุ้นหรือสัญญาณอ่อน ๆ ทางลบเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ OUT ใกล้เคียง “0” ขณะที่สัญญาณแรง ๆ ทางบวกก็ยังคงทำให้ Output ใกล้เคียง “1” และเช่นเดียวกัน สัญญาณแรง ๆ ทางลบ ก็ยังคงทำให้สัญญาณ Output ใกล้เคียง “0” เช่นกัน ลักษณะเช่นนี้เป็นอัตราขยายที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งคลอสส์เบอร์ก (Grossberg 1973) พบว่า คุณลักษณะที่เป็นการขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้สามารถแก้ปัญหา Noise-Saturation Dilemma ได้ และทำให้เซลล์ประสาทเทียมที่สร้างขึ้นสามารถทำงานกับขนาดอินพุทได้กว้างมากขึ้น

ยังมีฟังก์ชันอื่น ๆ อีกคือ ไฮเปอร์โบลิก แทนเจนท์ (Hyperbolic Tangent) มันจะมีลักษณะคล้ายกับ Logistic Function และนิยมใช้บ่อย ๆ ในการสร้างโมดุลคณิตศาสตร์ การกระตุ้นเร้าความสนใจของสมองเทียม ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายชีวภาพของเซลล์สมอง คือ OUT = Tanh (X)

จากรูปที่ 2.21 ส่วนนี้เหมือนกับ ซิกมอยด์ ลอจิสติกฟังก์ชัน คือมีลักษณะเป็น S แต่เนื่องจากมันจะมีความสมมาตรจึงให้เอาท์พุทอยู่ระหว่าง “-1” ถึง “1” เอาท์พุทจะเป็น “0” เมื่อ NET เป็น “0” เอาท์พุทเข้าใกล้ “1” เมื่ออินพุทไปทางบวกและ เอาท์พุทเข้าใกล้ “-1” เมื่ออินพุทไปทางลบ

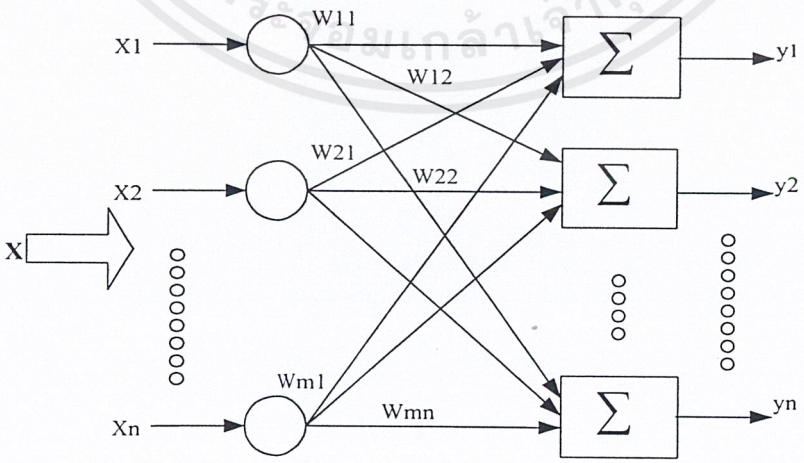
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent Function

2.17.5 โครงข่ายประสามเทียมแบบชั้นเดียว

ที่กล่าวมาจนถึงจุดนี้ เป็นการกล่าวถึงหลักการและเหตุผลในการสร้างเซลล์ประสาทเทียมเพียงหนึ่งเซลล์ โดยใช้แนวคิดจากเซลล์ประสาทชีวภาพ การจะนำเซลล์ประสาทเทียมมาใช้งานได้นั้นต้องใช้เซลล์ประสาทเทียมที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ กัน มาเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายในลักษณะเดียวกับเซลล์ประสาทชีวภาพเสียก่อน ซึ่งลักษณะการเชื่อมโยงมีหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.22 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.22 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว ที่ประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียมง่ายๆ หลายๆ ชุด ความสามารถในการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมได้มาจากลักษณะการเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายง่ายๆ เป็นกลุ่มโมดุลประสาทเทียมที่เชื่อมต่อกันเป็นชั้นๆ ในรูปที่ 2.15 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวที่ประกอบด้วยเอาท์พุทเลเยอร์ และอินพุทเลเยอร์โดยไม่พิจารณาอินพุทเลเยอร์ว่าเป็นเซลล์ประสาทเลเยอร์ เนื่องจากอินพุทเลเยอร์จะทำหน้าที่เชื่อมต่ออินพุทที่รับมา และส่งออกไปให้ยังแต่ละอินพุทของเซลล์ประสาทเลเยอร์ในชั้นถัดไป โดยแต่ละอินพุทจะถูกคูณโดยค่าน้ำหนักเฉพาะแต่ละอินพุท โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นในขั้นแรกไม่ซับซ้อน โดยแต่ละเซลล์ประสาทจะได้เอาท์พุทจาก

OUT = Logistic Function คูณ (ผลรวมของอินพุท x กับ น้ำหนัก)

หรือ $$OUT = F(NET) \tag{2.23}$$

อย่างไรก็ดีลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างโครงข่ายไม่ได้มีแบบเดียว การเชื่อมโยงระหว่างเลเยอร์อาจมีการเชื่อมโยงย้อนกลับมายังอินพุทเลเยอร์อีก ซึ่งโครงข่ายประสาทชีวภาพก็มีลักษณะดังกล่าวเช่นกัน สำหรับค่า น้ำหนัก ในรูปที่ 2.22 มีวิธีการพิจารณาในรูปของน้ำหนักเมตริก ซึ่งหากโครงข่ายมีหลายชั้น จะช่วยให้ระบุน้ำหนักได้ง่ายขึ้น และเพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนจะกำหนดเป็นไดเมนชัน (Dimensions) ของเมตริก โดยให้ m แทนจำนวนแถว หรือจำนวนของอินพุทละ n แทนจำนวนของเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้น เช่น น้ำหนักที่เชื่อมระหว่างอินพุทตัวที่ 4 กับเซลล์ประสาทที่ 2 คือ $W_{4,2}$

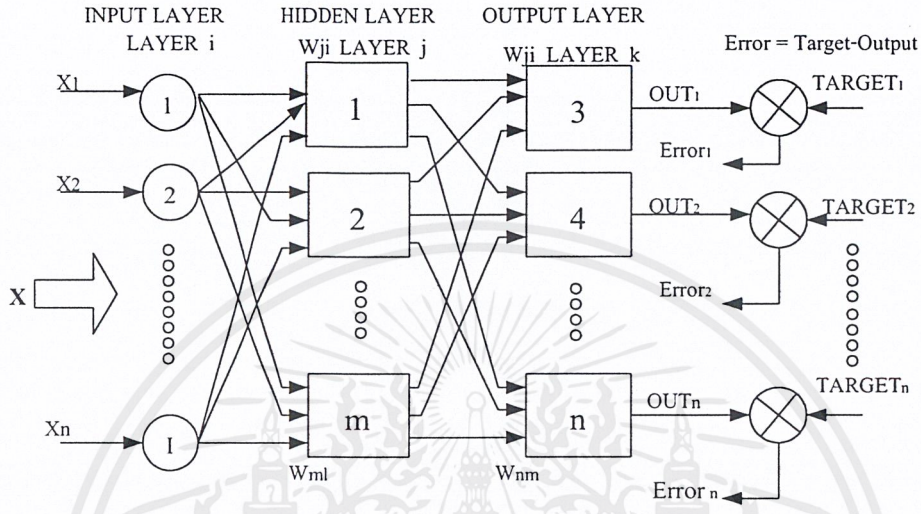
2.17.6 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

โครงข่ายที่ซับซ้อนจะมีความสามารถในการคำนวณที่ดีขึ้นมันจะเป็นโครงข่ายที่มีโครงสร้างเป็น จินตนาการที่น่าเป็นไปได้โดยการจัดการเชื่อมโยงเซลล์ประสาทมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ คล้ายส่วนหนึ่งของสมอง และมีการพัฒนาอัลกอริทึมเกี่ยวกับการ การสอนให้โครงข่ายแบบหลายชั้นทำงานได้ ตามความต้องการแล้วเมื่อไม่นานมานี้ โครงข่ายแบบหลายชั้น อาจจะสร้างจาก กลุ่มของโครงข่ายแบบชั้นเดียวเอาท์พุท ของ Layer หนึ่ง จะใช้เป็นอินพุทของ Layer ถัดไป ในรูปที่ 2.23 แสดงเน็ตเวอร์คที่มีการเชื่อมต่อแบบสองชั้น

รูปที่ 2.23 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ที่ต่อเชื่อมโยงแบบเต็มชั้น ในโครงข่ายแบบหลายชั้นมีการเรียกชื่อชั้นต่างๆ ดังนี้ คือ ชั้นที่ต่อโดยตรงกับอินพุท เรียกว่า อินพุทเลเยอร์ ชั้นนี้จะไม่มีการคำนวณ แต่จะทำหน้าที่เชื่อมข้อมูลไปยังชั้นถัดไป ชั้นที่อยู่ท้ายสุดทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มือเรียกว่าเอาท์พุทเลเยอร์ เป็นชั้นที่โครงข่ายจะให้ผลลัพธ์ ส่วนชั้นที่อยู่ระหว่างอินพุทเลเยอร์ และเอาท์พุทเลเยอร์ จะมีกี่ชั้นก็ตามจะเรียกว่า ฮิดเดนเลเยอร์ (Hidden Layer) หากฮิดเดนเลเยอร์มีหลายๆ ชั้นก็จะมีการตั้งชื่อเฉพาะลงไปให้กับแต่ละชั้น



รูปที่ 2.23 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ แบบสองชั้น

2.17.7 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจแบบไม่เป็นเชิงเส้น

การนำเอาท์พุทของเลเยอร์หนึ่งมาเชื่อมกับอินพุทของเลเยอร์ชั้นถัดไป โดยผ่านฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจแบบไม่เป็นเชิงเส้น จะทำให้โครงข่ายมีความสามารถในการคำนวณเพิ่มขึ้น หากไม่ผ่านฟังก์ชันดังกล่าวความสามารถการคำนวณจะไม่เพิ่มขึ้น และจะมีความสามารถไม่แตกต่างไปจาก (Single Layer Networks) และสามารถกำหนดขอบเขตของเอาท์พุทให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้

2.17.8 การฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม

ค่าน้ำหนัก มีความสัมพันธ์กับอะไร เปลี่ยนแปลงอย่างไร นั้นก็เช่นเดียวกับเด็กที่คลอดออกมาก็มีสมองแล้วแต่สมองยังไม่เจริญเติบโตเพียงพอและยังไม่ได้รับการสอนและเรียนรู้ เด็กจึงไม่สามารถทำกิจกรรมใดๆ ด้วยตนเอง เว้นแต่กิจกรรมที่ธรรมชาติสร้างมาพร้อมกับการกำเนิดที่เรียกว่า “สัญชาติญาณ” ซึ่งธรรมชาติใส่คุณลักษณะบางอย่างให้เซลล์สมองบางส่วนตั้งแต่ทารกเจริญเติบโตอยู่ในครรภ์มารดา เช่น ระบบควบคุมการหายใจ, ความรู้สึก, การเรียกร้องเมื่อหิว, การตอบสนองต่อสิ่งเร้า ฯลฯ เด็กจะพัฒนาการเรียนรู้ไปตามขั้นตอน หลังจากนั้นสมองของเขาจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับการสอน และเจริญเติบโตไปพร้อมๆ กัน เซลล์สมองจะได้รับการปรับคุณลักษณะสอดคล้องกับการสอนและจะเจริญเป็นโครงข่ายสอดคล้องกัน

โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ เมื่อสร้างเสร็จแต่ละเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้นมานั้นจะยังไม่มีคุณลักษณะใดเลย เนื่องจากยังไม่มีการกำหนดค่าซินแนปติกส์น้ำหนักที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการให้กับมัน จึงต้องมีการสอนเพื่อให้โครงข่ายที่สร้างขึ้นมีคุณลักษณะตามที่ต้องการ การฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมจะกระทำ โดยการเปลี่ยนค่าซินแนปติกส์น้ำหนักเพื่อให้ โครงข่ายจดจำแพทเทอร์นความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท กับเอ้าท์พุทได้ โดยในขั้นแรกอาจกำหนดเป็นค่าสุ่มใดๆ (สุ่มน้ำหนัก) ก่อนแล้วถึงปรับเปลี่ยนน้ำหนักไปตามอัลกอริทึมสมมติฐานหลายๆ รอบจนกว่าจะได้เอาท์พุทของเน็ตเวอร์คเหมือนกับ เอาท์พุทที่ต้องการเงื่อนไขความผิดพลาดที่ยอมรับได้

2.17.9 วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้

เนื่องจากค่าน้ำหนักที่ให้เป็นค่าสุ่มใดๆ โครงข่ายจึงไม่แสดงคุณลักษณะใดออกมา การเรียนรู้ (Training) ให้โครงข่ายก็คือการปรับค่าน้ำหนักทุกๆ จุดให้สอดคล้องกับอินพุทหลายๆ แบบเพื่อให้เอาท์พุทตามต้องการนั้นเอง การฝึกสอนโครงข่ายจะต้องบรรลุถึงกระบวนการเข้าใจพื้นฐานเสียก่อนคือ การเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมนี้มีขีดจำกัด ปัญหาต่างๆ ผู้ใช้คงต้องแก้ให้มันก่อนแล้วนำผลนั้นไปอ้างอิงสำหรับการปรับปรุงค่าน้ำหนัก หลังจากปรับน้ำหนักจนได้ค่าผิดพลาดที่เอาท์พุทเทียบกับเป้าหมายน้อยลงเป็นที่พอใจแล้ว โครงข่ายประสาทเทียมนั้นก็พร้อมที่จะวิเคราะห์อินพุทและให้เอาท์พุทตามลักษณะตัวอย่างที่มันเคยเรียนรู้มา การเรียนรู้จะมีการปรับน้ำหนักหลายๆ รอบ จนค่าน้ำหนักสอดคล้องกับตัวอย่างหลาย ๆ ตัวอย่าง และให้เอาท์พุทตามต้องการ พบว่าโครงข่ายได้ตัวอย่างสำหรับการเรียนรู้มาก โดยโครงข่ายก็จะมีความแม่นยำสูงขึ้น แต่ก็จะใช้เวลาในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นเช่นกันหากพิจารณาต่อไปจะพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นจะมีพฤติกรรมคล้ายกับระบบการเรียนรู้ของมนุษย์มาก เป็นเพราะมีต้นแบบมาจากระบบประสาทชีวภาพนั่นเอง

2.17.10 การเรียนรู้แบบควบคุม

เรียนรู้อัลกอริทึมถูกจัดเป็น 2 ประเภท คือ แบบควบคุม (Supervised Training) และแบบอิสระ (Unsupervised Training)โดยการเรียนรู้แบบควบคุมจะต้องการคู่ของการเรียนรู้ระหว่างอินพุทกับเป้าหมายที่ต้องการที่เรียกว่าเรียนรู้แพร์ (Training Pairs)โครงข่ายจะถูกเรียนรู้ไปตามจำนวนของคู่ที่เรียนรู้ (จำนวนคู่ของ Input กับ Output ที่ต้องการให้โครงข่ายรู้จัก)เอาท์พุทที่คำนวณได้ จากโครงข่ายจะถูกเปรียบเทียบกับความสอดคล้องกับเป้าหมายคำผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนกลับไปยังโครงข่ายและเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักให้สอดคล้องกับอัลกอริทึม ที่ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างเอาท์พุทกับเป้าหมายโดยเฉลี่ยมีค่าลดต่ำลง ตัวอย่างการเรียนรู้นี้ได้แก่ การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back Propagation)

2.17.11 การเรียนรู้แบบอิสระ

ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมแบบควบคุม (Supevisd Training) สามารถจะประยุกต์ใช้เพื่อปรับคุณลักษณะของโครงข่ายได้สำเร็จ แต่ก็ยังมีข้อวิจารณ์อยู่ คือ มันเป็นไปอย่างแบบชีวภาพไม่ได้ และ ยากที่จะเชื่อได้ว่า กลไกการเรียนรู้ของสมองจะต้องการการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ต้องการกับ เอาท์พุทจริง โดยกระบวนการป้อนกลับไปแก้ไขคุณลักษณะของโครงข่าย และถ้าสมมติว่า ถ้าสมองมีกลไกเช่นนี้ต้องมีผู้หาเอาท์พุทที่ต้องการเพื่อนำมาเป็นเป้าหมายตลอดเวลา และจะเอามาจากที่ใดสรุป คือ ต้องมีผู้คิดเป้าหมายให้กับโครงข่ายก่อน โครงข่ายไม่สามารถคิดและปรับคุณลักษณะได้ก่อนด้วยตนเอง ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาทารกแรกเกิดสมองของเขาสามารถจัดระบบเองได้อย่างไร การเรียนรู้แบบอิสระ (UnSupervise Learning) ที่สร้างขึ้นคงยังห่างไกลความเป็นไปได้ที่จะมีลักษณะ การเรียนรู้แบบระบบของสมอง จนกระทั่งมีการพัฒนาการเรียนรู้แบบอิสระขึ้นราวปี 1984 โดย โคโฮเนน (Kohonen) และบุคคลอื่นๆ โดยได้เสนอแนวคิดที่เป็นการเรียนรู้แบบไม่เป็นเป้าหมายไม่มีการตัดสินใจด้วยเหตุผลในอุดมคติมาก่อน ชุดของการเรียนรู้ จะมีเพียงอินพุทเวกเตอร์เท่านั้น เรียนรู้อัลกอริทึมจะเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของโครงข่าย เพื่อสร้าง เอาท์พุทที่มีความมั่นคง ยกตัวอย่าง เช่น หากให้โครงข่ายรู้จำภาพหน้าคนหนึ่ง หากภาพหน้าคนคนนั้น เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย (Image อาจมี Noise ร่วมอยู่บ้าง) โครงข่ายนั้นก็ยังสามารถบอกได้ว่า คนคนนั้นเป็นคนเดิมเป็นต้น การเรียนรู้จะไม่มีการตัดสินใจมาก่อน ไม่มีการกำหนดแบบ เอาท์พุทมาก่อน (อาจกล่าวได้ว่าแบบเอาท์พุทจะถูกกำหนดโดยอินพุทเวกเตอร์นั่นเอง) ดังนั้นเอาท์พุทของโครงข่ายก็เช่นกัน ส่วนใหญ่จะถูกแปรรูปซึ่งจะเข้าใจได้ภายหลังกระบวนการเรียนรู้ ดังนั้นจึงไม่สามารถแก้ปัญหาที่เคร่งครัดสำคัญได้ แต่มักนิยมใช้โครงข่ายแบบนี้กับงานง่ายๆ ประเภทการเปรียบเทียบเอกลักษณ์ รูปแบบที่สัมพันธ์กันระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทที่ถูกกำหนดโดยโครงข่าย

2.17.12 วิธีการแก้ปัญหาการเรียนรู้

ส่วนใหญ่แล้วทุกวันนี้ การแก้ปัญหาฝึกสอนของโครงข่ายค่อยๆ พัฒนาก้าวหน้าขึ้นจากแนวความคิดของ ดี โอ เฮบบ์ (ปี 1961) เขาได้เสนอโมเดลของการเรียนรู้แบบอิสระ (UnSupervisef-Trainnig) ในแบบซินแนปติกส์สเตรงท์ หรือน้ำหนัก ซึ่งจะเพิ่มขึ้นถ้าทั้งแหล่งกำเนิด (Input Source) และจุดหมายปลายทาง (Destination) ของเซลล์ประสาทได้รับการสนใจ กรณีนี้ถ้ามีการใช้งานทางเส้นนี้บ่อยๆ ก็จะให้ซินแนปติกส์สเตรงจ์แข็งแรงขึ้น (เซลล์สมองที่ใช้งานมาก บ่อยๆ ก็จะทำให้ซินแนปส์ใหญ่ขึ้น การส่งผ่านข้อมูลพัลส์ไฟฟ้าทำได้ดีขึ้น ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เช่น สามารถคิดหรือจดจำได้เร็วและดีขึ้น) โครงข่ายประสาทเทียมนี้ ใช้การเรียนรู้แบบเฮบเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hebbian Learning) จะเพิ่มค่าน้ำหนักของโครงข่ายอย่างสอดคล้องกับผลคูณของระดับความสนใจของแหล่งกำเนิดและจุดหมายของเซลล์ประสาทตามสมการดังนี้

$$Wij(n+1) = Wij(n) + \alpha OUTiOUTj \qquad (2.24)$$

โดย Wij(n) คือ ค่าน้ำหนัก จากเซลล์ประสาท i ไปยังเซลล์ประสาท j ก่อนปรับปรุงค่า

Wij(n+1) คือ ค่าน้ำหนัก จากเซลล์ประสาท i ไปยังเซลล์ประสาท j หลังปรับปรุงค่า

α คือ ค่าคงที่ของการเรียนรู้ (Learning Rate Coefficient)

OUTi คือ เอาท์พุทของเซลล์ประสาท i และเป็นอินพุทของเซลล์ประสาท j

OUTj คือ เอาท์พุทของเซลล์ประสาท j

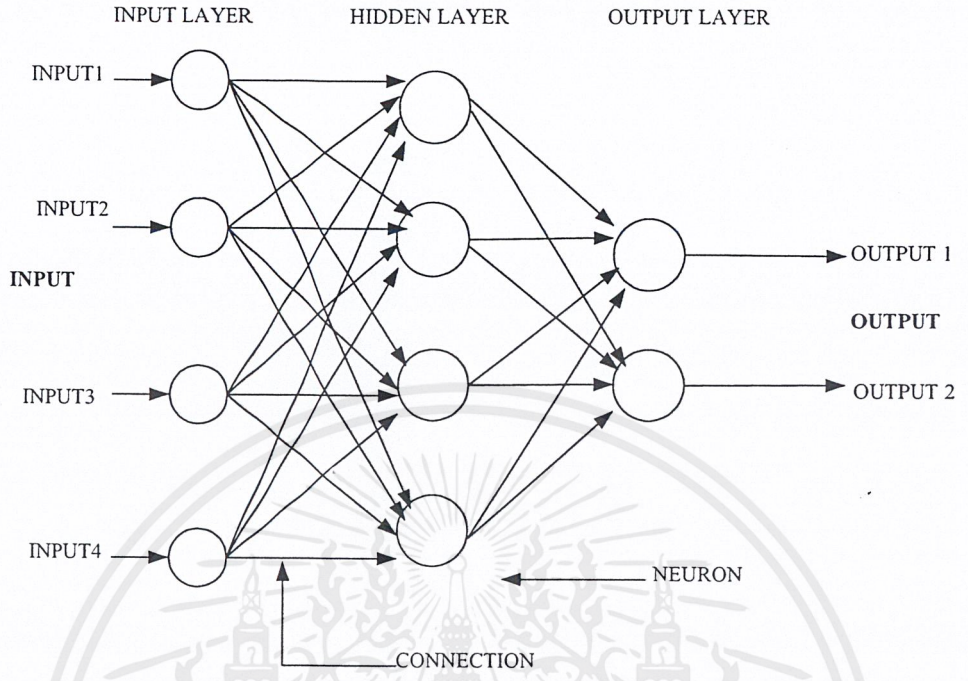
โครงข่ายที่มีลักษณะการเรียนรู้แบบเฮบเบนนั้น เป็นผลมาจากการพัฒนามาแล้วกว่า 20-30 ปี โดยเฉพาะงานของโรเซนเบลทท์ (Rosenblatt:1962), วิโดรว์ (Windrow:1959), วิโดรว์และฮอง (Widrow&Hoff:1960) และอีกหลายๆ คนที่พยายามพัฒนาระบบการเรียนรู้แบบควบคุมที่สร้างโครงข่ายที่สามารถเรียนรู้แบบของอินพุทได้อย่างกว้างขวาง และมีอัตราการเรียนรู้สูงที่บรรลุผลได้จากหลักการพื้นฐานของการเรียนรู้หรือเรียนรู้ให้กับโครงข่ายเช่น Perceptrons, Hopfieldnets, Bacdpropagation Networks และ Counter Propagation

