

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ

ENGLISH CHARACTERS RECOGNITION SYSTEM



T104189

ภาควิชา  
วิศวกรรมโทรคมนาคม

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว  
(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ



โดย

นายเฉลิมพันธ์	สี่ประเสริฐสิทธิ	48010163
นางสาวณัฐธิดา	วงษ์ทน	48010254
นางสาวทิวกาล	แซ่ตั้ง	48010325

เลขหมู่.....  
 เลขทะเบียน...104189  
 วัน,เดือน,ปี... 3 0 ต.ค. 2552

b.....  
 i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ

ENGLISH CHARACTERS RECOGNITION SYSTEM

โดย

นายเฉลิมพันธ์	สื่อประเสริฐสุทธิ	48010163
นางสาวณัฐธิดา	วงษ์ทน	48010254
นางสาวทิวกาล	แซ่ตั้ง	48010325

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

ผศ.อักรพล ตีร์รัตน์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ  
ENGLISH CHARACTERS RECOGNITION SYSTEM

โดย นายเฉลิมพันธ์ สื่อประเสริฐสิทธิ์ 48010163  
นางสาวณัฐริดา วงษ์ทน 48010254  
นางสาวทิวกาล แซ่ตั้ง 48010325

อาจารย์ที่ปรึกษา คร.สรวัฒน์ ชิวปรีชา  
ผศ.อัศวพล ตร์รัตน์

**บทคัดย่อ**

โครงการระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ เป็นการจัดเก็บข้อมูลจากหน้ากระดาษ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะสามารถวิเคราะห์และรู้จำภาพตัวอักษรที่ปรากฏอยู่บนเอกสาร ผ่านระบบการรู้จำตัวอักษร ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน เพื่ออำนวยความสะดวกและรวดเร็วต่อผู้ใช้งานมากกว่าการพิมพ์ข้อมูลผ่านทางแป้นพิมพ์เพียงอย่างเดียว โดยใช้กระบวนการ การประมวลผลภาพ และโครงข่ายประสาทเทียมในการทำงาน

**ABSTRACT**

This project proposes "English Characters Recognition System" which store data from source paper by training a computer to analyze and recognize the image of characters. It takes easy to use this system to deal with documents instead of typing characters again by using the process of Image Processing and Artificial Neural Networks.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง ระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ

English Characters Recognition System

ผู้จัดทำ

1. นายเฉลิมพันธ์ สือประเสริฐสุทธิ 48010163
2. นางสาวณัฐธิดา วงษ์ทน 48010254
3. นางสาวทิวกาล แซ่ตั้ง 48010325

  
\_\_\_\_\_  
(ดร.ศรวัตน์ จิวปรีชา) อาจารย์ที่ปรึกษา

  
\_\_\_\_\_  
(ผศ.อัศวพล ตีร์รัตน์) อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ</b>	
2.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)	2
2.1.1 รูปร่างของภาพ (Image Pattern)	2
2.1.2 มาตรฐานของสี (Color Standard)	3
2.1.3 เทอร์ชโฮลด์ (Threshold)	5
2.1.4 การแยกบรรทัดตัวอักษร (Text Line Extraction)	5
2.1.5 การแยกตัวอักษร (Character Segmentation)	6
2.2 หลักการพื้นฐานของการทรานสฟอร์ม	8
2.2.1 สมการของการทรานสฟอร์ม	8
2.2.2 การแปลงแบบคอสคริต โคไซน์ (Discrete Cosine Transform)	9
2.2.3 การแปลงคอสคริต โคไซน์ 2 มิติ (2 Dimensions Discrete Cosine Transform)	12
2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)	16
2.3.1 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ (Activation Function)	18
2.3.2 กฎการเรียนรู้ของเพอร์เซพตรอน	19
2.3.3 กฎการเรียนรู้ของเซลล์	20
2.3.4 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว (Neural Network single layer)	22
2.3.5 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ (Neural Network Multilayer)	23
2.3.6 ปังจี้ที่ทำให้ประสิทธิภาพการสอน โครงข่ายด้วยวิธี Back Propagation เพิ่มขึ้น	26
2.3.7 นิวรอลเน็ตเวิร์คกับพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์	28
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	
3.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)	33
3.2 การแยกคุณลักษณะเฉพาะจากข้อมูลภาพ (Feature extraction)	41
3.3 การรู้จำตัวอักษร โดยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)	45
3.3.1 การฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียม (Training)	45
3.3.2 การนำค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้งาน (Working)	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
4.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)	52
4.2 การรู้จำตัวอักษรโดยโครงข่ายประสาทเทียม	57
4.3 การแสดงผล GUI (Graphic User Interface)	66
<b>บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง</b>	
5.1 บทสรุป	70
5.2 บทวิจารณ์	70
5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ	71
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข.	
บรรณานุกรม	



## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	กลุ่มของพิกเซลที่เรียงกันเป็นตัวอักษร	2
รูปที่ 2.2	ปริภูมิสี RGB	3
รูปที่ 2.3	ระบบสี RGB รูปแบบเมตริกซ์	4
รูปที่ 2.4	ความเข้มแสง 256 ระดับ	4
รูปที่ 2.5	เมตริกซ์สัมประสิทธิ์การแปลงดิสครีตโคไซน์	11
รูปที่ 2.6	ลักษณะของการแปลงดิสครีตโคไซน์ของบล็อกข้อมูลขนาด 5×5 พิกเซลจากข้อมูลทั้งหมด	12
รูปที่ 2.7	บล็อกโคอะแกรมของการแปลงดิสครีตโคไซน์แบบ 2 มิติ	13
รูปที่ 2.8	บล็อกโคอะแกรมของการแปลงดิสครีตโคไซน์แบบ 1 มิติ ตามแนวนอน	13
รูปที่ 2.9	บล็อกโคอะแกรมการทรานสโพลบล็อกข้อมูล	14
รูปที่ 2.10	บล็อกโคอะแกรมของการแปลงดิสครีตโคไซน์แบบ 1 มิติ ตามแนวตั้ง	14
รูปที่ 2.11	ภาพต้นแบบก่อนทำการแปลงดิสครีตโคไซน์	15
รูปที่ 2.12	ภาพของค่าสัมประสิทธิ์ดิสครีตโคไซน์หลังทำการแปลง	15
รูปที่ 2.13	บล็อกขนาด 5×5 ที่นำมาคูณกับรูปที่ 2.10	15
รูปที่ 2.14	ผลลัพธ์ของสัมประสิทธิ์จากการคูณด้วยบล็อกในรูปที่ 2.13	16
รูปที่ 2.15	ภาพหลังจากการแปลงกลับดิสครีตโคไซน์	16
รูปที่ 2.16	แบบจำลองหลักของ Artificial Neural Network (ANN)	17
รูปที่ 2.17	Activation Function ชนิดต่างๆ (ก) Threshold Logic (ข) Bipolar Binary (ค) Linear Threshold (ง) Sigmoid (จ) Bipolar Continuous หรือ Hyperbolic Tangent Function	18
รูปที่ 2.18	โครงสร้างนิวโรลเน็ตเวิร์คแบบเพอร์เซพตรอน	19
รูปที่ 2.19	โครงสร้างกฎการเรียนรู้ของเซลล์	20
รูปที่ 2.20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดพลาดต่ำสุดและค่าถ่วงน้ำหนัก	22
รูปที่ 2.21	นิวโรลเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว	22
รูปที่ 2.22	โครงสร้างของนิวโรลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์	23
รูปที่ 2.23	การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันแอคติเวชัน	26
รูปที่ 2.24	ทิศทางการเคลื่อนที่ของการปรับค่าถ่วงน้ำหนักกับปัญหาของ Local Minima จุด A และ B	28
รูปที่ 2.25	โครงสร้างนิวโรลเน็ตเวิร์คสำหรับพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์	29
รูปที่ 2.26	กราฟการแยกจำพวกของกลุ่มแพทเทิร์นของพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์สำหรับสองฮิตเดนยูนิต	30
รูปที่ 2.27	แผนภูมิการทำงานของการแพร่กระจายกลับอัลกอริทึม	31

รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.2	แผนภูมิการทำงานของการแปลงภาพอินพุตเป็นภาพขาว-ดำ	33
รูปที่ 3.3	แสดงอินพุตซึ่งเป็นภาพหน้าเอกสารตัวอักษรขนาดประมาณ 24 พอยท์	34
รูปที่ 3.4	แสดงภาพหลังการแปลงให้เป็นภาพแบบขาว-ดำ (Gray Scale Image)	34
รูปที่ 3.5	แผนภูมิการทำงานของการแปลงภาพขาว-ดำเป็นภาพแบบไบนารี	35
รูปที่ 3.6	แสดงภาพหลังการแปลงให้เป็นภาพแบบไบนารี (Binary Image)	35
รูปที่ 3.7	แผนภูมิการทำงานของการแบ่งขอบเขตบรรทัด	36
รูปที่ 3.8	แสดงภาพหลังการแบ่งขอบเขตบรรทัด	36
รูปที่ 3.9	แผนภูมิการทำงานของการเก็บค่าขอบบนและขอบล่าง	37
รูปที่ 3.10	แสดงผลแต่ละบรรทัดและการแบ่งขอบเขตตัวอักษร	38
รูปที่ 3.11	แผนภูมิการทำงานของการแบ่งขอบเขตตัวอักษร	39
รูปที่ 3.12	แผนภูมิการทำงานของการเก็บค่าขอบซ้ายและขอบขวา	40
รูปที่ 3.13	แสดงตำแหน่งขอบซ้ายและขอบขวาของแต่ละตัวอักษร	41
รูปที่ 3.14	แสดงภาพและช่วงเว้นวรรคที่ได้จากขั้นตอนการหาค่าเว้นวรรค	41
รูปที่ 3.15	ภาพต้นแบบก่อนทำการแปลงดิสครีต โคซายน์	42
รูปที่ 3.16	ภาพของค่าสัมประสิทธิ์ดิสครีต โคซายน์หลังทำการแปลง	42
รูปที่ 3.17	บล็อกขนาด 5x5 ที่นำมาคูณกับรูปที่ 3.16	42
รูปที่ 3.18	ผลลัพธ์ของสัมประสิทธิ์จากการคูณด้วยบล็อกในรูปที่ 3.17	42
รูปที่ 3.19	ภาพหลังจากการแปลงกลับดิสครีต โคซายน์	43
รูปที่ 3.20	ภาพต้นแบบก่อนทำการแปลงดิสครีต โคซายน์	43
รูปที่ 3.21	ภาพของค่าสัมประสิทธิ์ดิสครีต โคซายน์หลังทำการแปลง	43
รูปที่ 3.22	บล็อกขนาด 5x5 ที่นำมาคูณกับรูปที่ 3.21	44
รูปที่ 3.23	ผลลัพธ์ของสัมประสิทธิ์จากการคูณด้วยบล็อกในรูปที่ 3.22	44
รูปที่ 3.24	ภาพหลังจากการแปลงกลับดิสครีต โคซายน์	44
รูปที่ 3.25	การนำข้อมูลรูปแบบตัวอักษรเข้าโครงข่ายประสาทเทียม	45
รูปที่ 3.26	แผนภูมิการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม	49
รูปที่ 3.27	แผนภูมินำค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้งาน ให้ประมวลผลรูปแบบตัวอักษรด้วยการเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII)	50
รูปที่ 3.28	ตารางเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII)	51
รูปที่ 4.1	แบบตัวอักษร Bookman Old Style	52

รูปที่ 4.2 แบบตัวอักษร Book Antiqua ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 แบบตัวอักษร Century Schoolbook	53
รูปที่ 4.4 แบบตัวอักษร Angsana New	53
รูปที่ 4.5 แสดงอินพุตภาพตัวอักษรจำนวน 75 ตัว จากทั้งหมด 4 แบบ ที่ใช้ในการเรียนรู้ (Training)	54
รูปที่ 4.6 โครงสร้างระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกสอน	57
รูปที่ 4.7 การทำงานของโหนดหนึ่งโหนดแบบแพร่กระจายป้อนกลับ (Back-propagation)	58
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MSE กับจำนวนรอบ (Iteration) ที่ทำการฝึกสอน โดยใช้จำนวนโหนดในฮิดเดนเลเยอร์เท่ากับ 30 โหนด	58
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MSE กับจำนวนรอบ (Iteration) ที่ทำการฝึกสอน โดยใช้จำนวนโหนดในฮิดเดนเลเยอร์เท่ากับ 50 โหนด	59
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MSE กับจำนวนรอบ (Iteration) ที่ทำการฝึกสอน โดยใช้จำนวนโหนดในฮิดเดนเลเยอร์เท่ากับ 70 โหนด	59
รูปที่ 4.11 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม แบบอักษร Batang (Test 1)	60
รูปที่ 4.12 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม แบบอักษร Times New Roman (Test 2)	61
รูปที่ 4.13 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม แบบอักษร Perpetua (Test 3)	62
รูปที่ 4.14 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม แบบอักษร Times New Roman (Test 4)	63
รูปที่ 4.15 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม แบบอักษร Palatino Linotype (Test 5)	64
รูปที่ 4.16 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม แบบอักษร Times New Roman (Test 6)	65
รูปที่ 4.17 หน้าต่าง GUI ที่ได้ในการแสดงผล	66
รูปที่ 4.18 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Browse Image เลือกรูปที่ต้องการ	67
รูปที่ 4.19 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Grayscale Image	67
รูปที่ 4.20 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Binary Image	67
รูปที่ 4.21 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Line Extraction	68
รูปที่ 4.22 หน้าต่าง GUI ในการเลือกตัดบรรทัดที่ 1 ของภาพ	68
รูปที่ 4.23 หน้าต่าง GUI ในการเลือกตัดบรรทัดที่ 2 ของภาพ	68

เมื่อรูปที่ 4.23 หน้าต่าง GUI ในการเลือกตัดบรรทัดที่ 2 ของภาพนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.24 หน้าต่าง GUI ในการแบ่งขอบเขตตัวอักษรบรรทัดที่ 1	69
รูปที่ 4.25 หน้าต่าง GUI ในการแบ่งขอบเขตตัวอักษรบรรทัดที่ 2	69
รูปที่ 4.26 แสดงผลที่เป็นตัวอักษรเมื่อกดปุ่ม Result	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คำศัพท์ของการทรานสฟอร์มในรูปแบบของฟังก์ชันตรีโกณมิติ	10
ตารางที่ 2.2 กลุ่มข้อมูลอินพุตแพทเทิร์นของพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์	29
ตารางที่ 3.1 การกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ 26 ตัว	46
ตารางที่ 3.2 การกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก 26 ตัว	47
ตารางที่ 3.3 การกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ตัวเลข 0-9, สัญลักษณ์ 12 รูปแบบ และช่องว่าง	48
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 1	60
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 2	61
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 3	62
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 4	63
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 5	64
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 6	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

เนื่องจากปัจจุบัน เป็นโลกแห่งเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก การรับรู้ข้อมูลข่าวสารก็เป็นที่ไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง ซึ่งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตถูกนำมาใช้เป็นที่กลางที่สามารถเข้าถึงผู้คนทั่วทุกมุมโลก โดยมีภาษาอังกฤษอันเป็นภาษาสากลเป็นตัวกลางในการสื่อสาร ทั้งนี้ ข้อมูลข่าวสารดังกล่าว ก็มีทั้งรูปแบบพอนต์ตัวอักษรซึ่งพร้อมที่จะนำไปใช้งานต่ออยู่แล้ว และรูปแบบภาพเอกสารตัวอักษร ซึ่งไม่สะดวกต่อการแก้ไขปรับปรุงเพิ่มเติม หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้ตามต้องการ

จากปัญหาดังกล่าว จึงเป็นที่มาของโครงการงาน “ระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ” ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการในการแก้ไข หรือปรับปรุงข้อมูลจากภาพเอกสารให้แสดงผลออกมาเป็นพอนต์ตัวอักษรด้วยการเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII) เพื่อนำไปใช้งานตามความต้องการต่อไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

พัฒนากระบวนการ การรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษจากภาพเอกสาร มีประโยชน์ในการช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน กล่าวคือ หากต้องการป้อนข้อมูลจากภาพเอกสารให้อยู่ในรูปแบบพอนต์ตัวอักษรที่แทนด้วยการเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII) ก็ไม่จำเป็นต้องป้อนข้อมูลผ่านทางแป้นพิมพ์เพียงอย่างเดียว แต่สามารถใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ทำงานแทน โดยอาศัยการประมวลผลภาพดิจิทัล และความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมในการทำงาน

### 1.2 ขอบเขตของโครงการงาน

กระบวนการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษครั้งนี้ ได้กำหนดรูปแบบการรู้จำตัวอักษรของระบบด้วยคุณลักษณะเฉพาะ ดังนี้

1. สามารถทำการแยกคุณลักษณะเฉพาะจากข้อมูลตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ ตัวพิมพ์เล็ก ตัวเลข และสัญลักษณ์พิเศษ 12 ตัว ที่มีขนาดตัวอักษรประมาณ 24 พอยท์หรือมากกว่า รวมถึงช่องว่างระหว่างคำและการขึ้นบรรทัดใหม่
2. ข้อมูลที่ป้อนจากหน้าเอกสารจะไม่ปรากฏรูปภาพอื่นใด ยกเว้นส่วนของตัวหนังสือซึ่งมีความคมของลายเส้นชัดเจน รวมถึงรูปแบบเอกสารเป็นแบบคอลัมน์เดียว
3. แบบอักษรภาพที่คัดเลือกมา เป็นอักษรที่นิยมใช้กันบ่อยจากเอกสาร โดยทั่วไป ซึ่งอาจจะครอบคลุมไม่ได้ทั้งหมด
4. ไม่ใช้วากยสัมพันธ์หรืออรรถศาสตร์จำพวกโปรแกรมตรวจสอบการสะกดคำจากพจนานุกรมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ทั้งนี้ การใช้งานโปรแกรมระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ จะอยู่ในรูปแบบของ GUI (Graphic User Interface) เพื่ออำนวยความสะดวกในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ

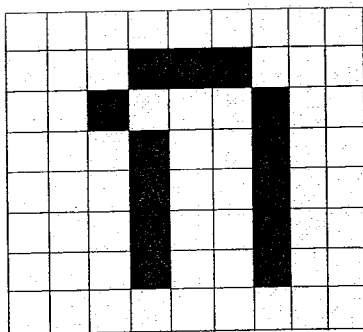
### 2.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) คือ การประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณลักษณะรูปภาพ 2 มิติ จะเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (Digital format) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้จัดผ่านกระบวนการต่าง ๆ ด้วยดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้ ในระบบของดิจิทัล อินพุตและเอาต์พุตของระบบจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้น โดยที่ข้อมูลซึ่งเป็นรูปภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปแบบของตัวเลข ภาพเหล่านี้ได้จากการสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ สำหรับจุดประสงค์ของการประมวลผลภาพดิจิทัล คือ การแยกแยะข้อมูลที่สำคัญออกจากภาพ

การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital Image Analysis) คือ การอธิบายถึงลักษณะที่มีความสำคัญ รวมถึงการจดจำข้อมูลภาพดิจิทัล ซึ่งอินพุตของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิทัลและเอาต์พุตจะเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิทัล ในการวิเคราะห์ภาพนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การทำงานของตามนุษย์ (Human Vision) ซึ่งการมองเห็นของตามนุษย์นับว่าเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งจะให้ข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับใช้ในางง่าย ๆ ตัวอย่างเช่น การจดจำวัตถุ แต่สำหรับงานที่มีความซับซ้อน ได้แก่ การพัฒนางานทางด้านความคิด กระบวนการจดจำ และการวิเคราะห์ จำเป็นต้องใช้กระบวนการทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย

#### 2.1.1 รูปร่างของภาพ (Image Pattern)

โดยทั่วไปวัตถุที่อยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น มีรูปร่างที่ต่างกันออกไป ทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ในการประมวลผลภาพนั้น การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Image Model) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการจัดเก็บข้อมูลจะอยู่ในรูปของตัวแปรอาร์เรย์ (Array) โดยค่าในแต่ละช่องของอาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (Pixel: ย่อมาจาก Picture element บางทีเรียก Pel) และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 มาตรฐานของสี (Color Standard)

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกัน คือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ในสเปซ (Space) 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้น ในสเปซซึ่งแต่ละแกนจะมีอิสระต่อกัน

#### 1) ระบบสี RGB

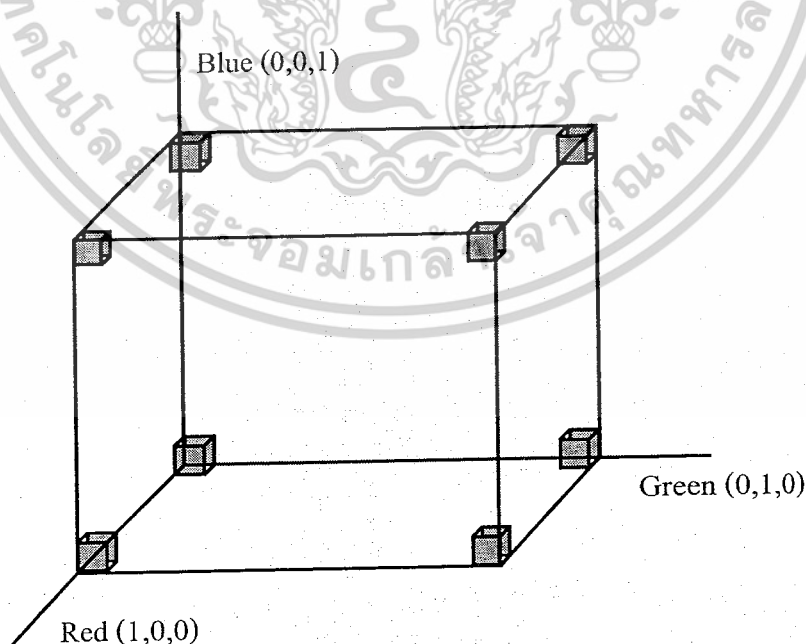
ระบบสี RGB เป็นระบบที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน ในรูปภาพสีแต่ละพิกเซล  $C(m, n) = \{R, G, B\}$  แทนด้วย 3 องค์ประกอบสี ถ้าแต่ละองค์ประกอบสีมี  $K$  ระดับและสามารถแทนด้วย

$$k = \log_2 K \text{ (บิต)} \quad (2.1)$$

แต่ละพิกเซลจะแทนได้ด้วย  $3k$  บิต และจำนวนบิตทั้งหมดของภาพนี้เท่ากับ

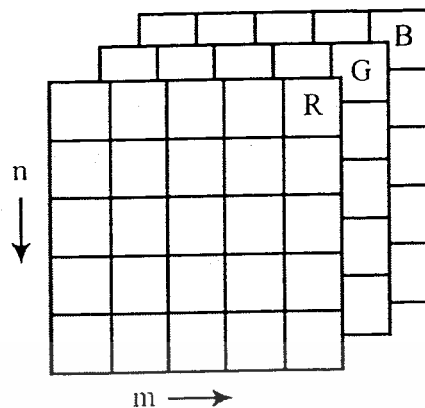
$$N = \text{จำนวนพิกเซล} \times \text{จำนวนบิต/พิกเซล} = 3mnk \text{ (บิต)} \quad (2.2)$$

ดังนั้นหากค่า  $K$  เท่ากันรูปภาพดิจิทัลสีจะมีจำนวนบิตเป็นสามเท่าของรูปภาพดิจิทัลขาวดำ ตัวอย่างเช่น หากรูปภาพสีขนาด 20 แถวและ 20 หลัค ค่า  $K = 256$  ระดับ แต่ละพิกเซลจะสามารถแทนได้ด้วย  $k = 3 \times \log_2 256 = 24$  บิต รูปภาพนี้สามารถแทนได้ด้วย 9,600 บิต



รูปที่ 2.2 ปริภูมิสี RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ระบบสี RGB รูปแบบเมตริกซ์

## 2) ระบบสี Grayscale

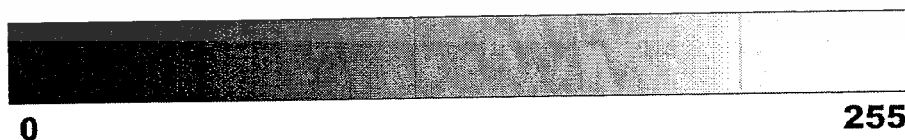
กระบวนการนี้จะพบว่า พิกเซลภาพแต่ละพิกเซลจะให้ค่าความเข้มของแสงออกมาเป็นตัวเลขที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เท่านั้น ช่วงข้อมูลดังกล่าวสามารถแทนด้วยข้อมูลขนาด 1 ไบต์ หรือ 8 บิต ที่จะให้ความละเอียด  $2^8$  หรือ 256 ระดับ ซึ่งทำให้ภาพที่เป็นโทนขาว-ดำ ถูกเรียกว่า Gray Scale Image ในรูปภาพขาว-ดำ แต่ละพิกเซล  $C(m, n)$  แทนด้วยเลขสีขาวยุคจำนวน  $K$  ระดับและสามารถแทนด้วย

$$k = \log_2 K \text{ (บิต)} \quad (2.3)$$

และจำนวนบิตทั้งหมดของภาพนี้เท่ากับ

$$N = \text{จำนวนพิกเซล} \times \text{จำนวนบิต/พิกเซล} = mnk \text{ (บิต)} \quad (2.4)$$

ตัวอย่างเช่น หากรูปภาพขาวดำขนาด 20 แถวและ 20 หลัก ค่า  $K = 256$  ระดับ ตั้งแต่สีขาวไปจนถึงสีดำ แต่ละพิกเซลจะสามารถแทนได้ด้วย  $k = \log_2 256 = 8$  บิต ดังนั้นรูปภาพนี้สามารถแทนได้ด้วย 3,200 บิต



รูปที่ 2.4 ความเข้มแสง 256 ระดับ

ฉะนั้นค่าสีขาว-ดำ (Gray Value) จะมีค่าตามสมการดังนี้

$$\text{Gray Scale} = (0.299 \times R) + (0.587 \times G) + (0.114 \times B) \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 เทรชโฮลด์ (Threshold)