2.17.13 การประยุกต์ใช้เซลล์ประสาทกับการวิจัย

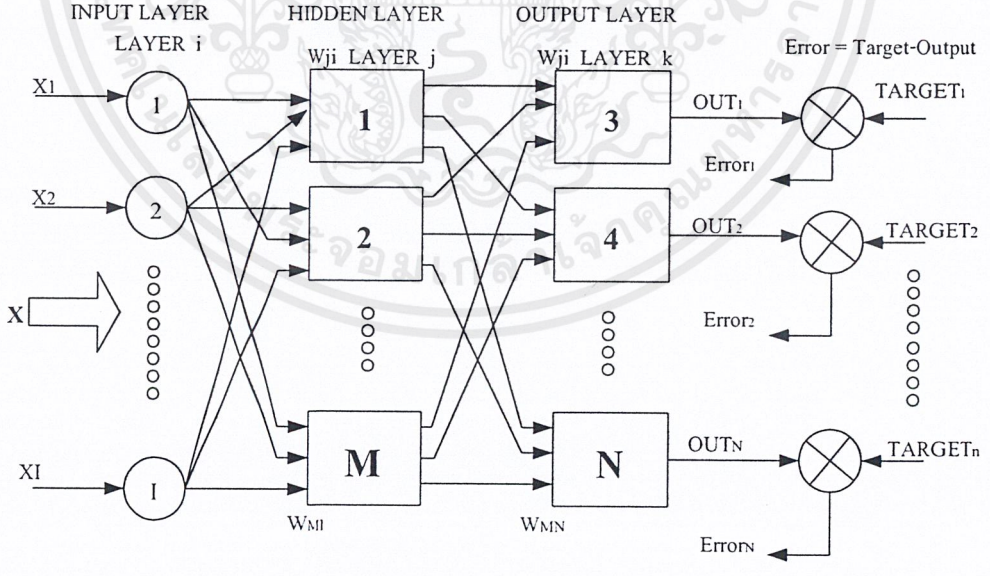
จากการศึกษาพฤติกรรม การสื่อภาษาของมนุษย์พบว่า การเรียนรู้ภาษาต้องเรียนรู้จากผู้อื่น ภาษาไม่ใช่สิ่งที่เป็นสัญชาติญาณ ดังนั้นจึงต้องเรียนรู้จากภาษาที่สังคมนั้นกำหนดขึ้นซึ่งเป็นแพตเทอร์นของภาษาที่บรรพบุรุษได้สร้างขึ้นสั่งสมกันมาก่อน จากเหตุผลดังกล่าวพบว่าสอดคล้องกับ อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Training) ผู้วิจัยเลือกใช้วิธี Backpropagation มัลติเลเยอร์เป็นแบบ 2 เลเยอร์ แสดงดังรูปที่ 2.24

พิจารณารูปที่ 2.24 จะเห็นว่าประกอบด้วย Input Array, Hidden Layer และ Output Layer ในส่วนของ Input Array จะไม่ถือเป็น Layer เพราะไม่มีการคำนวณใดๆ แต่มันจะทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลให้กับ Hidden Layer ทุกๆเซลล์ประสาท Output ของ Hidden Layer ก็จะถูก เชื่อมโยงไปเป็น Input ให้กับ Output Layer ทุกอินพุทของเซลล์ประสาททุกตัว จะมีค่าน้ำหนักประจำตัว ค่าน้ำหนักนี้ทำให้ระดับของอินพุทผ่านเข้าไปภายในเซลล์ประสาทแต่ละตัวไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นตัวกำหนด คุณลักษณะสมบัติของเซลล์ประสาทแต่ละตัวในเน็ตเวอร์ค วิธีการกำหนดคุณสมบัติดังกล่าวทำได้ โดยการเรียนรู้โดยในขั้นแรกจะสมมติว่า ค่าแบบสุ่มน้อยๆ ให้ (ช่วงที่ใช้คือตั้งแต่ –0.5 ถึง –0.5) แล้วจึงค่อยๆ ปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักในแต่ละ Layer ให้สอดคล้องกับคุณสมบัติที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของ Two Layer Feed-forward



รูปที่ 2.25 โครงสร้างการเชื่อมโยงระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ2 ชั้นของโครงข่ายแบบแพร่กลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.14 กระบวนเรียนรู้

กระบวนการเรียนรู้ คือ กระบวนการปรับปรุงคุณลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ การเรียนรู้ของอัลกอริทึม Backpropagation เป็นแบบ Supervised Training แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Forward Pass และ Reversed Pass การเรียนรู้จะกระทำทั้ง Forward Pass และ Reverse Pass สลับกันไป จนกว่า ค่าผิดพลาดระหว่าง Output กับ Target จะมีค่าต่ำกว่าจุดที่ต้องการ

1) FORWARD PASS

จากรูปที่ 2.25 อินพุท X ตั้งแต่ X_1 ถึง X_2 จะถูกคูณด้วย น้ำหนัก Manx ผลรวมของอินพุท เมื่อคูณกับค่า น้ำหนัก ของแต่ละเซลล์ประสาทเรียกว่า เน็ต (NET) เขียนเป็นสมการได้คือ

$$NET_j = X_1 W_{j1} + X_2 W_{j2} + ... + X_I W_{jI} \quad (2.25)$$

หรือ

$$NET_j = \sum_{i=1}^{I} X_i W_{ji} \quad (2.26)$$

โดย X คือ ค่าที่รับเข้ามาของ Input Node

W คือ ค่าน้ำหนักประจำตัวของแต่ละอินพุทโนด

i คือ หมายเลขโนดโดยเริ่มที่โนด 1 ถึง โนด I

j คือ หมายเลขเซลล์ประสาทใน Hidden Layer ตั้งแต่เซลล์ประสาทที่ 1 ถึง M

k คือ หมายเลขเซลล์ประสาทใน Output Layer ตั้งแต่เซลล์ประสาทที่ 1 ถึง N

และทำนองเดียวกัน

$$NET_k = \sum_{j=1}^{M} Op_j W_{kj} \quad (2.27)$$

เมื่อได้ค่า NET ของแต่ละเซลล์ประสาทแล้วจะปรับให้ได้ Output อยู่ในช่วงที่ต้องการเป็นค่าที่จะในไปยับยั้งหรือกระตุ้นเซลล์ประสาทตัวถัดไปโดย Squashing Function ที่ใช้เป็น Logistic Function หรือ Sigmoid จะได้ตามสามการ 2.28 และ 2.29

$$Op_j = F_j(NET_j) = \frac{1}{1 - \ell^{-(net/\theta_j)}} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Op_k = F_k(NET_k) = \frac{1}{1+\ell^{-(net/\theta_k)}} \qquad (2.29)$$

กำหนดให้ $\theta_j = 0.05$ และ $\theta_k = 0.05$

θ_j และ θ_k คือ ค่าที่กำหนดความชันของ Sigmoid Curve

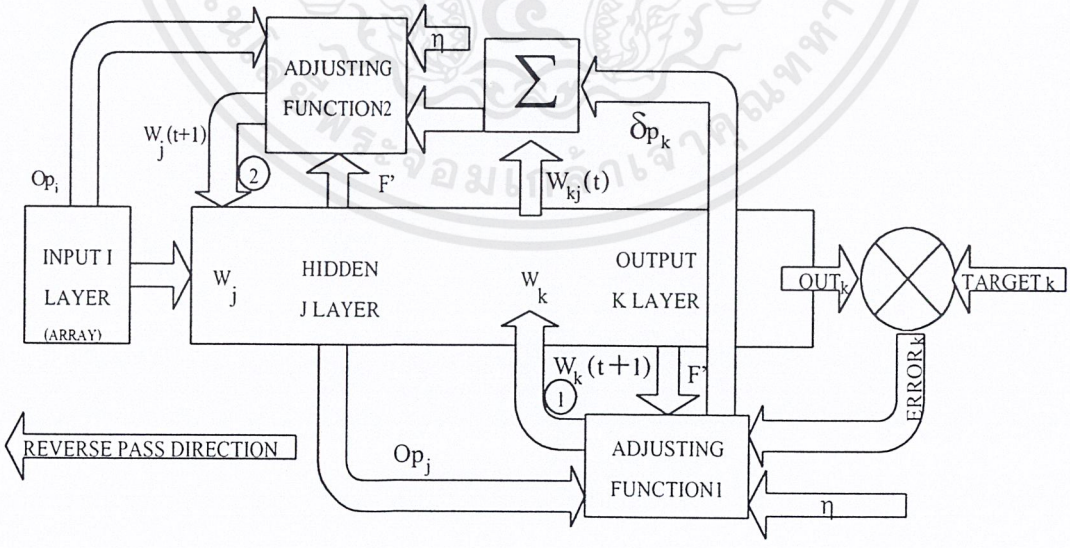
Op_i คือ Output ที่ Neuron j ของ Hidden Layer (เป็น Input ของ Output Layer)

Op_k คือ Output ที่ Neuron k ของ Output Layer (เป็น Output ของ Output Layer)

การกำหนดหาค่า Output จะเริ่มที่ Hidden Layer ที่ชั้น j ก่อน เมื่อได้ค่า Output ของ Hidden Layer ครบทุกตัวแล้ว จึงคำนวณหาค่า Output ที่ Output Layer โดย Input ของ Output Layer ก็คือ Output ของ Hidden Layer นั่นเอง โดยใช้การคำนวณทำนองเดียวกันกับ Target ที่ต้องการเกิดเป็น Error ขึ้น ค่า Error นี้ จะถูกนำไปใช้ร่วมกับค่าดิฟเฟอเรนเซียลของ F(F') ใน Output Layer เพื่อปรับค่า น้ำหนัก ให้กับ Output Layer ดังจะกล่าวต่อไปในส่วนของ Reverse Pass

2) REVERSE PASS

เป็นส่วนที่ป้อนกลับค่า Error (Target-Output) จากเอาท์พุทเลเยอร์ย้อนกลับมาปรับปรุงค่าน้ำหนักที่เลเยอร์ก่อนหน้า สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีมากกว่า 1 เลเยอร์การปรับปรุงค่าน้ำหนักชั้นถัดมา จะใช้ค่าน้ำหนักเดิมของเลเยอร์ที่สูงกว่า ร่วมกับตัวร่วมทางด้าน Output ของเลเยอร์มาคำนวณ (เนื่องจากไม่มีค่า Error มาใช้เหมือน Output Layer)



รูปที่ 2.26 โครงสร้างของการปรับค่าน้ำหนัก ในชั้น Output Layer และ Hidden Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.26 การปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักใหม่ จะเป็นไปตามทิศทางของลูกศร และได้ข้อมูลจากค่า Errorที่ Output Layerเป็นต้นกำเนิดเพื่อกำหนดทิศทางปรับค่าน้ำหนักให้โครงข่ายประสาทเทียม มีคุณลักษณะสมบัติตามต้องการ ลำดับขั้นตอนของ Reverse Pass พอสรุปได้ดังนี้คือ

1. นำ Output ที่ได้จาก Output Layer ไปลบออกจาก Target ได้เป็น Error

2. นำค่า Error มาคูณกับ F' ที่ได้จาก Output Layer เรียกว่า δP_k

3. นำค่า δP_k คูณกับ Op_i แล้วคูณกับ η (อัตราการเรียนรู้ 0.01-1)

4. ค่า น้ำหนัก ค่าใหม่ที่ได้ คือ ค่า น้ำหนัก เดิมบวกกับผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 3 พอเขียนเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$W_{kj}(t+1) = W_{kj}(t) + \eta \delta p_k Op_j \tag{2.30}$$

เพราะว่า
$$\eta \delta p_k Op_j = \Delta W_{kj} \tag{2.31}$$

ฉะนั้น
$$W_{kj}(t+1) = W_{kj}(t) + \Delta W_{kj} \tag{2.32}$$

เมื่อ $W_{kj}(t)$ คือ ค่าน้ำหนักเดิมก่อนปรับ

$W_{kj}(t+1)$ คือ ค่าน้ำหนักหลังปรับ

η คือ อัตราการเรียนรู้

Op_j คือ Output ของ Layer j

δp_k คือ ค่าที่ได้จาก Error คูณกับดิฟเฟอเรนเชียลฟังก์ชัน F

การปรับค่าของ Layer ถัดมา (Hidden Layer) มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Output Layer คือ

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \eta \delta p_k Op_i \tag{2.33}$$

เพราะ
$$\eta \delta p_i Op_i = \Delta W_{ji} \tag{2.34}$$

ฉะนั้น
$$W_{ji}(t+) = W_{ji}(t) + \Delta W_{ji} \tag{2.35}$$

สมการที่ 2.34 แตกต่างกันกับสมการ 2.31 ตรงการได้มาซึ่ง δp_i เพราะไม่มีค่า Output กับ Target ที่ Hidden Layer ค่าดังกล่าวสามารถทดแทนได้ด้วย $\sum_k (\delta p_k W_{kj})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$\delta p_j = Op_j(1-Op_j)(\sum_k(\delta p_k W_{kj}) \quad (2.36)$$

เมื่อ $W_{kj}(t)$ คือ ค่าน้ำหนักเดิมก่อนปรับ

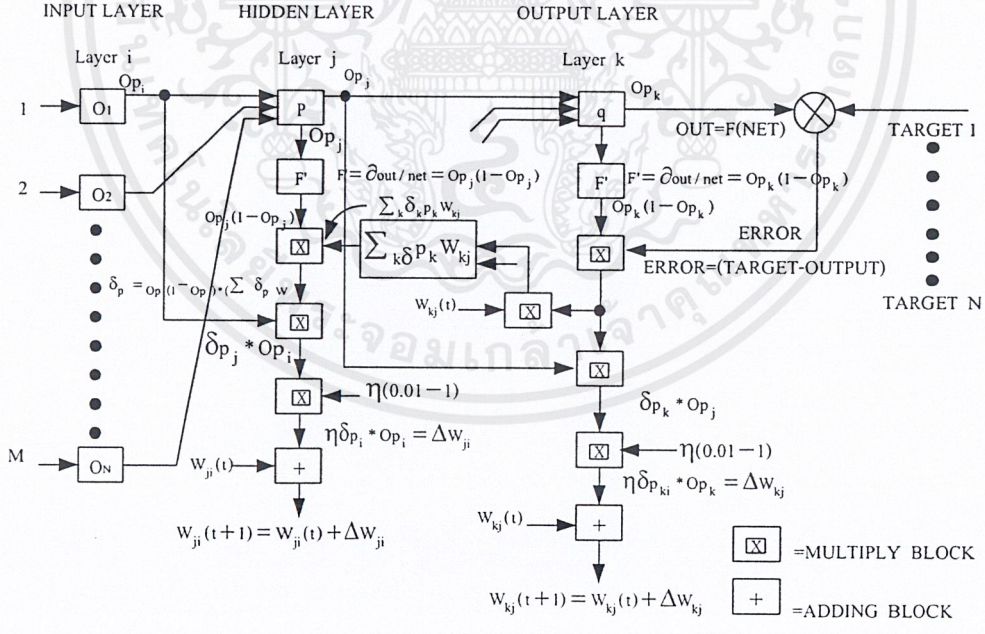
$W_{kj}(t+1)$ คือ ค่าน้ำหนักหลังปรับ

η คือ อัตราการเรียนรู้

Op_i คือ Output ของ Layer j

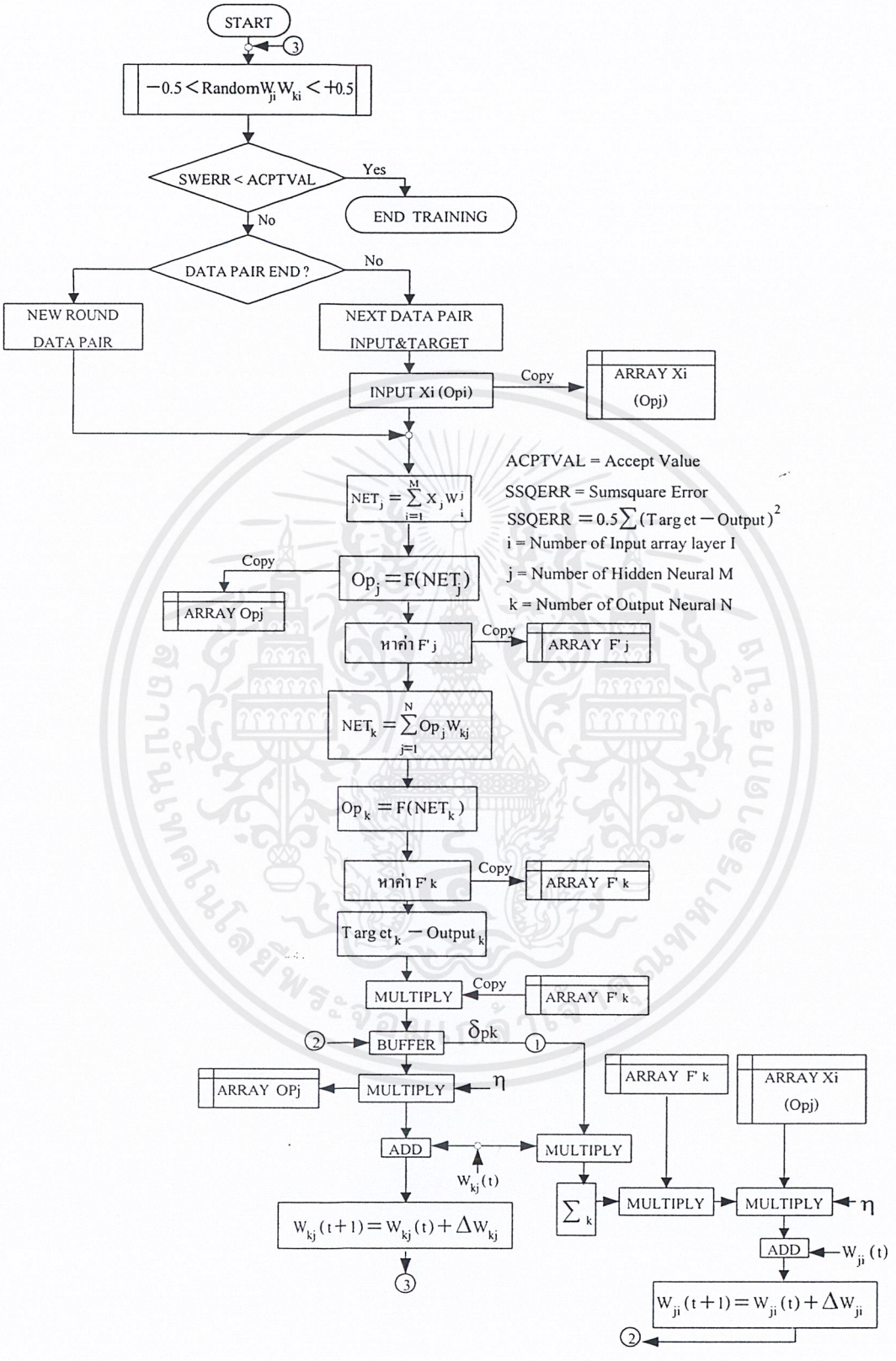
δp_i คือ ค่าควบคุมให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สุดที่ดีที่สุด

การปรับค่าน้ำหนักจะปรับทีละเลเยอร์จาก Output Layer กลับไปยัง Input Layer เมื่อเสร็จสิ้นก็จะกลับสู่ส่วนของ Forward Pass เช่นนี้สลับกันไปจนกว่าค่า Error ที่ได้จะลดลงต่ำกว่าค่าที่ต้องการจึงหยุดกระบวนการ ค่าน้ำหนักที่ได้จะเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับทุกคู่ของ Input และ Target ซึ่งพร้อมที่จะไนไปใช้กระบวนการตรวจสอบ การปรับค่าเรียนรู้น้ำหนักของ โครงข่ายแบบแพร่กลับ พออธิบายได้ด้วยโครงสร้างดังรูปที่ 2.27 และพอเขียนเป็น ผังงานได้ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.27 โครงสร้างวิธีการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมของการเรียนรู้โดยใช้อัลกอริทึมแบบแบคแพร่กลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 ผังงานของกระบวนการเรียนรู้ เพื่อหาค่าน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18.15 เงื่อนไขการหยุดการฝึกสอน

การกำหนด เงื่อนไขการหยุดฝึกสอนทำได้สองกรณีคือ

1) เมื่อผลรวมของค่าผิดพลาดเฉลี่ยระหว่างเอาท์พุทกับเป้าหมายทั้งหมด (SSQERR) ลดลงน้อยกว่าค่าที่กำหนด โดยกำหนดสมการหาค่าผิดพลาดเฉลี่ยของเอาท์พุททั้งหมดดังนี้

$$SSQERR = \frac{1}{2}\sum(Target - Output)^2 \qquad (2.37)$$

SSQERR คือ ค่า Sumsquare Error ที่ได้จาก Output Neurons เทียบกับ Target ใช้สำหรับบ่งชี้ผลของการฝึกสอนว่าเพียงพอกับการใช้งาน หรือเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่

2) จำนวนรอบของการฝึกสอนดำเนินไปถึงค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งจำนวนรอบที่เหมาะสมได้จากการทดลอง (ในการทดลองจำนวนรอบที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2,500-5,000 รอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 หน่วยความจำเสียงพูด

ในการสร้างการจำแนกเสียงตามลักษณะเสียงพูดที่ได้ใช้ในโครงงานนี้ โดยการจำแนกผู้พูดคนเดิมหรือผู้พูดคนเดียว มีวิธีการพูดแบบคำแยกจากกัน (Discrete Utterance) คือ การพูดเป็นหน่วยเสียง หน่วยพยางค์ หน่วยคำ หรือหน่วยวลี สิ่งที่จะต้องทำก็คือเมื่อฟังจากเสียงผู้พูดแล้วจะบันทึกรูปแบบของเสียงตามวิธีของเสียงตามวิธีของเครื่องและเครื่องจะรู้เองว่าหากพูดให้ฟังอีกครั้งจะเหมือนกับคำที่ ผู้พูดเดิมได้สอนไว้ด้วยหรือไม่ โดยอาศัยขั้นตอนดังนี้

เมื่อผู้ใช้ต้องการให้เครื่องรู้จักคำโดยพูดผ่านไมโครโฟน สัญญาณเสียงซึ่งขณะนี้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน จากนั้นก็จะนำเอาข้อมูลดิจิตอลไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ชุดหนึ่ง ซึ่งจะบอกถึงลักษณะเฉพาะของคำนั้นๆ และเก็บข้อมูลต้นแบบนี้ไว้หน่วยความจำหรือในแผ่นแม่เหล็กก็ได้ข้อมูลต้นแบบของคำๆ นี้เรียกว่า “เทมเพลต้นแบบ (Templates)” ขบวนการจนถึงขั้นตอนนี้เรียกว่า “การสอนเครื่องให้รู้จักคำ (Training)” การทำงานของเครื่องจะมีความเชื่อถือได้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับยุทธวิธี(Algorithm) ที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับความจะของจำนวนคำซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำ เครื่องคอมพิวเตอร์ในระดับไมโครคอมพิวเตอร์ 8 บิต สามารถจำได้นับ 100 คำ เวลาของการค้นหาคำที่รู้จักแล้วจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนที่สอนไว้ด้วย ถ้าทีจำนวนคำมากยุทธวิธีที่จะใช้ค้นหาคำให้ได้รวดเร็ว

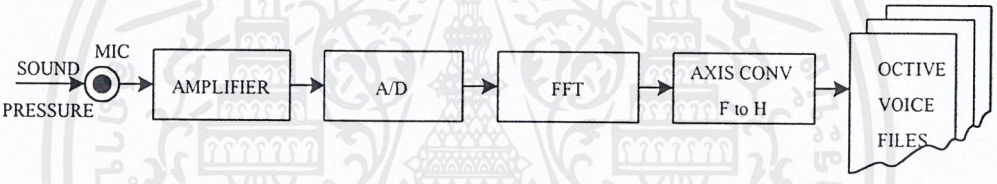
3.2 ระบบการรู้จำเสียง

ระบบการรู้จำเสียงที่ทดลองสร้างขึ้น มีลักษณะดังรูปที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 มีการทำงานเป็นแบบ Off-Line การทำงานของระบบแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเรียนรู้ (Training) และการทดสอบ (Testing) ดังนั้นจึงต้องเตรียมข้อมูลไว้สองส่วนเช่นกัน การเตรียมข้อมูลขั้นต้นเป็นไปตามรูปที่ 3.1 คือแปลงสัญญาณเสียงตัวอย่างที่ได้จากไมโครโฟนให้เป็นสัญญาณดิจิตอล บันทึกเป็นไฟล์เสียง จากนั้นจึงแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปสเปกโตรแกรมความถี่-เวลา-พลังงาน ด้วยการแปลงแบบฟูริเยร์อย่างเร็ว แล้วเปลี่ยนข้อมูลในแกนความถี่ให้เป็นข้อมูลในแกนความถี่ฮาร์โมนิค การแปลงแกนความถี่ทำเพื่อปรับสเปกโตรแกรมให้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์เสียง เนื่องจากคุณลักษณะของเสียงที่สำคัญอยู่ในช่วงแรกของแถบความถี่และความสามารถในการรู้จำ Pitch ของมนุษย์ สำหรับ

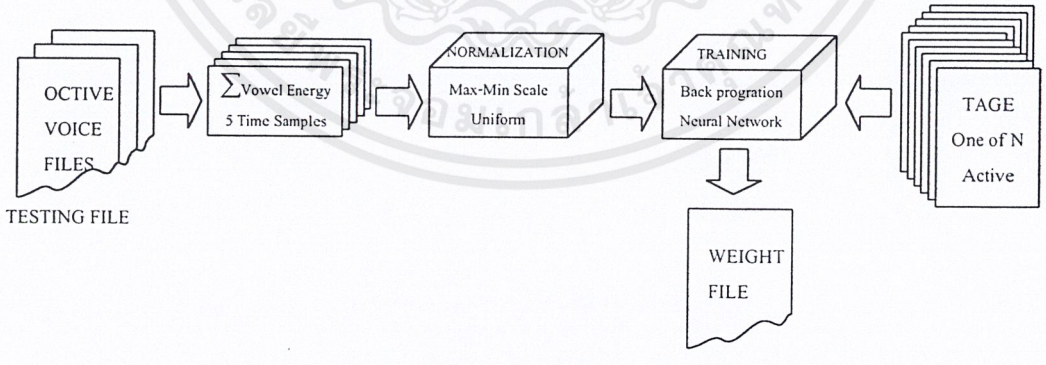
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ต่ำจะดีกว่าความถี่สูง ข้อมูลจากความถี่ช่องต่ำนี้จึงน่าสนใจนำมาใช้เป็นข้อมูลมาก และ Pitch เป็นความถี่พื้นฐานที่กำหนดระดับความสูงต่ำของเสียง เนื่องจากว่าภาษาไทยเป็นภาษาที่เรียกว่า Tonal Language คือมีระดับโทนเสียง สามัญ เอก โท ตรี และจัตวา ซึ่งแต่ละโทนเสียงจะทำให้ความหมายที่แตกต่างออกไปดังนั้น Pitch จึงเป็นสิ่งสำคัญในการแยกแยะคำในภาษาไทย

เมื่อได้ข้อมูลเชิงความถี่ฮาร์โมนิค-เวลา-พลังงานแล้ว จะถูกเก็บสะสมไว้เป็นไฟล์ แล้วแบ่งส่วนเป็นข้อมูลมาตราฐาน เพื่อใช้เรียนรู้ และข้อมูลอีกส่วนใช้สำหรับทดสอบข้อมูลนี้จะถูกนำมาผ่านขบวนการ Normalization เสียก่อนเพื่อลดขนาด ความซับซ้อนและทำให้ลักษณะของข้อมูลเหมาะสมกับโครงข่าย ที่จะทดสอบ หลังจากค่าผิดพลาดกำลังสองของเอาท์พุทที่ได้กับเป้าหมาย (Target) ที่ต้องการลดลงถึงจุดกำหนด ค่าน้ำหนักที่ได้จากการเรียนรู้จะถูกเก็บไว้เป็น Factor เพื่อนำมาคำนวณกับข้อมูลทดสอบ และให้ผลลัพธ์ที่ Output ที่สามารถแบ่งแยกชนิดของ ข้อมูลที่นำมาทดสอบได้สอดคล้องกับข้อมูลทดสอบ ซึ่งเป็นตัวบอกถึงความสามารถรู้จำของโครงข่ายได้

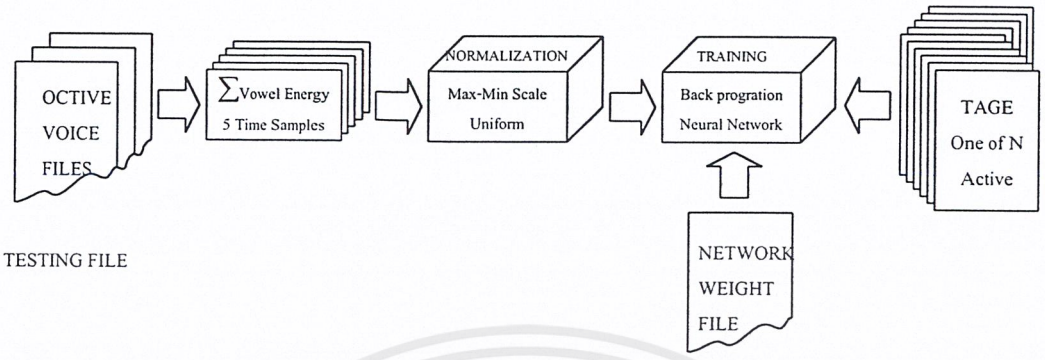


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการปรับข้อมูลให้พร้อมนำไปทดสอบ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การทดสอบไฟล์เสียงที่ใช้ค่าน้ำหนัก จาก Network File ที่ได้จากการเรียนรู้

3.3 การวิเคราะห์เสียงต้นแบบ

เนื่องจากการทดลองกำหนดเพื่อศึกษาวิธีการเตรียมข้อมูล และความสามารถในการรู้จำของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้รู้จำเสียง เปิดไฟหน้าบ้าน, ปิดไฟหน้าบ้าน, เปิดไฟหลังบ้าน, ปิดไฟหลังบ้าน,เปิดไฟห้องนอน, ปิดไฟห้องนอน, เปิดไฟห้องครัว, ปิดไฟห้องครัว, เปิดไฟห้องน้ำ และเปิดไฟห้องน้ำ ในการวิเคราะห์เสียงต้นแบบมีวิธีการดังนี้

1) ทำการบันทึกเสียงต้นแบบทั้ง 10 ประโยคแล้วบันทึกเป็นไฟล์ .WAV

2) นำเสียงต้นแบบมาแปลงจากสัญญาณเวลาเป็นความถี่โดยผ่านฟูริเยร์อย่างเร็ว ซึ่งจะได้เสียง และสเปกโตรแกรมเสียงออกมา

3) หาค่าสูงสุดของแต่ละแท่งเสียงที่มีจำนวนทั้งหมด 200 แท่ง จากนั้นเอาเสียงที่ได้ 200 แท่งไปหารด้วย 100 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แน่นอน

4) นำเสียงที่ได้จากการหารด้วย 100 ไปผ่านโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำการเรียนรู้

3.4 การปรับข้อมูลให้เหมาะสมกับโครงข่าย

เสียง เสียงเดียวกันที่เปล่งออกมาจากผู้พูดคนเดียว มักมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันเสียทีเดียว ลักษณะการออกเสียงสามารถบ่องบอกถึงอารมณ์ของผู้พูดได้ ความยาวของการออกเสียงของคำคำเดียวกันไม่เท่ากัน แต่เราจะพบว่าใกล้เคียงกันและแตกต่างกันกรณีต่างผู้พูดกัน เสียงพูดคำเดียวกันของผู้พูดแต่ละคนจะมีเอกลักษณ์เฉพาะบุคคล และมีกราฟของพลังงานเฉลี่ยแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง แต่ถ้าวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะอื่นพบว่ามีตัวร่วมเหมือนปะปนอยู่ด้วยบ้าง การตรวจสอบเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเอกลักษณ์ของคำ จากรูปของพลังงานเฉลี่ยในแกนของความถี่ฮาร์โมนิคของข้อมูลเสียงมาเป็นข้อมูลกำหนดความแตกต่าง ลักษณะการรู้จำแบบนี้ เป็นแบบแมชซึ่งมีหลายวิธีที่สามารถใช้ปรับระยะเวลาการเปล่งเสียง ของข้อมูลของเสียงใดๆ ให้มีช่องเวลามาตราฐานค่าหนึ่ง แล้วคำนวณค่าระดับพลังงานในแกนความถี่ใหม่ ที่สอดคล้องกับข้อมูลเดิมอาจใช้ Least Square หรือวิธีอื่นๆ แต่วิธีที่เลือกทำการทดลองใช้วิธีหาค่าพลังงานเฉลี่ยของแต่ละความถี่ในแกนความถี่ฮาร์โมนิค เฉพาะในช่วงเวลาที่เปล่งเสียง จะได้กราฟลักษณะพลังงานเฉลี่ยของแต่ละความถี่ทุกความถี่ของแนวความถี่ฮาร์โมนิคและไม่ขึ้นกับระยะเวลาการเปล่งเสียง โดยใช้สมการ 3.3

$$Eav(f)=\frac{\sum_{t=0}^{N} Et}{N}\Big|_{f=1\,to\,M(=128)} \tag{3.3}$$

เมื่อ Eav(f) คือ ค่าระดับของพลังงานเฉลี่ย ของความถี่ฮาร์โมนิคที่ f ของช่วงเวลาเปล่งเสียงที่กำลังสนใจ

f คือ ช่วงความถี่ที่สนใจในแกนความถี่ฮาร์โมนิค โดยเริ่มตั้งแต่ 1 ถึง 128

Et คือ ค่าระดับพลังงาน ณ เวลาใดๆ ของช่วงที่เปล่งเสียงของแกนความถี่ฮาร์โมนิคที่ f

M คือ จำนวนช่วงความถี่ (Step) ที่แบ่งในแกนความถี่ฮาร์โมนิค (การทดลองให้ M=128)

N คือ จำนวนช่วงเวลาที่เปล่งเสียงของคำหนึ่งคำ

จากสมการที่ 3.3 จะพบว่า N ที่ไปหาร ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียวสำหรับ 1 ช่วงความถี่ในแกนความถี่ฮาร์โมนิค จะได้ข้อมูลเพียง M ข้อมูล สำหรับเสียง 1 เสียง หรือคำ 1 คำ จากนี้จะได้คุณลักษณะพลังงานเฉลี่ยของข้อมูล 1 พยางค์ แต่พบว่าข้อมูลค่าสูงสุด-ต่ำสุด มีความแตกต่างมาก หากนำข้อมูลไปเรียนรู้ทันที จะทำให้โครงข่ายใช้เวลาเรียนรู้มากเกินไป หรืออาจเกิดการเรียนรู้ไม่สู่การแก้ปัญหาการรู้จำได้ จึงต้องตัดข้อมูลบางส่วนที่ไม่ใช้ออกไป โดยใช้วิธี Max-Min Scaling ทำให้ข้อมูลอยู่ใน Range พอดี เป็น Uniform โดยใช้สมการ 3.4

$$Xs=\left[\left(\frac{Xd-d_{min}}{d_{max}-d_{min}}\right)*\left(SCALE_{max}-SCALE_{min}\right)\right]+SCALE_{min} \tag{3.4}$$

โดย Xs คือ ค่าที่ได้จากการทำ max-min scaled ของแต่ละจุดข้อมูล

Xd คือ ตัวข้อมูลดิบที่ต้องการนำมาคำนวณ max-min scaled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d_{max} คือ ค่าสูงสุดของชุดข้อมูลดิบ

d_{min} คือ ค่าต่ำสุดของชุดข้อมูลดิบ

SCALEmax, SCALEmin เป็นค่าที่ใช้กำหนดช่วงสเกลที่ต้องการ Transfer ไปของ Max-Min Scaling เพื่อปรับข้อมูลดิบให้ได้ Output อยู่ในช่วงที่ต้องการไปยังเสกลสูงสุด-ต่ำสุด ในกรณีที่กำหนดเสกลสูงสุด = 1, ค่าต่ำสุด = 0 จะได้

$$Xs = \frac{Xd - d_{min}}{d_{max} - d_{min}} \tag{3.5}$$

หลังจากทำข้อมูลให้ลดลงและเป็น Unit value แล้วก็จะได้ข้อมูลของคำแต่ละคำที่พร้อมนำไปเข้าขบวนการเรียนรู้และทดสอบกับโครงข่าย

3.5 หลักการทำงานของส่วนฮาร์ดแวร์

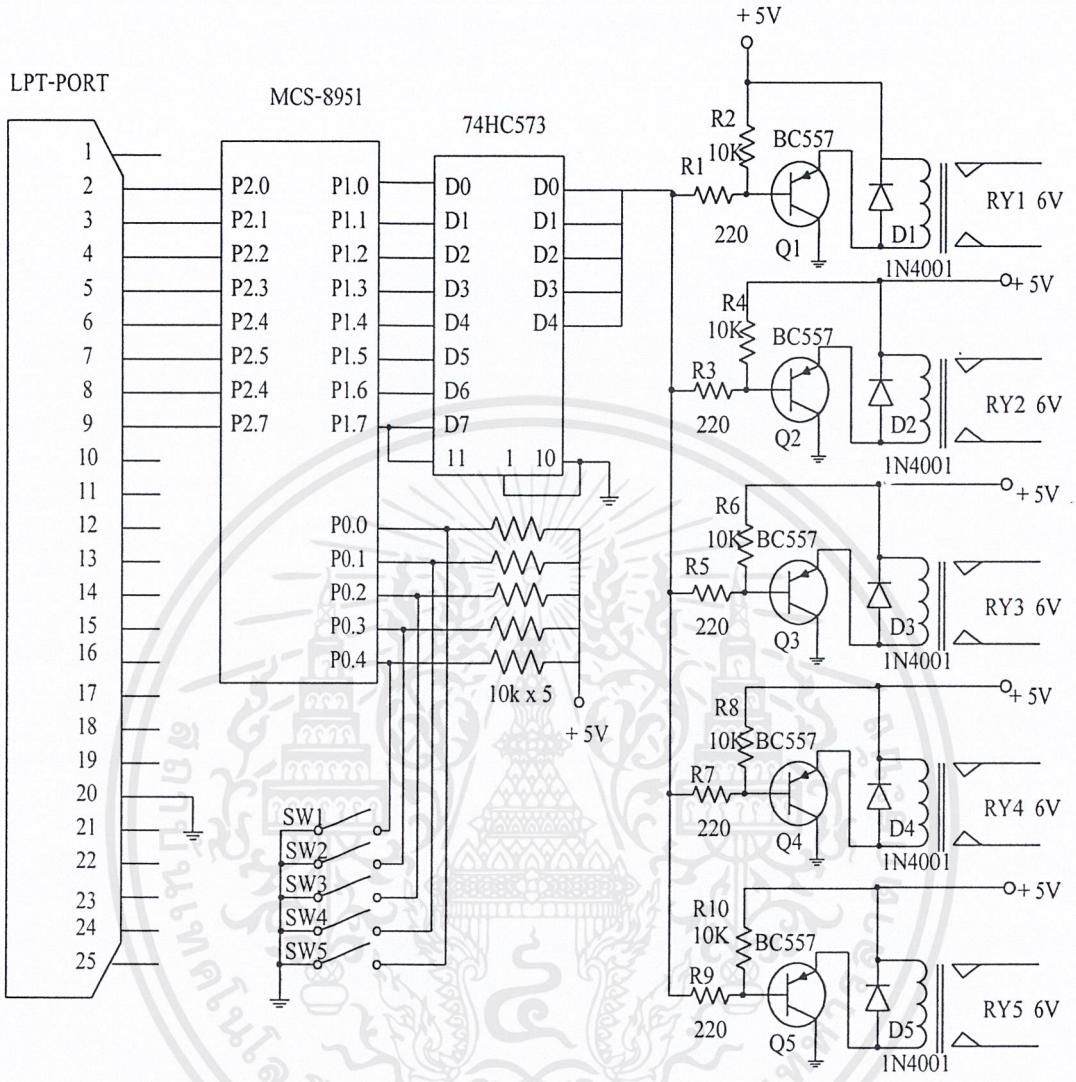
สำหรับวงจรควบคุมปิดเปิดหลอดไฟฟ้านี้ จะใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 เป็นส่วนประกอบหลักของวงจรที่ใช้ควบคุมปิดเปิดหลอดไฟฟ้า

จากวงจรในรูปที่ 3.4 จะใช้พอร์ท 0 ในการตรวจสอบการกดไมโครสวิตช์ทั้ง 5 ตัว เพื่อเป็นการสั่งให้ไมโครคอนโทรเลอร์ทำการประมวลผล เพื่อควบคุมปิดหรือเปิดหลอดไฟฟ้า

พอร์ท 1 จะเป็นตัวสั่งให้รีเลย์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ไฟฟ้าเพื่อปิดเปิดหลอดไฟฟ้า

พอร์ท 2 จะเป็นตัวรับข้อมูลจากพอร์ทขนานของคอมพิวเตอร์ ที่เป็นตัวที่สั่งจาคอมพิวเตอร์ด้วยเสียงพูดที่สั่งปิดเปิดหลอดไฟที่จุดต่างๆ แล้วส่งข้อมูลหรือรหัสคำสั่งออกจากพอร์ทขนานแล้วส่งข้อมูล หรือรหัสคำสั่งออกจากพอร์ทขนานแล้วส่งเข้าที่พอร์ท 2 ของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 เพื่อทำการประมวลผลแล้วส่งออกที่พอร์ท 1 ของไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อขับรีเลย์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรการทำงานของตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 รายละเอียดการทำงานของส่วนฮาร์ดแวร์

จากรูปที่ 3.4 ที่พอร์ท 0 ของ MCS-51 จะทำการต่อตัวต้านทานพูลอัพไว้เพื่อทำหน้าที่เพื่อทำหน้าที่กำหนดค่าสถานะ '1' ไว้ตลอด ซึ่งภายใน MCS-51 นี้จะเขียนโปรแกรมที่สั่งให้คอยตรวจเช็คสถานะ '0' สมมติกดที่สวิตช์ 1 ก็จะทำให้ P0.0 มีสถานะ '0' เนื่องจากสวิตช์ SW_1 ได้ต่อกราวด์ และเมื่อ MCS-51 ได้ข้อมูลเป็นสถานะ '0' ที่พอร์ท P0.0 MCS-51 ก็จะทำหน้าที่ประมวลผลแล้วส่งค่าสถานะ '0' ออกไปที่พอร์ท P1.0

ซึ่งที่พอร์ท 1 นี้เมื่อเริ่มต้นการทำงานได้เขียนโปรแกรมไว้ให้ส่งค่าสถานะเป็น '1' ทั้งหมดไว้ เพื่อจะให้รีเลย์ยังไม่ทำงานเพราะทรานซิสเตอร์ที่ใช้ขับเป็นชนิด พีเอ็นพี เมื่อ P1.0 ได้ส่งสถานะ '0' ออกไปก็จะส่งไปยังขา B ของ Q_1 ทำให้ Q_1 ถูกฟอร์เวิร์ดไบอัสทำให้ Q_1 ขับรีเลย์ RY_1 ให้ทำงาน ซึ่งจะทำให้หลอดไฟที่ 1 ทำงานทันที การทำงานในส่วนของสวิตช์ $SW_1 - SW_5$ นี้ก็เป็นเช่นเดียวกัน (ซึ่ง SW_1 จะควบคุม P1.0 SW_2 จะควบคุม P1.1 ตามลำดับ) และสำหรับ $SW_1 - SW_5$ นี้ จะทำหน้าที่คล้ายกับทอกเกิ้ลสวิตช์ คือกดติดกดดับ ซึ่งการที่จะทำให้รู้ว่าจะเป็นการปิดหรือเปิดไฟนั้นก็ได้ทำการเขียนโปรแกรมให้ตรวจสอบสถานะของพอร์ท 1 แต่ละบิตก่อนว่าเป็น '1' หรือ '0' หากเป็น '0' เมื่อกดสวิตช์ก็จะถูกทำให้มีสถานะเป็น '1' ซึ่งจะทำให้ไฟหลอดนั้นดับ หากเป็น '1' เมื่อกดสวิตช์ก็จะทำให้มีสถานะเป็น '0' ซึ่งจะทำให้ไฟหลอดนั้นติด

สำหรับพอร์ท 2 ที่รับข้อมูลจากพอร์ทขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่ง MCS-51 นี้จะเขียนโปรแกรมให้รอตรวจเช็คสถานะ '0' เพราะที่พอร์ทขนานของคอมพิวเตอร์ได้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าเป็นสถานะ '1' ไว้ตลอด เมื่อคอมพิวเตอร์รับคำสั่งปิดเปิดไฟฟ้าจากเสียงพูดก็จะส่งสถานะ '0' ออกมาที่พอร์ทขนาน สมมติเป็นบิตที่ 0 ของพอร์ทขนานก็จะส่งสถานะ '0' ออกมาเป็นสัญญาณพัลซ์หนึ่งลูก เสร็จแล้วที่พอร์ท 2 ที่ P2.0 ก็จะได้รับสถานะ '0' ทำให้ MCS-51 ทำการประมวลผลรับค่าแล้วส่งออกไปที่พอร์ท 1 ที่ P1.0 ถ้า P1.0 เป็น '1' อยู่ก็จะกลายเป็น '0' จากนั้นก็จะส่งไปที่ขา B ของ Q_1 ถูกฟอร์เวิร์ดไบอัสทำให้ Q_1 ขับรีเลย์ RY_1 ทำงานทำให้หลอดไฟที่ 1 ติด ส่วนบิตที่ 1-4 ก็มีการทำงานเช่นเดียวกันหรือเป็นการทำให้ MCS-51 รับรหัสค่าต่างๆ เข้ามาที่พอร์ท 2 ของ MCS-51 ดังตารางที่ 3.1

จากหลักการทำงานที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าให้ MCS-51 ทำการสแกนรับค่าทั้งที่ไมโครสวิตช์ที่พอร์ท 0 และพอร์ท 2 จากข้อมูลพอร์ทขนานของคอมพิวเตอร์ โดยเปรียบเสมือนกับใช้สวิตช์สองทางในการปิดเปิดไฟฟ้า นั้นก็คือสามารถสั่งเปิดไฟที่คอมพิวเตอร์ได้ และปิดที่ ไมโครสวิตช์ได้ หรือเปิดที่ไมโครสวิตช์และปิดที่คอมพิวเตอร์ได้ ส่วนไอซี 74373 จะเป็นไอซีแลทช์ค่าข้อมูลของพอร์ท 1 เอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 รหัสการเปิดไฟ

รหัส	เปิดหลอดไฟที่
FE H	1
FD H	2
FB H	3
F7 H	4
EF H	5

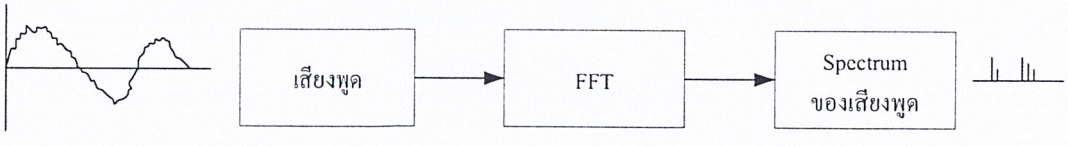
ส่วนรหัสการปิดไฟจะกำหนดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รหัสการปิดไฟ

รหัส	ปิดหลอดไฟที่
1F H	1
3F H	2
5F H	3
7F H	4
9F H	5

3.7 อัลกอริทึม

โครงงานการสร้างระบบวิเคราะห์และรู้จำเสียงพูดโดยใช้โปรแกรม Turbo C อาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณเสียง คือ วิธีชอร์ตไทม์และการวิเคราะห์เสเปกตรัม ซึ่งก็สามารถแสดงเป็นแผนผังการทำงาน ได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของการวิเคราะห์โดยวิธีชอร์ตไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ

หลังจากที่พูดเสียงต้นแบบ คือ เปิดไฟหน้าบ้าน, ปิดไฟหน้าบ้าน, เปิดไฟหลังบ้าน, ปิดไฟหลังบ้าน, เปิดไฟห้องนอน, ปิดไฟห้องนอน, เปิดไฟห้องครัว, ปิดไฟห้องครัว, เปิดไฟห้องน้ำ, ปิดไฟห้องน้ำ ซาวการ์ดก็จะทำการแปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณ ข้อมูลเสียงจะถูกเก็บให้อยู่ในรูปของหัวแฟ้มจุดเวฟโดยลักษณะการเก็บของหัวแฟ้มของแฟ้มจุดเวฟแสดงดังตารางที่ 3.3

แฟ้มจุดเวฟจะถูกอ่านค่าโดยการนำเอาค่าที่อยู่ด้านบนสุดของแฟ้มจุดเวฟจำนวน 44 ไบต์ และนำค่าต่างๆ ที่อยู่ในหัวแฟ้มจุดเวฟซึ่งจะเป็นเลขฐานสิบหกก็จะนำตัวเลขเหล่านี้มาแปลงเป็นตัวเลขฐานสิบ ด้วยวิธีการแปลงเลขฐานโดยการคูณค่าประจำหลัก ก็จะทำให้เราทราบถึงจำนวนการแซมปลิ้งต่อวินาที บิตต่อแซมปลิ้ง ไบต์ต่อแซมปลิ้ง จำนวนไบต์ต่อวินาที รวมทั้งค่าอื่นๆ ที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ลักษณะหัวแฟ้มของไฟล์จุดเวฟ