ในงาน Image Processing การทำ Threshold ถือเป็นการลดขั้นตอนของการดำเนินงานให้ง่ายขึ้น และสามารถให้ประสิทธิภาพได้ดี โดยการแบ่งระดับสีจากภาพที่มีหลายระดับสี ซึ่งจะแปลงข้อมูลภาพขาว-ดำ (Gray Scale) ให้เป็นภาพไบนารี (Binary Image) มีกระบวนการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับ (Multilevel Image) เพื่อให้เกิดความแตกต่างบนภาพเพียง 2 ค่าเท่านั้นคือ 0 และ 1

Thresholding Technique คือ การพิจารณาจุดพิกเซล ว่าจุดใดควรจะเป็นจุดขาว หรือจุดใดควรจะเป็นจุดดำ โดยการเปรียบเทียบค่าแต่ละพิกเซล  $G(i, j)$  กับค่าคงที่ ที่เรียกว่า Threshold Value เทคนิคนี้นิยมใช้กันมากในกรณีที่ความแตกต่างของวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับภาพเอกสารตัวหนังสือ ที่มีพื้นหลังเป็นสีขาว และตัวอักษรเป็นสีดำ แต่ในที่นี้เราจะกำหนดทำให้บิตข้อมูลที่เป็นบิต 1 (สีขาว) แทนตัวอักษร และบิต 0 (สีดำ) แทนพื้นหลัง ตามสมการที่ (2.6) การกำหนดเช่นนี้ คือ การกำหนดค่าของพิกเซลว่าถ้าค่าใดค่าหนึ่งสูงกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลด์ที่ตั้งไว้ให้ค่าเป็นค่าหนึ่ง แต่ถ้าต่ำกว่าค่าเทรชโฮลด์ ให้ค่าเป็นอีกค่าหนึ่ง เมื่อภาพที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วจะได้ออกมาเป็นภาพไบนารี

$$B(i, j) = \begin{cases} 0, & G(i, j) \geq T \\ 1, & G(i, j) < T \end{cases} \quad (2.6)$$

ในการทำภาพไบนารีโดยการทำ Thresholding ให้ได้ภาพที่ดี จะต้องเลือกค่าเทรชโฮลด์ ให้ถูกต้องและเหมาะสม

### 2.1.4 การแยกบรรทัดตัวอักษร (Text Line Extraction)

การแยกบรรทัดตัวอักษร เริ่มด้วยการแบ่งขอบเขตของแต่ละบรรทัด ไม่ว่าจะภาพเอกสารหน้ากระดาษที่เป็นอินพุตจะมีกี่บรรทัดก็ตาม จากนั้นจะทำการเก็บค่าขอบบนไว้ในตัวแปรที่ 1 และเก็บค่าขอบล่างไว้ในตัวแปรที่ 2 โดยโครงงานนี้ จะแทนค่าด้วยตัวแปร T และ TT จากนั้นจะทำการเรียกใช้งานทีละบรรทัด ด้วยการเลือกขอบบนตำแหน่งที่ 1 จากตัวแปร T คู่กับขอบล่างตำแหน่งที่ 1 จากตัวแปร TT ไปเรื่อยๆ ตามลำดับ จนครบทุกบรรทัด แสดงรายละเอียดแต่ละขั้นตอน ดังต่อไปนี้

#### 1) การแบ่งขอบเขตบรรทัด

หาความกว้างและความสูงของภาพอินพุตหลังจากแปลงเป็นภาพไบนารีเรียบร้อยแล้ว โดยกำหนดให้  $m$  = จำนวนแถว (ความสูง) และ  $n$  = จำนวนคอลัมน์ (ความกว้าง)

ทำการนับจำนวนจุดพิกเซลสีขาว เริ่มตั้งแต่แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 1 ถึงคอลัมน์ที่  $n$  จากนั้นเลื่อนลงไปหนึ่งแถว เป็นแถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 1 ถึงคอลัมน์ที่  $n$  เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงแถวที่  $m$

ถ้าจำนวนจุดพิกเซลสีขาวของแถวไหน มีค่าเท่ากับจำนวนคอลัมน์  $n$  ซึ่งก็คือความกว้างของภาพอินพุตแล้ว ก็ทำการเปลี่ยนค่าจุดพิกเซลทั้งหมดของแถวนั้น จากสีขาวเป็นสีดำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) การเก็บค่าขอบบนและขอบล่างของแต่ละบรรทัด

### การเก็บค่าขอบบน

ทำการนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวที่ 1 พร้อมกับนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวที่ 2 จากนั้นเลื่อนลงไปหนึ่งแถว นับของแถวที่ 2 พร้อมกับแถวที่ 3 เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงแถวที่  $m-1$

ถ้าผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวใดๆ เท่ากับ 0 แต่ผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวถัดไปไม่เท่ากับ 0 แล้ว ให้เก็บค่าตำแหน่งแถวถัดไปเป็นขอบบนไว้ในตัวแปร  $T$  โดยจำนวนค่าทั้งหมดที่เก็บไว้ในตัวแปร  $T$  จะเท่ากับจำนวนบรรทัดทั้งหมดของภาพอินพุต

### การเก็บค่าขอบล่าง

ทำการนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวที่ 1 พร้อมกับนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวที่ 2 จากนั้นเลื่อนลงไปหนึ่งแถว นับของแถวที่ 2 พร้อมกับแถวที่ 3 เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงแถวที่  $m-1$

ถ้าผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวใดๆ ไม่เท่ากับ 0 แต่ผลรวมทุกพิกเซลในทุกคอลัมน์ของแถวถัดไปเท่ากับ 0 แล้ว ให้เก็บค่าตำแหน่งแถวใดๆ เป็นขอบล่างไว้ในตัวแปร  $TT$  โดยจำนวนค่าทั้งหมดที่เก็บไว้ในตัวแปร  $TT$  จะเท่ากับจำนวนบรรทัดทั้งหมดของภาพอินพุตเช่นเดียวกัน

## 3) การเรียกใช้งานแต่ละบรรทัด

หากกำหนดให้ภาพอินพุตมีจำนวนบรรทัดทั้งหมด  $y$  บรรทัด ดังนั้นจำนวนค่าที่เก็บในตัวแปร  $T$  (ขอบบน) และตัวแปร  $TT$  (ขอบล่าง) ก็ย่อมต้องมี  $y$  ค่าด้วยเช่นเดียวกัน การเรียกใช้งานบรรทัดใดๆ สามารถทำได้โดย เลือกค่าขอบบนที่ 1 จากตัวแปร  $T$  คู่กับค่าขอบล่างที่ 1 จากตัวแปร  $TT$  สำหรับบรรทัดที่หนึ่ง หรือเลือกค่าขอบบนที่ 2 จากตัวแปร  $T$  คู่กับค่าขอบล่างที่ 2 จากตัวแปร  $TT$  สำหรับบรรทัดที่สอง เช่นนี้เป็นต้น

### 2.1.5 การแยกตัวอักษร (Character Segmentation)

การแยกตัวอักษร เริ่มด้วยการแบ่งขอบเขตของแต่ละตัวอักษร ไม่ว่าจะบรรทัดที่เรียกใช้งานนั้นจะมีอักษรกี่ตัวก็ตาม จากนั้นจะทำการเก็บค่าขอบซ้ายไว้ในตัวแปรที่ 1 และเก็บค่าขอบขวาไว้ในตัวแปรที่ 2 โดยโครงงานนี้ จะแทนค่าด้วยตัวแปร  $L$  และ  $LL$  จากนั้นจะทำการเรียกใช้งานที่ละตัวอักษร ด้วยการเลือกขอบซ้ายตำแหน่งที่ 1 จากตัวแปร  $L$  คู่กับขอบขวาดำแหน่งที่ 1 จากตัวแปร  $LL$  ไปเรื่อยๆ ตามลำดับ จนครบทุกตัวอักษร แสดงรายละเอียดแต่ละขั้นตอน ดังต่อไปนี้

#### 1) การแบ่งขอบเขตตัวอักษร

หาความกว้างและความสูงของภาพบรรทัดใดๆ ก็ตามที่เลือกนำมาใช้งาน โดยกำหนดให้  $u$  = จำนวนแถว (ความสูง) และ  $v$  = จำนวนคอลัมน์ (ความกว้าง)

ทำการนับจำนวนจุดพิกเซลสีขาว เริ่มตั้งแต่คอลัมน์ที่ 1 แถวที่ 1 ถึงแถวที่  $u$  จากนั้น

เลื่อนไปหนึ่งคอลัมน์ เป็นคอลัมน์ที่ 2 แถวที่ 1 ถึงแถวที่  $u$  เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงคอลัมน์ที่  $v$  ประโยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าจำนวนจุดพิกเซลสีขาวของคอลัมน์ไหน มีค่าเท่ากับจำนวนแถว  $n$  ซึ่งก็คือความสูงของภาพบรรทัดแล้ว ก็จะทำการเปลี่ยนค่าจุดพิกเซลทั้งหมดของคอลัมน์นั้น จากสีขาวเป็นสีดำ

## 2) การเก็บค่าขอบซ้ายและขอบขวาของแต่ละตัวอักษร

### การเก็บค่าขอบซ้าย

ทำการนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ที่ 1 พร้อมกับนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ที่ 2 จากนั้นเลื่อนไปหนึ่งคอลัมน์ นับของคอลัมน์ที่ 2 พร้อมกับคอลัมน์ที่ 3 เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงคอลัมน์ที่  $v-1$

ถ้าผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ใดๆ เท่ากับ 0 แต่ผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ถัดไปไม่เท่ากับ 0 แล้ว ให้เก็บค่าตำแหน่งคอลัมน์ถัดไปเป็นขอบซ้ายไว้ในตัวแปร  $L$  โดยจำนวนค่าทั้งหมดที่เก็บไว้ในตัวแปร  $L$  จะเท่ากับจำนวนตัวอักษรทั้งหมดของภาพบรรทัดนั้นๆ

### การเก็บค่าขอบขวา

ทำการนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ที่ 1 พร้อมกับนับผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ที่ 2 จากนั้นเลื่อนไปหนึ่งคอลัมน์ นับของคอลัมน์ที่ 2 พร้อมกับคอลัมน์ที่ 3 เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงคอลัมน์ที่  $v-1$

ถ้าผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ใดๆ ไม่เท่ากับ 0 แต่ผลรวมทุกพิกเซลในทุกแถวของคอลัมน์ถัดไปเท่ากับ 0 แล้ว ให้เก็บค่าตำแหน่งคอลัมน์ใดๆ เป็นขอบขวาไว้ในตัวแปร  $LL$  โดยจำนวนค่าทั้งหมดที่เก็บไว้ในตัวแปร  $LL$  จะเท่ากับจำนวนตัวอักษรทั้งหมดของภาพบรรทัดนั้นๆ เช่นเดียวกัน

## 3) การเรียกใช้งานแต่ละตัวอักษร

หากกำหนดให้ภาพบรรทัดใดๆ มีจำนวนตัวอักษรทั้งหมด  $z$  ตัวอักษร ดังนั้นจำนวนค่าที่เก็บในตัวแปร  $L$  (ขอบซ้าย) และตัวแปร  $LL$  (ขอบขวา) ก็ย่อมต้องมี  $z$  ค่าด้วยเช่นเดียวกัน การเรียกใช้งานตัวอักษรใดๆ สามารถทำได้โดย เลือกค่าขอบซ้ายที่ 1 จากตัวแปร  $L$  คู่กับค่าขอบขวาที่ 1 จากตัวแปร  $LL$  สำหรับอักษรตัวที่หนึ่ง หรือเลือกค่าขอบซ้ายที่ 2 จากตัวแปร  $L$  คู่กับค่าขอบขวาที่ 2 จากตัวแปร  $LL$  สำหรับอักษรตัวที่สอง เช่นนี้เป็นต้น

## 4) การคำนวณหาค่าช่วงวันวรรคระหว่างคำ

การคำนวณหาค่าช่วงวันวรรคระหว่างคำ ซึ่งเก็บไว้ใช้ในการตัดสินใจว่าระยะห่างระหว่างตัวอักษรช่วงใด จัดว่าเป็นช่วงวันวรรคระหว่างคำ ทำได้โดย หาค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างตัวอักษรทุกตัวในบรรทัดนั้นๆ และเก็บค่าที่ได้ไว้ในตัวแปร  $avg$  ถ้าระยะห่างระหว่าง  $LL$  (ขอบขวา) ของอักษรตัวใดๆ กับ  $L$  (ขอบซ้าย) ของอักษรตัวถัดไป มีค่าน้อยกว่าค่าคงที่  $avg$  จะจัดว่าอักษรทั้งสองตัวเป็นคำเดียวกัน แต่ถ้ามีค่ามากกว่าค่าคงที่  $avg$  จะจัดว่าอักษรทั้งสองตัวนี้เป็นคนละคำกัน ดังนั้น ในขั้นตอนแสดงผลจึงต้องกำหนด

ค่าที่ต่อจากอักษรตัวแรกเป็นช่องว่าง (Space) จากนั้นจึงค่อยตามด้วยอักษรตัวถัดไป นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 หลักการพื้นฐานของการทรานสฟอร์ม

การลดข้อมูลด้วยวิธีการทรานสฟอร์มนั้น จะทำการแปลงข้อมูลอินพุตจากโดเมนหนึ่ง ให้อยู่ในรูปของโดเมนใหม่ โดยใช้วิธีการแปลงแบบต่างๆ เช่น การแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform) ในการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ของความถี่ จะทำให้ที่ความถี่ต่ำๆ มีพลังงานสูง และที่ความถี่สูงๆ พลังงานจะลดลงไป สำหรับข้อมูลภาพโดยทั่วไปนั้นจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นความถี่สูง คือส่วนที่เป็นรายละเอียดหรือขอบภายในภาพ และส่วนที่เป็นความถี่ต่ำ คือข้อมูลส่วนที่เป็นพื้นของภาพ ดังนั้น เมื่อต้องการลดข้อมูลให้ได้มาก ค่าของพลังงานความถี่สูงจะถูกตัดทิ้งไป ทำให้รายละเอียดส่วนที่เป็นขอบในภาพขาดหายไป ภาพที่ได้จะขาดความคมชัด

การแปลงที่ใช้ในการลดข้อมูลภาพมีอยู่หลายวิธี เช่น การแปลงฟาสฟูรีเยร์ (Fast Fourier) การแปลงฮาร์ (Haar Transform) การแปลงคาร์ฮูเนนเลิฟ (Karhunen Loeve Transform) การแปลงวอลซ์-ฮาดามาร์ด (Walsh - Hadamard Transform) การแปลงดิสครีตโคไซน์ (Discrete Cosine Transform) การแปลงดิสครีตไซน์ (Discrete Sine Transform) เป็นต้น ซึ่งแต่ละแบบของการแปลงก็มีข้อดีข้อเสียต่างกัน แต่ที่นิยมใช้ในการลดขนาดของข้อมูลมากที่สุด คือ การแปลงดิสครีตโคไซน์ ตัวอย่างการใช้งานของการแปลงดิสครีตโคไซน์ คือ การลดขนาดของข้อมูลแบบ JPEG และ MPEG

### 2.2.1 สมการของการทรานสฟอร์ม

การทรานสฟอร์มทั้งหมดที่กล่าวถึงนี้จะกล่าวถึงการทรานสฟอร์มที่เป็นเชิงเส้นซึ่งสามารถเขียนสมการของการทรานสฟอร์มแบบ 1 มิติ (1D Forward Transform) ได้ดังนี้

$$\theta_n = \sum_{i=0}^{N-1} X_i a_{n,i} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\theta_n$  คือลำดับการทรานสฟอร์ม (Transform Sequence)

$X_i$  คือลำดับของอินพุต (Original Sequence)

$a_{n,i}$  คือสัมประสิทธิ์การทรานสฟอร์ม

สามารถเขียนสมการของการอินเวอร์สทรานสฟอร์มแบบ 1 มิติ (1D Inverse Transform) ได้ดังนี้

$$X_n = \sum_{i=0}^{N-1} \theta_i b_{n,i} \quad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.7) สามารถเขียนสมการการทรานสฟอร์ม 1 มิติ ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\theta = CX \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.8) สามารถเขียนสมการการอินเวอร์สทรานสฟอร์ม 1 มิติ ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$X = D\theta \quad (2.10)$$

โดย เมตริกซ์  $\theta, X$  มีขนาด  $N \times 1$   
เมตริกซ์  $C, D$  มีขนาด  $N \times N$

จากข้อมูลแบบ 2 มิติ สามารถเขียนสมการของการทรานสฟอร์มแบบ 2 มิติ (2D Forward Transform) ได้ดังนี้

$$\Theta_{k,l} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} X_{i,j} a_{k,i} a_{k,j} \quad (2.11)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.11) สามารถเขียนสมการการทรานสฟอร์ม 2 มิติในรูปเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$\Theta = CXC^T \quad (2.12)$$

สามารถเขียนสมการการอินเวอร์สทรานสฟอร์ม 2 มิติ ในรูปเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$X = D\Theta D^T \quad (2.13)$$

โดย  $D = C^{-1} = C^T$

หรือสามารถเขียนสมการการอินเวอร์สทรานสฟอร์ม 2 มิติ ในรูปเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$X = C^T \Theta C \quad (2.14)$$

โดย  $\Theta$  คือเอาต์พุตของการทรานสฟอร์ม เป็นเมตริกซ์ขนาด  $N \times N$   
 $C, D$  คือสัมประสิทธิ์ของการทรานสฟอร์ม เป็นเมตริกซ์ขนาด  $N \times N$   
 $X$  คืออินพุตของการทรานสฟอร์ม เป็นเมตริกซ์ขนาด  $N \times N$

### 2.2.2 การแปลงแบบดิสกรีตโคซายน์ (Discrete Cosine Transform)

การแปลงดิสกรีตโคซายน์ คือ การแปลงข้อมูลที่อยู่ในสเปซเรียล (Spatial Domain) ให้อยู่ใน

รูปแบบของโดเมนความถี่ เพื่อทำให้ค่าที่ได้ออกมาเป็นอิสระต่อกัน และลดขนาดของข้อมูลลงให้ค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานส่วนใหญ่ของข้อมูลอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ โดยการแปลงแบบดิสครีตโคซายน์ จะเป็นการแปลงแบบเชิงเส้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงคงที่ และค่าที่ได้ในโดเมนความถี่จะมีเฉพาะจำนวนจริงเท่านั้น ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ที่จะใช้การแปลงแบบดิสครีตโคซายน์จะเป็นข้อมูลจากภาพนิ่ง หรือเป็นภาพเคลื่อนไหว อินพุตที่เข้ามาจะถูกแยกเป็นบล็อกเล็กๆ โดยส่วนมากแล้วขนาดของบล็อกจะมีค่าเป็นเลขยกกำลังสอง เช่น 4, 8, 16

ในกรณีของการแปลงดิสครีตโคซายน์ ค่าสัมประสิทธิ์ของการทรานสฟอร์มสามารถหาได้ดังนี้

$$[C]_{i,j} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} \cos\left(\frac{(2j+1)i\pi}{2N}\right) & i=0, j=0,1,\dots,N-1 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos\left(\frac{(2j+1)i\pi}{2N}\right) & i=1,2,\dots,N-1, j=0,1,\dots,N-1 \end{cases} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $N$  คือ ขนาดของบล็อก ( $N=2^n, n=2,3,4,\dots$ )

จากสมการที่ (2.15) สามารถเขียนค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงดิสครีตโคซายน์ให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ ขนาด  $N \times N$  เมื่อ  $N=5$  ได้ดังนี้

$$C = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{1}{\sqrt{5}} & \dots & \frac{1}{\sqrt{5}} \\ \sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{\pi}{10}\right) & \sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{3\pi}{10}\right) & \dots & \sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{9\pi}{10}\right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{2\pi}{5}\right) & \sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{6\pi}{5}\right) & \dots & \sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{18\pi}{5}\right) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

จากค่าสัมประสิทธิ์ของการทรานสฟอร์มในสมการที่ (2.16) สามารถเขียนแทนค่าฟังก์ชันตรีโกณมิติดังกล่าวด้วยตัวแปรได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของการทรานสฟอร์มในรูปแบบของฟังก์ชันตรีโกณมิติ

ค่าสัมประสิทธิ์	ฟังก์ชันโคไซน์ (cosine)
$C_1$	$\sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{\pi}{10}\right)$
$C_2$	$\sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{\pi}{5}\right)$
$C_3$	$\sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{3\pi}{10}\right)$
$C_4$	$\sqrt{\frac{2}{5}} \cos\left(\frac{2\pi}{5}\right)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ C4 ับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.9) เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การแปลงดิสครีตโคซายน์ ในสมการที่ (2.16) แล้วสามารถเขียนแสดงในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y(0) \\ y(1) \\ y(2) \\ y(3) \\ y(4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{1}{\sqrt{5}} \\ C_1 & C_3 & 0 & -C_3 & -C_1 \\ C_2 & -C_4 & -1 & -C_4 & C_2 \\ C_3 & -C_1 & 0 & C_1 & -C_3 \\ C_4 & -C_2 & 1 & -C_2 & C_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.5 เมตริกซ์สัมประสิทธิ์การแปลงดิสครีตโคซายน์

สมการที่ใช้สำหรับการแปลงดิสครีตโคซายน์ (Forward Discrete Cosine Transform) ยังสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของผลบวกของผลคูณของอินพุตกับค่าสัมประสิทธิ์ได้ดังนี้

1 มิติ

$$y(n) = e(n) \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos \left[ \frac{(2k+1)n\pi}{2N} \right] ; n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.17)$$

2 มิติ

$$y(m, n) = \frac{4}{N^2} e(m) e(n) \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} x(k, l) \cos \left[ \frac{(2k+1)n\pi}{2N} \right] \cos \left[ \frac{(2l+1)m\pi}{2N} \right] \quad (2.18)$$

$$m = 0, 1, \dots, N-1$$

$$n = 0, 1, \dots, N-1$$

$$e(n) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & ; n = 0 \\ 1 & ; \text{Others} \end{cases}$$

$$e(m) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & ; m = 0 \\ 1 & ; \text{Others} \end{cases}$$

สมการการแปลงกลับของดิสครีตโคซายน์ (Inverse Discrete Cosine Transform) สามารถแสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าได้ดังนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 มิติ

$$x(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e(n) y(n) \cos\left(\frac{(2k-1)n\pi}{2N}\right) \quad ; \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.19)$$

2 มิติ

$$x(k, l) = \frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} e(m) e(n) y(m, n) \cos\left(\frac{(2k-1)m\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2l-1)n\pi}{2N}\right) \quad (2.20)$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

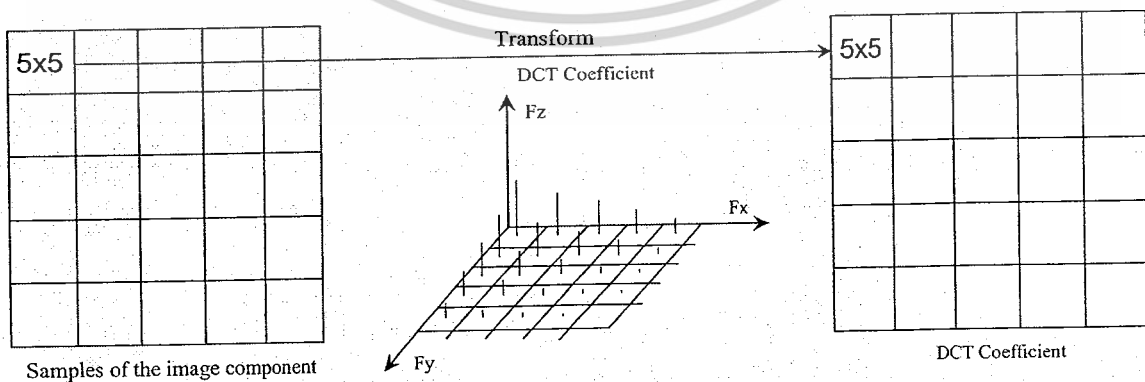
$$l = 0, 1, \dots, N-1$$

$$e(n) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & ; \quad n = 0 \\ 1 & ; \quad \text{Others} \end{cases}$$

$$e(m) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & ; \quad m = 0 \\ 1 & ; \quad \text{Others} \end{cases}$$

### 2.2.3 การแปลงดิสครีตโคซายน์ 2 มิติ (2 Dimensions Discrete Cosine Transform)

โครงการนี้จะทำการศึกษาข้อมูลภาพโดยยกตัวอย่างของข้อมูลภาพ Gray - Scale และ ไบนารี ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกย่อยๆ ขนาด  $N \times N$  พิกเซล เพื่อที่จะทำการแปลงดิสครีตโคซายน์แบบ 2 มิติ (2D Discrete Cosine Transform) ที่ละจุดจนครบทุกบล็อกทั้งหมดในข้อมูลภาพ ผลของการทรานสฟอร์มแต่ละบล็อกจะได้ข้อมูลที่มีความสำคัญสูง (เทอมความถี่ต่ำ) อยู่ในด้านมุมซ้ายบนโดยที่ตำแหน่ง (0, 0) เป็นองค์ประกอบของ DC ส่วนที่เหลือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่ำ (เทอมความถี่สูง) เป็นองค์ประกอบของ AC กระจายออกไปตามแกน x และ y ดังที่แสดงในรูปที่ 2.6



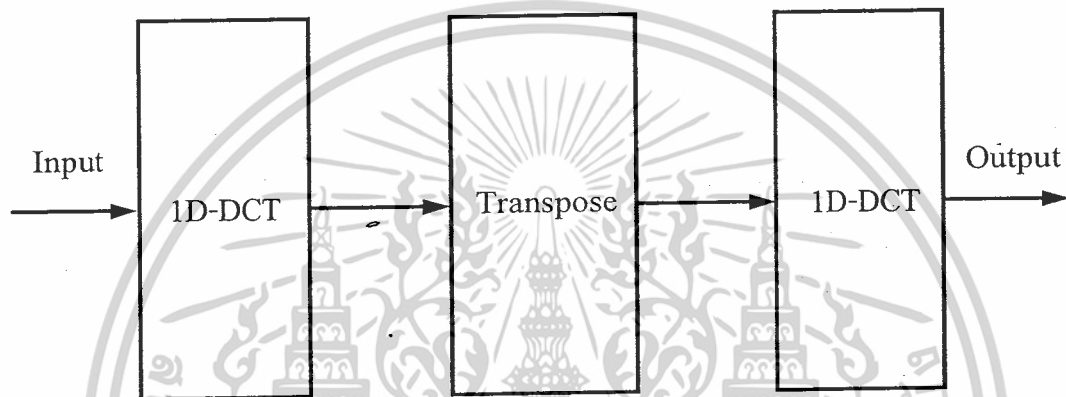
รูปที่ 2.6 ลักษณะของการแปลงดิสครีตโคซายน์ของบล็อกข้อมูลขนาด 5x5 พิกเซลจากข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการแปลงคิสคริตโคซายน์ของข้อมูลภาพแต่ละบล็อกที่แสดงในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าผลของข้อมูลที่มีความสำคัญสูง (มีค่ามาก) อยู่ในเทอมความถี่ต่ำ ส่วนเทอมความถี่สูง (มุมล่างด้านขวาของเมตริกซ์) จะมีค่าของข้อมูลน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมความถี่ต่ำที่มีความสำคัญมากกว่า แต่ก็ยังคงมีความสำคัญอยู่บ้าง ถ้านำข้อมูลที่ได้จากการแปลงคิสคริตโคซายน์ ไปผ่านการควอนไทซ์ ทำให้ข้อมูลบริเวณความถี่สูงมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ช่วยให้สามารถลดขนาดของข้อมูลลงได้

การแยกการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 2 มิติ ให้เป็นการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 1 มิติ จำนวน 2 ครั้ง อธิบายโดยใช้บล็อกไดอะแกรมดังแสดง ในรูปที่ 2.7

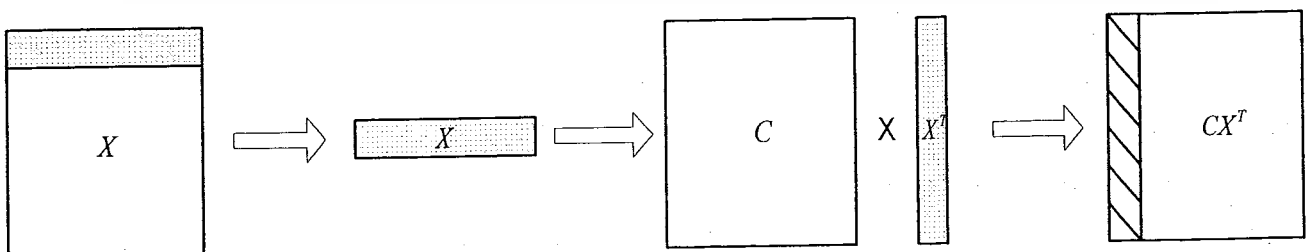


รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 2 มิติ

การแยกการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 2 มิติ ให้เป็นการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 1 มิติ จำนวน 2 ครั้ง สามารถอธิบายการทำงาน ได้ดังนี้

#### 1. การแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 1 มิติ ตามแนวนอนของเมตริกซ์

การนำข้อมูลตามแนวนอน 1 มิติ ขนาด  $1 \times N$  จากข้อมูลเริ่มต้น 2 มิติ ขนาด  $N \times N$  มาทำการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 1 มิติ ทีละแถว จนครบทั้งหมด  $N$  แถว สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 1 มิติ ตามแนวนอนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังรูปที่ 2.8

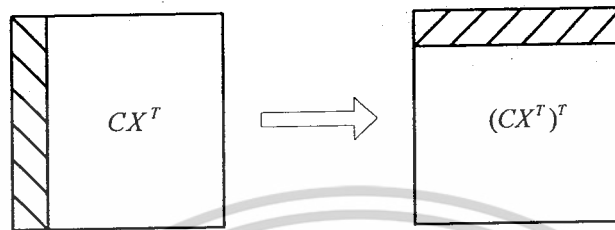


รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมการแปลงคิสคริตโคซายน์แบบ 1 มิติ ตามแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การทรานสโพลบล็อกข้อมูลที่ได้จากการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ

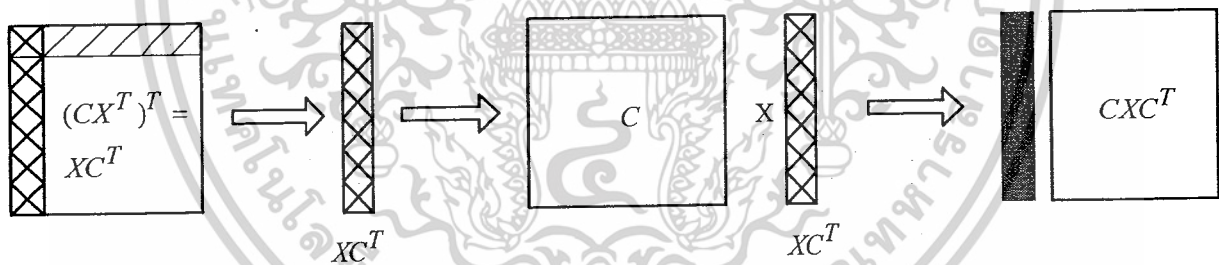
การนำข้อมูลตามแนวอนที่ ได้จากการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ มาทำการทรานสโพล เพื่อนำเข้าไปเป็นอินพุตของการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติตามแนวตั้ง สามารถแสดง บล็อกไดอะแกรมของการทรานสโพล ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมการทรานสโพลบล็อกข้อมูล

## 3. การแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ ตามแนวตั้งของเมตริกซ์

การนำข้อมูลตามแนวตั้ง 1 มิติ ขนาด  $1 \times N$  จากข้อมูลที่ได้จากการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ ในส่วนที่ 1 โดยเริ่มต้นที่ 2 มิติ ขนาด  $N \times N$  มาทำการแปลงคิสคริตโคชายน์ 1 มิติที่ละหลัก จนครบ ทั้งหมด  $N$  หลัก สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ ตามแนวตั้งใน รูปของเมตริกซ์ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ ตามแนวตั้ง

ผลลัพธ์จากการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 2 มิติ โดยใช้การแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ จำนวน 2 ครั้ง คือ

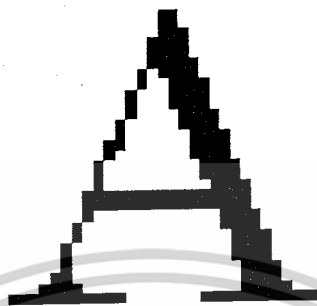
$$\begin{aligned} Y &= C(CX^T)^T \\ Y &= C(X^T)^T C^T \\ Y &= CXC^T \end{aligned} \quad (2.21)$$

จากการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 2 มิติ โดยใช้การแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 1 มิติ จำนวน 2

ครั้ง ดังในสมการที่ (2.21) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับการแปลงคิสคริตโคชายน์แบบ 2 มิติ ในสมการที่ (2.12) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขอรับการคำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

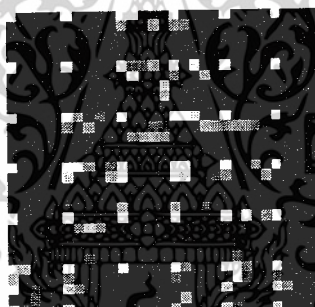
#### 4. การนำการแปลงแบบดิสครีตโคซายน์ไปใช้งาน

ตัวอย่างการประมวลผลภาพด้วยการแปลงดิสครีตโคซายน์ จากภาพที่ 2.11 คือภาพต้นแบบที่จะนำมาทำการแปลงดิสครีตโคซายน์ ซึ่งมีขนาดภาพ  $30 \times 30$  พิกเซล



รูปที่ 2.11 ภาพต้นแบบก่อนทำการแปลงดิสครีตโคซายน์

หลังจากการแปลงดิสครีตโคซายน์ด้วยบล็อกย่อยๆ ขนาด  $5 \times 5$  พิกเซล ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงดิสครีตโคซายน์ดังรูปที่ 2.12



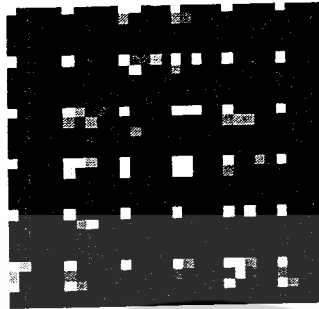
รูปที่ 2.12 ภาพของค่าสัมประสิทธิ์ดิสครีตโคซายน์หลังทำการแปลง

จากรูปที่ 2.12 เก็บค่าของสัมประสิทธิ์ดิสครีตโคซายน์ในบางค่า เพื่อจำลองลดข้อมูลของภาพ โดยจะนำบล็อกย่อยๆ ขนาด  $5 \times 5$  พิกเซล มาคูณกับรูปที่ 2.12 โดยทำการคูณในตำแหน่งที่เป็นพิกเซลต่อพิกเซล โดยบล็อกขนาด  $5 \times 5$  พิกเซล มีข้อมูลดังรูปที่ 2.13

1	1	1	1	0
1	1	1	0	0
1	1	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.13 บล็อกขนาด  $5 \times 5$  ที่นำมาคูณกับรูปที่ 2.12 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.13 การเก็บค่าสัมประสิทธิ์ดิสครีตโคซายน์เพียงบางค่าที่สำคัญ โดยการเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่มุมขวาบนไปเพียง 10 ค่าเท่านั้น หลังการคูณด้วยบล็อกกรุปที่ 2.13 ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ผลลัพธ์ของสัมประสิทธิ์จากการคูณด้วยบล็อกกรุปในรูปที่ 2.13

หลังจากนำค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดของภาพดังรูปที่ 2.14 มาทำการแปลงกลับจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ภาพหลังจากการแปลงกลับดิสครีตโคซายน์

หลังจากการแปลงกลับจะเห็นได้ว่าภาพจะเพี้ยนไป แต่ก็ยังคงสภาพภาพต้นฉบับไว้ และสิ่งที่สำคัญก็คือ ขนาดของข้อมูลภาพจะลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ ซึ่งในกรณีนี้ภาพต้นแบบมีขนาด  $30 \times 30$  พิกเซล ต้องทำการเก็บข้อมูลภาพถึง 900 พิกเซล เมื่อผ่านการแปลงดิสครีตโคซายน์แล้ว การเก็บข้อมูลภาพทำการเก็บเพียง  $\left(\frac{30}{5}\right) \times \left(\frac{30}{5}\right) \times 10 = 360$  พิกเซลเท่านั้น หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ  $\left(\frac{360}{900}\right) \times 100 = 40\%$

### 2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

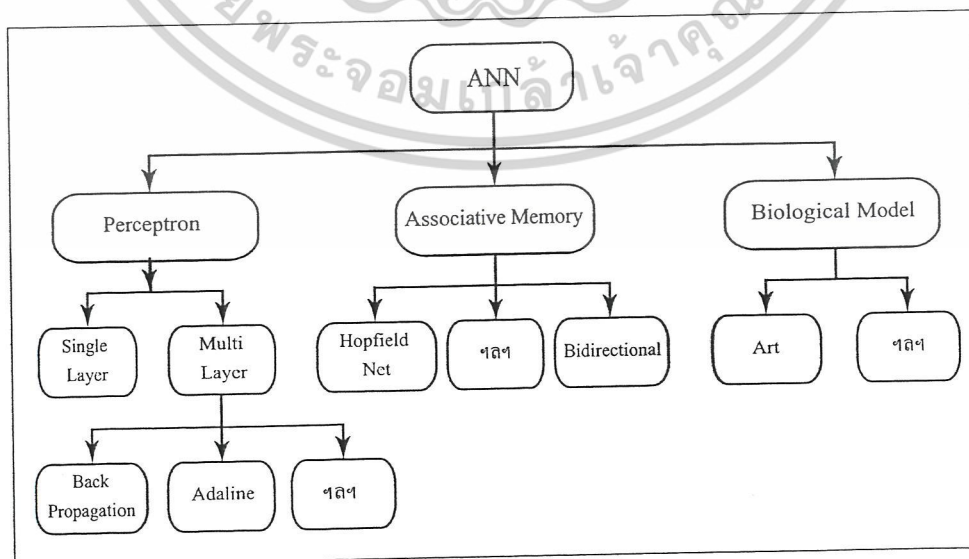
โครงข่ายประสาทเทียม หรือ Artificial Neural Network (ANN) เป็นชื่อแขนงหนึ่งในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ในการที่จะพยายามเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ เฉพาะงานที่คอมพิวเตอร์ยังทำไม่ได้ หรือทำได้ไม่ดี อาทิเช่น การอ่านหนังสือ การจัดหมวดหมู่สิ่งของ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ทางสาขาชีววิทยาและสาขาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบการทำงานของสมองมนุษย์ก็เอกลำดับเป็นเอกลักษณ์ของคลื่นไฟฟ้าที่เรียกว่าสัญญาณเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังไม่สามารถบรรยายละเอียดทั้งหมดของกลไกการทำงานของสมองมนุษย์ได้ ส่งผลให้นักวิชาการทางวิทยาการคอมพิวเตอร์เสนอรูปแบบและวิธีการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ออกมามากมาย โดยมีเป้าหมายที่ความสามารถของแบบจำลองให้เหมือนการทำงานด้วยมนุษย์มากที่สุด

องค์ประกอบของสมองมนุษย์นั้นประกอบด้วยเซลล์ประสาท หรือนิวรอน ประมาณ  $10^{11}$  ตัว โดยที่เซลล์ประสาทหนึ่งๆ มีเส้นเชื่อมโยงต่อไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ ประมาณ  $10^4$  ตัว และเวลาในการเปลี่ยนข้อมูลระหว่างนิวรอน อยู่ในลำดับของ  $10^{-3}$  วินาที นับว่าช้ามากเมื่อเทียบกับเวลาในการเปลี่ยนข้อมูลของคอมพิวเตอร์ เพียง  $10^{-10}$  วินาทีเท่านั้น อย่างไรก็ตามสมองมนุษย์สามารถประมวลผลได้เร็วมาก เช่น คนเราสามารถจำหน้าแม่ของตนเองได้ภายในเวลา  $10^{-4}$  วินาที ซึ่งน่าจะต้องผ่านการทำงานเป็นร้อยๆ ขั้นตอนกว่าที่จะได้คำตอบว่านี่คือหน้าของแม่เรา และเมื่อเทียบกับเวลาในการทำงานของแต่ละนิวรอนแล้ว จึงเกิดการตั้งสมมติฐานขึ้นว่า การทำงานของนิวรอนในสมองมนุษย์นั้น น่าจะใช้การประมวลผลแบบขนานขั้นสูง (Highly Parallel Processes) ดังนั้นการที่จะจำลองเซลล์ประสาทและการต่อเชื่อมโยงทั้งหมดของสมองมนุษย์คงต้องใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่และสมรรถนะสูงมากและน่าจะต้องมีการนำการคำนวณแบบขนานเข้ามารวมด้วย

การนำ ANN มาประยุกต์ใช้งานนั้นแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือขั้นตอนการฝึกสอน (Training) หรือเรียนรู้ (Learning) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือใช้งานจริง ซึ่งในขั้นตอนการฝึกสอนนั้นมีการพัฒนาและเสนอรูปแบบจำลองการเรียนรู้ออกมามากมายซึ่งพอจะแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning Algorithm) และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning Algorithm)

ในปัจจุบันนี้มีแบบจำลองของ ANN มากทั้งที่เป็นแบบมีผู้สอน และไม่มีผู้สอน นอกจากนี้ยังมีบางรูปแบบที่ผสมผสานทั้งสองรูปแบบเข้ามามีด้วยกัน ซึ่งแบบจำลองที่ได้รับความนิยมค่อนข้างมากแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ เพอร์เซพตรอน (Perceptron) การเชื่อมโยงหน่วยความจำ (Associative Memory) และแบบจำลองทางชีววิทยา (Biological Model) ดังรูปที่ 2.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

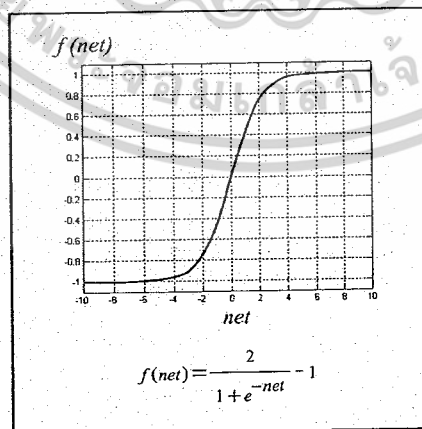
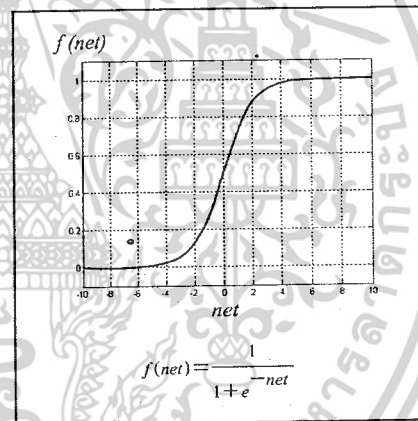
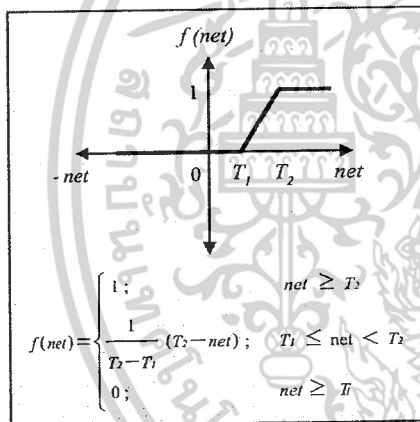
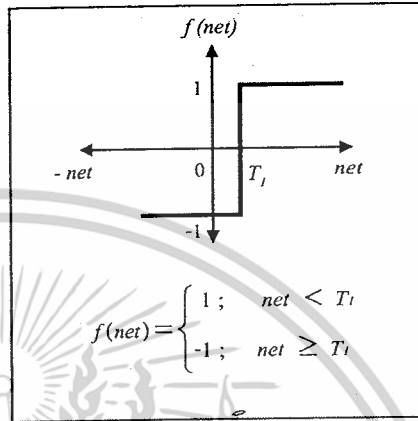
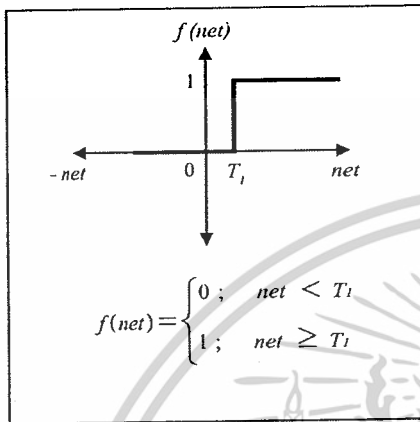
รูปที่ 2.16 แบบจำลองหลักของ Artificial Neural Network (ANN)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ฟังก์ชันกระตุ้นความสนใจ (Activation Function)

Activation Function มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ ชนิดที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.17

กำหนดให้  $net = w'x = \sum_{i=1}^n w_i x_i$  และ  $T_1, T_2$  เป็นค่าเทรชโฮลด์



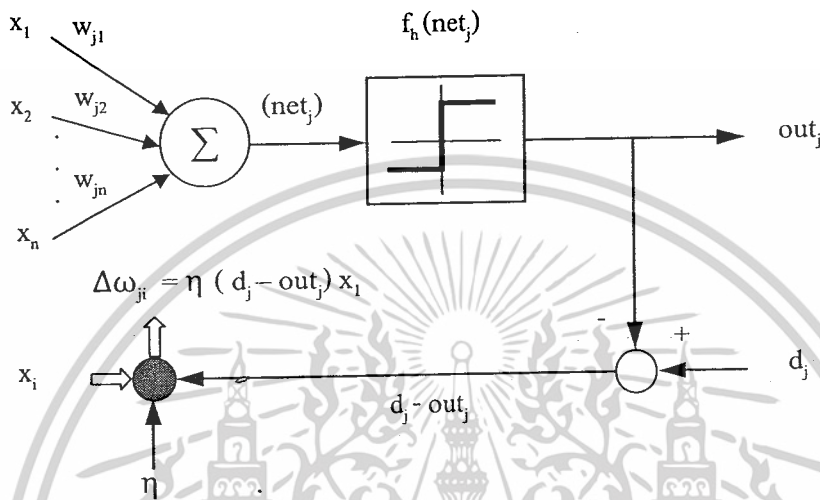
รูปที่ 2.17 Activation Function ชนิดต่างๆ (ก) Threshold Logic (ข) Bipolar Binary

(ค) Linear Threshold (ง) Sigmoid (จ) Bipolar Continuous หรือ Hyperbolic Tangent Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้จะรับเอาไปใช้บนสื่อหรือพิมพ์ออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะมีความผิดตามกฎหมายลิขสิทธิ์

### 2.3.2 กฎการเรียนรู้ของเพอร์เซพตรอน

เน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวจะมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน สามารถเรียนรู้ที่จะจดจำและแยกแยะแพทเทิร์นอย่างง่ายได้ ทฤษฎีที่จะนำมาใช้กับเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวคือ กฎการเรียนรู้ของเพอร์เซพตรอนแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Perceptron Learning Rule) ถูกค้นพบโดย Rosenblatt 1958 ดังในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 โครงสร้างนิรอลเน็ตเวิร์คแบบเพอร์เซพตรอน

จากรูปที่ 2.18 ผลรวมของค่าอินพุตแพทเทิร์น ( $x_1, \dots, x_n$ ) ในเลเยอร์  $i$  คูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก  $w_{ij}$  จะถูกส่งผ่านไปยังแอกติเวชันฟังก์ชันแบบฮาร์ดลิมิต ได้ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณ  $out_j$  ในเลเยอร์  $j$  ซึ่งค่าเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 1 หรือ 0 ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น จากนั้นค่าเอาต์พุตจะถูกนำไปคำนวณเพื่อปรับค่าตัวเลขน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

$$net_j = \sum_{i=1}^n x_i w_{ji} + \theta_j \tag{2.22}$$

$$out_j = f_h(net_j) \tag{2.23}$$

การปรับค่าตัวเลขน้ำหนักจะได้ว่า

$$\Delta w_{ji} = \eta (d_j - out_j) x_i \tag{2.24}$$

$$= \eta \left[ d_j - f_h\left(\sum_i x_i w_{ji} + \theta_j\right) \right] \tag{2.25}$$

และกำหนดตัวแปรค่าผิดพลาดการเรียนรู้  $err$  ดังนี้

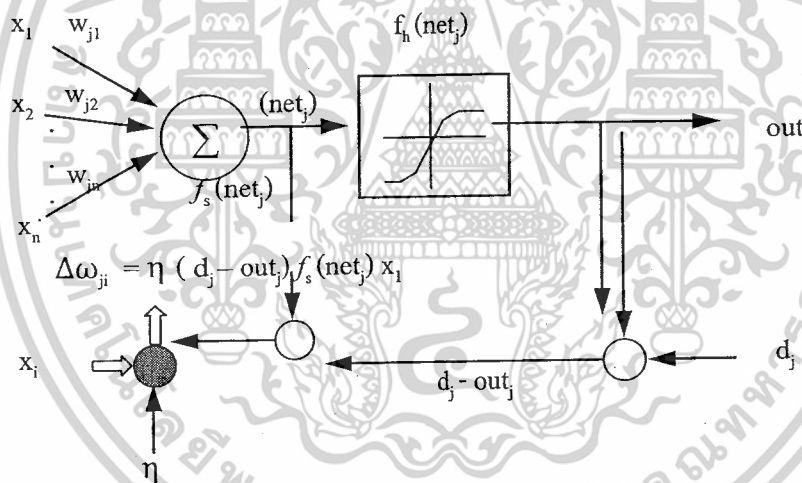
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $err = d_j - out_j$  ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (2.26)

โดย  $f_h$  คือแอกติเวชันฟังก์ชัน แบบฮาร์ดลิมิต  
 $\theta_j$  คือค่าเทรชโฮลด์สำหรับเลเยอร์  $j$   
 $\Delta w_{ji}$  คือค่าตัวเลขน้ำหนักระหว่างเลเยอร์  $i$  และ  $j$   
 $\eta$  คือค่าคงที่การเรียนรู้  
 $d_j$  คือค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการในเลเยอร์  $j$

สังเกตว่า  $\Delta w_{ji}$  จะเท่ากับ 0 ก็ต่อเมื่อค่า  $out_j$  มีค่าเข้าใกล้  $d_j$

### 2.3.3 กฎการเรียนรู้ของเดลต้า

กฎการเรียนรู้ของเดลต้า (Delta Learning Rule) ถูกค้นพบโดย McClelland และ Rumelhart (1986) โดยทฤษฎีนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า กฎการเรียนรู้แบบต่อเนื่องของเพอร์เซพตรอน (Continues Perceptron Learning Rule) โดยจะใช้แอกติเวชันฟังก์ชันแบบต่อเนื่องของซิกมอยด์ ดังรูปที่ 2.17 (ง) ซึ่งอาศัยการเรียนรู้แบบมีครูสอนดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 โครงสร้างกฎการเรียนรู้ของเดลต้า

ทฤษฎีการเรียนรู้สามารถพิสูจน์ได้จากเงื่อนไขของค่าความผิดพลาดกำลังสองต่ำสุด  $E$  (Least Square Error) ระหว่างค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการ  $d_j$  และเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณ  $out_j$  สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (d_j - out_j)^2 \quad (2.27)$$

ซึ่งเท่ากับ

$$= \frac{1}{2} \sum_j \left[ (d_j - f(net_j))^2 \right] \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนที่สมัครเข้าเรียนในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