R	I	F	F	$			
W	A	V	E	F	M	T	
จำนวนข้อมูลในแฟ้ม				รูปแบบ		แชนแนล	
จำนวนการแซมปลิ้งต่อวินาที				จำนวนไบต์ต่อวินาที			
ไบต์ต่อแซมปลิ้ง		บิตต่อแซมปลิ้ง		D	A	T	A
Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data

R	I	F	E	$	0	0	0
W	A	V	E	F	M	t	20
10	00	00	00	01	00	01	00
11	2B	00	00	11	2B	00	00
01	00	80	00	D	a	t	a
7f	7f	7f	7f	7f	7f	7f	7f

3.9 หลักการออกแบบโปรแกรมการรู้จำเสียงพูด

ในการวิเคราะห์นั้นจะมีทั้งข้อดีและข้อเสียจากการค้นคว้าศึกษาวิเคราะห์ จึงได้วิธีการวิเคราะห์เสียงชอร์ตไทม์ การวิเคราะห์สเปกตรัมเนื่องจากสามารถแสดงให้เห็นคุณสมบัติต่างๆ ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเสียงได้มาก เช่น สามารถบอกได้ว่าเสียงที่วิเคราะห์อยู่นั้นประกอบด้วยความถี่อะไรบ้าง แต่ละความถี่มีขนาดเท่าไร ความถี่ใดเป็นความถี่หลักและความถี่ใดเป็นความถี่ฮาร์โมนิคส์ ซึ่งเป็นประโยชน์มากในการวิเคราะห์เปรียบเทียบสัญญาณเสียง

กระบวนการทำงานนั้นมีอยู่ด้วยกัน 5 กระบวนการ คือ

1) กระบวนการบันทึกเสียงต้นแบบ โดยการใช้การแซมปลิ้งสัญญาณของการ์ดเสียง ที่ความถี่ 8 บิตโมโน 44 kHz

2) นำเสียงต้นแบบมาเปลี่ยนจากแกนเวลาเป็นแกนความถี่ โดยวิธีการของฟาสฟูริเยร์ การทำงานของโปรแกรม ฟาสฟูริเยร์ จะใช้วิธีการคำนวณแบบหน่วยผีเสื้อ ซึ่งจะช่วยลดทอนทางเวลาลงได้ เพื่อการคำนวณมีความเร็วมากยิ่งขึ้น การผันกลับบิตจะเป็นการสลับตำแหน่งค่าของสัญญาณที่อยู่ในโดเมนของเวลาเพื่อให้สามารถนำเข้าสู่การคำนวณแบบผีเสื้อได้ง่าย โดยการเปลี่ยนหลักของเลขไบนารี่ เช่น

n = 001 จะถูกกลับบิตเป็น m = 100

หรือ n = 110 จะถูกกลับบิตเป็น n = 011

เมื่อกลับบิตเรียบร้อยแล้วต่อไปนี้จะนำข้อมูลเข้าสู่วงรอบ การคำนวณของหน่วยผีเสื้อตามจำนวนอันดับที่กำหนดไว้ ซึ่งผลลัพธ์จะประกอบด้วยส่วนของจำนวนจริงและจำนวนจิตภาพ ขั้นต่อมา คือ การหาขนาดจากสูตร

$$|A| = \sqrt{(\text{real})^2 + (\text{imaginary})^2} \tag{3.6}$$

3) กระบวนการหาคุณลักษณะของเสียง โดยนำสเปกโตรแกรมเสียงใดๆ มาเทียบหาคุณลักษณะจำเพาะกับสเปกโตรแกรมเสียงต้นแบบว่าเสียงที่นำมาทดสอบมีคุณสมบัติใกล้เคียงเสียงต้นแบบเพียงใด โดยการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเสียงที่ต้องการทดสอบ

4) กระบวนการเทรนนิ่งหรือการเรียนรู้ คือ กระบวนการปรับคุณลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม ให้มีคุณสมบัติตามต้องการ การเทรนนิ่งของอัลกอริทึม Backpropagation เป็นแบบ Supervised Training

5) กระบวนการทดสอบ (Testing) ผลลัพธ์ทางเอาท์พุทของนิวรัลเน็ตเวอร์คจะบ่งบอกได้ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบที่อินพุทของโครงข่ายประสาทเทียมคือเสียงใด เอาท์พุทที่ได้จะมีทั้งแถบทึบแสดงถึงเอาท์พุทที่ควรเป็น ส่วนอินพุทที่ป้อนที่อินพุทเลเยอร์ จะเป็นกลุ่มข้อมูลคุณลักษณะจำเพาะสัมพันธ์ ของหลายเสียงจากหลายคน เพื่อหาอัตราการรู้จำของระบบที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.1 การทำงานของโปรแกรมต่างๆ

การทำงานของโปรแกรมต่างๆ มีดังนี้

1) การทำงานของโปรแกรมหลัก ในการทำงานของโปรแกรมหลักขั้นแรกเปิดไฟล์เสียงเข้ามาก่อน เพื่อจะทำการรับเสียงพูด ในการรับเสียงพูดจะรับได้เฉพาะบุคคลคนเดียว หลังจากรับเสียงพูดแล้ว เสียงก็จะถูกส่งไปเปลี่ยนการสัญญาณเวลาให้เป็นความถี่ โดยผ่านฟูริเยร์อย่างเร็ว ซึ่งเมื่อผ่านฟูริเยร์แล้วก็จะได้สเปกโตรแกรมของเสียง และสัญญาณเสียง หลังจากนั้นก็นำเสียงไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าสูงสุดของแต่ละแท่งเสียง เพื่อส่งไปทดสอบเสียงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม แล้วส่งออกพอร์ทเอาท์พุทของตัวเครื่องควบคุมหลอดไฟ แล้วหลอดไปก็จะติด ซึ่งผังงานแสดงดังรูปที่ 3.6

2) การทำงานของโปรแกรมฟาสฟูริเยร์ ขั้นแรกเปิดไฟล์ .WAV ที่ได้บันทึกเสียงต้นแบบเอาไว้ แล้วทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของเสียง แล้วทำการผันกลับบิตของเสียง หลังจากนั้นก็จะได้เสียงไปเข้าสู่ลูปของ DFT, ลูปของหน่วยผีเสื้อ และลูปการยกกำลังของหน่วยผีเสื้อแล้วทำการเก็บเป็น ผลลัพธ์ เพื่อไปหาขนาดของเสียงแต่ละเสียง ซึ่งผังงานแสดงดังรูปที่ 3.7

3) การทำงานของโปรแกรมอัดและบันทึกเสียง ขั้นแรกก็สร้างไฟล์ใหม่ แล้วสร้างไฟล์ใหม่นั้นให้เป็นหัวไฟล์ .WAV ซึ่งเป็นไฟล์ที่อยู่ในรูปแบบของเสียง หลังจากนั้นก็นำหัวไฟล์ .WAV ไปเก็บไว้ในไฟล์ใหม่ที่สร้างขึ้น หลังจากนั้นตั้งเวลาในการบันทึก โดยเวลาที่ใช้ในการบันทึกกำหนดเป็น 2 วินาที แล้วบันทึกไฟล์จุด .WAV และทำการแสดงชื่อ, ขนาด, เวลาของ .WAV ซึ่งผังงานแสดงดังรูปที่ 3.8

4) การทำงานของโปรแกรมปรับค่าข้อมูล ขั้นแรกรับค่าพยางค์เสียงที่ได้ หลังจากผ่านกระบวนการเปลี่ยนแกนความถี่ จากนั้นนำมาหาค่าสูงสุดด้วยวิธีการสุ่ม เมื่อได้ค่าสูงสุดแล้วก็นำไปหารกับพยางค์เสียงก็จะได้ค่าของพยางค์เสียงที่มีค่าไม่เกิน 1 ซึ่งผังงานแสดงดังรูปที่ 3.9

5) การทำงานของโปรแกรมหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์ ในการทำงานขั้นแรกรับค่าตัวแปรที่เป็น Input_File และรับค่า LIB_File แล้วนำอินพุททั้งสองมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยใช้ Input_File เป็นไฟล์เสียงที่รับเข้ามาเปรียบเทียบกับ LIB_File ที่เป็นเสียงต้นฉบับ ผลที่ได้จะได้คุณลักษณะของเสียงต้นฉบับ แล้วนำค่าที่ได้มาเรียงจากมากไปหาน้อย และเลือกเอา 20 เสียง เพื่อนำไปเรียนรู้ต่อไป ซึ่งผังงานแสดงดังรูปที่ 3.10

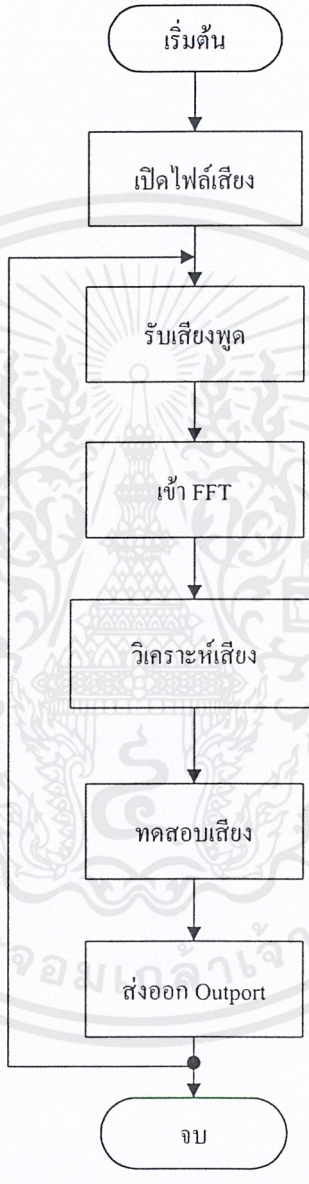
6) การทำงานของโปรแกรมเรียนรู้ ในการทำงานจะนำเอาข้อมูลที่เหมาะสมจากการหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์ ขั้นแรกจะหาค่าของน้ำหนักเสียงก่อนโดยการสุ่ม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่อง –0.5 ถึง 0.5 นำข้อมูลเข้าไปยังอินพุทเลเยอร์ แล้วนำไปคูณกับ Hidden Layer จากนั้นนำเอาค่าที่ได้จาก Hidden Layer ไปคูณกับ Output Layer จากนั้นนำเอาท์พุทไปเปรียบเทียบกับ Target ผลลัพท์ที่ได้คือ ค่า Error แล้วนำค่า Error ไปคูณกับค่าน้ำหนักอีกครั้ง ซึ่งผังงานแสดงดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 การออกแบบผังงานของโปรแกรมส่วนต่างๆ

การออกแบบผังงานของโปรแกรมส่วนต่างๆ มีดังนี้

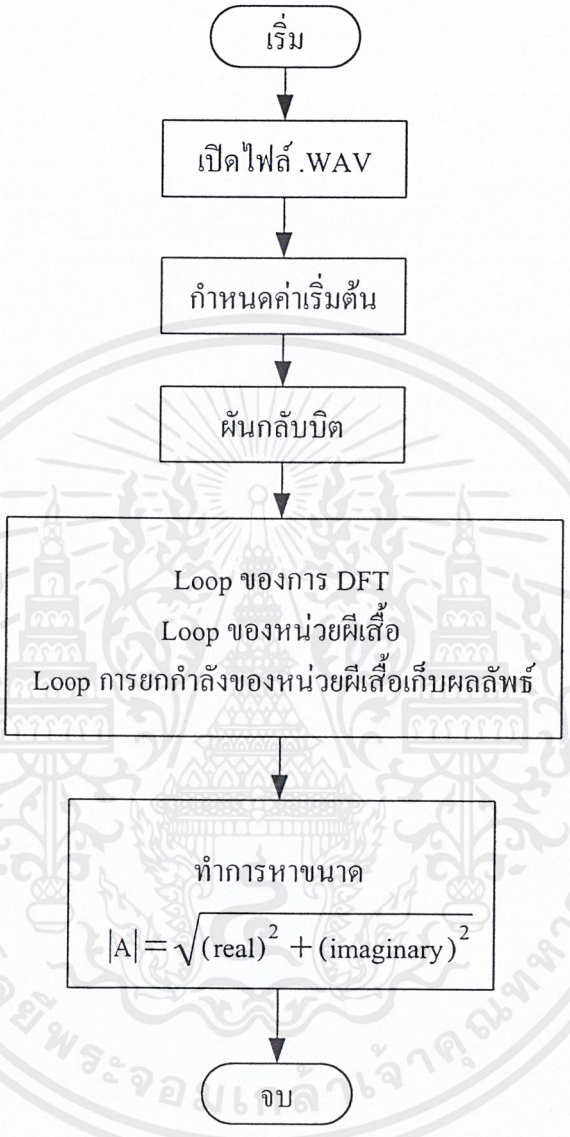
1) การออกแบบผังงานโปรแกรมหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ผังงานโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การออกแบบผังงานโปรแกรมการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว แสดงดังรูปที่ 3.7

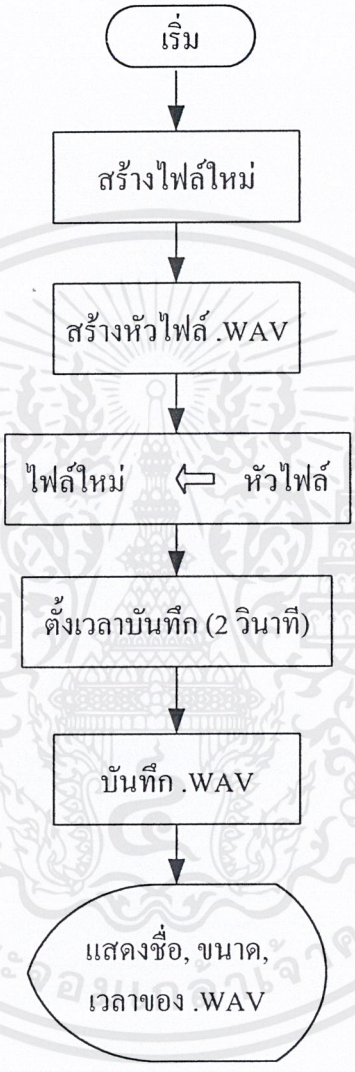


รูปที่ 3.7 ผังงานของโปรแกรมการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การออกแบบผังงานโปรแกรมบันทึกเสียง แสดงดังรูปที่ 3.8

ในโปรแกรมบันทึกเสียงส่วนนี้ใช้โปรแกรมบันทึกเสียงของ Creative



รูปที่ 3.8 ผังงานของโปรแกรมและบันทึกเสียง

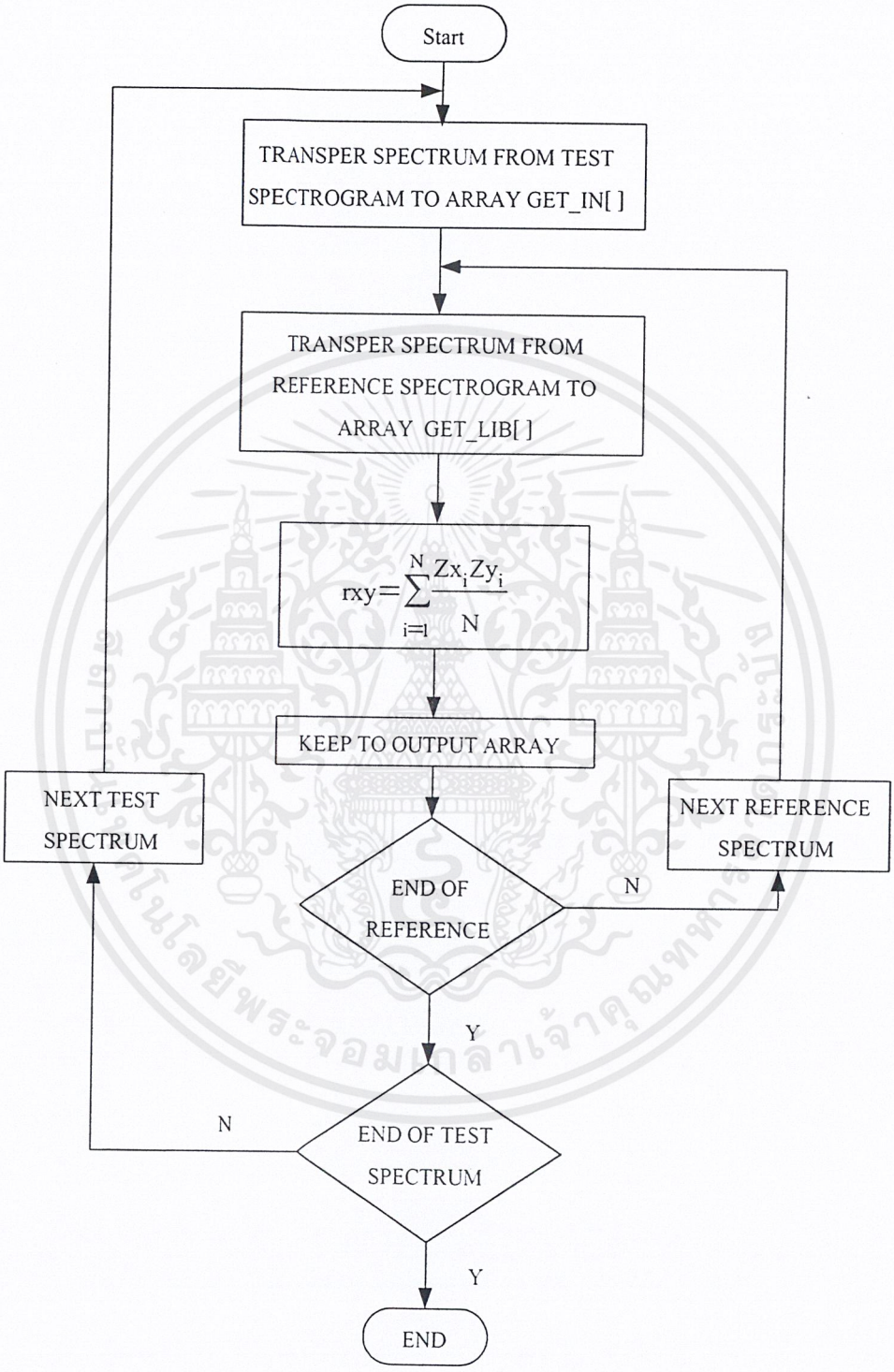
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การออกแบบผังงานโปรแกรมปรับค่าข้อมูลเสียงไม่ให้เกิน 1 แสดงดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 ผังงานโปรแกรมปรับค่าข้อมูลเสียงไม่ให้เกิน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

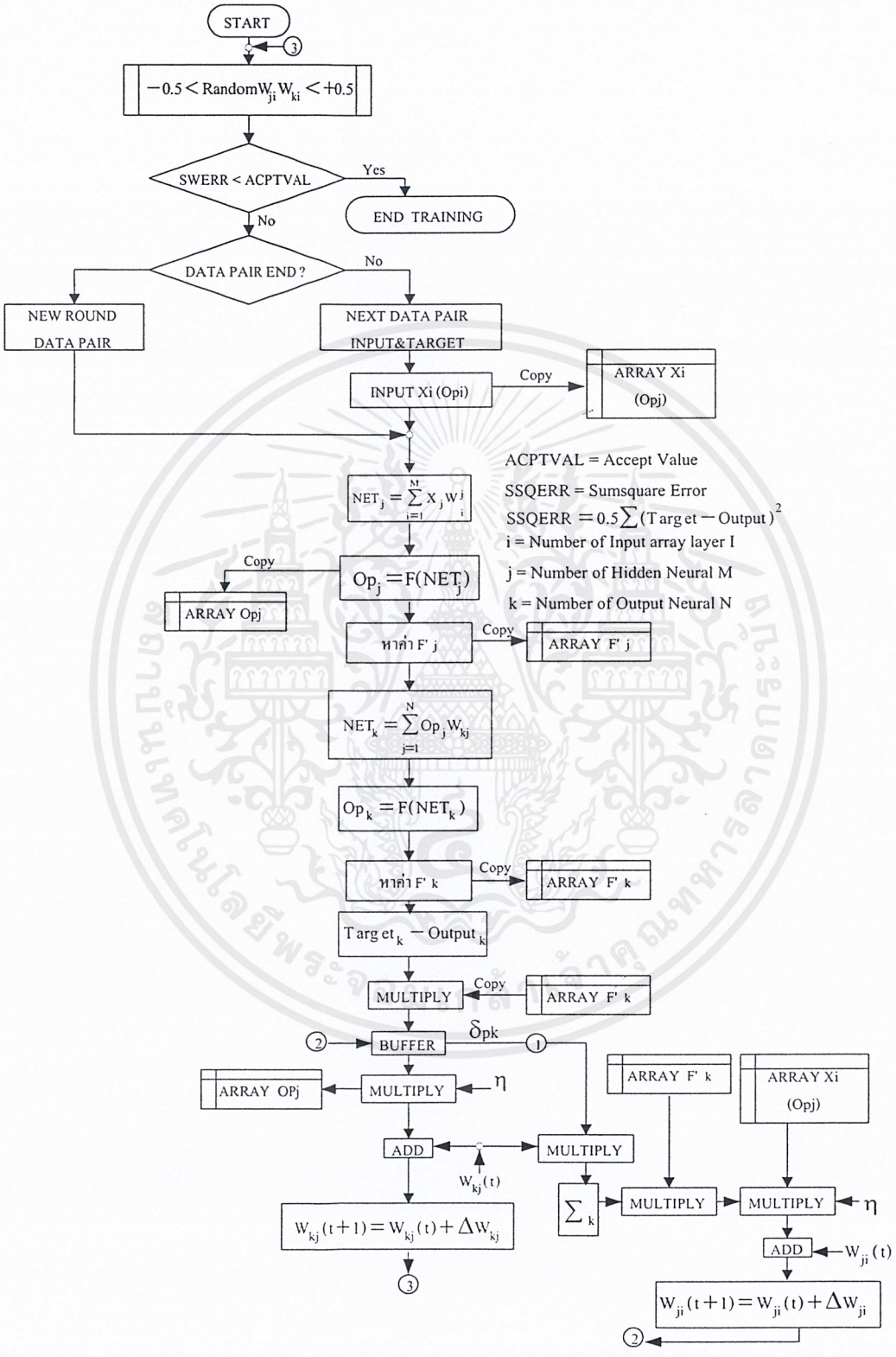
5) การออกแบบผังงานโปรแกรมการหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผังงานโปรแกรมการหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) การออกแบบผังงานโปรแกรมกระบวนการเรียนรู้ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ผังงานโปรแกรมกระบวนการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลองเสียง

วัตถุประสงค์การทดลองเพื่อฝึกฝนและทดสอบความสามารถรู้จำเสียงเป็นคำไทยมีความสามารถรู้จำเสียงเฉพาะบุคคลใดบุคคลหนึ่ง อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง คือ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดประมวลผล Celeron 400 MHz ที่มีการ์ดเสียงรุ่น CREATIVE VIBRA 128 บนภาษาซี การทดลองเตรียมข้อมูลขั้นต้นเริ่มจากบันทึกเสียงข้อมูลตัวอย่างโดยใช้อัตราสุ่ม 44 kHz 8 bit Mono ผ่านทางการ์ดเสียงเก็บเป็นไฟล์เสียง แล้วนำไฟล์มาคำนวณเปลี่ยนข้อมูลจากเชิงเวลาให้เป็นข้อมูลเชิงความถี่ โดยตัดแบ่งข้อมูลเป็นชุดๆ ชุดละ 1024 ข้อมูล ในลักษณะซ้อนทับกันโดยกำหนดระยะเหลี่ยมไว้ที่ 512 ข้อมูล เพื่อนำไปคำนวณด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว (Fast Fourier Transform) ขั้นตอนการดำเนินการเป็นดังนี้

1) บันทึกเสียงคำพูดคำไทยดังนี้ เปิดไฟหน้าบ้าน, ปิดไฟหน้าบ้าน, เปิดไฟหลังบ้าน, ปิดไฟหลังบ้าน, เปิดไฟห้องนอน, ปิดไฟห้องนอน, เปิดไฟห้องครัว, ปิดไฟห้องครัว, เปิดไฟห้องน้ำ, ปิดไฟห้องน้ำ จากผู้พูดคนเดียวกัน เพื่อใช้ในกระบวนการเทรนเน็ตเวอร์ค และการทดสอบ

2) เปลี่ยนข้อมูลเสียงให้เป็นข้อมูลสเปกโตรแกรมความถี่ฮาร์โมนิค-เวลา-พลังงาน แล้วแยกพยางค์ออก

3) นำทุกพยางค์ไปผ่านกระบวนการปรับข้อมูล ให้เหมาะสมกับเน็ตเวอร์คจะได้ชุดข้อมูลที่พร้อมจะใช้ฝึกฝน และทดสอบ

4) จัดข้อมูลเพื่อการฝึกฝนโดยกำหนด Target ในลักษณะ One-Of-N Active กำหนดค่า Parameter ให้กับ Back-propagation Neural Network:BPNN

5) เข้าสู่กระบวนการทดสอบโดยนำข้อมูลทดสอบที่หาได้จากข้อ 3 มาป้อนแทนข้อมูลที่ใช้เรียนรู้ที่อินพุทของเน็ตเวอร์ค และป้อนค่าน้ำหนักที่หาได้จากการเรียนรู้ กลับสู่เน็ตเวอร์คจะทำให้ได้เอาท์พุทลักษณะแบบเดียวกับ Target ในขั้นตอนเรียนรู้ ระดับของเอาท์พุทจะเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลทดสอบที่คลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลที่ใช้เทรน หากผลลัพธ์ผิดพลาดสามารถนำเฉพาะข้อมูลที่ผิดพลาดกับไปเทรนรวมกับข้อมูลเก่า จะทำให้เน็ตเวอร์ครู้จักลักษณะข้อมูลที่ไม่เคยพบมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) หลักจากเข้าสู่กระบวนการทดสอบแล้ว ค่าของเอาท์พุทที่ออกมานำไปสู่กระบวนการตรวจสอบเอาท์พุท เพื่อส่งผลลัพธ์ไปสู่วงจรขับหลอดไฟแต่ละดวงทางด้านพอร์ทขนาน

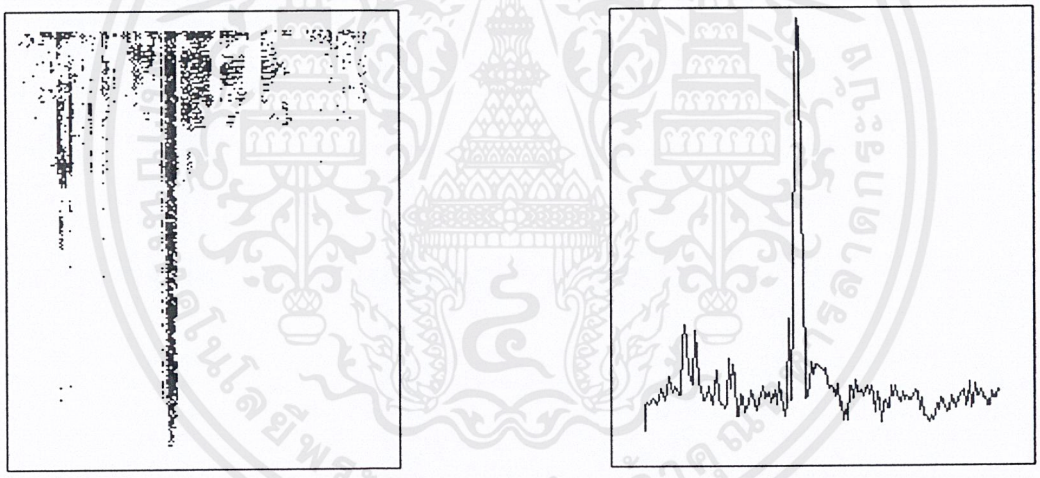
4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเป็นสามส่วน คือ ผลการปรับขนาดของข้อมูล, ผลการเรียนรู้ และผลการทดสอบ

4.2.1 กระบวนการปรับข้อมูลให้เหมาะสม

ผลการปรับขนาดของข้อมูลให้เหมาะสมในกระบวนการโปรเซสซิ่ง (Processing) หลังจากที่ได้ผ่านกระบวนการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็วจะได้ภาพข้อมูลที่ผ่านกระบวนดังกล่าวจะได้สัญญาณของพยางค์เสียง และสเปกโตรแกรมของเสียงต้นแบบ แต่ละเสียงดังนี้

1) เสียง "เปิดไฟหน้าบ้าน" แสดงดังรูปที่ 4.1

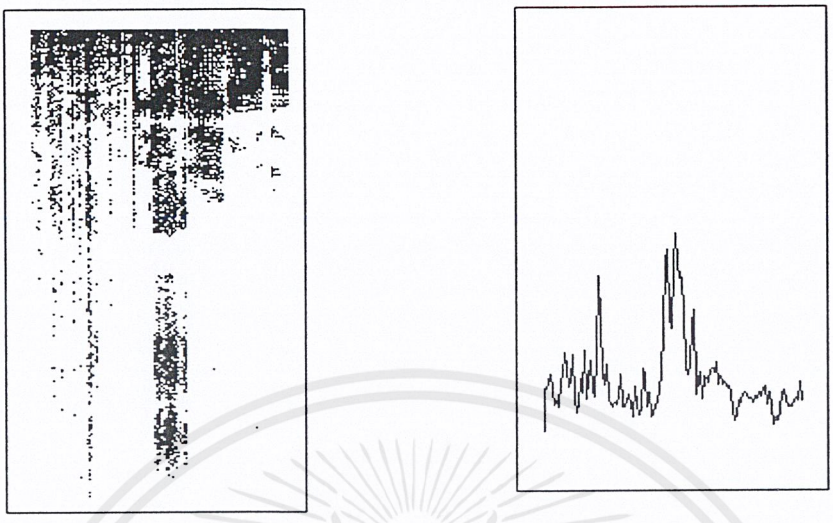


(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด "เปิดไฟหน้าบ้าน"
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด "เปิดไฟหน้าบ้าน"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

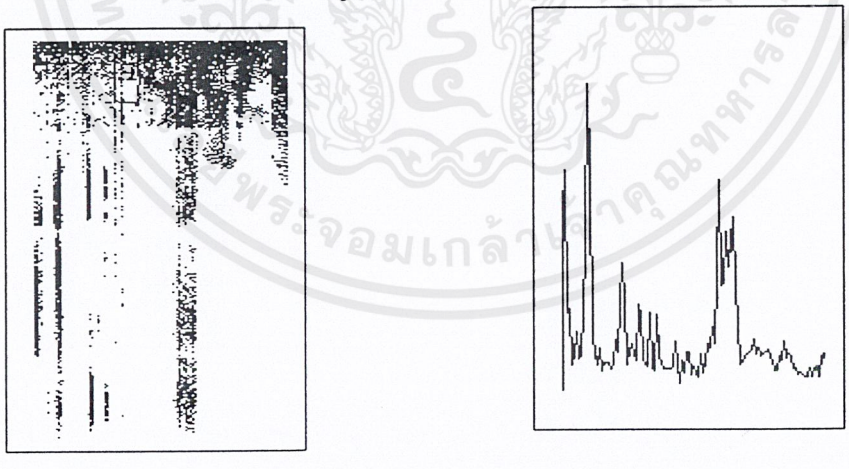
2) เสียง “ปิดไฟหน้าบ้าน” แสดงดังรูปที่ 4.2



(ก) (ข)

รูปที่ 4.2 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟหน้าบ้าน”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟหน้าบ้าน”

3) เสียง “เปิดไฟล์หลังบ้าน” แสดงดังรูปที่ 4.3

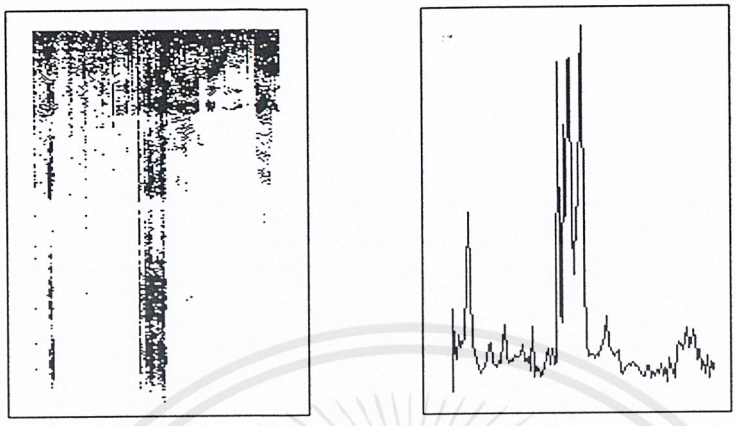


(ก) (ข)

รูปที่ 4.3 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟหลังบ้าน”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟหลังบ้าน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

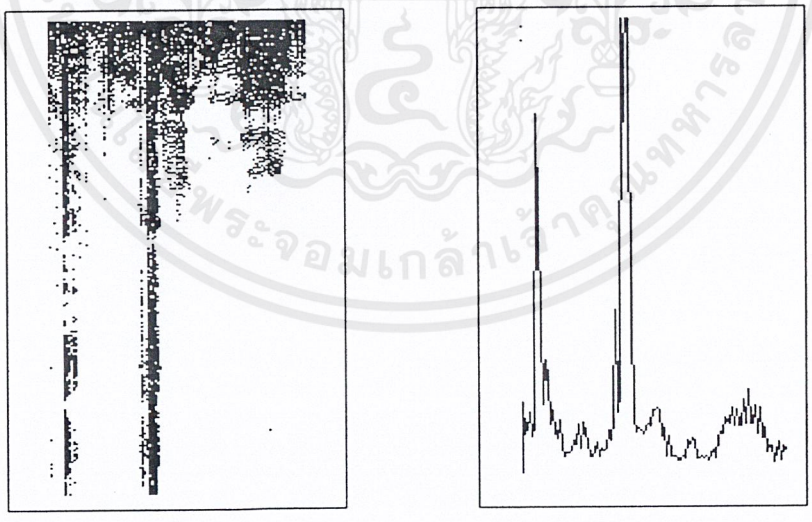
4) เสียง “ปิดไฟหลังบ้าน” แสดงดังรูปที่ 4.4



(ก) (ข)

รูปที่ 4.4 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟหลังบ้าน”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟหลังบ้าน”

5) เสียง “เปิดไฟห้องนอน” แสดงดังรูปที่ 4.5

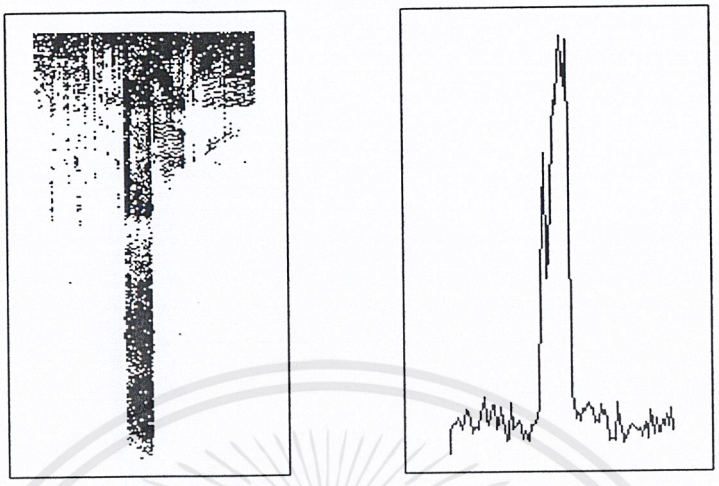


(ก) (ข)

รูปที่ 4.5 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องนอน”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องนอน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

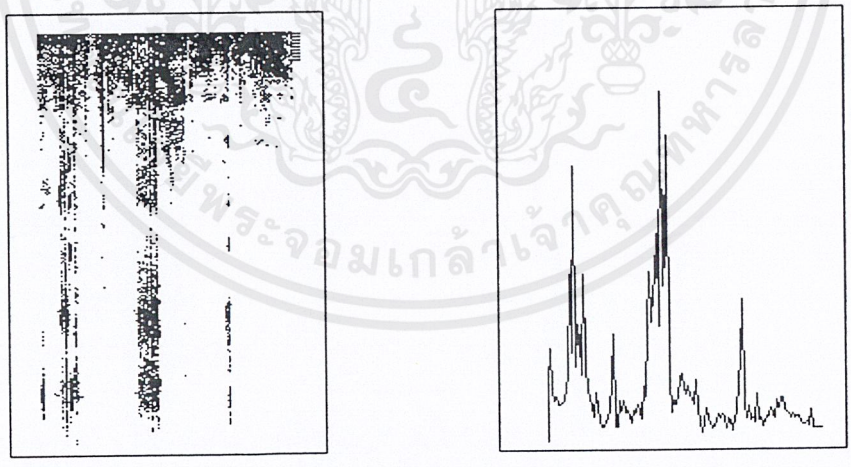
6) เสียง “ปิดไฟห้องนอน” แสดงดังรูปที่ 4.6



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องนอน”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องนอน”

7) เสียง “เปิดไฟห้องครัว” แสดงดังรูปที่ 4.7

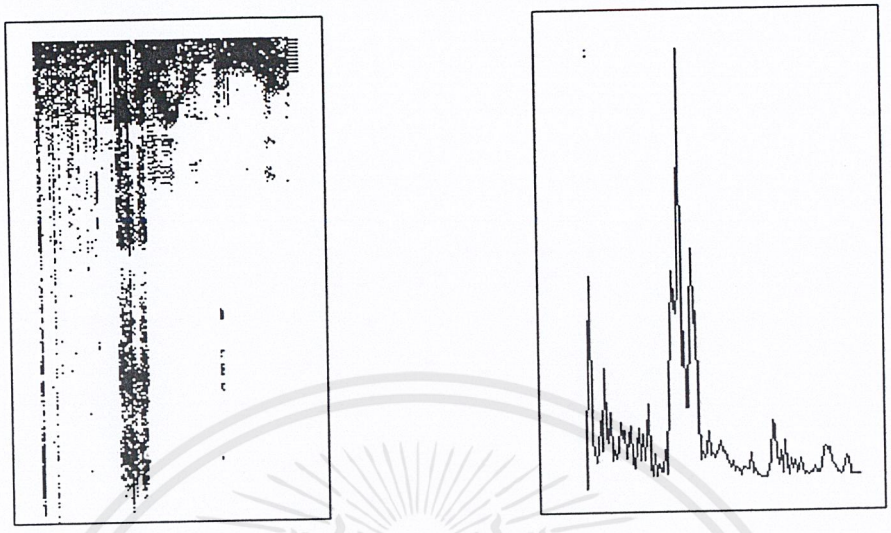


(ก) (ข)

รูปที่ 4.7 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องครัว”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องครัว”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

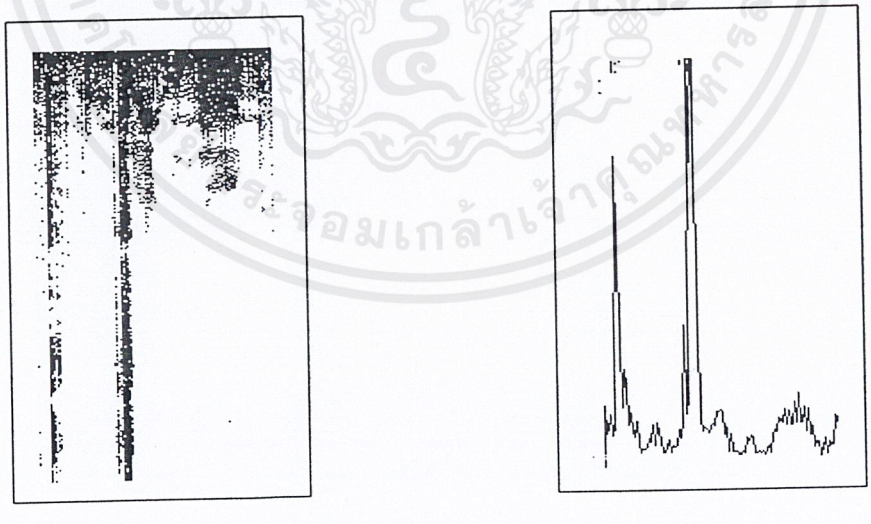
8) เสียง “ปิดไฟห้องครัว” แสดงดังรูปที่ 4.8



(ก) (ข)

รูปที่ 4.8 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องครัว”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “ปิดไฟห้องครัว”

9) เสียง “เปิดไฟห้องน้ำ” แสดงดังรูปที่ 4.9

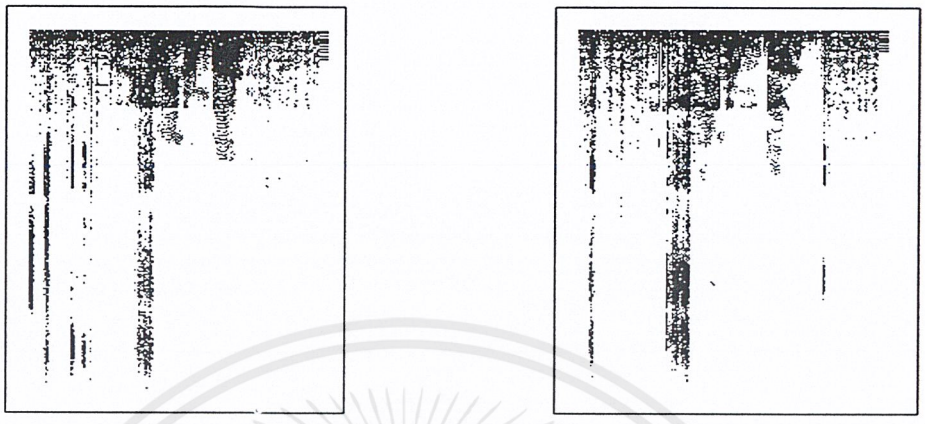


(ก) (ข)

รูปที่ 4.9 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องน้ำ”
(ข) พยางค์เสียงของคำพูด “เปิดไฟห้องน้ำ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

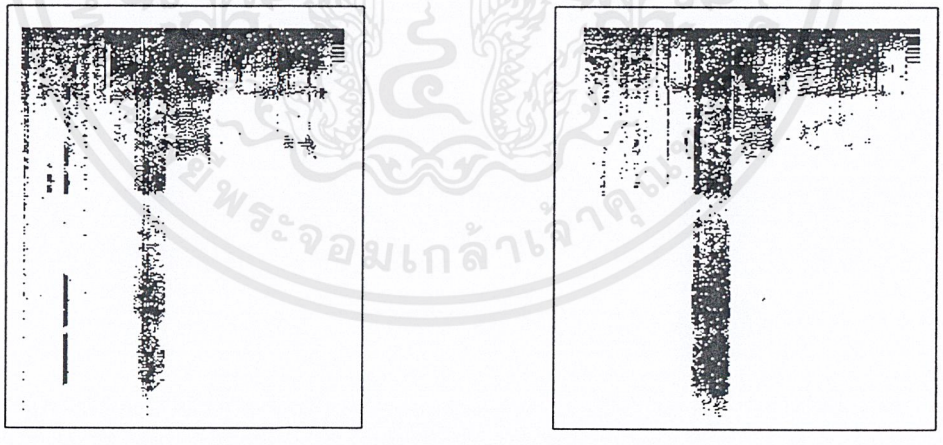
2) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิด-ปิดไฟหลังบ้าน” แสดงดังรูปที่ 4.12



(ก) (ข)

รูปที่ 4.12 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดหลังบ้าน”
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟหลังบ้าน”

3) สเปกโตรแกรมเสียง “เปิด-ปิดไฟห้องนอน” แสดงดังรูปที่ 4.13

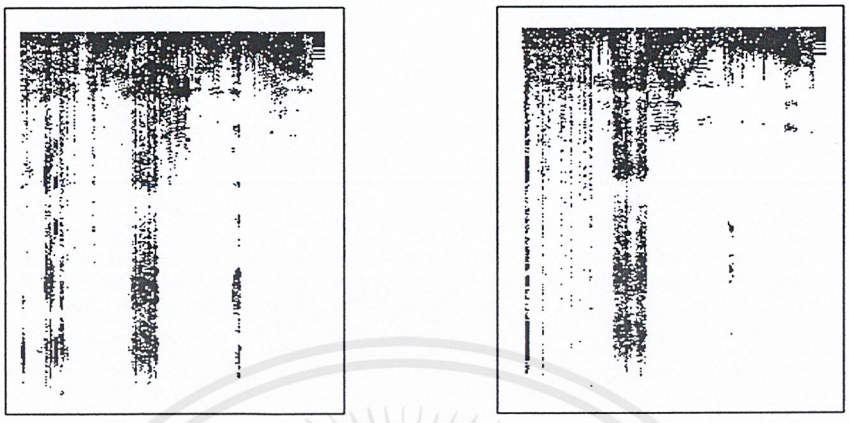


(ก) (ข)

รูปที่ 4.13 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดห้องนอน”
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟห้องนอน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิด-ปิดไฟห้องครัว” แสดงดังรูปที่ 4.14



(ก) (ข)

รูปที่ 4.14 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดห้องครัว”
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟห้องครัว”

5) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิด-ปิดไฟห้องน้ำ” แสดงดังรูปที่ 4.15

(ก) (ข)

รูปที่ 4.15 (ก) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “เปิดห้องน้ำ”
(ข) สเปกโตรแกรมเสียงพูด “ปิดไฟห้องน้ำ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์

ค่าระดับความสัมพันธ์ของข้อมูล 2 ชุด เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (Correlative Coefficient : r) สามารถหาได้จากเทอมของ Z-Score ดังนี้

$$rxy = \sum_{i=1}^{N} \frac{Zx_i Xy_i}{N} \tag{4.1}$$

เมื่อ rxy คือ สัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูล x_i และ y_i

x_i คือ ข้อมูลทางแกนความถี่ของสเปกโตรแกรมเสียงชุที่ 1(ทดสอบ)

y_i คือ ข้อมูลในแกนความถี่ของสเปกโตรแกรมเสียงชุดที่ 2 (อ้างอิง)

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่มี x_i และ y_i เป็นสมาชิก

Zx_s และ Zy_s คือค่า Z-Score เป็นระยะห่างระหว่างค่อข้อมูล

โดย

$$Zx_i = \frac{x_i \bar{X}}{S_x} \tag{4.2}$$

$$Zy_i = \frac{y_i \bar{Y}}{S_y} \tag{4.3}$$

$$Sx = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{\left(x_i - \bar{X}\right)^2}{N}} \tag{4.4}$$

$$Sy = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{\left(y_i - \bar{Y}\right)^2}{N}} \tag{4.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 4.1 ค่า rxy จะมีค่าอยู่ระหว่าง –1 ถึง +1 และ $0 \leq |rxy \leq 1|$ ถ้าค่า $|rxy = 1|$ หมายถึง ข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความสัมพันธ์กันทุกจุดข้อมูล

ในการทดสอบหาคุณะลักษณะสหสัมพันธ์ของเสียงนั้น โดยรับค่าตัวแปรที่เป็น Input_File และรับค่า LIB_File แล้วนำอินพุททั้งสองมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยใช้ Input_File เป็นไฟล์เสียงที่รับเข้ามาเปรียบเทียบกับ LIB_File ที่เป็นเสียงต้นฉบับในการเปรียบเทียบนั้นจะตั้งเกณฑ์ของค่าเฉลี่ยให้ได้เท่ากับ 1 และผลที่ได้จะได้คุณลักษณะของเสียงต้นฉบับ

4.2.3 ผลการทดลองการหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์

ผลการทดลองการนำเสียง จากผลการทดลองโปรแกรมฟาสฟูริเยร์ไปเข้ากับโปรแกรมหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์ จะได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นการพูดเปรียบเทียบเสียงพูดแบบคนเดียว จะเห็นว่าความถูกต้องของคำพูดยังมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมาก ซึ่งการใช้การหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์ยังไม่สามารถที่จะแยกแยะเสียงพูดที่เป็นประโยคได้ถูกต้อง ฉะนั้นยังคงต้องใช้อัลกอริทึมอื่นในการแยะแยะเสียงอย่างเช่น ใช้โครงข่ายประสาทเทียม มาเป็นตัวแยะแยะเสียง เพื่อให้ได้ความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จากผลการทดลองเปอร์เซ็นต์เสียงพูดที่ถูกต้องสูงที่สุด คือ คำว่า “เปิดไฟห้องน้ำ” และเปอร์เซ็นต์เสียงพูดที่ถูกต้องต่ำสุด คือ คำว่า “เปิดไฟห้องนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการรู้จำเสียง