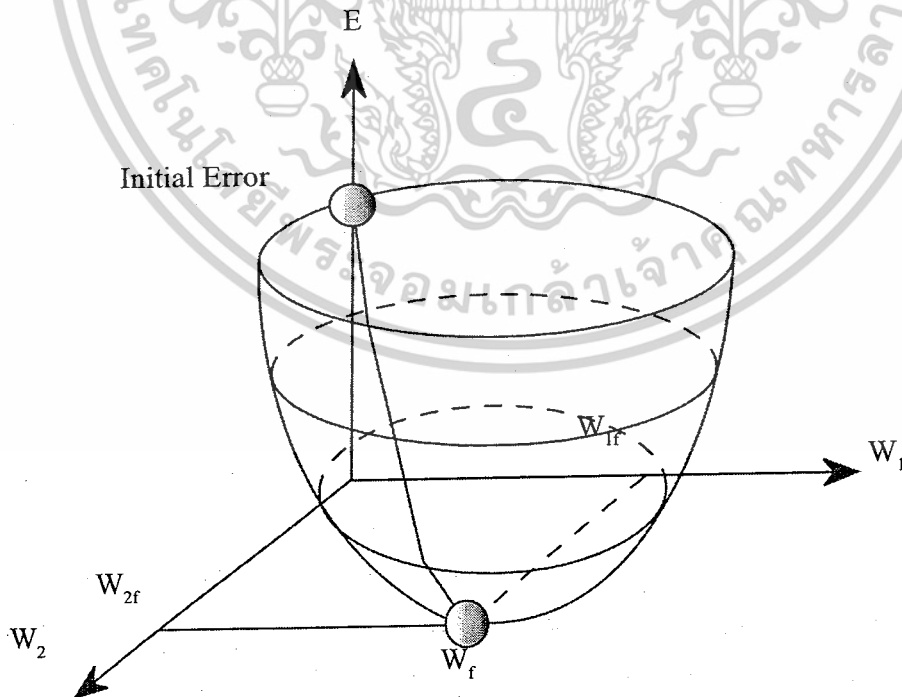
เพื่อให้ได้ค่าผิดพลาดต่ำสุดควรปรับเปลี่ยนตัวเลขน้ำหนักในทิศทางลบของ Gradient descent ได้ว่า

$$\Delta w_{ji}(t) = \eta (-\nabla E) \quad (2.29)$$

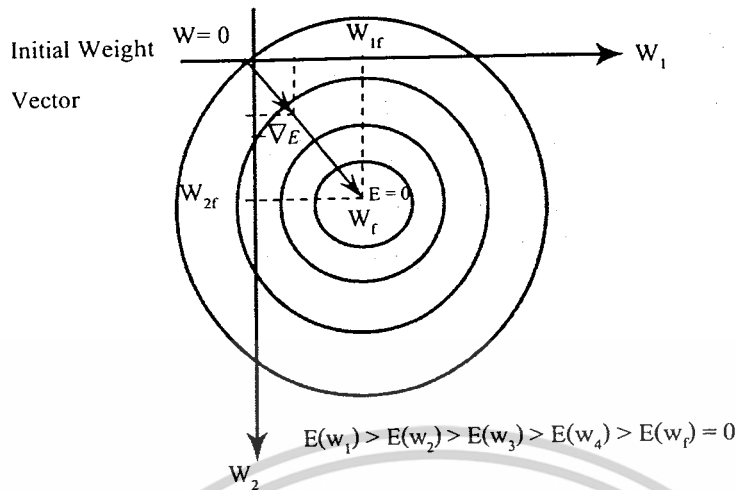
$$= \eta f'_s(\text{net}_j)(d_j - \text{out}_j)x_i \quad (2.30)$$

โดย $\Delta w_{ji}(t)$	คือค่าตัวเลขน้ำหนักที่เปลี่ยนไปตามเวลา $t$ ระหว่างเลเยอร์ $i$ และ $j$
$\eta$	คือค่าคงที่การเรียนรู้
$f_s$	คือแอกติเวชันฟังก์ชันแบบซิกมอยด์
$f'_s$	คือการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของแอกติเวชันฟังก์ชันแบบซิกมอยด์
$\nabla E$	คือ Gradient vector ของค่าผิดพลาด $E$

กราฟที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี Gradient Descent ในทิศทางลบ แสดงในรูปที่ 2.20 โดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น  $w_1$  และ  $w_2$  เป็น 0 พิจารณากราฟที่เกิดขึ้นระหว่างค่าผิดพลาด  $E$  และค่าถ่วงน้ำหนัก  $w_1$  และ  $w_2$  จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่าถ่วงน้ำหนักจะถูกปรับเปลี่ยนไปจนกระทั่งได้ค่าผิดพลาดต่ำสุด  $E$  เท่ากับ ศูนย์ เมื่อค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ  $w_f$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และได้วางแบบเพื่อมิให้อ่านหรือคัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาต  
 (ก) กราฟค่าผิดพลาดต่ำสุดขณะเลื่อนนิรอลเน็ตเวิร์คเปลี่ยนไปตามเวลาใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

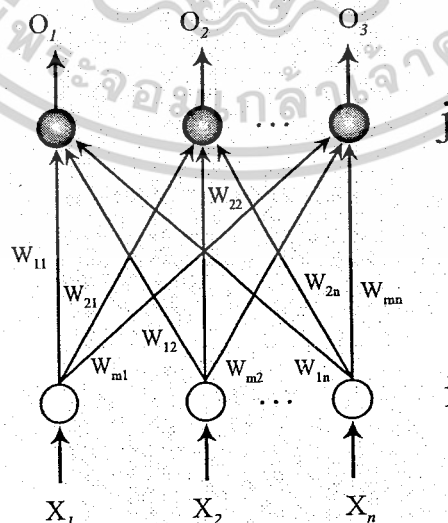


(ข) วงรอบแบบชั้นของค่าผิดพลาดต่ำสุดในทิศทาง Gradient

รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดพลาดต่ำสุดและค่าถ่วงน้ำหนัก

### 2.3.4 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบเลเยอร์เดียว (Neural Network Single Layer)

วิธีการทำงานของนิวรอลเพียงโหนดเดียวซึ่งเทียบได้กับเซลล์เพียงเซลล์เดียว หากประกอบกันเป็นหลายเซลล์ จะต้องให้นิวรอลแต่ละตัวเชื่อมต่อถึงกันทำให้เกิดเป็นเน็ตเวิร์กที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ เรียกว่าเลเยอร์ (Layer) ในหนึ่งเลเยอร์สามารถมีจำนวนนิวรอลได้มากกว่า 1 นิวรอลดังแสดงในรูปที่ 2.21 ภายในเลเยอร์เดียวกันจะไม่มี การเชื่อมต่อถึงกัน และนิวรอลที่มีเลเยอร์สูงกว่าจะรับค่ามาจากเอาต์พุตของเลเยอร์ที่อยู่ต่ำกว่าเพื่อเป็นอินพุตของตัวเอง จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นว่า คุณสมบัติของนิวรอลทุกตัวที่อยู่ในเลเยอร์ที่ต่ำกว่าจะถูกถ่ายทอดไปยังนิวรอลในชั้นถัดไป



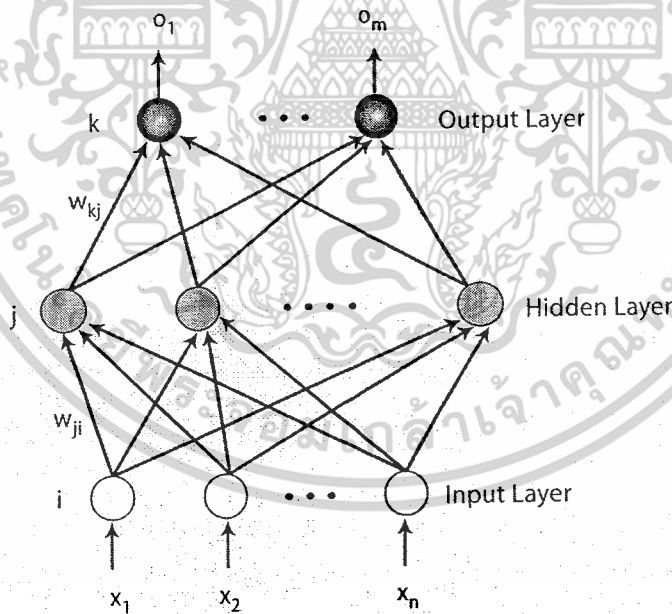
รูปที่ 2.21 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบเลเยอร์เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของนิวรอลที่ประกอบกันเป็นนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว โดยในเลเยอร์แรกหรืออินพุตเลเยอร์โดยแท้จริงแล้วไม่ใช่นิวรอล เพราะไม่มีการคำนวณอยู่ภายในแต่จะแสดงลักษณะการกระจายของค่าอินพุตให้กับนิวรอลในชั้นถัดไปเท่านั้น

### 2.3.5 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ (Neural Network Multilayer)

โครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ ประกอบด้วยเลเยอร์ตั้งแต่ 2 เลเยอร์ขึ้นไป ในลักษณะของเน็ตเวิร์คที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนกว่าเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวมาก อาจมองว่าเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์เกิดจากการรวมกันของเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวก็ได้ เอาต์พุตแพทเทิร์นในเลเยอร์หนึ่งจะเป็นค่าอินพุตของเลเยอร์ถัดไป ซึ่งเลเยอร์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตถูกเรียกว่า ฮิดเดนเลเยอร์ (Hidden layer) หรือเลเยอร์ภายใน (Internal layer) โดยค่าเอาต์พุตในเลเยอร์สุดท้ายจะถูกเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการ (Desired output) จากผู้สอน (Teacher) ผลลัพธ์ของค่าผิดพลาดในขณะฝึกสอนสามารถนำไปใช้ปรับค่าตัวเลขน้ำหนักของเน็ตเวิร์คให้เปลี่ยนแปลงในทิศทางที่จะใช้แยกกลุ่มของแพทเทิร์น และโครงสร้างของเน็ตเวิร์ค ในลักษณะนี้ถูกเรียกว่า โครงข่ายแบบป้อนไปหน้า (Feed-forward network) เนื่องจากสามารถสร้างเป็นเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ได้ ซึ่งจะตรงกันข้ามกับโครงข่ายแบบป้อนกลับ (Feedback network)



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์

รูปที่ 2.22 แสดงสถาปัตยกรรมพื้นฐานของเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ มีเลเยอร์ภายในโครงข่ายเพียงเลเยอร์เดียว วงกลมในรูปแสดงโหนดหรือนิวรอลและลูกศรจะแสดงทิศทางการเชื่อมต่อของการเคลื่อนที่ของสัญญาณระหว่างนิวรอลในแต่ละเลเยอร์ ซึ่งจะถูกแทนด้วยค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างนิวรอลและอีกโครงสร้างแบบหลายเลเยอร์นี้จะถูกนำไปใช้กับอัลกอริทึมของการแพร่กระจายกลับ (Back Propagation) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) การแพร่กระจายกลับ (Back Propagation)

หลักการของการแพร่กระจายกลับใช้สำหรับโครงสร้างเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ โดยการอาศัยประสบการณ์ที่ได้จากความรู้ของการแปลงสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาต์พุตภายในเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ด้วยรูปแบบการเรียนรู้แบบมีครูสอน เหมือนกรณีกฎการเรียนรู้ของเซลล์ที่ศึกษามาก่อนหน้านี้ ขั้นตอนการดำเนินการของการแพร่กระจายกลับประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนการป้อนไปหน้าอินพุตแพทเทิร์นจะถูกคำนวณผ่านเน็ตเวิร์คและสร้างเอาต์พุตที่แน่นอน และในส่วนการป้อนกลับนั้นค่าความแตกต่างระหว่างค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการ  $d_{pk}$  กับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณในเลเยอร์สุดท้าย  $o_{pk}$  จะสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดของแพทเทิร์น  $E_p$  และจะถูกแพร่กระจาย (Propagate) แบบป้อนกลับผ่านเน็ตเวิร์คเดิมเพื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนักของระบบ การทำงานจะเริ่มกระทำซ้ำในลักษณะเดิมอีกครั้งจนกระทั่งค่าผิดพลาดของระบบโดยรวม  $E$  น้อยกว่าค่าผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้  $E_a$  การเรียนรู้ของระบบจึงจะถือว่าสมบูรณ์

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k (d_{pk} - o_{pk})^2 \quad (2.31)$$

$$E = \frac{1}{P} \sum_p E_p \quad (2.32)$$

เพื่อให้ค่าผิดพลาดของระบบลดลงต่ำสุด  $E$  จะต้องให้ผลต่างกำลังสองระหว่างค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณ  $o_{pk}$  และค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการมีค่าเข้าใกล้ศูนย์แต่เนื่องจากค่า  $d_{pk}$  ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นต้องพยายามทำให้ค่า  $o_{pk}$  มีค่าเข้าใกล้  $d_{pk}$  มากที่สุด โดยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของค่าผิดพลาดสำหรับแพทเทิร์นกับค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไปในลักษณะเชิงเส้น

$$\Delta_p w_{kj} \propto -\frac{\partial E_p}{\partial w_{kj}} \quad (2.33)$$

เมื่อ

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \Delta_p w_{kj} \quad (2.34)$$

โดย  $w_{kj}(t+1)$  คือค่าตัวเลขน้ำหนักระหว่างเลเยอร์  $k$  ไปเลเยอร์  $j$  หลังจากปรับค่าแล้ว

$w_{kj}(t)$  คือค่าตัวเลขน้ำหนักระหว่างเลเยอร์  $k$  ไปเลเยอร์  $j$  ก่อนทำการปรับค่า

$\Delta_p w_{kj}$  คือค่าตัวเลขน้ำหนักที่เปลี่ยนไปได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเมื่อความชันของค่าความผิดพลาด ( $\partial E_p / \partial w_{kj}$ ) ลดลง จะมีผลทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไปลดลงด้วย วิธีการนี้จะกระทำซ้ำไปซ้ำมาจนได้ค่าที่ต้องการ จากสมการที่ (2.33) สามารถทำเป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\Delta_p w_{kj} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial w_{kj}} \quad (2.35)$$

โดย  $\eta$  เป็นค่าของอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 1.00 และจากสมการที่ (2.35) สามารถแสดงการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของ  $E_p$  เทียบกับ  $w_{kj}$  ดังนี้

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{kj}} = f'_k(\text{net}_{pk})(d_{pk} - o_{pk})o_{pj} \quad (2.36)$$

กำหนดให้

$$\delta_{pk} = f'_k(\text{net}_{pk})(d_{pk} - o_{pk}) \quad (2.37)$$

จะได้ว่า

$$\Delta_p w_{kj} = \eta \delta_{pk} o_{pj} \quad (2.38)$$

หากพิจารณาเพื่อหาค่าเปลี่ยนแปลงของตัวถ่วงน้ำหนัก  $\Delta_p w_{kj}$  ระหว่างฮิดเดนเลเยอร์กับอินพุตเลเยอร์ในลักษณะเดียวกันจะได้ว่า

กำหนดให้

$$\delta_{pj} = f'_j(\text{net}_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (2.39)$$

จะได้ว่า

$$\Delta_p w_{ji} = \eta \delta_{pj} o_{pi} \quad (2.40)$$

จากสมการที่ (2.38) และ (2.40) จะเห็นว่าค่าถ่วงน้ำหนักจะเปลี่ยนไปตามสัญญาณค่าผิดพลาด (Error signal) ของ  $\delta_{pk}$  และ  $\delta_{pj}$  ตามลำดับ และเนื่องจาก  $f'(\text{net})$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสมการแอกติเวชัน หากเลือกใช้ซิกมอยด์ฟังก์ชัน โดยกำหนดให้  $\beta$  เท่ากับ 1.0 จะได้ว่า

$$\text{net}_{pk} = \sum_j x_j w_{kj} + \theta_k \quad (2.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$o_{pk} = f_k(\text{net}_{pk}) = \frac{1}{1 + e^{-(\text{net}_{pk})}} \quad (2.42)$$

จะได้ว่า

$$f'_{pk}(net_{pk}) = o_{pk}(1 - o_{pk}) \quad (2.43)$$

$$net_{pj} = \sum_i x_i w_{ji} + \theta_j \quad (2.44)$$

$$o_{pj} = f_j(net_{pj}) = \frac{1}{1 + e^{-(net_{pj})}} \quad (2.45)$$

จะได้ว่า

$$f'_{j}(net_{pj}) = o_{pj}(1 - o_{pj}) \quad (2.46)$$

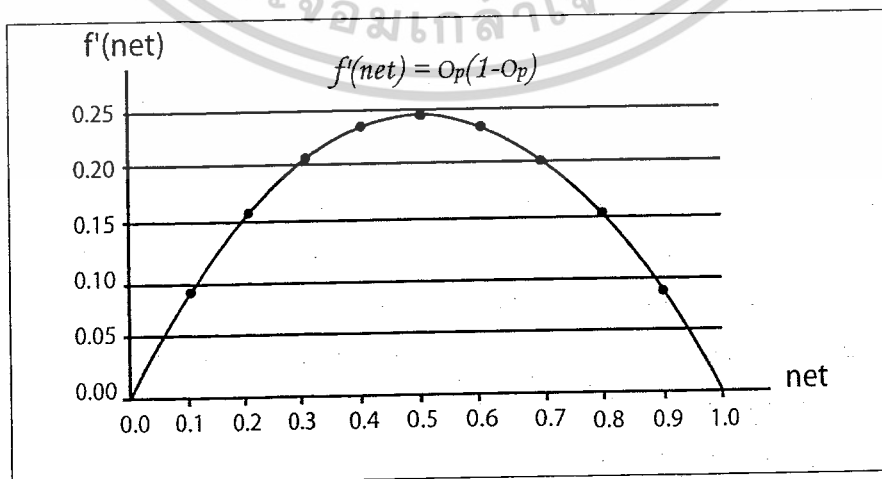
### 2.3.6 ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการสอนโครงข่ายด้วยวิธี Back Propagation เพิ่มขึ้นมีดังนี้

#### 1) การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก

ก่อนจะทำการสอนโครงข่ายเพอร์เซพตรอนหลายเลเยอร์ (Multilayer Perceptron) โดยวิธี Error Back Propagation จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นทุกชั้น โดยค่านี้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่มีค่าน้อยๆ ที่ได้จากการสุ่ม ค่าเริ่มต้นของเมตริกซ์เชื่อมโยงจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการสอนและอาจส่งผลถึงค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากที่ได้สอนโครงข่ายไปแล้วว่ามีศักยภาพมากน้อยเพียงใดในการแปลงข้อมูลอินพุต ไปสู่เอาต์พุต

#### 2) ความเหมาะสมของการกำหนดค่าเอาต์พุตในทางปฏิบัติ

จากสมการที่ (2.38) และ (2.40) สังเกตว่าการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะสัมพันธ์กับค่า  $\delta_{pk}$  และ  $\delta_{pj}$  ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันแอคติเวชันแบบซิกมอยด์ในสมการที่ (2.46) และ (2.49) ดังนั้นจะเห็นว่า  $o_p(1 - o_p)$  จะมีค่าสูงสุดเมื่อค่า  $o_p$  เท่ากับ 0.5 ค่าถ่วงน้ำหนักจะเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และ  $o_p(1 - o_p)$  จะมีค่าต่ำสุดเมื่อ  $o_p$  เท่ากับ 0 หรือ 1 (เมื่อ  $0 < o_p < 1$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.23 การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันแอคติเวชัน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะของฟังก์ชันแอกติเวชันแบบซิกมอยด์จะเห็นว่าระบบไม่สามารถเข้าถึงค่าจริงสูงสุดและต่ำสุดของค่า 1 และ 0 ได้โดยปราศจากค่าถ่วงน้ำหนักที่ใหญ่ไม่จำกัดขอบเขต (Infinity) ดังนั้นในทางปฏิบัติหากกำหนดค่าผิดพลาดต่ำสุดที่ยอมรับได้ของระบบเป็นศูนย์ ค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการอาจใช้ตามแบบอย่างค่า 0.1 และ 0.9 แทนได้ แม้ว่างานที่เราทำจะใช้ค่าไบนารี 0, 1 ก็ตาม

### 3) อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

อัลกอริทึมการเรียนรู้ของการแพร่กระจายกลับจะเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนของ  $\partial E_p / \partial w_p$  ในลักษณะ Gradient Descent ซึ่งทำงานแบบไม่จำกัดรอบในขณะเรียนรู้ ค่าคงที่ของอัตราการเรียนรู้ ( $\eta$ ) หากมีค่ามากจะเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักได้เร็ว สำหรับในทางปฏิบัติเสนอให้เลือกอัตราการเรียนรู้ที่มากเท่าที่เป็นไปได้ โดยปราศจากการนำไปสู่การแกว่ง (Oscillate) บางครั้งอาจทดลองโดยเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ไม่เช่นนั้นอาจจำเป็นต้องเพิ่มเทอมของโมเมนตัม (Momentum) ในสมการเดต้าของการแพร่กระจายกลับเพื่อแก้ปัญหานี้

### 4) การใช้ค่าโมเมนตัม

วิธีสำหรับพัฒนาเวลาในการฝึกสอนของการแพร่กระจายกลับอัลกอริทึมที่เรียกว่า โมเมนตัม ด้วยวิธีการเพิ่มตัวแปรการปรับค่าตัวเลขน้ำหนักซึ่งสัมพันธ์กับค่าตัวเลขน้ำหนักที่ใช้ก่อนหน้า

$$\Delta_p w(t) = \eta \delta_p o_p + \alpha \Delta_p w(t-1) \quad (2.47)$$

$$w(t+1) = w(t) + \Delta_p w(t) \quad (2.48)$$

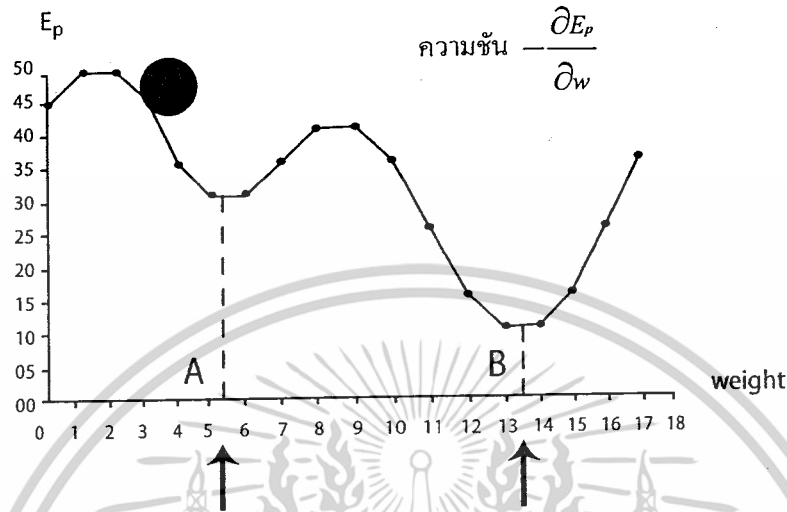
ซึ่ง  $\alpha$  เป็นสัมประสิทธิ์โมเมนตัม (Momentum coefficient) โดยทั่วไปมีค่าอยู่ประมาณ 0.9

การใช้วิธีของโมเมนตัมจะทำให้เนตเวิร์คของการฝึกสอนเข้าใกล้จุดต่ำสุดของพื้นผิวค่าผิดพลาด (Error surface) เร็วยิ่งขึ้น วิธีนี้จะทำงานได้ดีกับบางกรณี เนื่องจากการหาค่าที่เหมาะสมของโมเมนตัมจะขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี

### 5) ตำแหน่งต่ำสุดแบบโลคอล (Local Minima) ของการแพร่กระจายกลับ

แม้ว่าการประยุกต์ใช้การแพร่กระจายกลับอัลกอริทึมจะประสบความสำเร็จมากมาย แต่ก็ยังไม่ใช่วิธีแก้ได้ทุกปัญหา สำหรับปัญหาที่ซับซ้อนบางอย่างอาจใช้เวลาเป็นวันหรือเป็นอาทิตย์เพื่อให้เนตเวิร์คเรียนรู้และการสอนนานๆ อาจจะล้มเหลวเนื่องมาจากสาเหตุของตำแหน่ง Local Minima เพราะการแพร่กระจายกลับใช้หลักการของ Gradient Descent หมายความว่าความชันบนพื้นผิวค่าผิดพลาดจะเคลื่อนที่ในทิศทางที่ลดลง การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะเข้าหาจุดต่ำสุดแต่เนื่องจากพื้นผิวค่าผิดพลาดของเอกซ์เพนเดนเชียลไม่ราบเรียบ อาจมีหุบเขาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกซอสทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เน็ตเวิร์คที่ซับซ้อนมีการบิดเบี้ยว มีเนินเขา หุบเขาในที่ว่างของหลายมิติ เมื่อมีหุบเขาต่ำๆ ที่อยู่ใกล้กว่า เน็ตเวิร์คจึงมีโอกาสติดกับดักของตำแหน่งต่ำสุดท้องถิ่นดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ทิศทางการเคลื่อนที่ของการปรับค่าถ่วงน้ำหนักกับปัญหาของ Local Minima จุด A และ B

วิธีทางสถิติจะช่วยหลีกเลี่ยงกับดักนี้ Wasserman (1988) ได้เสนอวิธีการทางสถิติของ Cauchy Machine กับ Gradient Descent ของการแพร่กระจายกลับ เพื่อให้ได้ระบบที่สามารถค้นหาจุดต่ำสุดทั่วไป (Global minimum) โดยใช้เวลาในการฝึกสอนมากกว่าปกติ

#### 6) ความเสียหายจากค่าสมมาตร (Symmetry breaking)

ปัญหาอีกอย่างในอัลกอริทึมการเรียนรู้ของการแพร่กระจายกลับคือ เรื่องความเสียหายจากค่าสมมาตร หากมีการกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักทุกตัวมีค่าเท่ากัน ระบบจะไม่สามารถเรียนรู้ นั่นเป็นเพราะว่าทุกๆ ฮิดเดนยูนิตเชื่อมต่อโดยตรงไปยังอินพุตยูนิตในลักษณะแพร่ขยาย จะได้รับสัญญาณค่าผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าเดียวกัน ทำให้การปรับค่าถ่วงน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันเสมอ ระบบจะเริ่มเข้าสู่ Local Minima ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการแก้ปัญหาทำโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักแบบสุ่มขนาดเล็กๆ ให้แก่ระบบ

ต่อไปเราจะศึกษาการทำงานทฤษฎีการแพร่กระจายกลับอัลกอริทึมกับปัญหาของพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟเพื่อให้เห็นขั้นตอนในทางปฏิบัติและวิธีการนำไปใช้งานโดยทั่วไป

#### 2.3.7 นิวรอลเน็ตเวิร์คกับพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟ

จากตัวอย่างการทำงานของเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว ซึ่งโหนดของอินพุตยูนิตเชื่อมต่อโดยตรงกับเอาต์พุตยูนิต (เน็ตเวิร์คไม่มีฮิดเดนยูนิตหรือเลเยอร์ภายใน) ระบบสามารถเรียนรู้ชุดของข้อมูลอินพุต

จำนวนน้อยๆ จากตัวอย่างได้ง่ายๆ แต่ไม่ทุกกรณี เช่นตัวอย่างปัญหาของเอ็กซ์คลูซีฟ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 กลุ่มข้อมูลอินพุตแพทเทิร์นของพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟพอร์

Input Pattern		Output Pattern
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

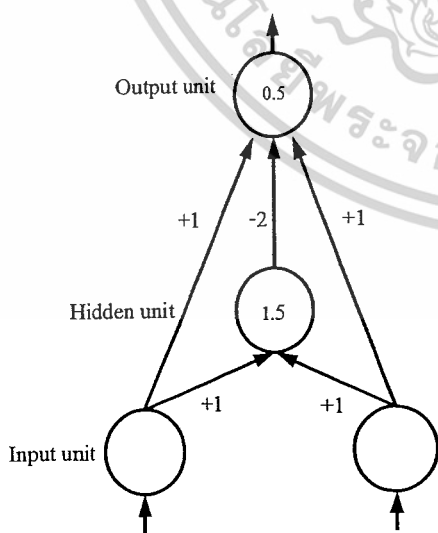
(ก) อินพุตแพทเทิร์นแบบที่ 1

Input Pattern			Output Pattern
0	0	1	0
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	1	0

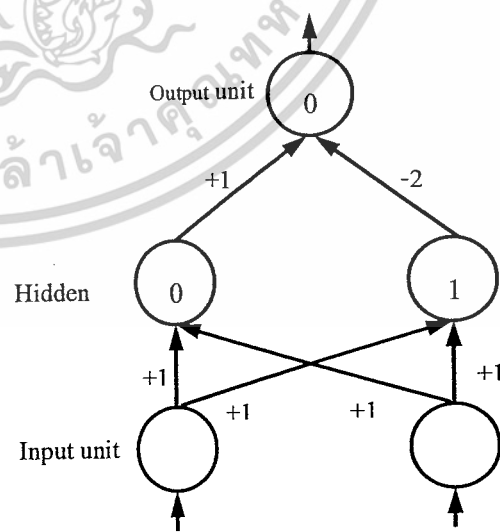
(ข) อินพุตแพทเทิร์นแบบที่ 2

นอกจากการเพิ่มจำนวนเลเยอร์แล้ว การเพิ่มจำนวน โหนดให้กับอินพุตเลเยอร์ถือเป็นทางออกหนึ่งในการแก้ปัญหาของพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟพอร์ สำหรับนิรอลเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวได้แสดงดังตาราง 2.2 (ข) แต่อาจใช้ไม่ได้กับกรณีอื่นๆ

Minsky และ Papert มีการวิเคราะห์ความสามารถในการแปลงสัญญาณภายใต้เงื่อนไขต่างๆ หากจำนวนชุดของอินพุตแพทเทิร์น (จำนวนเงื่อนไข) ที่ต้องการมีมากขึ้น โครงสร้างของเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวไม่สามารถแก้ปัญหาได้ และยังชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มฮิดเดนยูนิตดังแสดงในรูปที่ 2.25 จะสามารถสนับสนุนความต้องการของการแปลงสัญญาณจากอินพุต ไปยังเอาต์พุตได้ และสำหรับปัญหาของพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟพอร์นั้น การเพิ่มฮิดเดนยูนิตที่เพียงพอก็สามารถแก้ปัญหาของเอ็กซ์คลูซีฟพอร์ได้อย่างถูกต้อง



(ก) เน็ตเวิร์คแบบที่ 1

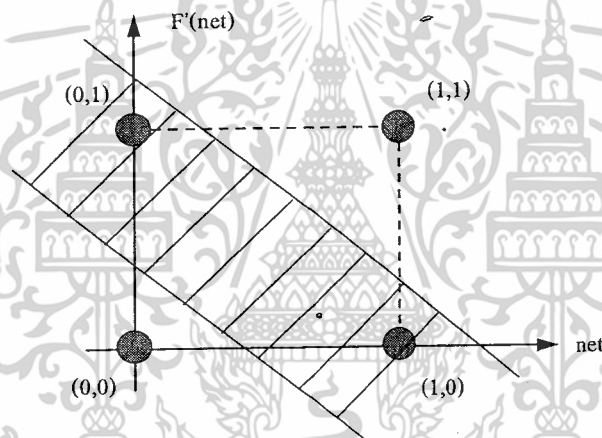


(ข) เน็ตเวิร์คแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.25 (ก) แสดงโครงสร้างนิรพลเน็ตเวิร์คสำหรับพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์ตัว เลขที่เขียนในวงกลมจะแสดงค่าเทรซโฮลด์ +1.5 สำหรับเทรซโฮลด์ของฮิดเดนยูนิตทำให้แน่ใจว่าจะให้ค่า On เท่านั้นเมื่ออินพุตยูนิตทั้งสองมีค่า On ส่วนค่า 0.5 สำหรับเอาต์พุตยูนิต ทำให้แน่ใจว่าจะให้ค่า On เท่านั้นเมื่อผลรวมสุทธิในโหนดมีค่ามากกว่า 0.5 ค่าถ่วงน้ำหนักของ -2.0 จากฮิดเดนยูนิตทำให้แน่ใจว่า เอาต์พุตยูนิตจะไม่กลายเป็น 0 เมื่อทั้งคู่ของอินพุตเป็น On

รูปที่ 2.25 (ข) แสดงโครงสร้างนิรพลเน็ตเวิร์คโดยทั่วไป ซึ่งไม่มีการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่าง อินพุตและเอาต์พุตยูนิต และจะมีฮิดเดนยูนิตสองหน่วยทำหน้าที่ในการกำหนดขอบเขตการตัดสินใจ จาก รูป 2.25 ฮิดเดนยูนิตแรกจะให้ค่า Off ต่อเมื่ออินพุตแพทเทิร์นเป็น (0, 0) ทำให้เอาต์พุตยูนิต เป็น Off และ เมื่ออินพุตแพทเทิร์นเป็น (0, 1) และ (1, 0) ฮิดเดนยูนิตแรกจะให้ค่า On ทำให้เอาต์พุตยูนิตเป็น On ตามไป ด้วย ถ้าอินพุตแพทเทิร์นเป็น (1, 1) ฮิดเดนยูนิตทั้งสองจะเป็น On แต่ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีค่ามากกว่าของ ฮิดเดนยูนิตที่สองมีผลให้อาต์พุตยูนิตเป็น Off



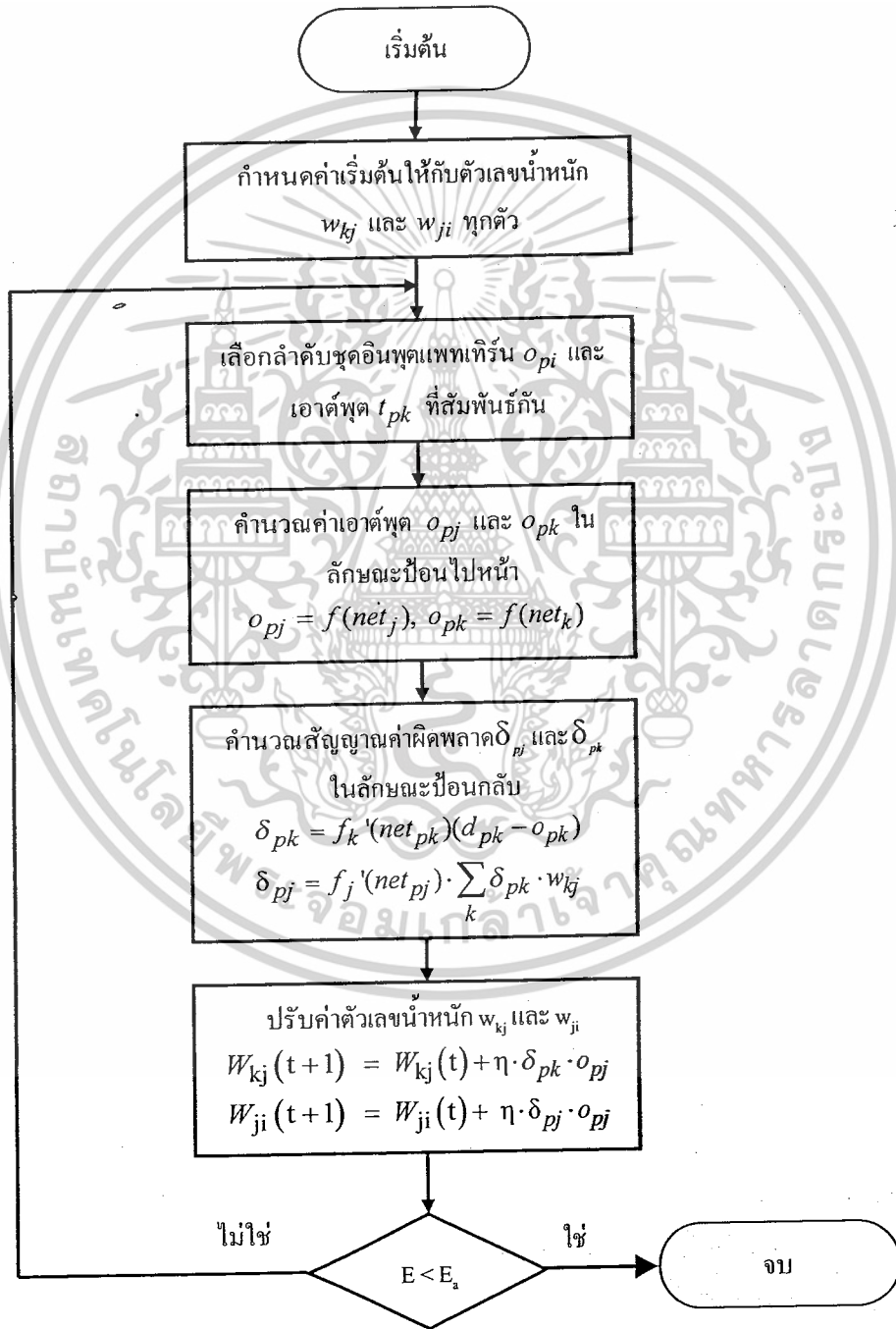
รูปที่ 2.26 กราฟการแยกจำพวกของกลุ่มแพทเทิร์นของพีชคณิตบูลีนแบบเอ็กซ์คลูซีฟออร์ สำหรับสองฮิดเดนยูนิต

ในรูปที่ 2.26 กราฟการตัดสินใจสำหรับปัญหาของเอ็กซ์คลูซีฟออร์ เพื่อทำการแบ่งแยกจุดของ แพทเทิร์นทั้งสี่จุด (0, 0), (0, 1), (1, 0) และ (1, 1) ออกเป็นสองคลาสหรือกลุ่ม จุดที่ 1 และ 4 อยู่ในกลุ่ม แรกมีค่าเอาต์พุตเป็น 0 ( $0 \text{ XOR } 0 = 0$  และ  $1 \text{ XOR } 1 = 0$ ) จุดที่ 2 และ 3 อยู่ในกลุ่มสองมีค่าเอาต์พุตเป็น 1 ( $0 \text{ XOR } 1 = 1$  และ  $1 \text{ XOR } 0 = 1$ ) ฮิดเดนยูนิตหน่วยแรกจะสามารถสร้างเส้นตรงเพื่อแบ่งอาณาบริเวณ (Region) เป็นสองส่วน สำหรับทุกจุดบนข้างหนึ่งของเส้นจะให้ผลเป็น 1 สำหรับทุกจุดบนอีกข้างหนึ่งจะ ให้ผลเป็น 0 ตำแหน่งการหมุนของเส้นตรงถูกกำหนดโดยค่าถ่วงน้ำหนักบนอินพุตนิรพลที่เชื่อมต่อ สำหรับฮิดเดนยูนิตที่ 2 ก็ให้ผลเช่นกัน ทำให้เราสามารถแบ่งอินพุตแพทเทิร์นออกเป็นสองคลาส ได้นั่นเอง

การทำงานของกรแพร่กระจายกลับอัลกอริทึมสำหรับ โครงสร้างพื้นฐานของเน็ตเวิร์คแบบสอง เลเยอร์ การเรียนรู้จะเริ่มการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรที่จำเป็นทุกตัวในขั้นตอนที่หนึ่ง จากนั้นเลือก

เอาต์พุตเป็นอนุสรณ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่คำนวณได้จากการคำนวณที่สัมพันธ์กัน ใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นของระบบในขั้นตอนที่ การคำนวณค่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอง ค่ารวมเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณ  $o_{pk}$  และ  $t_{pk}$  จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาสัญญาณค่าผิดพลาด  $\delta_{pk}$  และ  $\delta_{pj}$  ตามลำดับในลักษณะป้อนกลับในขั้นตอนที่สี่ แล้วนำมาคำนวณต่อไปเพื่อใช้ปรับค่าตัวเลขน้ำหนัก  $w_{kj}$  และ  $w_{ji}$  ในขั้นตอนที่ห้า หลังจากผ่านการอบรมของชุดข้อมูลอินพุตแพทเทิร์น (เมื่อ  $p$  คือลำดับของชุดแพทเทิร์น) การเรียนรู้จะหยุดต่อเมื่อค่าผิดพลาดสำหรับทุกแพทเทิร์น  $E$  มีค่าต่ำกว่าค่าผิดพลาดโดยรวมที่ยอมรับได้  $E_a$  ในขั้นตอนที่หก ดังรูปที่ 2.27



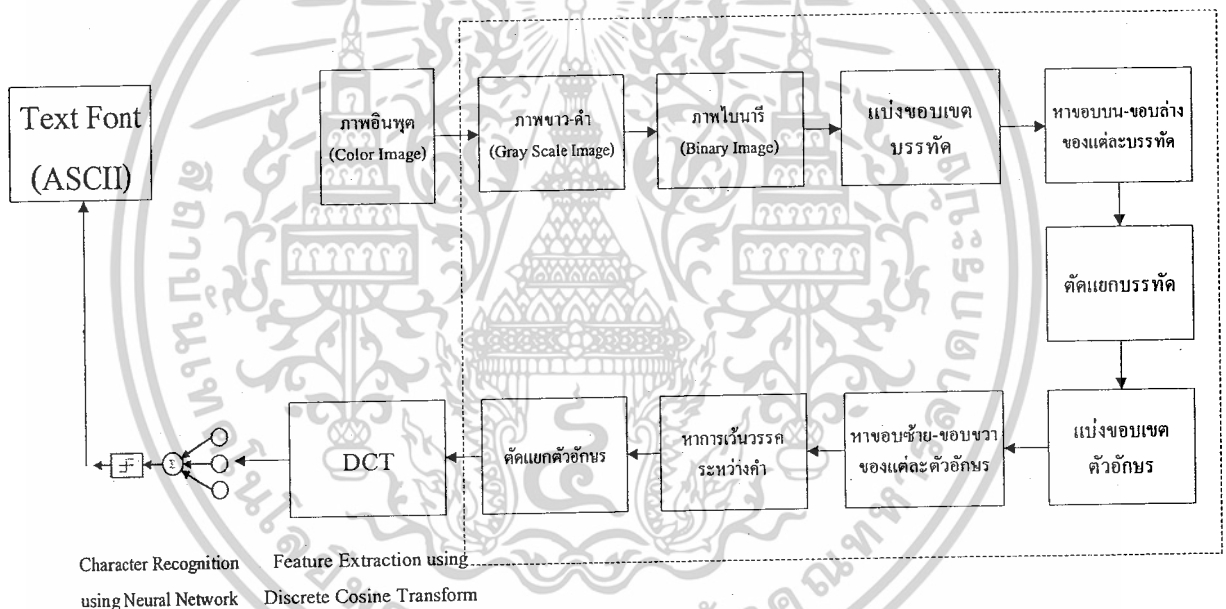
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการวิจัยและการแพร่กระจายกับอัลกอริธึมไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.27 แผนภูมิการทำงานของการแพร่กระจายกลับอัลกอริธึม  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

การดำเนินงานจะอธิบายกระบวนการต่างๆ ซึ่งเริ่มจากการรับข้อมูลอินพุตคือเอกสารภาพของตัวหนังสือ ไปจนถึงผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งแสดงอยู่ในรูปแบบตัวอักษรจากการเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII) โดยมีโครงสร้างการทำงาน 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. การประมวลผลภาพ (Image Processing)
2. การแยกคุณลักษณะเฉพาะจากข้อมูลตัวอักษร (Feature Extraction)
3. การรู้จำตัวอักษร โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)
4. การแสดงผลในรูปแบบตัวอักษรด้วยการเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII)



รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบ

#### ขอบเขตในการทำงานของระบบ

1. เริ่มจากรับข้อมูลอินพุต คือเอกสารภาพของตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ ตัวพิมพ์เล็ก ตัวเลข และสัญลักษณ์ มาเข้าสู่กระบวนการ การประมวลผลภาพ (Image Processing)

- 1.1 แปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพแบบ Gray-Scale 256 ระดับ
- 1.2 แปลงข้อมูลภาพแบบ Gray-Scale เป็นภาพแบบไบนารี 2 ระดับ (0, 1)
- 1.3 นำภาพแบบไบนารีมาทำการแบ่งขอบเขตบรรทัด
- 1.4 ทำการเก็บค่าขอบบนและขอบล่างของแต่ละบรรทัด

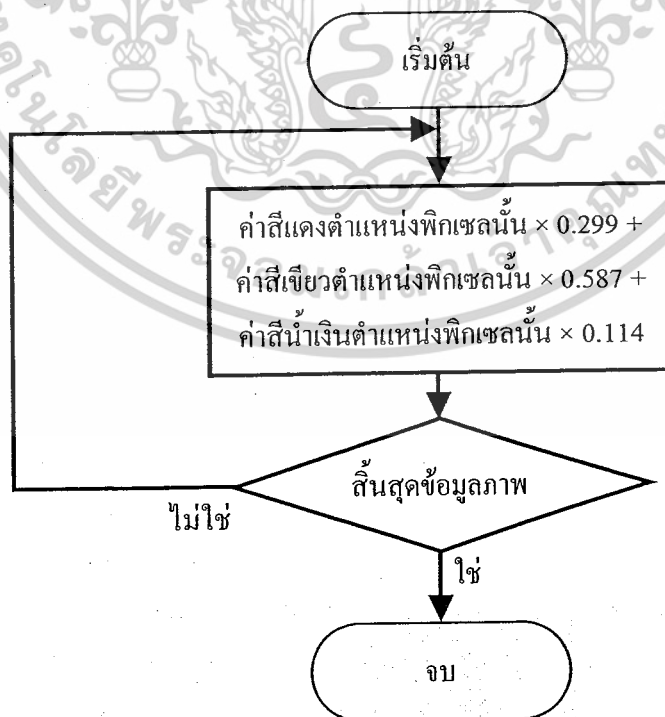
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5 หลังจากทำการเก็บค่าขอบบนและขอบล่างแล้ว จะทำการเรียกใช้งานที่ละบรรทัดเพื่อมาทำการแบ่งขอบเขตตัวอักษร
  - 1.6 ทำการเก็บค่าขอบซ้ายและขอบขวาของอักษรแต่ละตัว
  - 1.7 ทำการคำนวณระยะห่างระหว่างอักษรแต่ละตัว เพื่อหาช่วงเว้นวรรคระหว่างคำ
  - 1.8 เก็บค่าแต่ละตัวอักษร เพื่อนำมาใช้งานในขั้นตอนต่อไป
2. ทำการลดข้อมูลของภาพตัวอักษรจากการแยกคุณลักษณะเฉพาะของภาพ ด้วยการแปลงดิสครีตโคไซน์
3. นำข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของภาพตัวอักษร เข้าสู่การฝึกสอนการรู้จำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
  4. นำระบบการรู้จำตัวอักษรที่ทำการฝึกสอนแล้ว ไปใช้งานในการแปลงข้อมูลภาพเอกสารเป็นข้อมูลตัวอักษร ด้วยการเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII)
  5. ทำ GUI (Graphic User Interface) เพื่อสะดวกในการนำโปรแกรมไปใช้งาน

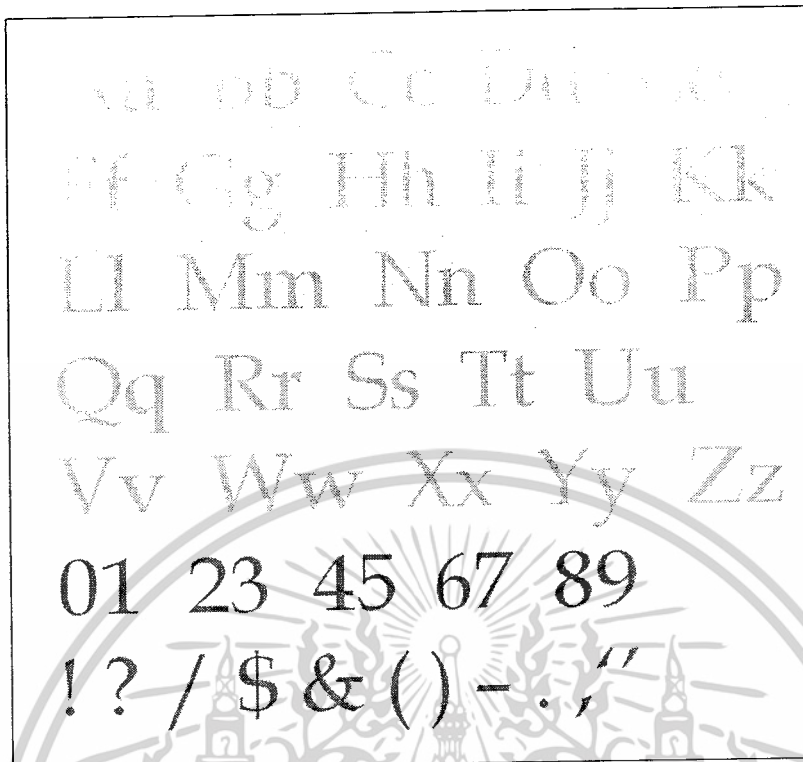
### 3.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการนำภาพดิจิทัลมาผ่านการประมวลผล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์แบบใหม่ ที่บ่งบอกถึงลักษณะและคุณสมบัติของภาพ โดยมีขั้นตอนดังนี้

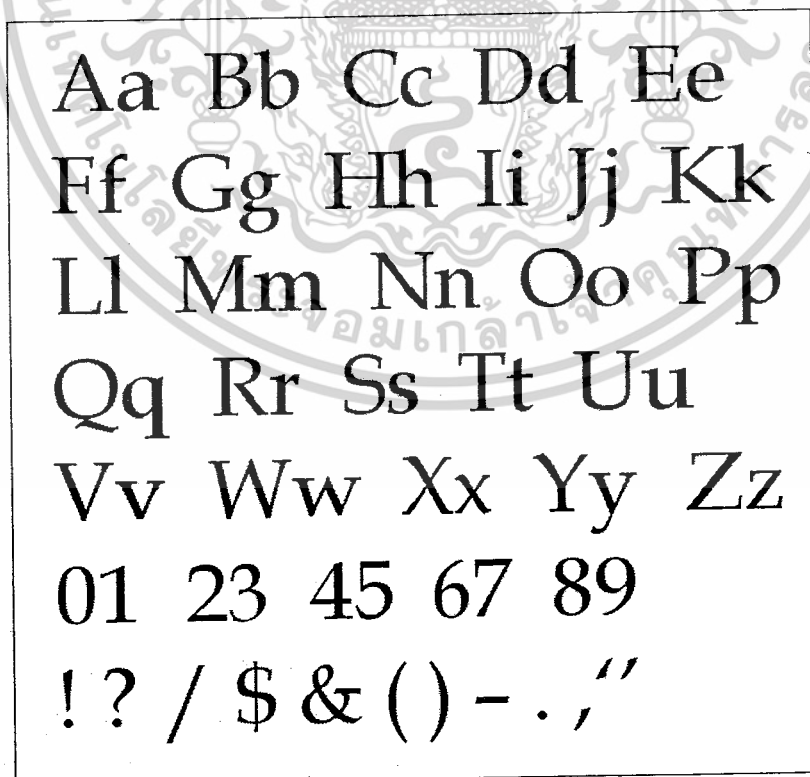
1. เริ่มจากนำภาพอินพุตซึ่งเป็นภาพหน้าเอกสารตัวอักษรขนาดประมาณ 24 มาทำการแปลงข้อมูลให้เป็นภาพแบบขาว-ดำ (Gray Scale Image)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.2 แผนภูมิการทำงานของการแปลงภาพอินพุตเป็นภาพขาว-ดำ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

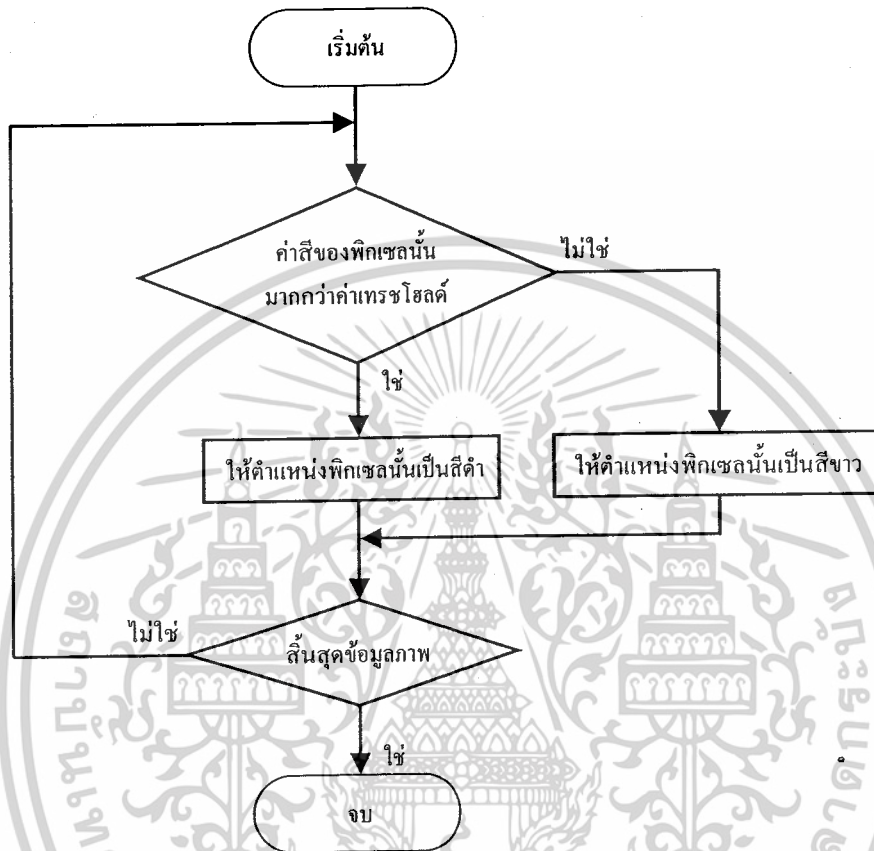


รูปที่ 3.3 แสดงอินพุตซึ่งเป็นภาพหน้าเอกสารตัวอักษรขนาดประมาณ 24 พอยท์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต  
รูปที่ 3.4 แสดงภาพหลังการแปลงให้เป็นภาพแบบขาว-ดำ (Gray Scale Image)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำภาพที่ได้มาทำการแปลงให้เป็นภาพแบบไบนารี (Binary Image) โดยใช้เทคนิคของการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ เพื่อแยกระดับความเข้มของแสงออกจากกัน จากค่า 256 ระดับ ให้เหลือเพียง 2 ระดับคือ 0, 1 แสดงแผนภูมิดังรูปที่ 3.5