แบบทดสอบ	เปิดไฟหน้าบ้าน	ปิดไฟหน้าบ้าน	เปิดไฟหลังบ้าน	ปิดไฟหลังบ้าน	เปิดไฟห้องนอน	ปิดไฟห้องนอน	เปิดไฟห้องน้ำ	ปิดไฟห้องน้ำ	เปิดไฟห้องครัว	ปิดไฟห้องครัว	% ความถูกต้อง
เปิดไฟหน้าบ้าน	2	2	1	1	3	1					20
ปิดไฟหน้าบ้าน		3	1	2	2	1				1	30
เปิดไฟหลังบ้าน	1		3		2	1	1	1	1		30
ปิดไฟหลังบ้าน		1	1	3	2	2		1			30
เปิดไฟห้องนอน				1	7	1	1				70
ปิดไฟห้องนอน					3	4	2			1	40
เปิดไฟห้องน้ำ		1			1		5	2	1		50
ปิดไฟห้องน้ำ	1		1		1	2		3	1	1	30
เปิดไฟห้องครัว	1	1		1	2	2		1	2		20
ปิดไฟห้องครัว				1	2	2	1			4	40
										เฉลี่ย	36
										สูงสุด	70
										ต่ำสุด	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ถูกจัดทำขึ้น โดยรวบรวมทฤษฎี หลักการ และการเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อใช้งานในโครงงานการใช้เสียงพูดคำไทยควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งโครงงานนี้ได้นำเสียงพูดคำไทยของมนุษย์มาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าคือหลอดไฟฟ้าภายในบ้าน โดยได้ทำการทดลองและปรับปรุงจนได้เครื่องต้นแบบจำนวน1 ชุด เป็นชุดควบคุมที่ออกแบบมาจาก MCS-51 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในรูปแบบอื่นได้อีกมากมาย

หลักการทำงานของชุดควบคุมนี้ เริ่มจากการรับเสียงพูดเข้ามาทางไมโครโฟน นำสัญญาณเสียงที่รับมาไปเข้าเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์หาสเปคตรัมของเสียง โดยทำการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณจากรูปแกนเวลาให้อยู่ในแกนความถี่ด้วยโปรแกรมฟาสฟูริเยร์จากนั้นทำการหาคุณลักษณะจำเพาะด้วยโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม ได้เป็นเสียงต้นแบบ หลังจากกนั้นเป็นการใช้งานจริง รับเสียงพูดของมนุษย์ผ่านเข้ามาทางไมโครโฟนเช่นเดิม และหาคุณลักษณะจำเพาะของเสียงนำไปเปรียบเทียบกับเสียงต้นแบบที่มีอยู่จริง หากถูกต้องชุดควบคุม MSC-51 ก็จะทำงานหลอดไฟฟ้าจุดที่เราต้องการให้ทำงานก็จะทำงาน แต่จะสามารถสั่งงานได้เพียงผู้พูดคนเดียวเท่านั้น

ในการศึกษาและจัดทำโครงงานการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้สียงพูดคำไทยครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นแนวทางที่ดี และเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนา ให้มีประสิทธิภาพและประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ที่มีความจำเป็นอย่างแท้จริง

5.2 ปัญหา

ในการจัดทำโครงงานการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้เสียงพูดคำไทยนี้ เป็นการประยุกต์ใช้งานหลักการหาคุณลักษณะจำเพาะของเสียงโดยใช้โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเขียนขึ้นด้วยโปรแกรมภาษาซี เพื่อให้ได้คุณลักษณะจำเพาะของเสียงพูดคำไทยแต่ละคำ

การนำสัญญาณเสียงพูดของมนุษย์เรามาวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆ นั้นได้มีผู้คิดค้นและอธิบายหลักการต่างๆ มาแล้ว มากมาย ทั้งที่เป็นทฤษฎีและนำมาประยุกต์ใช้งานจริง ซึ่งในหลักการปฏิบัติจริงแล้วได้พบว่าการที่เรานำสัญญาณเสียงของมนุษย์มาวิเคราะห์นั้นสามารถทำได้ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎี แต่ก็ต้องประสบกับปัญหาต่างๆ เช่น ช่วงเวลาหรือขอบเขตของเสียงที่เราต้องการสุ่มต้องมีช่วงเวลาที่เท่ากัน เพื่อให้เกิดการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์เสียงจะต้องมีสมการทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงที่ถูกต้อง

ซึ่งโครงงานนี้เองก็ได้ประสบปัญหาต่างๆ มากมาย เพราะเป็นการนำแนวทางของทฤษฎีมาประยุกต์ให้สามารถทำงานจริง ปัญหาต่างๆ ที่พบสามารถแบ่งออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1) โปรแกรม โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมใช้งานต่างๆ ของโครงงานได้เลือกใช้โปรแกรมภาษาซี ซึ่งในทางปฏิบัติจริงแล้วภาษามีความยุ่งยาก ซับซ้อน ในการเขียนเพื่อใช้งานจริง เพราะจำเป็นต้องสร้างฟังก์ชันเพื่อการใช้งานทุกอย่างให้กับโปรแกรม เนื่องจากตัวโปรแกรมไม่สามารถทำงานเองได้ และเป็นการปฏิบัติงานบน DOS ซึ่งต้องอาศัยความเข้าใจในโครงสร้างและหลักการที่ลึกซึ้ง โปรแกรมต่างๆ ที่ต้องเขียนขึ้นเพื่อใช้งาน เช่น โปรแกรมฟาสฟูริเยร์ โปรแกรมหาคุณลักษณะจำเพาะของเสียง และโปรแกรมทดสอบเสียงนั้น เป็นโปรแกรมที่ค่อนข้างซับซ้อน และมีการใช้สมการคณิตศาสตร์ระดับสูง สามารถผิดพลาดได้ง่าย

2) การบันทึกเสียงผ่านการ์ดซาวนด์เป็นการบันทึกเสียงโดยผ่านระบบปฏิบัติการของ DOS โดยโปรแกรมภาษาซี ซึ่งมีความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม เนื่องจากโดยทั่วไปการบันทึกเสียงจะทำการบันทึกผ่านโปรแกรม Windows เพราะมีฟังก์ชันเพื่ออำนวยความสะดวกในด้านนี้อยู่แล้ว จึงต้องทำการศึกษาหลักการเขียนโปรแกรมใหม่ ทำให้เกิดการเสียเวลาและล่าช้าเพราะต้องทำการทดสอบและแก้ไขจนถูกต้อง

3) การทดสอบแต่ละโปรแกรมให้ถูกต้อง โปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นโดยภาษาซี เพื่อใช้ในโครงงานนี้ประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมต่างๆ จำนวนหลายโปรแกรม ซึ่งแต่ละโปรแกรมถูกแยกกันในการเขียน แต่ในการใช้งานจริงจะต้องใช้งานร่วมกัน เมื่อทำการเขียนโปรแกรมแต่ละส่วนเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้วไม่สามารถทดสอบได้ว่าทำงานได้ถูกต้องจริงหรือไม่ เนื่องจากไม่ได้รับสัญญาณเสียงเข้ามาทดสอบจริง เพียงแค่ตรวจสอบได้ว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นนั้นไม่มีความผิดพลาดเนื่องจากรูปแบบคำสั่ง ซึ่งตรวจสอบได้จากการคอมไพล์

4) การรวมโปรแกรม เมื่อโปรแกรมแต่ละส่วนถูกแยกกันในการเขียน ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งก็คือการนำโปรแกรมแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน โดยการนำโปรแกรมทุกโปรแกรมที่มีอยู่มารวมกันนั้น ต้องทำการเขียนโปรแกรมหลักขึ้นมาอีกโปรแกรมหนึ่งซึ่งโปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ในการเรียกใช้โปรแกรมย่อยแต่ละโปรแกรมขึ้นมา ซึ่งการเขียนโปรแกรมจะต้องมีความรู้ในเรื่องของการจัดเก็บรูปแบบไฟล์ที่ใช้ ในการเขียนจึงประสบปัญหาเพราะไม่มีความเข้าใจหลักการที่ถูกต้อง

5) ผลการทดลองมีปัญหาในการแยกแยะเสียง เนื่องจากการหาค่าคุณลักษณะสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่สามารถแยกแยะได้จึงไม่สามารถนำไปเข้าโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม เป็นผลให้โครงงานนี้ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร ซึ่งจำเป็นต้องหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

5.3 แนวทางการแก้ไข

การจัดทำโครงงานนี้ได้ประสบกับปัญหาต่างๆ ดังที่กล่าวมา ซึ่งได้ทำการแก้ไขให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และยังสามารถนำไปประยุกต์ ปรับปรุง และพัฒนาเพื่อให้ได้ผลที่ดีขึ้น เช่น สามารถใช้เสียงผู้พูดในการสั่งงานได้หลายคน สามารถวิเคราะห์คำได้ยาวขึ้น

แนวทางในการแก้ไขและพัฒนาโครงงานนี้ เพื่อให้สมบูรณ์มากขึ้น ได้เสนอเป็นข้อๆ ดังนี้

1) เลือกการเขียนโปรแกรมที่สะดวกแก่การใช้งาน เช่น โปรแกรมที่รันบน Window สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันที่มีอยู่แล้ว แต่ต้องระวังเรื่องความล่าช้าในการประมวลผล

2) จัดทำโปรแกรมให้กระชับขึ้น เนื่องจากโปรแกรมที่มีจำนวนของคำสั่งมาก จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น ดังนั้นจึงพยายามใช้คำสั่งให้น้อยที่สุดเพื่อให้สามารถประมวลผลการทำงานได้เร็วขึ้น

3) ทดสอบโปรแกรมแต่ละโปรแกรมให้มีความถูกต้องก่อนที่จะนำมารวมกัน

4) ต้องศึกษาการจัดเก็บรูปแบบไฟล์ เพื่อทำการรวมโปรแกรมต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยการสร้างโปรแกรมหลักขึ้นมา

5) ต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการปรีโปรเซสซิ่งให้มีการเก็บข้อมูลอย่างระเอียดขึ้น เพื่อดึงคุณลักษณะเสียงให้ชัดเจนพอแก่การแยกแยะ โดยโครงข่ายประสาทเทียม

5.4 แนวทางการพัฒนา

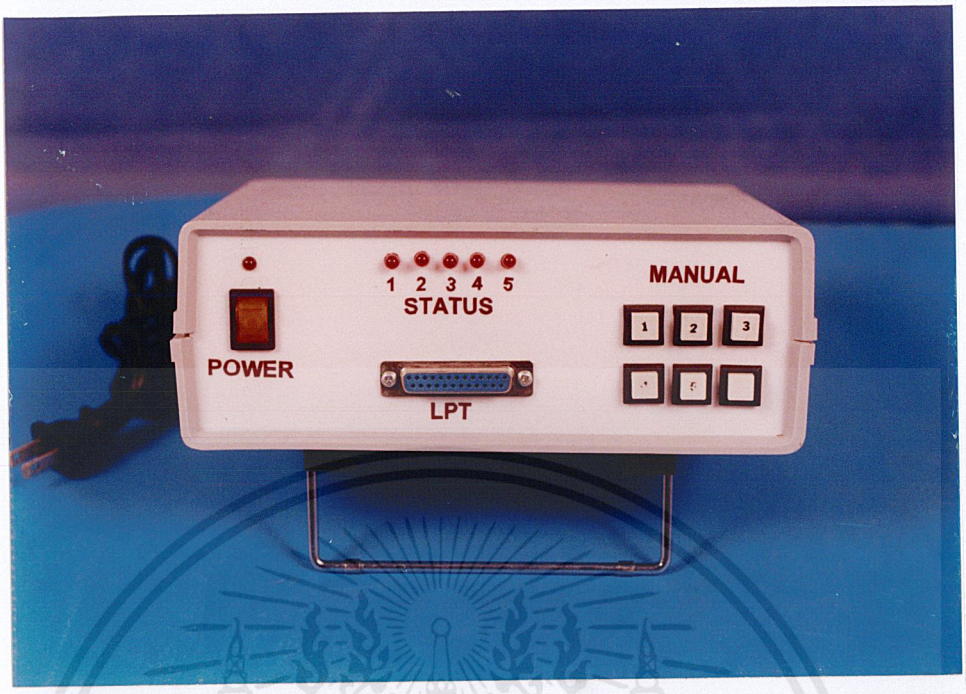
1) การลดขนาดข้อมูลด้วย วิธีหาค่าเฉลี่ยร่วมกับการประมาณค่า โดยใช้วิธีการปรับระดับพลังงานสูงสุด-ต่ำสุดของข้อมูลสเปกโตรแกรมให้อยู่ในช่วงเดียวกัน

2) เพิ่มเติมการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านอื่นของสัญญาณในส่วนของปรีโปรเซสซิ่งขึ้นอีก ซึ่งจะทำให้ความสามารถของโครงข่ายประสาทรู้จำดีขึ้นอีกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

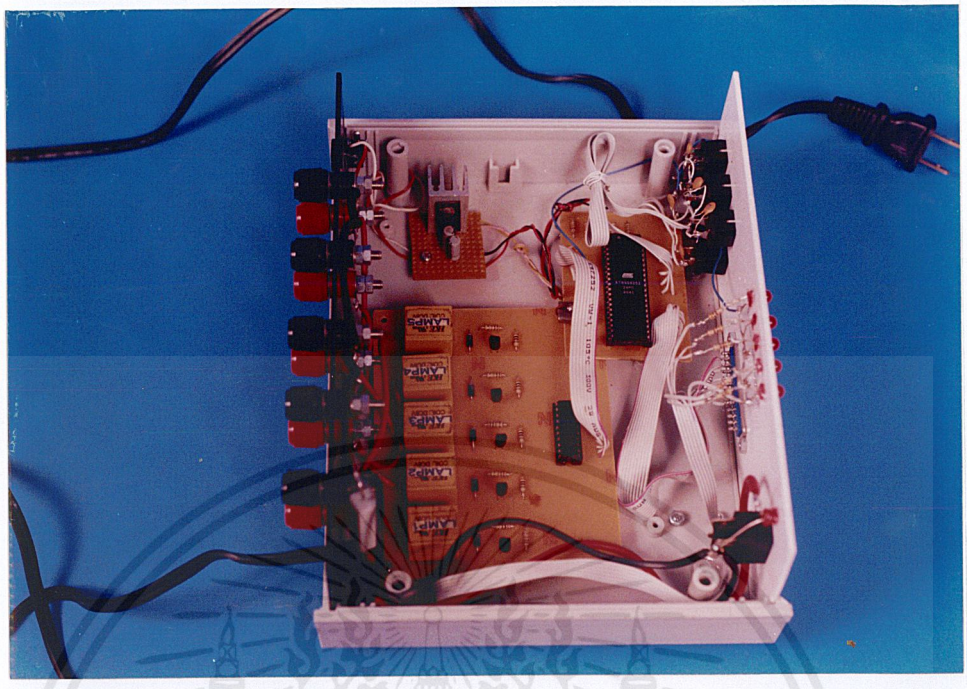
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



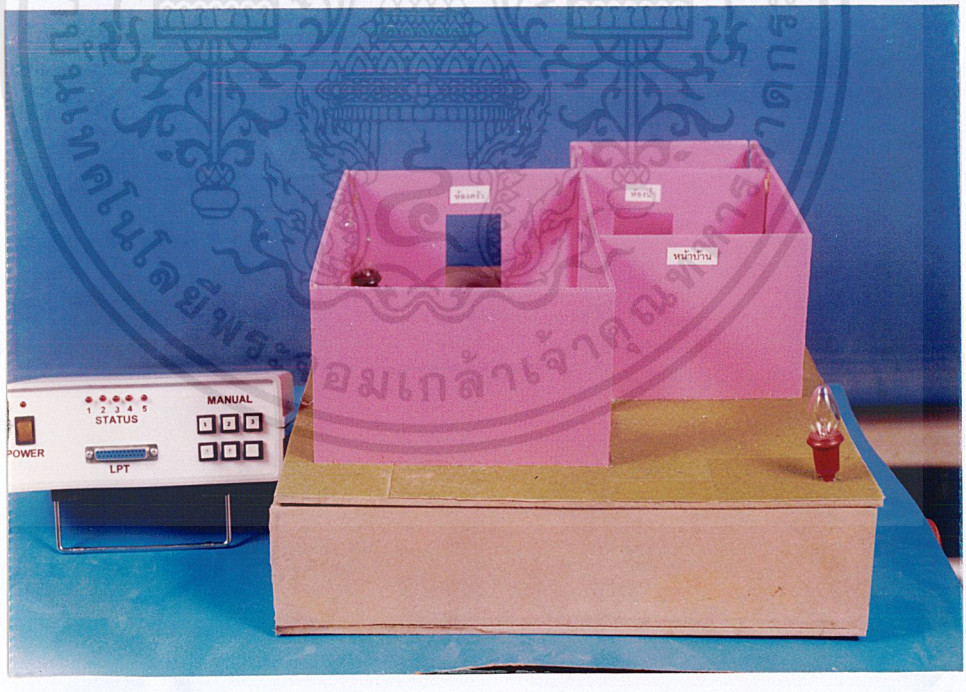
รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของเครื่องควบคุมหลอดไฟ

รูปที่ ก.2 ด้านหลังของเครื่องควบคุมหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ภายในของเครื่องควบคุมหลอดไฟ



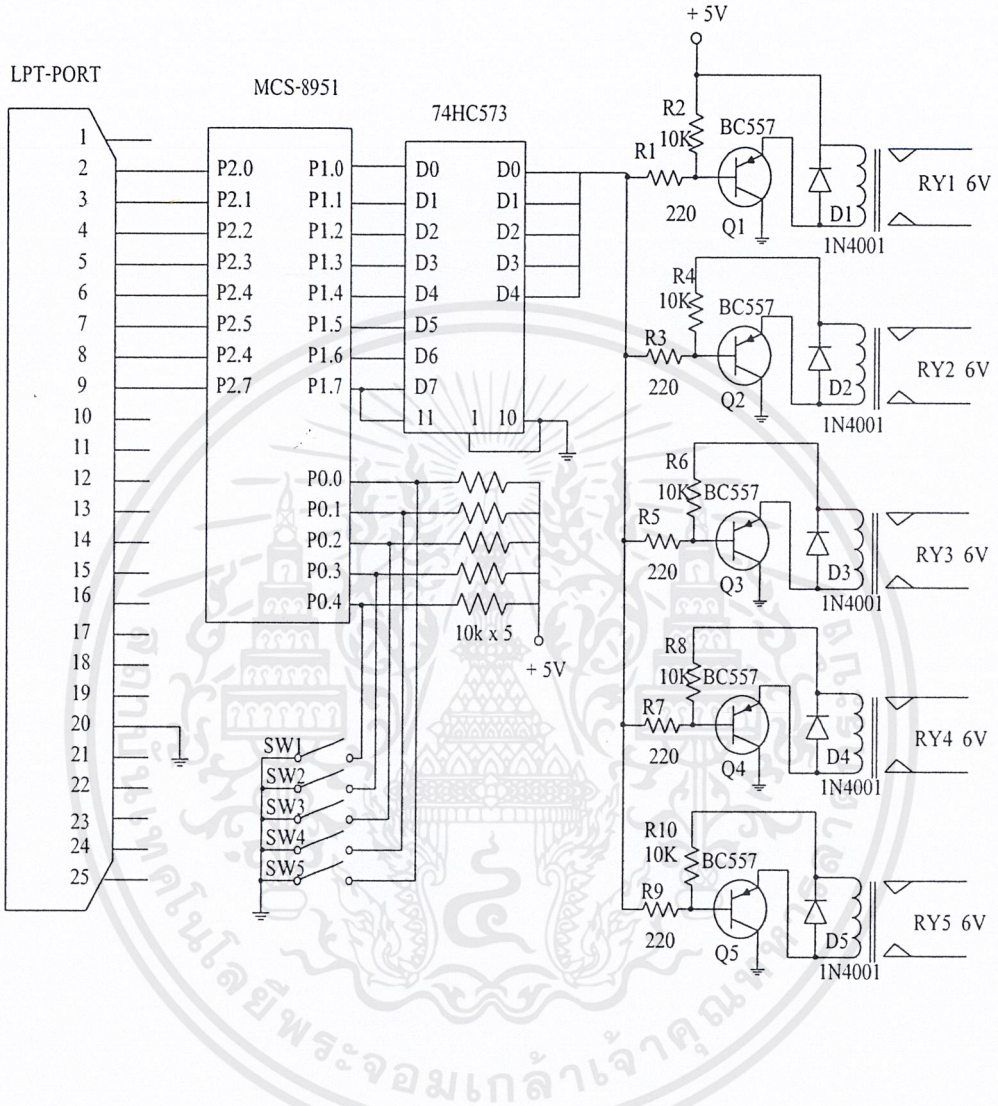
รูปที่ ก.4 การต่อใช้งานจริงของเครื่องควบคุมหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

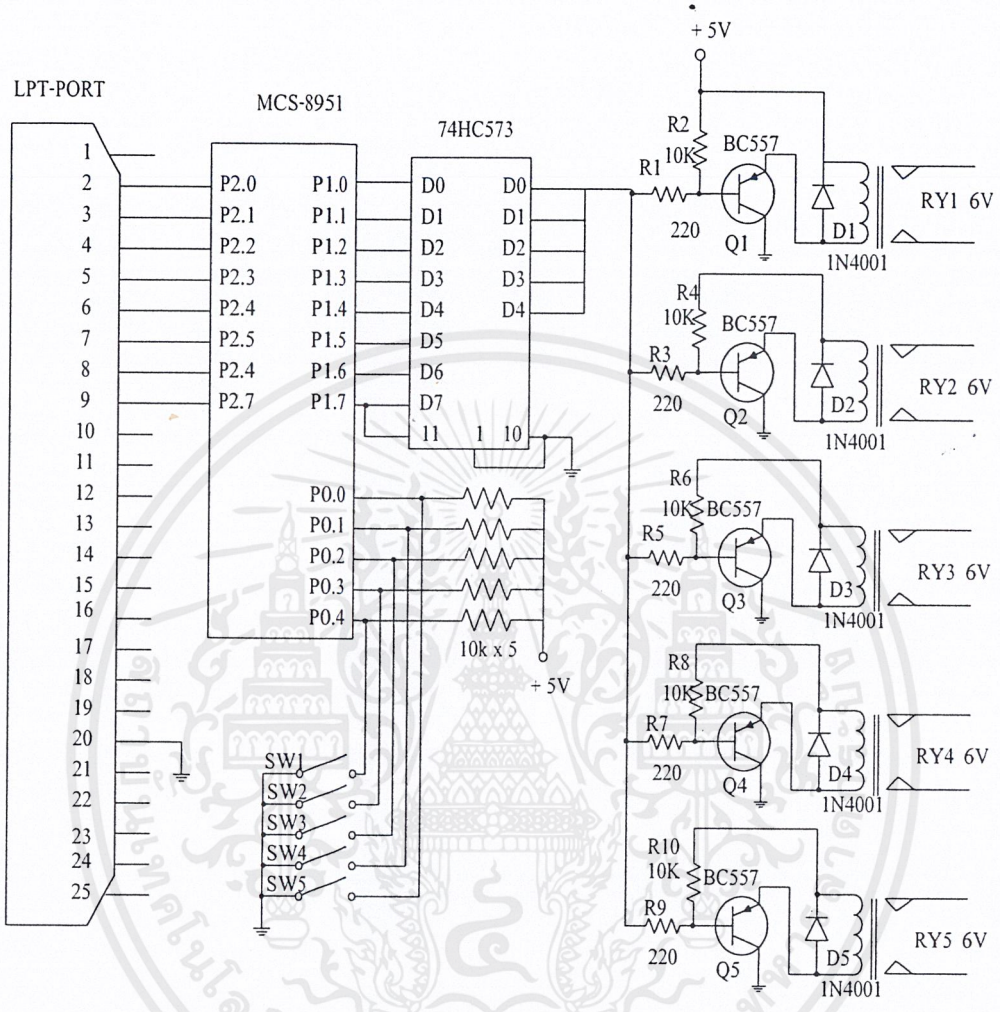
วงจรและแผนวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 วงจรการทำงานของตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 วงจรการทำงานของตัวเครื่อง