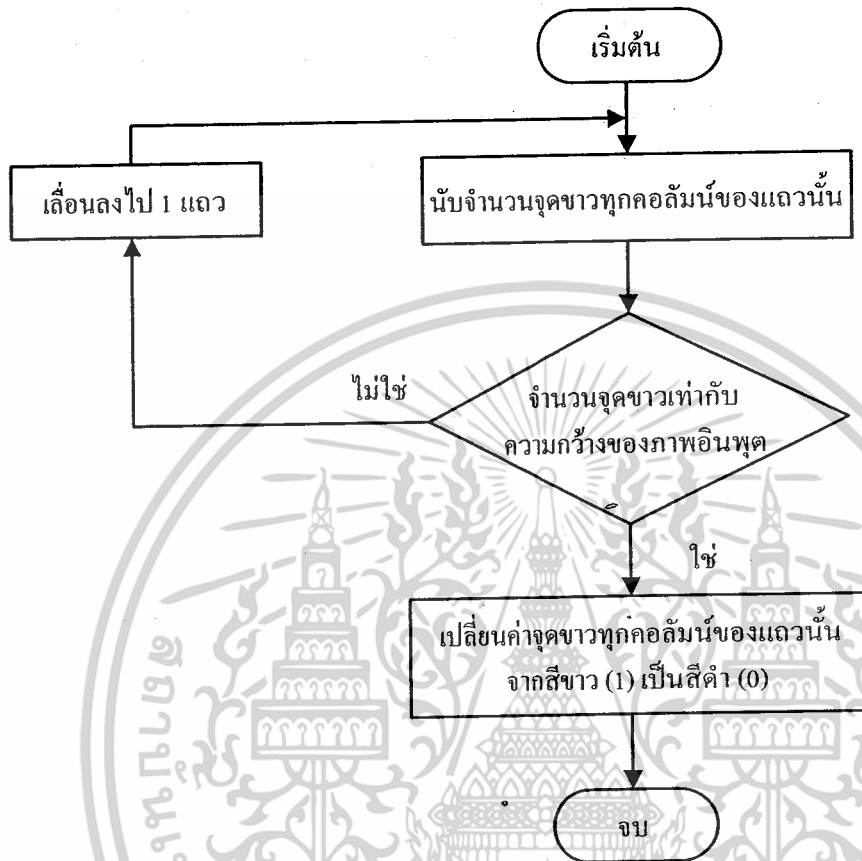


รูปที่ 3.5 แผนภูมิการทำงานของการแปลงภาพขาว - ดำเป็นภาพแบบไบนารี

Aa Bb Cc Dd Ee  
 Ff Gg Hh Ii Jj Kk  
 Ll Mm Nn Oo Pp  
 Qq Rr Ss Tt Uu  
 Vv Ww Xx Yy Zz  
 01 23 45 67 89  
 !? / \$ & ( ) - . , " ' ~

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.6 แสดงภาพหลังการแปลงให้เป็นภาพแบบไบนารี (Binary Image)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำภาพแบบไบนารีมาทำการแบ่งขอบเขตบรรทัด โดยการเปลี่ยนพิกเซลในตำแหน่งที่อยู่ นอกเหนือขอบเขตที่ต้องการของแต่ละบรรทัด จากสีขาวเป็นสีดำ แสดงแผนภูมิผังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภูมิการทำงานของการแบ่งขอบเขตบรรทัด

Aa Bb Cc Dd Ee

Ff Gg Hh Ii Jj Kk

Ll Mm Nn Oo Pp

Qq Rr Ss Tt Uu

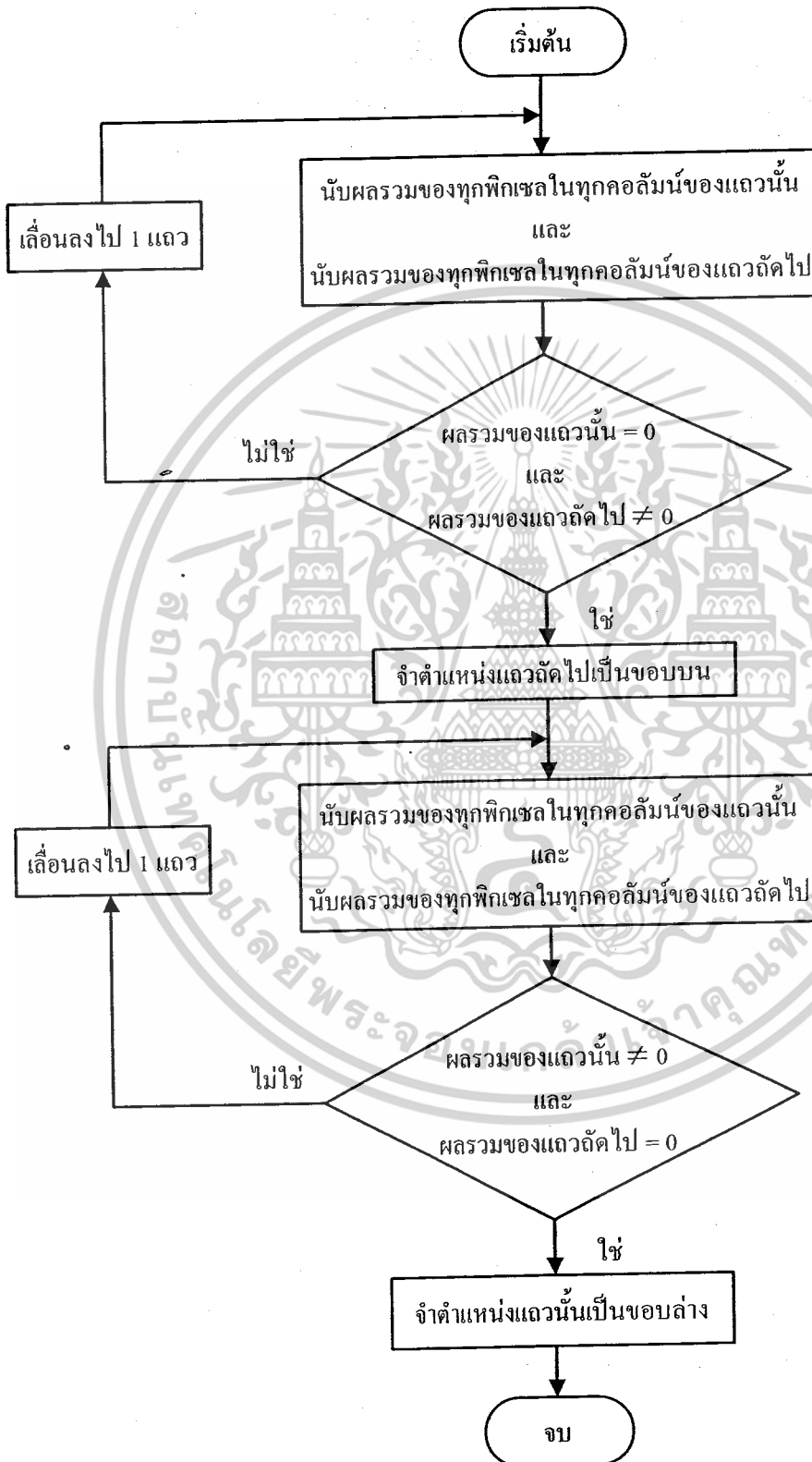
Vv Ww Xx Yy Zz

01 23 45 67 89

! ? / \$ & ( ) - . , ' "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.8 แสดงภาพหลังการแบ่งขอบเขตบรรทัด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หลังจากแบ่งขอบเขตบรรทัดเสร็จแล้ว จะทำการเก็บค่าขอบบนและขอบล่างของแต่ละบรรทัด เพื่อทำการเรียกใช้ในขั้นตอนต่อไป แสดงแผนภูมิดังรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.9 แผนภูมิการทำงานของ การเก็บค่าขอบบนและขอบล่าง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aa Bb Cc Dd Ee

■ Aa ■ Bb ■ Cc ■ Dd ■ Ee ■

Ff Gg Hh Ii Jj Kk

■ Ff ■ Gg ■ Hh ■ Ii ■ Jj ■ Kk ■

Ll Mm Nn Oo Pp

■ Ll ■ Mm ■ Nn ■ Oo ■ Pp ■

Qq Rr Ss Tt Uu

■ Qq ■ Rr ■ Ss ■ Tt ■ Uu ■

Vv Ww Xx Yy Zz

■ Vv ■ Ww ■ Xx ■ Yy ■ Zz ■

01 23 45 67 89

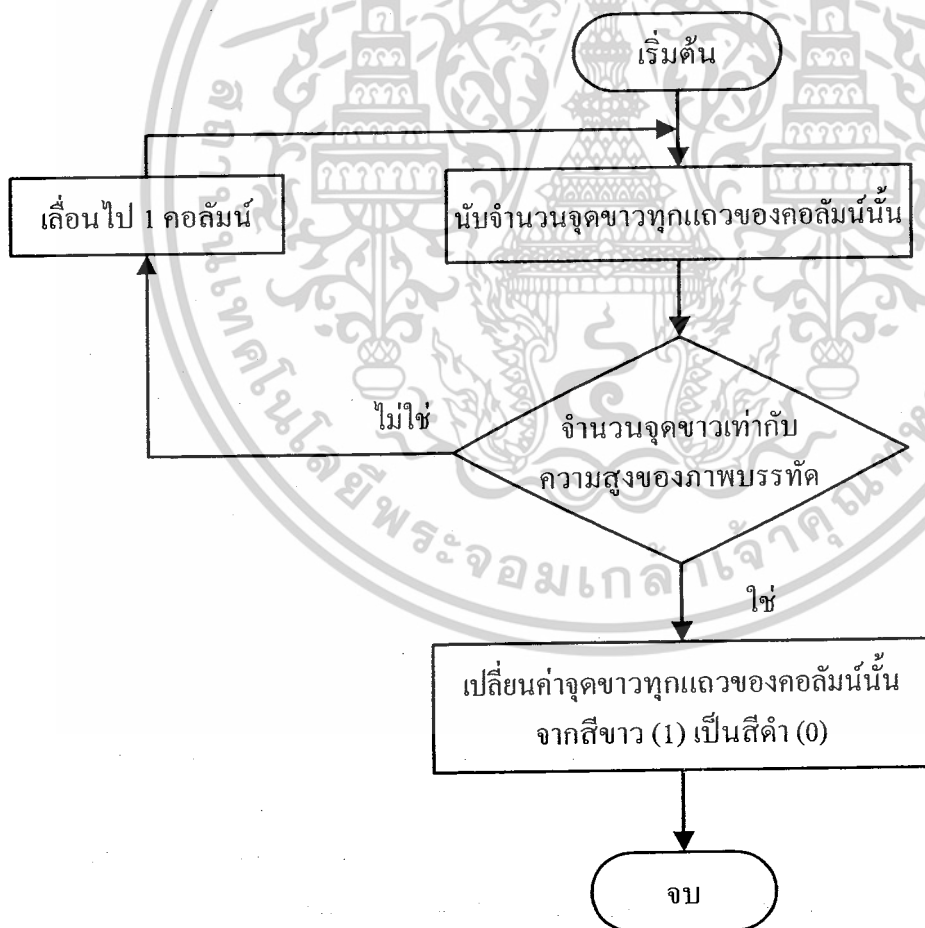
■ 01 ■ 23 ■ 45 ■ 67 ■ 89 ■

! ? / \$ & ( ) - . , ' "



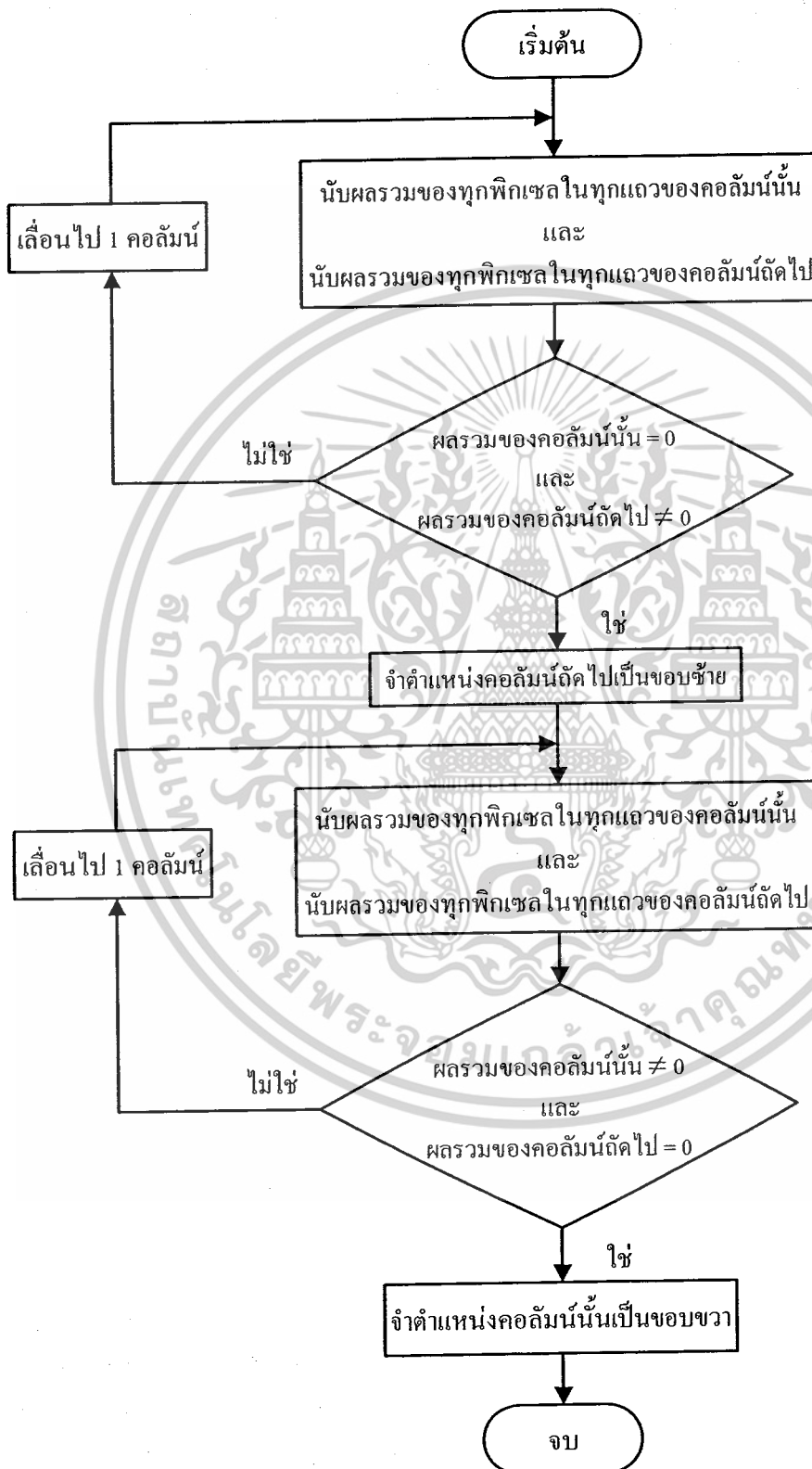
รูปที่ 3.10 (ต่อ) แสดงผลแต่ละบรรทัดและการแบ่งขอบเขตตัวอักษร

5. หลังจากเก็บค่าขอบบนและขอบล่าง จะทำการเรียกใช้งานที่ละบรรทัด เพื่อมาทำการแบ่งขอบเขตตัวอักษร แสดงแผนภูมิดังรูปที่ 3.11



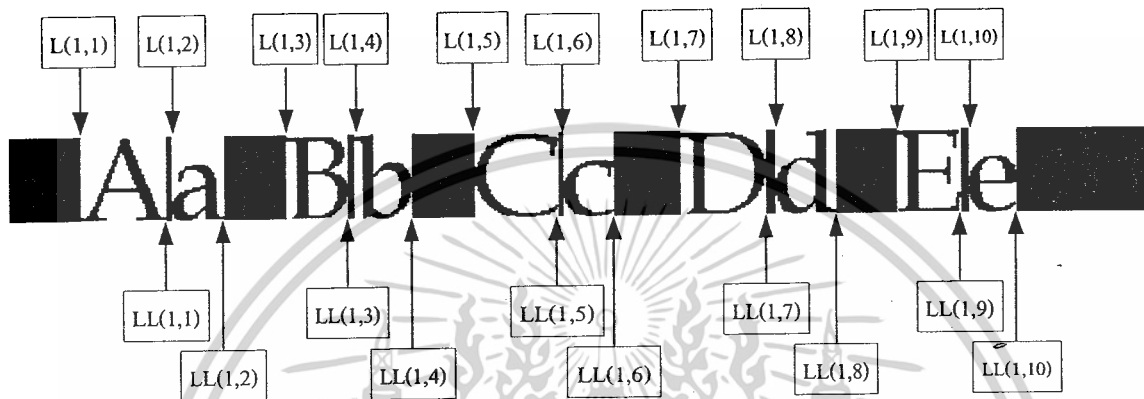
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.11 แผนภูมิการทำงานของการแบ่งขอบเขตตัวอักษร  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หลังจากแบ่งขอบเขตตัวอักษรเสร็จแล้ว จะทำการเก็บค่าขอบซ้ายและขอบขวาของอักษรแต่ละตัว แสดงแผนภูมิดังรูปที่ 3.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระหว่างนี้ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.12 แผนภูมิการทำงานของการทำงานการเก็บค่าขอบซ้ายและขอบขวา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. หลังจากเก็บค่าขอบซ้ายและขอบขวาของแต่ละตัวอักษรเพื่อนำมาเรียกใช้งานแล้ว จะต้องคำนวณระยะห่างระหว่างแต่ละตัวอักษรอีกด้วย เพื่อหาช่วงเว้นวรรคระหว่างคำ โดยทำการหาค่าเฉลี่ยระหว่าง  $[L(1,2)-LL(1,1)]$ ,  $[L(1,3)-LL(1,2)]$ ,  $[L(1,4)-LL(1,3)]$ , ... ,  $[L(1,11)-LL(1,10)]$  ซึ่งการเว้นวรรคจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ระยะห่างระหว่างตัวอักษรมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยที่หามาได้



รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งขอบซ้ายและขอบขวาของแต่ละตัวอักษร

Aa Bb Cc Dd Ee

รูปที่ 3.14 แสดงภาพและช่วงเว้นวรรคที่ได้จากขั้นตอนการหาค่าเว้นวรรค

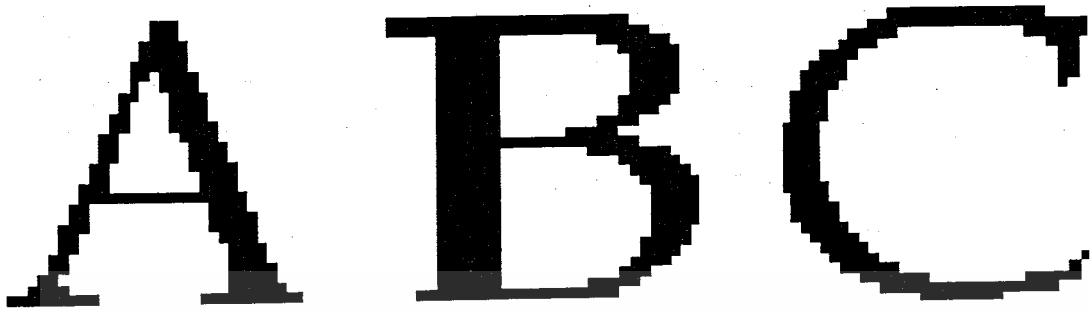
### 3.2 การแยกคุณลักษณะเฉพาะจากข้อมูลภาพ (Feature extraction)

การแยกคุณลักษณะเฉพาะของภาพ เป็นการลดขนาดข้อมูลของภาพโดยทำการเก็บเพียงค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญของข้อมูลภาพ เมื่อได้ภาพที่ผ่านการปรับขนาดให้เท่ากันหมดแล้ว จะนำภาพเข้าสู่กระบวนการแปลงดิคคริตโคซายน์แบบ 2 มิติ ซึ่งจะใช้ DCT เมตริกซ์ขนาด  $5 \times 5$  และ  $10 \times 10$  หลังจากนั้นนำภาพที่ผ่านการแปลง DCT แล้ว มาเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญ โดยภาพที่ผ่านการแปลงด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $5 \times 5$  จะทำการเก็บค่าสัมประสิทธิ์จำนวน 10 ค่าต่อเมตริกซ์ จากนั้นนำค่าที่ได้หลังการแปลงไปคูณกับบล็อกดังรูปที่ 3.17 และสร้างเป็นเมตริกซ์ใหม่ขนาด  $1 \times 360$  ซึ่งค่า 360 ได้มาจาก  $\left(\frac{30}{5} \times \frac{30}{5}\right) \times 10 = 360$  ส่วนภาพที่ผ่านการแปลงด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $10 \times 10$  จะทำการเก็บค่าสัมประสิทธิ์จำนวน 28 ค่าต่อเมตริกซ์ จากนั้นนำค่าที่ได้หลังการแปลงไปคูณกับบล็อกดังรูปที่ 3.22

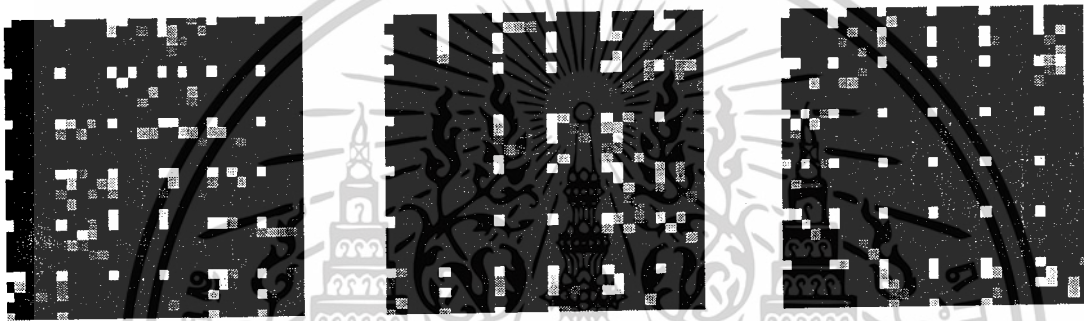
และสร้างเป็นเมตริกซ์ใหม่ขนาด  $1 \times 252$  ซึ่งค่า 252 ได้มาจาก  $\left(\frac{30}{10} \times \frac{30}{10}\right) \times 28 = 252$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างภาพที่ผ่านการแปลงด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $5 \times 5$  แสดงดังรูปที่ 3.15 – 3.19



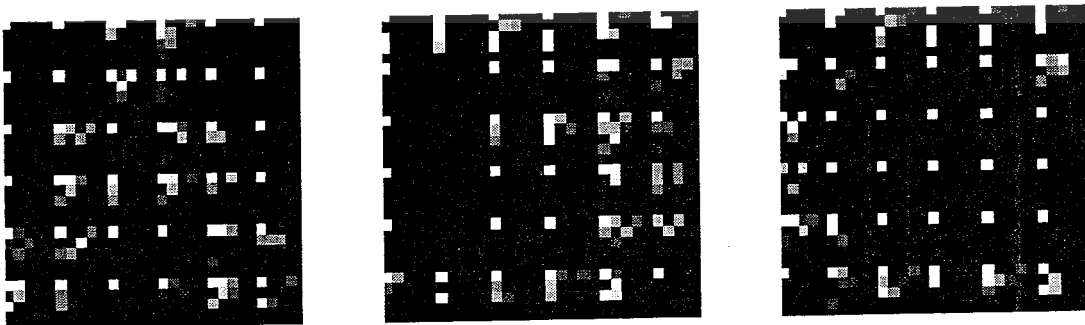
รูปที่ 3.15 ภาพต้นแบบก่อนทำการแปลงดิสครีตโคไซน์



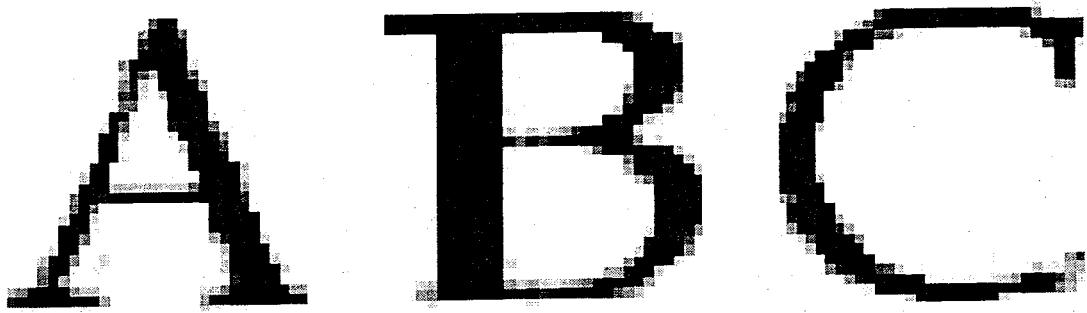
รูปที่ 3.16 ภาพของคำสี่ประติบัติดิสครีตโคไซน์หลังทำการแปลง

1	1	1	1	0
1	1	1	0	0
1	1	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	0	0	0

รูปที่ 3.17 บล็อกขนาด  $5 \times 5$  ที่นำมาคูณกับรูปที่ 3.16



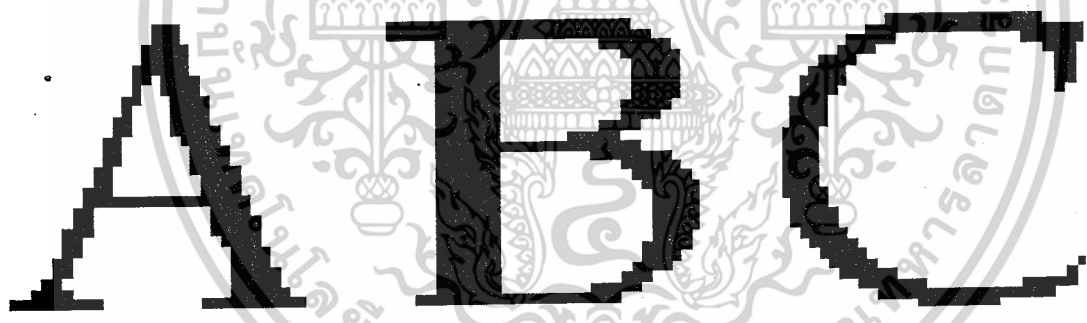
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.18 ผลลัพธ์ของสี่ประติบัติจากการคูณด้วยบล็อกในรูปที่ 3.17  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



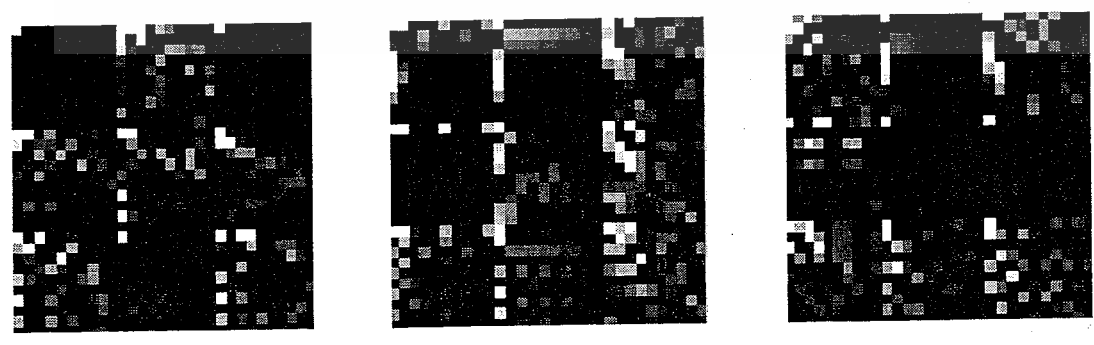
รูปที่ 3.19 ภาพหลังจากการแปลงกลับดิสครีตโคซายน์

หลังจากนำค่าที่ได้หลังการแปลงด้วย DCT เมตริกซ์ ขนาด 5x5 ซึ่งทำการเก็บค่าสัมประสิทธิ์จำนวน 10 ค่าต่อเมตริกซ์เรียบร้อยแล้ว จะทำการสร้างเป็นเมตริกซ์ใหม่ขนาด 1x360 พิกเซล เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

ตัวอย่างภาพที่ผ่านการแปลงด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด 10x10 แสดงดังรูปที่ 3.20 – 3.24



รูปที่ 3.20 ภาพต้นแบบก่อนทำการแปลงดิสครีตโคซายน์

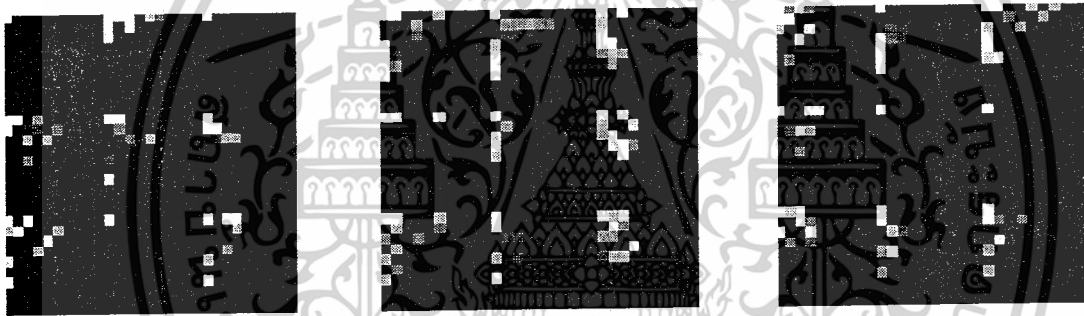


รูปที่ 3.21 ภาพของค่าสัมประสิทธิ์ดิสครีตโคซายน์หลังทำการแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ใดที่เห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 3.22 บล็อกขนาด  $10 \times 10$  ที่นำมาคูณกับรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.23 ผลลัพธ์ของสัมประสิทธิ์จากการคูณด้วยบล็อกในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.24 ภาพหลังจากการแปลงกลับดิสครีตโคซายน์

หลังจากนำค่าที่ได้หลังการแปลงด้วย DCT เมตริกซ์ ขนาด  $10 \times 10$  ซึ่งทำการเก็บค่าสัมประสิทธิ์จำนวน 28 ค่าต่อเมตริกซ์เรียบร้อยแล้ว จะทำการสร้างเป็นเมตริกซ์ใหม่ขนาด  $1 \times 252$  พิกเซล เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

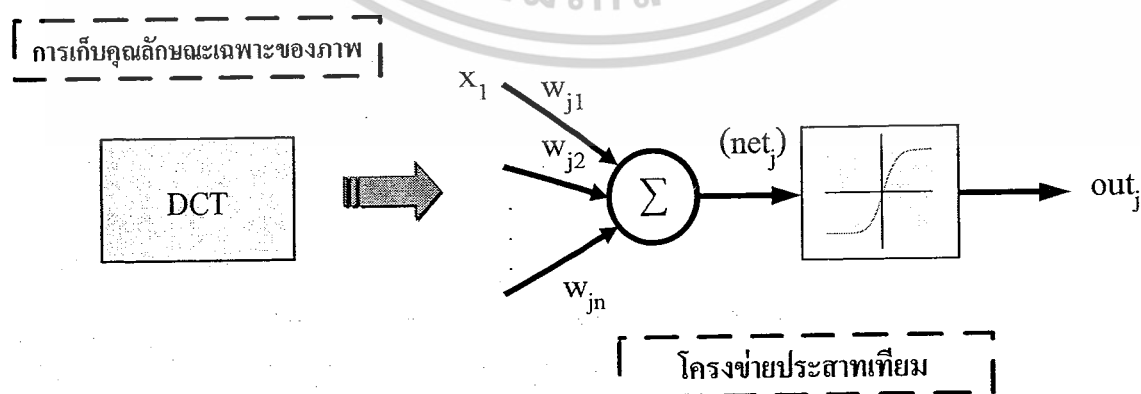
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การรู้จำตัวอักษรโดยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

หลังจากที่ผ่านขั้นตอน การแยกคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละตัวอักษร ก็จะเข้าถึงส่วนของการรู้จำรูปแบบตัวอักษรทั้งหมด โดยในส่วนนี้จะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการรู้จำ ซึ่งผู้ทำโครงงานเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายเลเยอร์แพร่กระจายย้อนกลับ (Back-propagation Neural Network) ในการใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของการฝึกสอน (Training) หรือเรียนรู้ (Learning) และการทดสอบ (Testing) เพื่อนำไปใช้งาน โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

#### 3.3.1 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Training)

เป็นขั้นตอนในการทำให้โครงข่ายประสาทเทียมรู้จำตัวอักษรทุกรูปแบบ โดยมีแบบตัวอักษรต้นฉบับ เรียกว่า แพทเทิร์น (Pattern) และเป้าหมายในการฝึกสอน (Target) ซึ่งในการฝึกสอนจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) เป็นตัวแปรสำคัญต่อการใช้งาน โครงข่ายประสาทเทียม ในขั้นตอนการฝึกสอนคือการปรับค่าถ่วงน้ำหนักไปจนกว่าจะได้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม ซึ่งแม้แบบตัวอักษรที่จะใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมมีทั้งหมด 75 รูปแบบ คือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ 26 ตัว ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก 26 ตัว เลขศูนย์ถึงเก้า 10 ตัว รวมสัญลักษณ์ 12 ตัว และค่าการเว้นวรรค จะถูกนำไปฝึกสอนให้กับโครงข่าย โดยโครงสร้างของโครงข่ายจะใช้ Input layer จำนวน 360 โหนด สำหรับข้อมูลที่ทำกรแปลงดิสครีตโคซายน์ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $5 \times 5$  (ข้อมูลรูปแบบตัวอักษรอยู่ในแฟ้มข้อมูลชื่อ PTTN5.mat) และ Input layer จำนวน 252 โหนด สำหรับข้อมูลที่ทำกรแปลงดิสครีตโคซายน์ ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $10 \times 10$  (ข้อมูลรูปแบบตัวอักษรอยู่ในแฟ้มข้อมูลชื่อ PTTN10.mat) ในส่วนของ Hidden layer กำหนดให้มีการทดลอง 3 รูปแบบทั้งข้อมูลที่ทำกรแปลงดิสครีตโคซายน์ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $5 \times 5$  และ  $10 \times 10$  คือ จำนวน 30 โหนด, 50 โหนด และ 70 โหนด และในส่วนของ Output layer มีจำนวนเท่ากับแพทเทิร์นที่ทำกรฝึกสอนทั้งหมดคือ 75 โหนด ซึ่งมีการกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอน (Target) ดังตารางที่ 3.1 – 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.25 การนำข้อมูลรูปแบบตัวอักษรเข้าโครงข่ายประสาทเทียม  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม  
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ 26 ตัว

ตัวอักษร	ตำแหน่งของโหนดของ Output layer ที่ต้องการค่าเอาต์พุตเท่ากับ 1 (นอกนั้นเป็นศูนย์ทั้งหมด)
A	1
B	2
C	3
D	4
E	5
F	6
G	7
H	8
I	9
J	10
K	11
L	12
M	13
N	14
O	15
P	16
Q	17
R	18
S	19
T	20
U	21
V	22
W	23
X	24
Y	25
Z	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม  
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก 26 ตัว

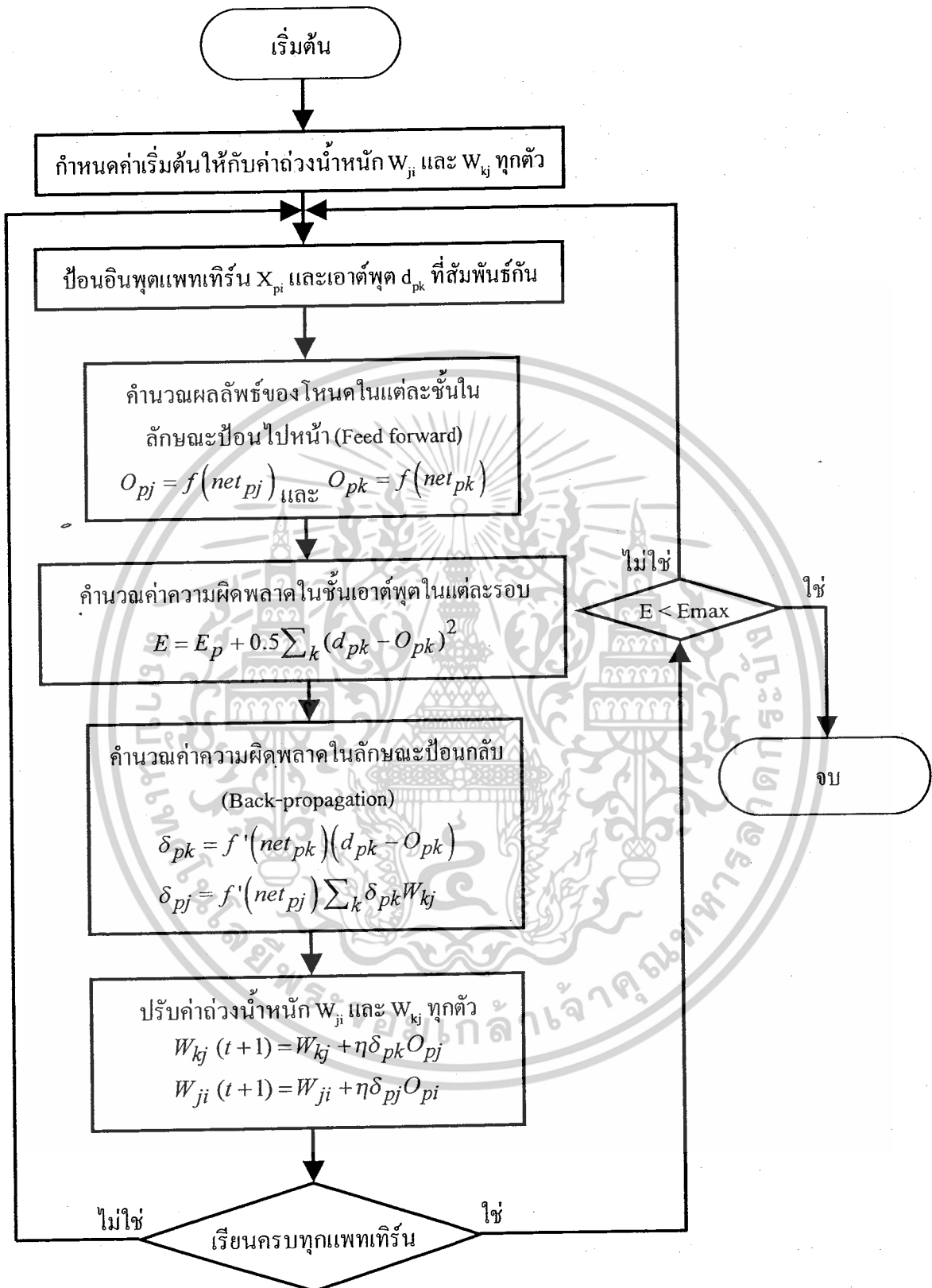
ตัวอักษร	ตำแหน่งของโหนดของ Output layer ที่ต้องการค่าเอาต์พุตเท่ากับ 1 (นอกนั้นเป็นศูนย์ทั้งหมด)
a	27
b	28
c	29
d	30
e	31
f	32
g	33
h	34
i	35
j	36
k	37
l	38
m	39
n	40
o	41
p	42
q	43
r	44
s	45
t	46
u	47
v	48
w	49
x	50
y	51
z	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม  
ตัวเลข 0 – 9, สัญลักษณ์ 12 รูปแบบ และช่องว่าง

ตัวอักษร	ตำแหน่งของโหนดของ Output layer ที่ต้องการค่าเอาต์พุตเท่ากับ 1 (นอกนั้นเป็นศูนย์ทั้งหมด)
0	53
1	54
2	55
3	56
4	57
5	58
6	59
7	60
8	61
9	62
!	63
?	64
/	65
\$	66
&	67
(	68
)	69
-	70
.	71
,	72
‘	73
’	74
space	75

หลังจากทำการกำหนดเป้าหมายในการฝึกสอนแล้ว ลำดับต่อไปคือการฝึกสอน โครงข่าย ซึ่งการฝึกสอนโครงข่ายมีกระบวนการแสดงดังรูปที่ 3.26 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



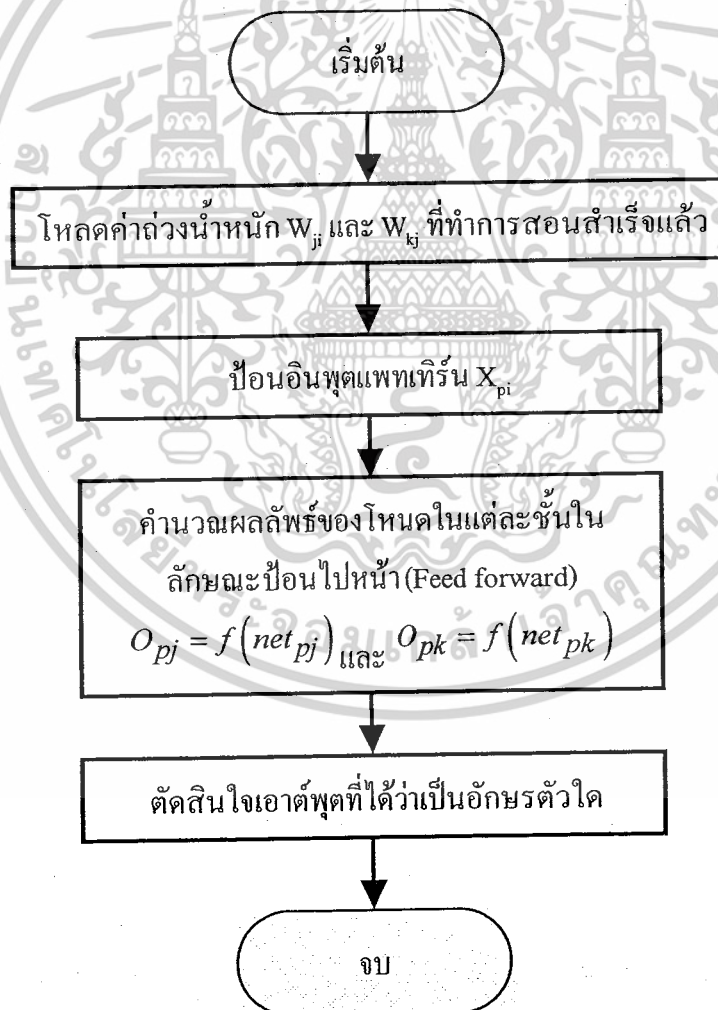
รูปที่ 3.26 แผนภูมิการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำเร็จแล้วจะทำการเก็บค่าถ่วงน้ำหนักพร้อมทั้งค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อระบบเป็นเพิ่มข้อมูล Network10.mat สำหรับข้อมูลลักษณะเฉพาะของภาพที่แปลงดิสคริตโคไซน์ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $10 \times 10$  และเพิ่มข้อมูลชื่อ Network5.mat สำหรับข้อมูลลักษณะเฉพาะของภาพที่แปลงดิสคริตโคไซน์ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด  $5 \times 5$

### 3.3.2 การนำค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้งาน (Working)

ในการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม จะนำค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้หลังจากสิ้นสุดการฝึกสอนมาใช้งานโดยการ โหลดเพิ่มข้อมูลชื่อ Network10.mat หรือ Network5.mat ขึ้นอยู่กับอินพุตที่ป้อนให้กับโครงข่ายว่าเป็นอินพุตที่ผ่านการแปลงดิสคริตโคไซน์ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาดเท่าใด (ในโครงงานนี้ใช้ DCT เมตริกซ์ขนาด  $5 \times 5$  และ  $10 \times 10$ ) และการทำงานของโครงข่ายเมื่ออยู่ในขั้นตอนการใช้งานได้แสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แผนภูมิการนำค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้งาน ให้ประมวลผลรูปแบบตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเผยแพร่ทางวิชาการเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตัดสินใจว่าเอาต์พุตที่ได้เป็นอักขระอะไร จะทำการพิจารณาจากค่าสูงสุดของ Output layer ที่โครงข่ายประมวลผลได้ว่าอยู่ที่ไหน และนำตำแหน่งของไหนคที่ได้ค่าสูงที่สุดนั้นไปอ้างอิงกับเป้าหมายในการฝึกสอนที่ได้ทำการกำหนดไว้ตั้งแต่ต้น และแสดงผลในรูปแบบตัวอักษรด้วยการเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII)

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	&#32;	Space	64	40	100	&#64;	@	96	60	140	&#96;	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	&#33;	!	65	41	101	&#65;	A	97	61	141	&#97;	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	&#34;	"	66	42	102	&#66;	B	98	62	142	&#98;	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	&#35;	#	67	43	103	&#67;	C	99	63	143	&#99;	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	&#36;	\$	68	44	104	&#68;	D	100	64	144	&#100;	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	&#37;	%	69	45	105	&#69;	E	101	65	145	&#101;	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&#38;	&	70	46	106	&#70;	F	102	66	146	&#102;	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	&#39;	'	71	47	107	&#71;	G	103	67	147	&#103;	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	&#40;	(	72	48	110	&#72;	H	104	68	150	&#104;	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051	&#41;	)	73	49	111	&#73;	I	105	69	151	&#105;	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	&#42;	*	74	4A	112	&#74;	J	106	6A	152	&#106;	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	&#43;	+	75	4B	113	&#75;	K	107	6B	153	&#107;	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	&#44;	,	76	4C	114	&#76;	L	108	6C	154	&#108;	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	&#45;	-	77	4D	115	&#77;	M	109	6D	155	&#109;	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	&#46;	.	78	4E	116	&#78;	N	110	6E	156	&#110;	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	&#47;	/	79	4F	117	&#79;	O	111	6F	157	&#111;	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	&#48;	0	80	50	120	&#80;	P	112	70	160	&#112;	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	&#49;	1	81	51	121	&#81;	Q	113	71	161	&#113;	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	&#50;	2	82	52	122	&#82;	R	114	72	162	&#114;	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	&#51;	3	83	53	123	&#83;	S	115	73	163	&#115;	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	&#52;	4	84	54	124	&#84;	T	116	74	164	&#116;	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	&#53;	5	85	55	125	&#85;	U	117	75	165	&#117;	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	&#54;	6	86	56	126	&#86;	V	118	76	166	&#118;	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	&#55;	7	87	57	127	&#87;	W	119	77	167	&#119;	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	&#56;	8	88	58	130	&#88;	X	120	78	170	&#120;	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	&#57;	9	89	59	131	&#89;	Y	121	79	171	&#121;	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	&#58;	:	90	5A	132	&#90;	Z	122	7A	172	&#122;	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	&#59;	:	91	5B	133	&#91;	[	123	7B	173	&#123;	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	&#60;	<	92	5C	134	&#92;	\	124	7C	174	&#124;	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	&#61;	=	93	5D	135	&#93;	]	125	7D	175	&#125;	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	&#62;	>	94	5E	136	&#94;	^	126	7E	176	&#126;	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	&#63;	?	95	5F	137	&#95;	_	127	7F	177	&#127;	DEL

รูปที่ 3.28 ตารางเทียบรหัสตัวอักษรแอสกี (ASCII)

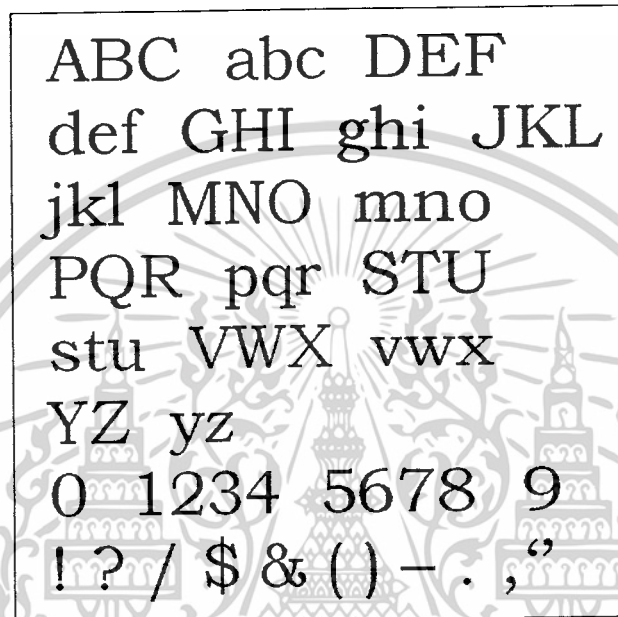
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

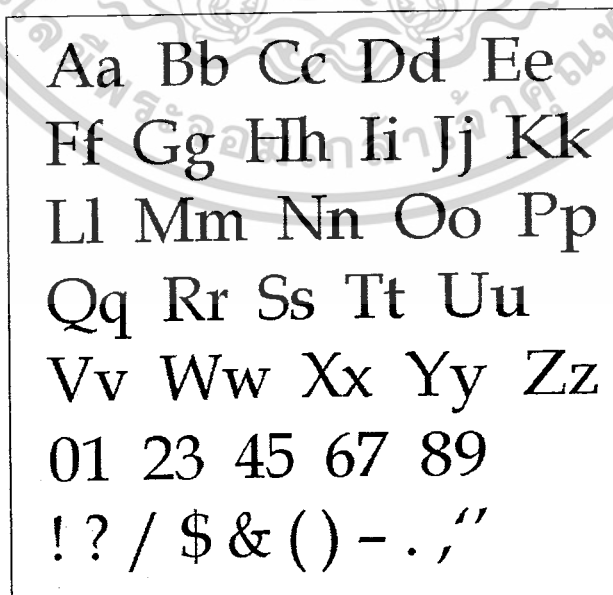
## ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

## 4.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

1. ภาพของรูปแบบตัวอักษรทั้งหมดที่ใช้ในการเรียนรู้ (Training) ซึ่งได้มาจากการสร้างหน้าเอกสาร



รูปที่ 4.1 แบบตัวอักษร Bookman Old Style



รูปที่ 4.2 แบบตัวอักษร Book Antiqua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ที่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Az By Cx Dw  
 Ev Fu Gt Hs  
 Ir Jq Kp Lo  
 Mn Nm Ol Pk  
 Qj Ri Sh Tg  
 Uf Ve Wd Xc  
 Yb Za  
 0 1234 5678 9  
 ! ? / \$ & ( ) - . , "

รูปที่ 4.3 แบบตัวอักษร Century Schoolbook

a AzZ b ByY c CxX  
 d DwW e EvV f FuU  
 g GtT h HsS i IrR j JqQ  
 k KpP l LoO m MnN  
 0123 456 78 9  
 ! ? / \$ & ( ) - . , "

รูปที่ 4.1 - 4.4 คือรูปแบบตัวอักษรก่อนทำการจำกัดขนาดภาพ รูปที่ 4.5 คือภาพตัวอักษรที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ ซึ่งคอลัมน์ที่ 1 คืออักษร Bookman Old Style คอลัมน์ที่ 2 คืออักษร Book Antiqua คอลัมน์ที่ 3 คืออักษร Century Schoolbook และคอลัมน์ที่ 4 คืออักษร Angsana New