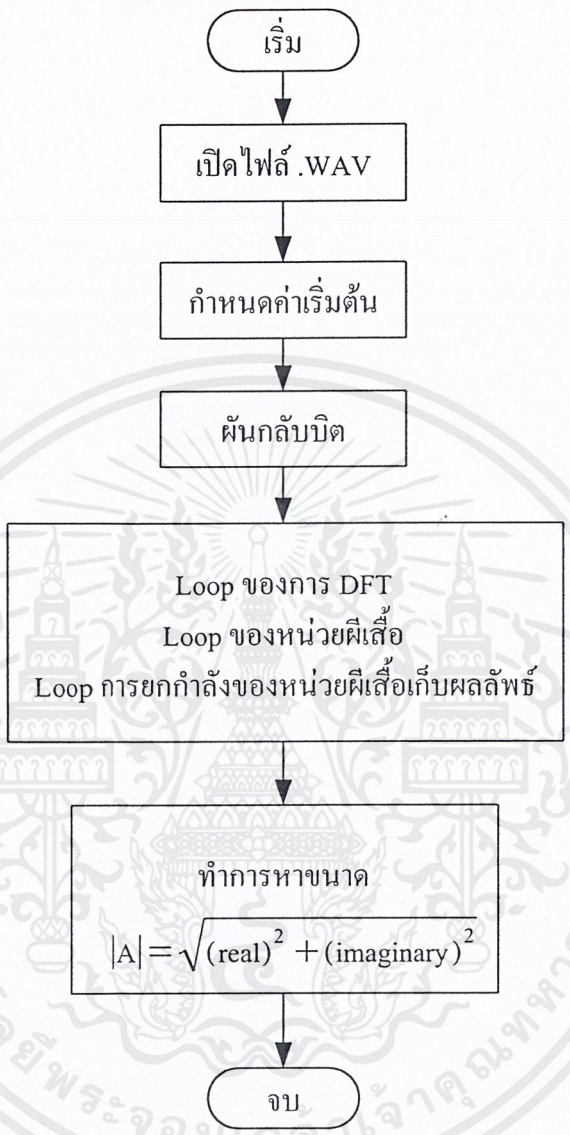
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผังการทำงานและโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

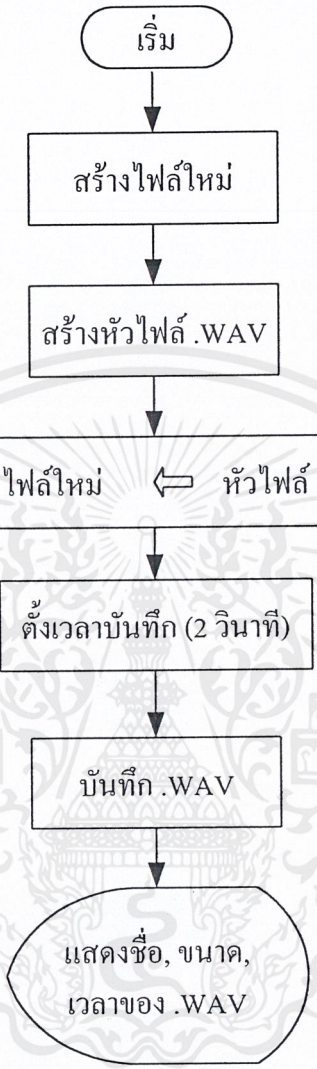
รูปที่ ค.1 ผังงานโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 ผังงานโปรแกรมฟาสฟูริเยร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

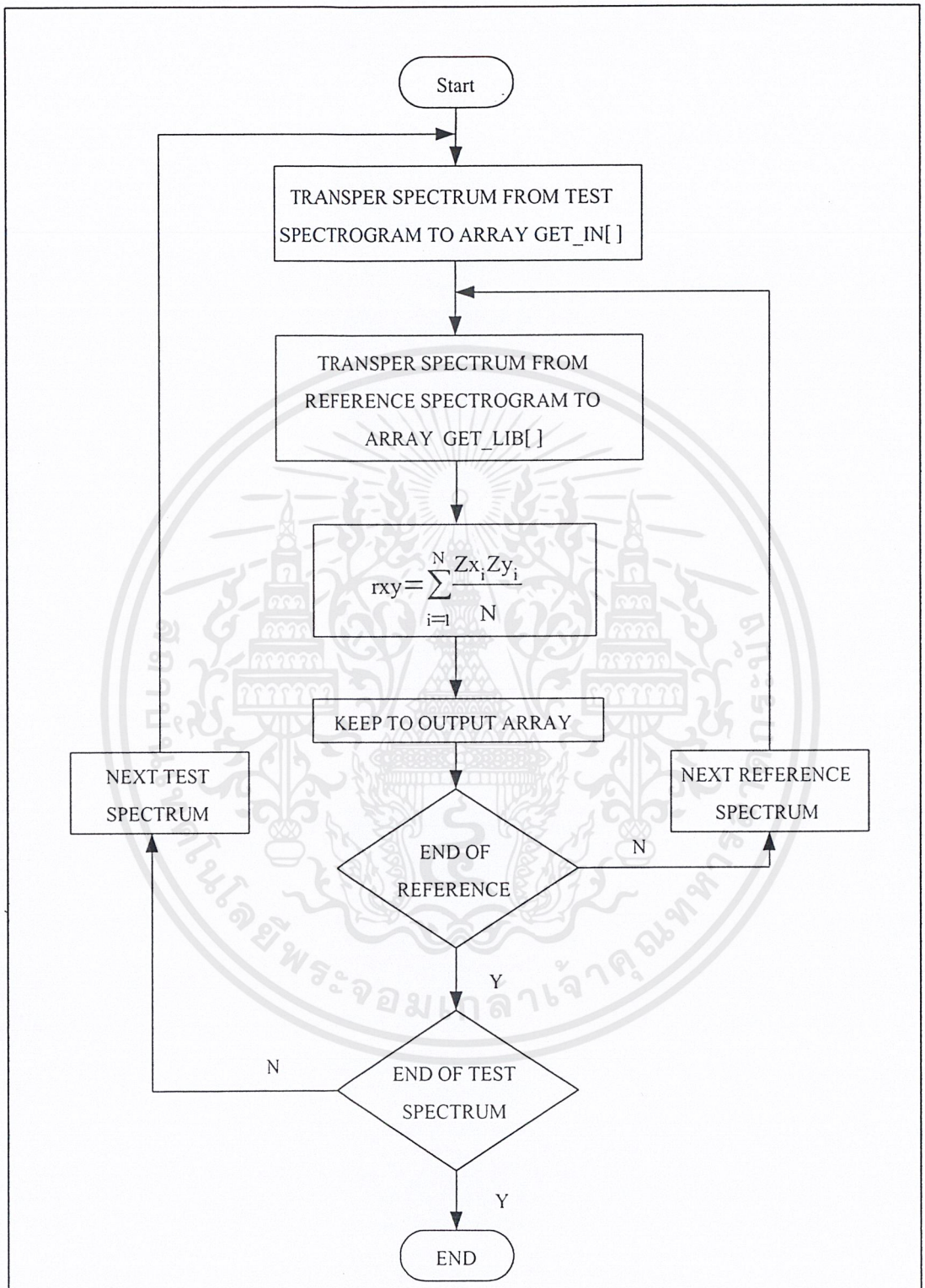


รูปที่ ค.3 ผังงานโปรแกรมอัดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

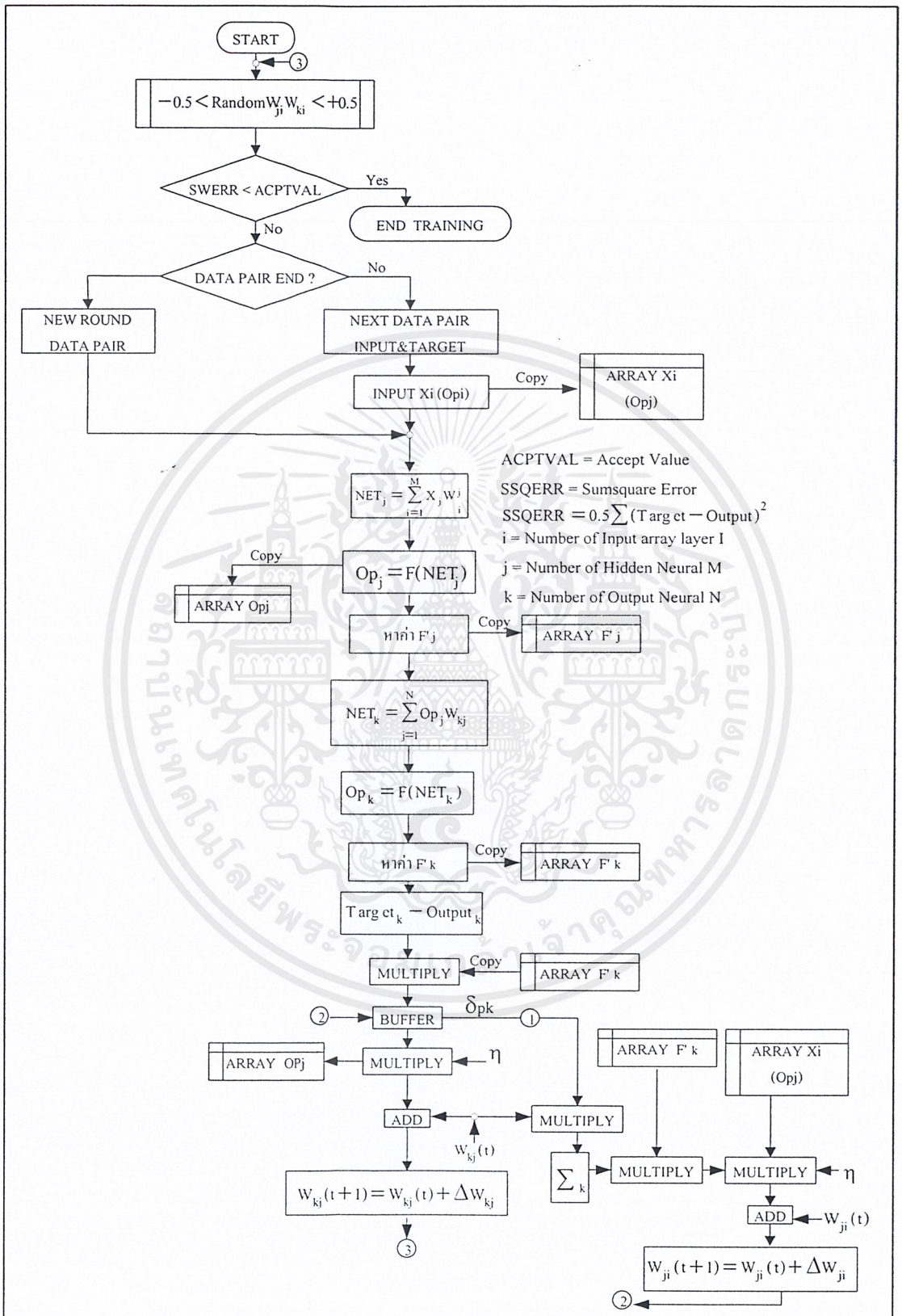
รูปที่ ค. 4 ผังงานโปรแกรมปรับค่าข้อมูลเสียงไม่ให้เกิน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.5 ผังงานโปรแกรมหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.6 ผังงานโปรแกรมการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          **********PROGRAM DRIVE ON AND OFF RELAYS**********
      ORG 0000H
      MOV P0,#0FFH
      MOV P1,#07FH
      MOV P2,#0FFH
;-----------------------------------------------------------;
;           SCAN  PORT PRINTER OF PC TO TURN ON LAMPS.
;-----------------------------------------------------------;
LPT1_0: JB P2.0,LPT1_1
      ACALL LAMP_ON1
LPT1_1: JB P2.1,LPT1_2
      ACALL LAMP_ON2
LPT1_2: JB P2.2,LPT1_3
      ACALL LAMP_ON3
LPT1_3: JB P2.3,LPT1_4
      ACALL LAMP_ON4
LPT1_4: JB P2.4,SW1
      ACALL LAMP_ON5
;-----------------------------------------------------------;
;              SCAN EXTERNAL MICRO SWICH.
;-----------------------------------------------------------;
SW1:    JB P0.0,SW2
      ACALL DELAY
      JB P0.0,SW2
      JNB P1.0,SW1F
      ACALL LAMP_ON1
      ACALL TRIG
      JNB P0.0,$
      SJMP SW2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SW1F:  ACALL LAMP_OFF1
       ACALL TRIG
       JNB P0.0,$
SW2:   JB P0.1,SW3
       ACALL DELAY
       JB P0.1,SW3
       JNB P1.1,SW2F
       ACALL LAMP_ON2
       ACALL TRIG
       JNB P0.1,$
       SJMP SW3
SW2F:  ACALL LAMP_OFF2
       ACALL TRIG
       JNB P0.1,$
SW3:   JB P0.2,SW4
       ACALL DELAY
       JB P0.2,SW4
       JNB P1.2,SW3F
       ACALL LAMP_ON3
       ACALL TRIG
       JNB P0.2,$
       SJMP SW4
SW3F:  ACALL LAMP_OFF3
       ACALL TRIG
       JNB P0.2,$
SW4:   JB P0.3,SW5
       ACALL DELAY
       JB P0.3,SW5
       JNB P1.3,SW4F
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ACALL LAMP_ON4
    ACALL TRIG
    JNB P0.3,$
    SJMP SW5
SW4F:  ACALL LAMP_OFF4
    ACALL TRIG
    JNB P0.3,$
SW5:   JB P0.4,LPT2_0
    ACALL DELAY
    JB P0.4,LPT2_0
    JNB P1.4,SW5F
    ACALL LAMP_ON5
    ACALL TRIG
    JNB P0.4,$
    SJMP LPT2_0
SW5F:  ACALL LAMP_OFF5
    ACALL TRIG
    JNB P0.4,$
;-------------------------------------------------;
;      SCAN PORT PRINTER OF PC TO TURN OFF LAMPS.
;-------------------------------------------------;
LPT2_0: MOV A,P2
    CJNE A,#1FH,LPT2_1
    ACALL LAMP_OFF1
LPT2_1: CJNE A,#3FH,LPT2_2
    ACALL LAMP_OFF2
LPT2_2: CJNE A,#5FH,LPT2_3
    ACALL LAMP_OFF3
LPT2_3: CJNE A,#7FH,LPT2_4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ACALL LAMP_OFF4
LPT2_4: CJNE A,#9FH,NEXT
    ACALL LAMP_OFF5
NEXT:   AJMP LPT1_0
;-------------------------------------------------------;
;              INTERRUPT PROGRAMP
;-------------------------------------------------------;
DELAY:  MOV R7,#5
DELAY1: MOV R6,#0E6H
DELAY2: NOP
    NOP
    DJNZ R6,DELAY2
    DJNZ R7,DELAY1
    RET
TRIG:   SETB P1.7
    NOP
    CLR P1.7
    NOP
    RET
LAMP_ON1:ACALL TRIG
     CLR P1.0
     RET
LAMP_ON2:ACALL TRIG
     CLR P1.1
     RET
LAMP_ON3:ACALL TRIG
     CLR P1.2
     RET
LAMP_ON4:ACALL TRIG
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    CLR P1.3
    RET
LAMP_ON5:ACALL TRIG
    CLR P1.4
    RET
LAMP_OFF1:ACALL TRIG
    SETB P1.0
    RET
LAMP_OFF2:ACALL TRIG
    SETB P1.1
    RET
LAMP_OFF3:ACALL TRIG
    SETB P1.2
    RET
LAMP_OFF4:ACALL TRIG
    SETB P1.3
    RET
LAMP_OFF5:ACALL TRIG
    SETB P1.4
    RET
;-------------------------------------------------;
    END
```

รูปที่ ค.7 โปรแกรมติดต่อกับพอร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/* Program converts wavefile to fftfile*/


  #include <stdio.h>
  #include <stdarg.h>
  #include <conio.h>
  #include <io.h>
  #include <dos.h>
  #include <math.h>
  #include <graphics.h>
  #include <stdlib.h>
  #define score 100


  double  smax,sum,xreal[1124], ximag[1124], vector[1124],vec[102],rate[102];
  int     drive = DETECT, mode=1, x, y, c, n,i;
  long    part1;
  float   a,b, fs, w, noise;
  FILE *fp;
  FILE *fo;


  int fft (int n, int nu);
  int ibtr ( int j, int nu );
  unsigned long L = 0;


  long openwav(char *name)
  {
   L = 0;
  if ((fp = fopen(name,"rb")) == NULL) {
            printf("Cannot open file %s !",name);
            exit(0);
         }
   fseek(fp,40,0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 L += (long) getc(fp);
 L += (long) getc(fp)*0x100;
 L += (long) getc(fp)*0x10000;
 fseek(fp,4096,1);
 part1 = (int)((L-(4096+2048))/256);
 printf("L = %d\npart = %d\n",L,part1);
 return(L);
}

long openout(char *oname)
{
if ((fo = fopen(oname,"wb")) == NULL) {
        printf("Cannot open file %s !",oname);
        exit(0);
    }
}

void feed1024(void)
{
 if (L > 2048){
 for (i=0;i<1024;i++){
            xreal[i] = getc(fp);
            ximag[i] = 0;
    }
 fseek(fp,-(1024-part1),1);
 L -= (part1);
 }
}

 main ()
 {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int k,m;
float max = 0,temp = 0;
char ok,out[20],v_name[10][15];
int j,bb,row = 10;
clrscr();

printf("\nInput Filename outfile : ");
gets(out);
openout(out);

printf("Input Filename wavefile : ");
gets(v_name);

j = bb = 0;

initgraph (&drive, &mode, "");
cleardevice();
do {
   openwav(v_name[j]);
   x = 0;
 do {
 feed1024();
 fft (1024, 10);
 moveto (0, 320);
 setcolor (12);

 for (a=1; a<512;a++)
 {
        xreal[a]=xreal[a]*xreal[a]+ximag[a]*ximag[a];
        xreal[a]=sqrt(xreal[a]);
        if (xreal[a] > max) max = xreal[a];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
max = max/24;
sum = smax = 0;
for (a = 5;a<256;a++){

        xreal[a] /= max;
        sum += xreal[a] * a;

}

for (a = 5;a<256;a++){
        putpixel(row,a,xreal[a]);

}
if (smax < sum) smax = sum;
vector[x] = sum;

row++;  x++;
}while (L > 2048);
fclose(fp);

printf("row = %d\n",x);

/* use this vector[?] to put to input of neuron net;*/
 smax /= 6;
 moveto(row-x,470);
 for (a = 0;a<x;a++)
    lineto (a+(row-x), (470)-vector[a]/smax);

 j++;
 row += 10;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 if (row > 500) {
   row = 0;
   bb += 300;

 }
/* divider fft to bpn*/
 for (a=0,i=0;a<256;a++,i+=1){

        vec[a] = vector[i];

 }
 }while(j < 1);

 for(a=0;a<256;a++) {
        printf("%2.6f\t",vec[a]);
        }

/* FINE MAXIMUM    */
   for(a=0;a<256;a++) {
        if (vec[a] > temp) temp = vec[a];
        }

 printf("\n max = %2.6f\t\n",temp);

/* RATE MAX-MIN 0-1 */
 for(a=0;a<256;a++) {
   rate[a] = vec[a] / temp;
   printf("%f\t",rate[a]);
   }

 getch ();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  closegraph ();

  for(a=0;a<256;a++) {
        fprintf(fo,"%2.6f ",rate[a]);
   }
  printf("save OK!");
  getch();

  fclose(fp);
  fclose(fo);
}
/* Calculate Fast Fourier Transform.
   Input data in store in xreal & ximag.   */

int fft (int n, int nu)
{
 int    n2,nu1,k,l,i,m;
 float  p,c,s,arg,treal,timag;

 l=1;

 n2=n/2;
 nu1=nu-1;
 k=0;

 for ( l=1; l <= nu; l++)
 {

       for (;;)
       {  for ( i=1; i <= n2; i++)
          {  m= k/pow(2,nu1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                p= ibtr (m,nu);
                arg= 6.283185*p/n;
                c= cos (arg);
                s= sin (arg);
                treal= xreal[k+n2]*c+ximag[k+n2]*s;
                timag= ximag[k+n2]*c-xreal[k+n2]*s;
                xreal[k+n2]= xreal[k]-treal;
                ximag[k+n2]= ximag[k]-timag;
                xreal[k]= xreal[k]+treal;
                ximag[k]= ximag[k]+timag;
                k++;   }

           k=k+n2;
           if  (k >= n)
                break;  }

        k=0;
        n2=n2/2;
        nu1=nu1-1;  }

for (k=0; k < n; k++)
{   i=ibtr (k,nu);
        if ( i > k )
        {   treal= xreal[k];
           timag= ximag[k];
           xreal[k]= xreal[i];
           ximag[k]= ximag[i];
           xreal[i]= treal;
           ximag[i]= timag;
        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}


/*
 Bit reversing funtion for FFT
                                        */


int ibtr ( int j, int nu )
{
 int     i,j1,j2,k;


 j1=j;
 k=0;


 for (i=1; i <= nu ;i++)
 {   j2=j1/2;
        k=k*2+(j1-2*j2);
        j1=j2;
 }


 return (k);
}
```

รูปที่ ค.8 โปรแกรมฟาสฟูริเยร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/* Program correlation/

  #include <stdio.h>
  #include <stdarg.h>
  #include <conio.h>
  #include <io.h>
  #include <dos.h>
  #include <math.h>
  #include <graphics.h>
  #include <stdlib.h>
  #define N 256
  #define num_sound 10
  #define kind_sound 1

  FILE  *lib;
  FILE  *in;
  FILE  *out;

  float get_lib[260],get_in[260],lib_stand_devia,in_stand_devia,lib_,lib_l;
  float sum_lib,sum_in,lib_,in_,devia,sum_devia,total_r,z_lib,z_in,point_r;
  float r_list[kind_sound],in_neu[kind_sound],max,temp[11],temp1[11];
  int   a,n,m,l,k,amax;
  char ch;

  void lam();
  void status();
  void outlamp();

  long openlib(char *lname)
 {
        if ((lib = fopen(lname,"rb")) == NULL) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                printf("\nCannot open file %s !",lname);
                exit(0);
        }
        for(n=0;n<N;n++){
                fscanf(lib,"%f",&get_lib[n]);
        }
}

long openin(char *iname)
{
if ((in = fopen(iname,"rb")) == NULL) {
   printf("\nCannot open file %s !",iname);
   exit(0);
}
for(n=0;n<N;n++){
          fscanf(in,"%f",&get_in[n]);
        }
}

long openout(char *oname)
{
if ((out = fopen(oname,"wb")) == NULL) {
        printf("\nCannot open file %s !",oname);
        exit(0);
   }
getch();
}

void corre()
{
 /* find lib_[m]*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sum_lib = 0;
for(m=0;m<N;m++){
    sum_lib += get_lib[m];
    lib_ = sum_lib/N;
 }
//    printf("\ny'= %f\n",lib_);

/* find lib_stand_devia*/
sum_devia = 0;
for(n=0;n<N;n++){
        devia = pow(get_lib[n]-lib_,2);
        sum_devia += devia;
 }
        sum_devia = sum_devia/N;
        lib_stand_devia = sqrt(sum_devia);
//    printf("Sy = %f\n",lib_stand_devia);

/*find corre*/
total_r = 0;
for(n=0;n<N;n++){
         z_lib = (get_lib[n]-lib_)/lib_stand_devia;
         z_in  = (get_in[n]-in_) /in_stand_devia;
        point_r = (z_lib*z_in)/N;
        total_r += point_r;
 }
        total_r = fabs(total_r);
//    printf("\nrxy = %f",total_r);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
main()
{
        char  lib_name[10][15] = {"oh11.fft",     /*1*/
                                  "ch11.fft",     /*2*/
                                  "ob11.fft",     /*3*/
                                  "cb11.fft",     /*4*/
                                  "od11.fft",     /*5*/
                                  "cd11.fft",     /*6*/
                                  "ot11.fft",     /*7*/
                                  "ct11.fft",     /*8*/
                                  "ok11.fft",     /*9*/
                                  "ck11.fft"};    /*0*/

char  in_name[15],out_name[15];
int b;

clrscr();
printf("Enter in file name:");
gets(in_name);puts(in_name);
openin(in_name);

/* find in_[m]*/
for(m=0;m<N;m++){
  sum_in += get_in[m];
  in_ = sum_in/N;
  }
//     printf("x'= %f\n",in_);

/* find in_stand_devia*/
  sum_devia = 0;
for(n=0;n<N;n++){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    devia = pow(get_in[n]-in_,2);
    sum_devia += devia;
    }
    sum_devia = sum_devia/N;
    in_stand_devia = sqrt(sum_devia);
//     printf("Sx = %f\n",in_stand_devia);


     do{
          openlib(lib_name[a]);
          for(n=0;n<N;n++){
            corre();
            }
          temp[a] = total_r;
          a++;
          }while (a<10);

//   printf("Enter out file name:");
//   gets(out_name);puts(out_name);
//   openout(out_name);

max = 0;

for(a=0;a<10;a++){
    printf("\n%f",temp[a]);
    if(temp[a] > max){
         max = temp[a];
         }
    }
    printf("\n");
for(a=0;a<10;a++){
         temp1[a] = temp[a]/max;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//      printf("\n%f",temp1[a]);
        if(temp1[a] >= 1.000000){
          printf("\nnumber array = %d,max = %f",a+1,max);
          amax = a+1;
          }
        }
printf("\ncorrelatinn = %d",amax);

fcloseall();
printf("\n Press to out of program.");
getch();
 }
```

รูปที่ ค.9 โปรแกรมการหาคุณลักษณะสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/* Program control lamp */

  #include<stdio.h>
  #include<conio.h>
  #include<dos.h>
  void lam();
  void status();

  main()
  {
        char key;
        int a;
        clrscr();
        status();
        outport(0x378,0xFF);

        do{
           a = getch();
           key = a;
           If(key=='1'){
                        outport(0x378,0xFE);
                        lam(1);
                        delay(100);
                         outport(0x378,0xFF);}
            else if(key=='2'){
                        outport(0x378,0xFD);
                        lam(2);
                        delay(100);
                        outport(0x378,0xFF);}
           else if(key=='3'){
                        outport(0x378,0xFB);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    lam(3);
                    delay(100);
                    outport(0x378,0xFF);}
  else if(key=='4'){
                    outport(0x378,0xF7);
                    lam(4);
                    delay(100);
                    outport(0x378,0xFF);}
   else if(key=='5'){
                    outport(0x378,0xEF);
                    lam(5);
                    delay(100);
                    outport(0x378,0xFF);}
 else if(key=='6'){
                    outport(0x378,0x1F);
                    am(6);
                    delay(100);
                    outport(0x378,0xFF);}
else if(key=='7'){
                    outport(0x378,0x3F);
                    lam(7);
                    delay(100);
                    outport(0x378,0xFF);}
else if(key=='8'){
                    outport(0x378,0x5F);
                    lam(8);
                    delay(100);
                    outport(0x378,0xFF);}
else if(key=='9'){
                    outport(0x378,0x7F);
                    lam(9);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    delay(100);
                    outport(0x378,0xFF);}
        else if(key=='0'){
                    outport(0x378,0x9F);
                    lam(0);
                    delay(350);
                    outport(0x378,0xFF);}
   }while(key!=27);
   return(0);
 }

void lam(char x)
{
  switch (x){
        case 1:{gotoxy(35,4);printf("LAMP_1  : ON  %c",2);}
               break;
        case 2:{gotoxy(35,6);printf("LAMP_2  : ON  %c",2);}
               break;
        case 3:{gotoxy(35,8);printf("LAMP_3  : ON  %c",2);}
               break;
        case 4:{gotoxy(35,10);printf("LAMP_4  : ON  %c",2);}
               break;
        case 5:{gotoxy(35,12);printf("LAMP_5  : ON  %c",2);}
               break;
        case 6:{gotoxy(35,4);printf("LAMP_1  : OFF %c",1);}
               break;
        case 7:{gotoxy(35,6);printf("LAMP_2  : OFF %c",1);}
               break;
        case 8:{gotoxy(35,8);printf("LAMP_3  : OFF %c",1);}
               break;
        case 9:{gotoxy(35,10);printf("LAMP_4  : OFF %c",1);}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                break;
        case 0:{gotoxy(35,12);printf("LAMP_5  : OFF %c",1);}
                break;
                default: printf("error");
        exit(1);
        }
}

void status()
{
 gotoxy(35,4); printf("LAMP_1  : OFF %c\n\n",1);
 gotoxy(35,6); printf("LAMP_2  : OFF %c\n\n",1);
 gotoxy(35,8); printf("LAMP_3  : OFF %c\n\n",1);
 gotoxy(35,10); printf("LAMP_4  : OFF %c\n\n",1);
 gotoxy(35,12); printf("LAMP_5  : OFF %c\n\n",1);
 return(0);
}
```

รูปที่ ค.10 โปรแกรมควบคุมเปิดปิดหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<math.h>
#include<conio.h>
#include<stdarg.h>
#include<stdlib.h>
#include<dos.h>
#include<io.h>
#include<stdio.h>
#include<graphics.h>

/* GLOBAL VARIABLE DECLAIRATION */
        double  Opi[40];
        double  Wji[40][40];
        double  Opj[128];
        double  Wkj[40][40];
        double  Deltabuff1[20][30];  /* Delta Wkj(t) for momentum option */
        double  Deltabuff2[20][30];  /* Delta Wkj(t-1) for momentum option */
        double  Opk[20];
        double  Tpk[20];
        double  Error[30];
        double  Deltapk[30],Deltapj[40],Summationk[40];
        double  netpj,netpk;
        double  difnetpj[40],difnetpk[30];
        int     round=0,setpoint;
        int     seq=0;
        int     sequence=0;
        long    ep=0;
        double  sssqerr,ssqerr,sqerr;
        FILE    *fpx,*fpo;
        FILE    *inputfp,*outputfp,*target,*wlayer1,*wlayer2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void opengraph()
{
        struct palettetype pal;
        int    i,ht,y,xmax;
        int    g,driver,mode;

        detectgraph(&driver,&mode);
        driver = VGA;
        mode = VGAHI;
        initgraph(&driver,&mode,"");
        if(!(g=graphresult()) )
          {
          printf("Graphics System Error:%d \n",g);
          exit(0);
          }
        getpalette(&pal);
        /*  creart gray scale */
        for(i=0;i<pal.size;i++)
        setrgbpalette(pal.colors[i], i*4,i*4,i*4);
}
FILE  *openfile (char *name,char *format)
{
   FILE   *fp;
   if((fp=fopen(name,format)) == (FILE *) NULL)
   {
          perror("Open file-read failed \n");
          exit(1);
   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   return fp;
}
rndweight(HID,INL,OUT)

        int *HID,*INL,*OUT;
{
        int  inputx,weightw;
        int  HIDNEURAL=*HID;
        int  INLAYER=*INL;
        int  OUTNEURAL=*OUT;
for(weightw=0;weightw<HIDNEURAL;weightw++)
        for(inputx=0;inputx<INLAYER;inputx++)
            {
             Wji[weightw][inputx]=0.5-(random(9999)/10000.0);
            }
/* For output neurals */
 for(weightw=0;weightw<OUTNEURAL;weightw++)
        for(inputx=0;inputx<HIDNEURAL;inputx++)
            {
             Wji[weightw][inputx]=0.5-(random(9999)/10000.0);
/* For prepare & initial Wkjbuff2 in the first time */
 for(weightw=0;weightw<OUTNEURAL;weightw++)
         {
          for(inputx=0;inputx<HIDNEURAL;inputx++)
            {
             Deltabuff2[weightw][inputx]=0;
            }
         }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
return;
}
read_input_file(int *INL)
{
        int    INLAYER=*INL;
        int    q,x;
        float  ival;
        x=q=0;
        while((fscanf(inputfp,"%f",&ival)) != EOF)    /* Get value from file */
           {
            if(x>=INLAYER-1)
                {
                Opi[x]=ival;
                x=0;
                q++;
                break;
                }
                Opi[x]=ival;
                x++;
                }
return;
}

void read_target_file(int *out)
{
        int    OUTNEURAL=*out;
        int    q,x;
        float  tarval;
        x=q=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        while((fscanf(target,"%f",&tarval)) != EOF)  /* Get value from file */
          {
          if(x>=OUTNEURAL-1)
            {
            Tpk[x]=tarval;
            x=0;
            q++;
            break;
            }
          Tpk[x]=tarval;
          x++;
          }
}
void propagate_forward(int *HID,int *INL,int *OUT)
{
        int   HIDNEURAL=*HID;
        int   INLAYER=*INL;
        int   OUTNEURAL=*OUT;
        int   j,i;
        for(j=0;j<HIDNEURAL;j++)  /* j is the number of hidden neural */
                {
                netpj=0;
                for(i=0;i<INLAYER;i++)
                   {
                   netpj=netpj+(Opi[i]*Wji[j][i]);    /* update point */
                   }
                   Opj[j]=1.0/(1.0+exp(-netpj /* +THETAJ */));
                }
        ssqerr=sqerr=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        for(j=0;j<OUTNEURAL;j++)   /* j is the number of output neural */
            {
            netpk=0;
            for(i=0;i<HIDNEURAL;i++)
                {
                netpk=netpk+(Opj[i]*Wkj[j][i]);  /* NET=)pj*Wkj */
                }
                Opk[j]=1.0/(1.0+exp(-netpk /* +THETAK */)); /* OUT0F(NET)
*/
                sqerr=sqerr+((Tpk[j]-Opk[j])*(Tpk[j]-Opk[j]));
            }
            ssqerr=sqerr/2;
  }
  void compute_output_error(int *OUT)
  {
        int   OUTNEURAL=*OUT;
        int   i,j;
        for(j=0;j<OUTNEURAL;j++)    /* length(outputs) */
                {
                Deltapk[j]=Opk[j]*(1.0-Opk[j]*(Tpk[j]-Opk[j]));
                }
  }
  void backpropagate_error(int *HID,int *OUT)
  {

        int   HIDNEURAL=*HID;
        int   OUTNEURAL=*OUT;
        int   i,j;
        for(i=0;i<HIDNEURAL;i++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                {
                Summationk[i]=0;
                for(j=0;j<OUTNEURAL;j++)
                  {
                  Summationk[i]=Summationk[i]+Deltapk[j]*Wkj[j][i];
                  }
                Summationk[i]=Summationk[i]*Opj[i]*(1.0-Opj[i]);
                }
}
void adjust_weightji(HID,INL,OUT,L,ALP)
int   *HID, *INL, *OUT;
float  *L, *ALP;
{
        int   HIDNEURAL=*HID;
        int   INLAYER=*INL;
        int   OUTNEURAL=*OUT;
        float LR=*L;
        float ALPHA=*ALP;
        int   i,j,k;

        /* adjust Wji */
        for(j=0;j<HIDNEURAL;j++)
                {
                for(k=0;k<INLAYER;k++)
                  {
                  Wji[j][k]=Wji[j][k]+(Opi[k]*LR*Summationk[j]);
                  }
                }
        /* adjust Wkj with option momentum */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        for(j=0;j<OUTNEURAL;j++)
                {
                for(k=0;k<HIDNEURAL;k++)   /* prepare for monentum */
                  {
                  Deltabuff1[j][k]=Opj[k]*LR*Deltapk[j];
                  }
                }
        for(j=0;j<OUTNEURAL;j++)     /* adjust Wkj */
                {
                for(k=0;k<HIDNEURAL;k++)
                   {
                 Wkj[j][k]=Wkj[j][k]+Deltabuff1[j][k]+(ALPHA*Deltabuff2[j]
[k]);
                 Deltabuff2[j][k]=Deltabuff1[j][k];
                   }
                }
  }
  void main()
  {
        int   INRECORD;
        int   INLAYER;
        int   OUTNEURAL;
        int   HIDNEURAL;
        float  LR;
  /*    float  THETAJ=0.05;
        float  THETAK=0.05;  */
        float  ALPHA;
        int   frontend,i,j,k;
        char   xfile[15];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        char   inputa[15],targeta[15],error[15],weight[15],output[15];
        FILE   *fpo;
        k=0;
        round=0;
        clrscr();
        printf("\n  WELCOME TO TRAINING MODE \n");
        printf("\n");
        printf("Network  Alignment \n");
        printf("\n");

        printf("2_LAYER NEURAL NETWORKS \n");
        printf("\n");
        printf("\n Number of INPUT NEURONS(MAX=40)  :  ");
        scanf("%d",&INLAYER);
        printf("\n Number of HIDDEN NEURONS(MAX=40)  : ");
        scanf("%d",&HIDNEURAL);
        printf("\n Number of OUTPUT NEURONS(MAX=20)  : ");
        scanf("%d",&OUTNEURAL);
        printf("\n LEARNING RATE (Between 0-1,Normal=0.1)  : ");
        scanf("%f",&LR);
        printf("\n MOMENTUM : (Between 0-1,Normal=0.90)  : ");
        scanf("%f",&ALPHA);
printf("\nSUCCESSFULL ADJUSTMENT \n   PRESS ANY KEY TO SET
FILES  FOR PROCESSING:");

        getch();
        clrscr();
        printf("\n     SET FILES FOR PROCESSING:  press any key");
        getch();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        printf("\n Input File   :  ");
        scanf("%s",&inputa);
        printf("\n\n\n Number of RECORD of INPUT FILE : ");
        scanf("%d",&INRECORD);
        printf("Target File  :  ");
        scanf("%s",&targeta);
        printf("Error File  :  ");
        scanf("%s",&error);
        printf("Number of Training round  :  ");
        scanf("%d",&setpoint);

        printf("Weight File  :  ");
        scanf("%s",&weight);

        fpo=openfile(weight,"w");
        if(fpo == NULL)
                {
                fprintf(stderr,"Error opening files %s.",xfile);
                exit(1);
                }
        fpx=openfile(weight,"w");
        if(fpx == NULL)
                {
                fprintf(stderr,"Error opening files %s.",xfile);
                exit(1);
                }
rndweight(&HIDNEURAL,&INLAYER,&OUTNEURAL);
        for(round=0;round<=setpoint;round++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
        inputfp = fopen(inputa,"r");       target = fopen(targeta,"r");
        sssqerr=0;
        for(sequence=0;sequence<INRECORD;sequence++)
           {
           read_input_file(&INLAYER);
           read_target_file(&OUTNEURAL);

           propagate_forward(&HIDNEURAL,&INLAYER,&OUTNEURAL);
           sssqerr=sssqerr+ssqerr;
           compute_output_error(&OUTNEURAL);
           backpropagate_error(&HIDNEURAL,&OUTNEURAL);

  adjust_weightji(&HIDNEURAL,&INLAYER,&OUTNEURAL,&LR,&ALPHA);
           }
        fclose(target);
           fclose(inputfp);
        printf("\n %d",ep);
        printf(" Avg ssqerr=%1.8f",sssqerr/INRECORD);
        fprintf(fpo,"%1.8f\n",sssqerr/INRECORD);
        ep++;
        }
        printf("\n Press sny key for save weight Wji and Wkj \n");
        getch();
 for(j=0;j<HIDNEURAL;j++)
        {
        fprintf(fpx,"\n");
        for(i=0;i<INLAYER;i++)
           fprintf(fpx,"%2.6f",Wji[j][i]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        fprintf(fpx,"\n");
 fprintf(fpx,"\n");
for(k=0;k<OUTNEURAL;k++)
        {
        fprintf(fpx,"\n");
        for(j=0;j<HIDNEURAL;j++)
            fprintf(fpx,"%2.6f",Wkj[k][j]);
        }

     printf("\n End of process : press any key \n");
fclose(fpo);
fclose(fpx);
getch();
}
```

รูปที่ ค. 11 โปรแกรมการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<math.h>
#include<conio.h>
#include<stdarg.h>
#include<stdlib.h>
#include<dos.h>
#include<io.h>
#include<stdio.h>
#include<graphics.h>

float  Opi[40];
float  Wji[40][40];
double Opj[128];
double Wkj[40][40];
double Opk[20];
double Tpk[20];
double Error[30];
double Deltapk[30],Deltapj[40],Summationk[40];
double netpj,netpk;
double difnetpj[40],difnetpk[30];
int    round=0;
int    seq=0;
int    sequence=0;
long   ep=0;
float  sssqerr,ssqerr,sqerr;
FILE   *fpx;   /* now not use */
FILE   *fpo;   /* for index output file "output.out"  */
FILE   *inputfp,*outputfp,*target,*wlayer1,*wlayer2;
FILE   *inputWji,*inputWkj;
void opengraph()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
        struct palettetype pal;
        int    i,ht,y,xmax;
        int    g,driver,mode;
        detectgraph(&driver,&mode);
        driver=VGA;
        mode=VGAHI;
        initgraph(&driver,&mode,"");
        if((g=graphresult()) !=grOk)
                {
                printf("Graphics System Error:%d\n",g);
                exit(0);
                }
        getpalette(&pal);
        /* create gray scale */
        for(i=0;i<pal.size;i++)
        setrgbpalette(pal.colors[i],i*4,i*4,i*4);
}
FILE *openfile(char *name,char *format)
{
        FILE  *fp;
        if((fp=fopen(name,format))==(FILE*)NULL)
        {
        perror("Open file-read failed \n");
        exit(1);
        }
        return fp;
}
 void inputweight(int *INL,int *HID,int *OUT)  /* Read input weight from file
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*/
  {
        int  INLAYER=*INL;
        int  HIDNEURAL=*HID;
        int  OUTNEURAL=*OUT;
        int    p,q,x,y;
        float  weightvalue;
        x=y=p=q=0;

   while((fscanf(inputWji,"%f",&weightvalue)) != EOF)  /* Getvalue from file */
        {
         if(q<HIDNEURAL)
            {
            if(x >= INLAYER)
                {
                x=0;
                q++;
                }
                if(q != HIDNEURAL)
                        {
                        Wji[q][x] = weightvalue;
                        printf("Wji[%d][%d] = %f \n",q,x,Wji[q,x]);
                        }
                        x++;
           }
           if(p<OUTNEURAL && q>=HIDNEURAL)
                {
                if(y >= HIDNEURAL)
                        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    y=0;
                    p++;
                    }
                    if(p != OUTNEURAL)
                      {
                      Wkj[p][y] = weightvalue;
                      printf("Wkj[%d][%d] = %f \n",p,y,Wkj[p,y]);
                      }
                      y++;
                }
        }
        fclose(inputWji);
}
void read_input_file(int *INL)
{
        int    INLAYER=*INL;
        int    q,x;
        float  ival;
 while((fscanf(inputfp,"%f",&ival)) != EOF)   /* Get value from file */
        {
        if(x >= INLAYER-1)
          {
          Opi[x]=ival;
                    x=0;
                    q++;
                    break;
                    }
          Opi[x]=ival;
          x++;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
}
void propagate_forward(int *HID,int *INL,int *OUT)
{
      int  HIDNEURAL=*HID;
      int  INLAYER=*INL;
      int  OUTNEURAL=*OUT;
      int  j,i;
      for(j=0;j<HIDNEURAL;j++)    /* j is the number of hidden neural */
            {
            netpj=0;
            for(i=0;i<INLAYER;i++)
               {
               netpj=netpj+(Opi[i]*Wji[j][i]);  /* update point */
               }
               Opj[j]=1.0/(1.0+exp(-netpj));
            }
      for(j=0;j<OUTNEURAL;j++)    /* j is the number of hidden neural */
            {
            netpk=0;
            for(i=0;i<HIDNEURAL;i++)
                {
                netpk=netpk+(Opj[i]*Wkj[j][i]);   /* NET=Opj*Wkj */
                    }
                    Opk[j]=1.0/(1.0+exp(-netpk));   /* OUT=F(NET)  */
                    printf("%2.4f",Opk[j]);
                    fprintf(fpo,"%f",Opk[j]);
            }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void main()
{
        int    INRECORD;
        int    INLAYER;
        int    OUTNEURAL;
        int    HIDNEURAL;
        float  LR;
        float  ALPHA;
        char   input[15],output[15],weight[15];
        int    frontend,i,j,k;
        char   xfile[15];
        round=0;
        clrscr();
        printf("\n WLCOME TO NEURAI NETWORKS TESTINT MODE \n");
        printf("\n");
        printf("Neural Network Creating  \n");
        printf("SETTING PARAMETER \n");
        printf("\n");
        printf("\n 2-LAYER NEURAL NERWORKS \n");
        printf("\n");
        printf("Number of INPUT NEURONS(MAX=40)  :  ");
        scanf("%d",&INLAYER);
        printf("\n Number of HIDDEN NEURAL(MAX=40)  :  ");
        scanf("%d",&HIDNEURAL);
        printf("\n Number of OUTPUT NEURONS(MAX=20)  :  ");
        scanf("%d",&OUTNEURAL);
        printf("\n LEARNING RATE (Between 0.0-0.1,Normal=0.1)  :  ");
        scanf("%f",&LR);
        printf("\n MJOMENTUM (Between 0.0-1.0,Normal=0.90)  :  ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        scanf("%f",&ALPHA);
        printf("\n SUCESSFULL SETTING NEXT STEP FOR FILL FILE
NAME");
        printf("\n PRESS ANY KEY : ");
        getch();

        clrscr();
        printf("\n SET FILES NAME FOR PROCESSING  :  \n");
        printf("\n");
        gets(input);
        printf("\n Input File  :  ");
        gets(input);
        printf("\n\n\nNumber of RECORD of INPUT FILE : ");
        scanf("%d",&INRECORD);
        gets(weight);
        printf("\n Weight File  :  ");
        gets(weight);
        printf("\n Output File  :  ");
        gets(output);

        inputWji=fopen(weight,"r");
        inputfp=fopen(input,"r");   /* for read_input_file  */
        fpo=openfile(output,"w");
        if(fpo == NULL)
            {
            fprintf(stderr,"Error oprning files %s.",xfile);
            exit(1);
            }
        inputweight(&INLAYER,&HIDNEURAL,&OUTNEURAL);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        getch();
        for(sequence=0;sequence<=INRECORD;sequence++)
            {
            read_input_file(&INLAYER);
            propagate_forward(&HIDNEURAL,&INLAYER,&OUTNEURAL);
            printf("\n");     /* new line at display on screen  */
            fprintf(fpo,"\n");  /* mew line for output.out  */
        printf("\n       End of process:  press any key \n");
        printf("\n       Output deep in file: %s \n",output);
        getch();
fclose(fpo);
fclose(inputfp);
  }
}
```

รูปที่ ค.12 โปรแกรมทดสอบเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

คมกฤษณ์ หาญคำภา และคณะ. **การรู้จำเสียงพูดคำไทย (0-9)**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541

จิรศักดิ์ และคณะ. **การประยุกต์ใช้งานภาษาซี**. กรุงเทพฯ: เอช.เอ็น.กรุ๊ป. 2521

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และวรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**. กรุงเทพฯ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์. ม.ป.ป.

ปิยะวรรณ ปิยะพรมดี และปวิณา เตโช. **การแยกแยะและรู้จำข้อมูลเสียง**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541

ดร.วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์. **คู่มือโปรแกรมภาษา C สำหรับผู้เริ่มต้น**. กรุงเทพฯ: เอช.เอ็น.กรุ๊ป .2521

สมพันธุ์ ชาญศิลป์. ภาษาซี. พิมพ์ครั้งที่ 4. ขอนแก่น: หน่วยสารบรรณ งานบริหาร และธุรการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.2539

เสรี ปานซาง. **การรูจำเสียงคำไทยแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดด้วยนิวรัลเน็ตเวร์ค**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายคณากร ปันทะโชติ
วันเดือนปีเกิด	6 กันยายน 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดลำปาง
ภูมิลำเนาเดิม	38 หมู่ 11 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000
ที่อยู่ปัจจุบัน	259/11 ซอยดับเพลิง แขวงทับยาว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์	(02) 7380046
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาล 4 (บ้านเชียงราย)
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคลำปาง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคลำปาง
ปริญญาตรี	สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา
คติพจน์	ความพยายามอยู่ไหนความสำเร็จอยู่ที่นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นางสาวจินตนา จันทร์โสภา
วันเดือนปีเกิด	12 พฤษภาคม 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดศรีสะเกษ
ภูมิลำเนาเดิม	60 หมู่ 9 ตำบลพยุห์ อำเภอพยุห์ จังหวัดศรีสะเกษ 33230
ที่อยู่ปัจจุบัน	397/1 หมู่ 1 ถนนอ่อนนุช ซอยจินดานิเวศน์ 10 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์	3268456 ต่อห้อง 19 เก่า
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนหนองหว้าทับทัย
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพยุห์วิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ
ปริญญาตรี	สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา
คติพจน์	จงใช้เวลาในวันนี้ให้คุ้มค่าที่สุด เพราะเราอาจไม่มีวันพรุ่งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายตติย ศรีกระหวัน
วันเดือนปีเกิด	5 ตุลาคม 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชศรีมา
ภูมิลำเนาเดิม	118 หมู่ 5 ตำบลป่าไร่
	อำเภอ อรัญประเทศ
	จังหวัดสระแก้ว 27120
ที่อยู่ปัจจุบัน	60/41 บ้านกฤษฎานคร 25
	ถนนประชาร่วมใจ
	แขวงทรายกองดินใต้
	เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร
	10510
โทรศัพท์	(02) 9169065
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน
	ประชารัฐบำรุง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์จันทบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
ปริญญาตรี	สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
	ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา
คติพจน์	ปัญหาก่อให้เกิดปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นางสาวพนิดา หาญสงคราม
วันเดือนปีเกิด	17 พฤษภาคม 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	925 หมู่ 8 ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280
ที่อยู่ปัจจุบัน	197 หมู่ 4 ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280
โทรศัพท์	-
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเอี่ยมสุรีย์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลเทคนิคกรุงเทพ
ปริญญาตรี	สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	ทุนงบประมาณ
คติพจน์	นกทุกตัวบินได้ แต่จะมีสักกี่คนที่บินได้ไกลที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้