เอกสารรูปที่ 4.5 แสดงอินพุตภาพตัวอักษรจำนวน 75 ตัว จากทั้งหมด 4 แบบ ที่ใช้ในการเรียนรู้ (Training) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U  
V  
W  
X  
Y  
Z  
a  
b  
c  
d  
e  
f  
g  
h  
i  
j  
k  
l  
m  
n  
o  
p  
q

U  
V  
W  
X  
Y  
Z  
a  
b  
c  
d  
e  
f  
g  
h  
i  
j  
k  
l  
m  
n  
o  
p  
q

U  
V  
W  
X  
Y  
Z  
a  
b  
c  
d  
e  
f  
g  
h  
i  
j  
k  
l  
m  
n  
o  
p  
q

U  
V  
W  
X  
Y  
Z  
a  
b  
c  
d  
e  
f  
g  
h  
i  
j  
k  
l  
m  
n  
o  
p  
q

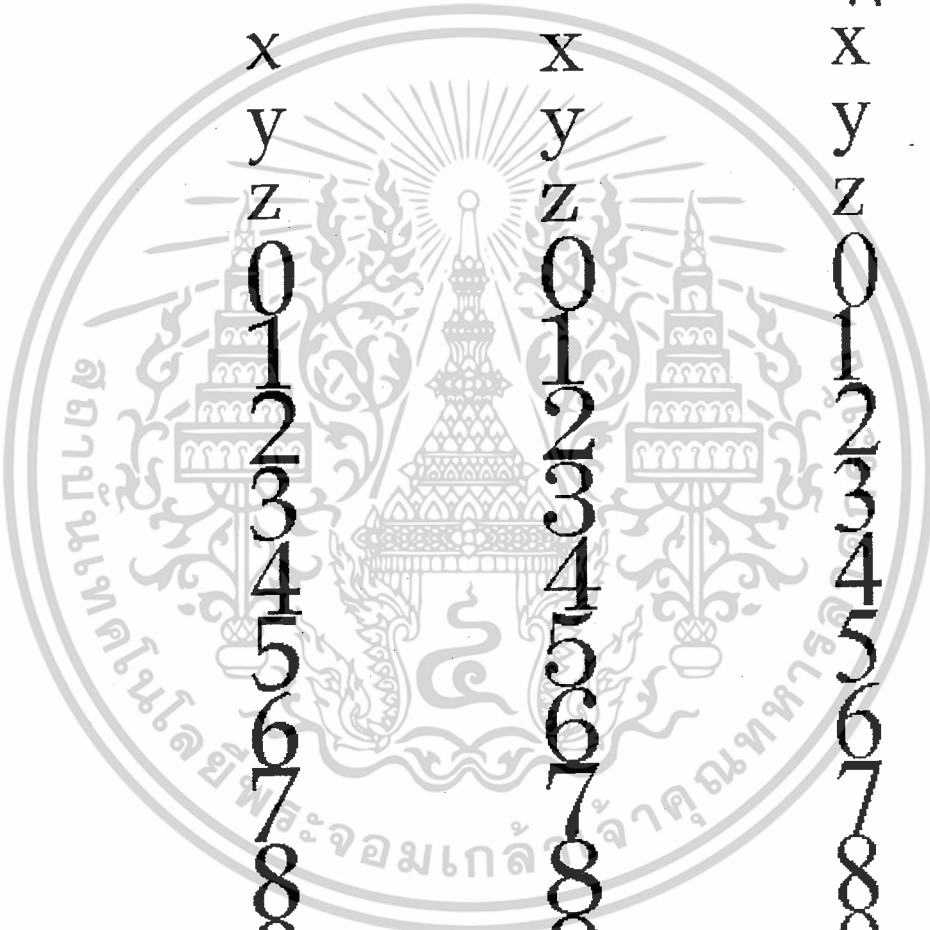


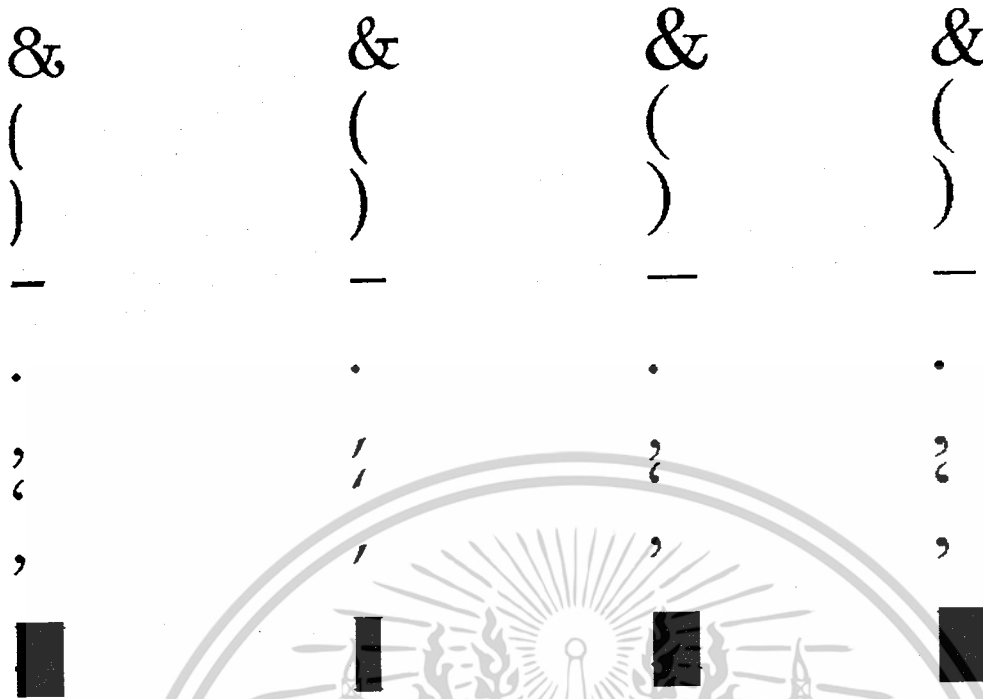
r  
s  
t  
u  
v  
w  
x  
y  
z  
0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
-  
.  
?  
/  
\$

r  
s  
t  
u  
v  
w  
x  
y  
z  
0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
-  
.  
?  
/  
\$

r  
s  
t  
u  
v  
w  
x  
y  
z  
0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
-  
.  
?  
/  
\$

r  
s  
t  
u  
v  
w  
x  
y  
z  
0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
-  
.  
?  
/  
\$

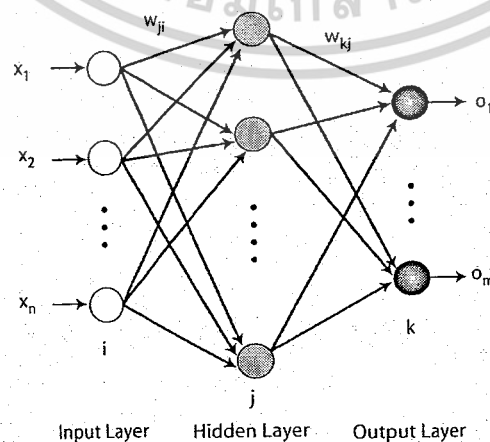




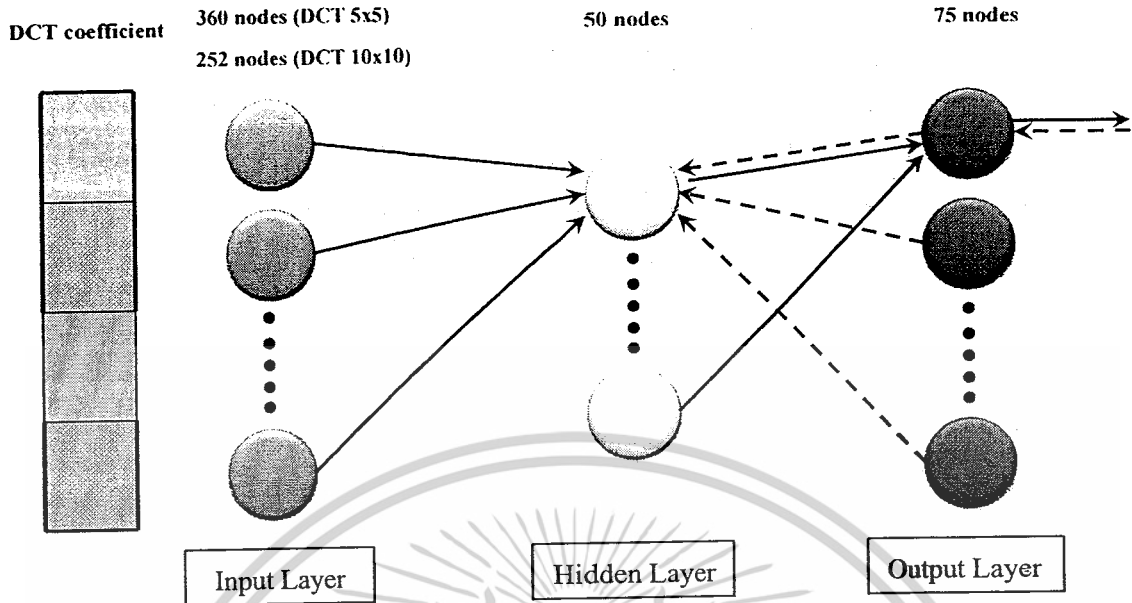
รูปที่ 4.5 (ต่อ) แสดงอินพุตภาพตัวอักษรจำนวน 75 ตัว จากทั้งหมด 4 แบบ ที่ใช้ในการเรียนรู้ (Training)

#### 4.2 การรู้จำตัวอักษรโดยโครงข่ายประสาทเทียม

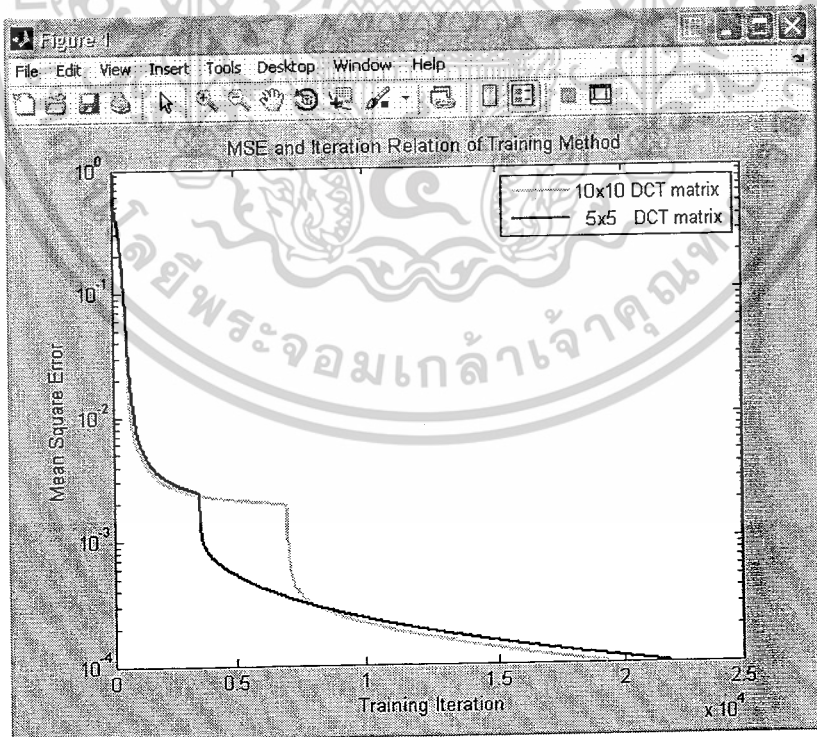
ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายป้อนกลับนี้ ได้กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายคือมี Input layer จำนวน 360 โหนด สำหรับข้อมูลที่ทำกรแปลงดิสครีตโคซายน์ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด 5x5 และ Input layer จำนวน 252 โหนด สำหรับข้อมูลที่ทำกรแปลงดิสครีตโคซายน์ด้วย DCT เมตริกซ์ขนาด 10x10 โดยกำหนดโหนดในฮิดเดนเลเยอร์ให้มีจำนวน 30, 50 และ 70 โหนด เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพในการรู้จำตัวอักษร สำหรับ Transfer Function ในฮิดเดนเลเยอร์ และเอาต์พุตเลเยอร์นี้ จะใช้ฟังก์ชันที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานมาจากภาคการศึกษาที่แล้ว คือฟังก์ชัน Log-Sigmoid โดยมีจำนวนโหนดในเอาต์พุตเลเยอร์เท่ากับ 75 โหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.6 โครงสร้างระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกสอน  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

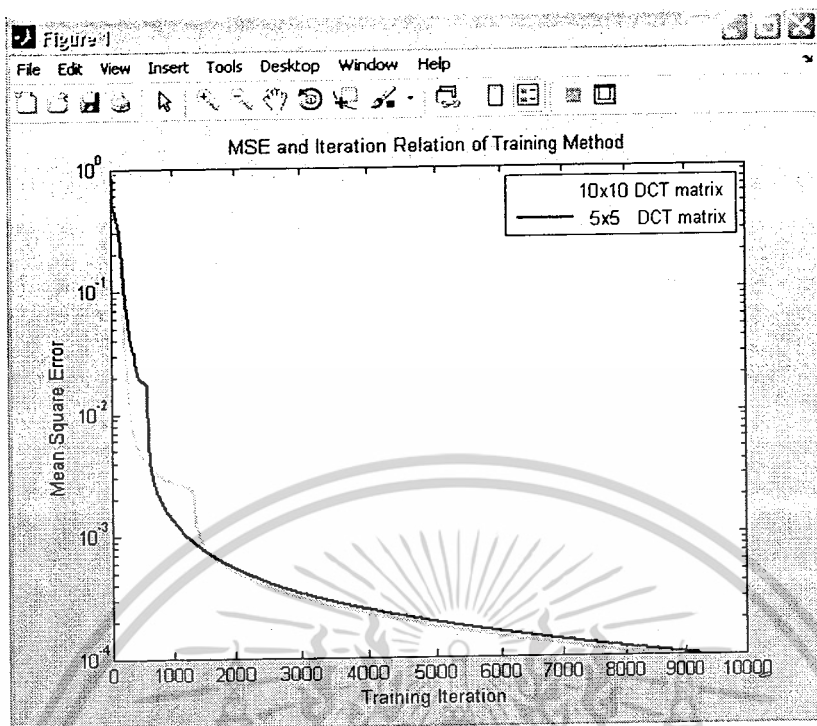


รูปที่ 4.7 การทำงานของโหนดหนึ่งโหนดแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back-propagation)

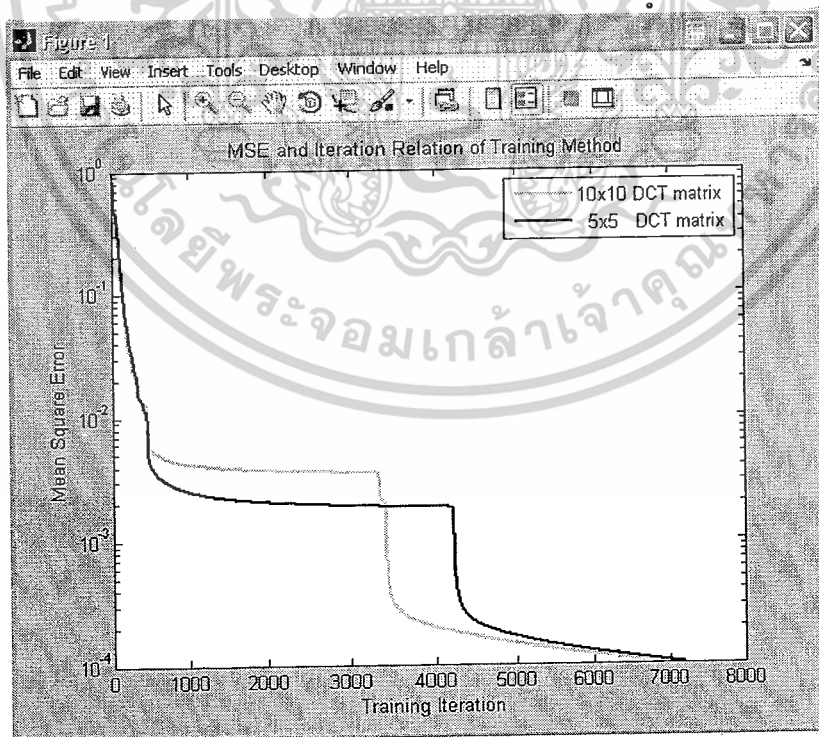


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MSE กับจำนวนรอบ (Iteration) ที่ทำการฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ซึ่งวงวิจัยวิจัยคอมพิวเตอร์ที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยใช้จำนวนโหนดในฮิดเดนเลเยอร์เท่ากับ 30 โหนด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

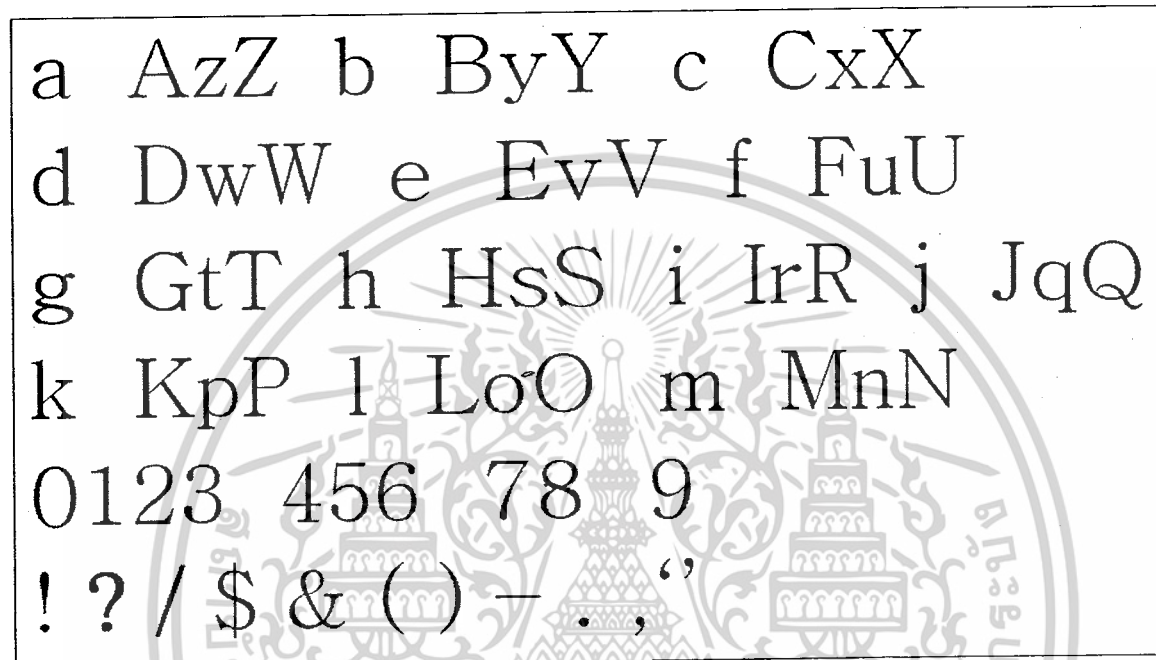


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MSE กับจำนวนรอบ (Iteration) ที่ทำการฝึกสอน โดยใช้จำนวนโหนดในฮิดเดนเลเยอร์เท่ากับ 50 โหนด



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MSE กับจำนวนรอบ (Iteration) ที่ทำการฝึกสอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MSE กับจำนวนรอบที่ทำการฝึกสอนโดย DCT MATRIX ขนาด 5x5 และจำนวนโหนดในฮิดเดนเลเยอร์เท่ากับ 50 โหนด จะให้ประสิทธิภาพในการรู้จำได้มากกว่าแบบอื่น ซึ่งเมื่อนำค่าล่วงนำหนักมาใช้งานพบว่าได้ประสิทธิภาพแสดงดังผลการทดลองต่อไปนี้



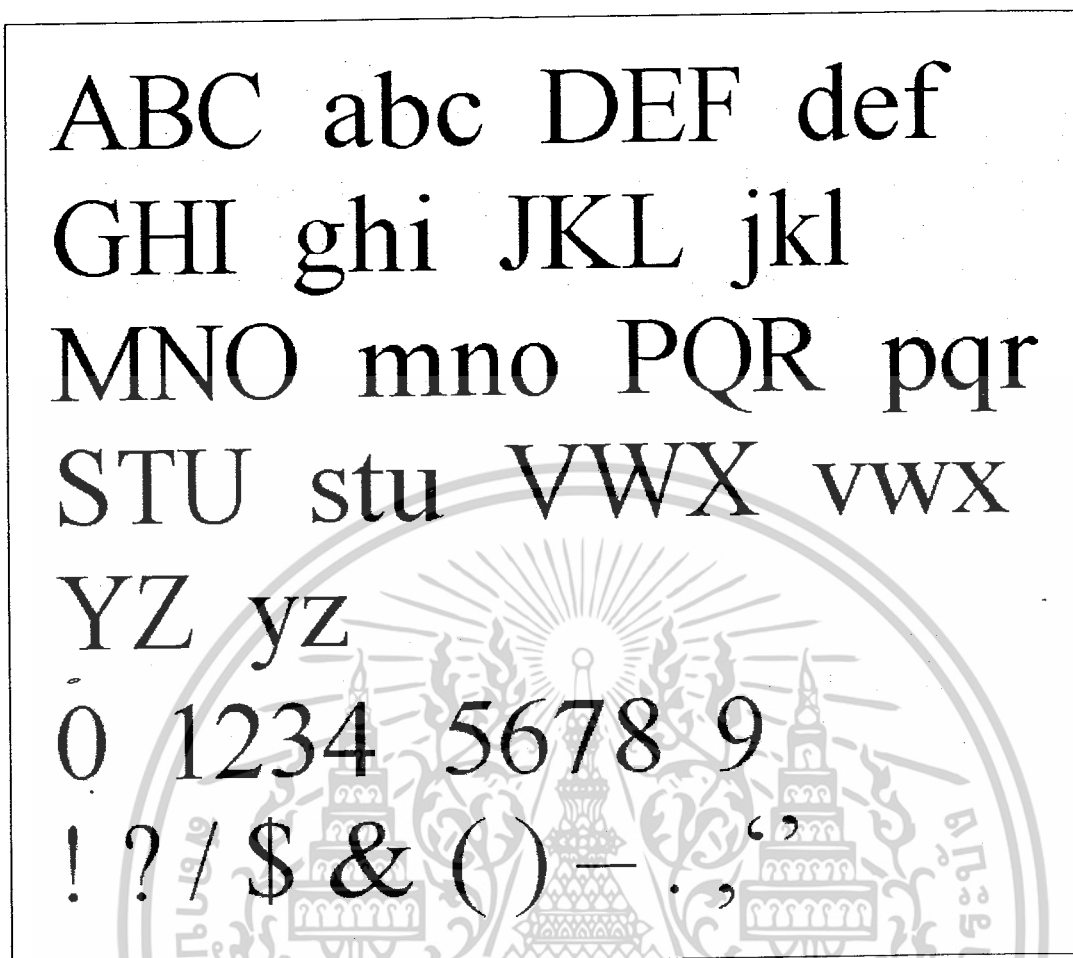
รูปที่ 4.11 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม  
แบบอักษร Batang (Test 1)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 1

ผลที่ได้หลังผ่านกระบวนการรู้จำ โดยโครงข่ายประสาทเทียม	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
g A-1 L LyV . xw	25.00 %
J DwW c RvV † FuU	66.67 %
g .tT h HDS i TPN j Jqx	62.50 %
k KpP l LoQ m MnU	83.33 %
01// 4b0 78 9	60.00 %
! Q/\$ e ( ) - Q , 'Z	66.67 %
<b>ประสิทธิภาพในการรู้จำมีค่า</b>	<b>60.81 %</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม  
แบบอักษร Times New Roman (Test 2)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบภาพเอกสาร Test 2

ผลที่ได้หลังผ่านกระบวนการรู้จำ โดยโครงข่ายประสาทเทียม	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
A3C aBc DEF der	66.67 %
GHI ghi JKL jkl	91.67 %
MNQ mno PQR pqr	91.67 %
STU stu VWX vwx	83.33 %
YZ yz	100.00 %
0 1234 5678 9	80.00 %
! ? / \$ & ( ) - . , ' "	100.00 %
ประสิทธิภาพในการรู้จำมีค่า	86.49 %

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABC abc DEF  
 def GHI ghi JKL  
 jkl MNO mno  
 PQR pqr STU  
 stu VWX vwx  
 YZ yz  
 0 1234 5678 9  
 ! ? / \$ & ( ) - . , '

รูปที่ 4.13 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม  
แบบอักษร Perpetua (Test 3)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบภาพเอกสาร Test 3

ผลที่ได้หลังผ่านกระบวนการรู้จำ โดยโครงข่ายประสาทเทียม	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
ABC ajje DEF	66.67 %
def GMI ghi JKL	75.00 %
jkl MNO mno	100.00 %
PQR pqr STU	100.00 %
stu VWX vwx	100.00 %
TZ y'	50.00 %
0 123w X678 9	80.00 %
4 ? 1 \$ & ( ) - . : 7	66.67 %
<b>ประสิทธิภาพในการรู้จำมีค่า</b>	<b>81.08 %</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T1 – Computer, Advanced Control Systems, and Intelligent Control

Advanced control and measurement, computer and microprocessor – based control, optimal and robot control, intelligent control, industrial applications of neural networks, fuzzy algorithms, evolutionary computing and intelligent systems

รูปที่ 4.14 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม  
แบบอักษร Times New Roman (Test 4)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 4

ผลที่ได้หลังผ่านกระบวนการรู้จำ โดยโครงข่ายประสาทเทียม	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
TI – Compnter, Advquoad Control	81.48 %
Sytemm, And Tntelligent Control	86.20 %
Advquced ceutrel aAj	61.11 %
m4AMmr4m4nt, zompmt4r And	56.52 %
mioprogoemmor – bAmed oontrol,	75.00 %
optimAl And robot control,	86.95 %
intelligent control, indmmtriAl	86.20 %
qpplioqtionD of nonrql networkD,	68.96 %
mzzy qlgorithmsD, oMolntionqry	70.37 %
oompnting And intolligont DyDtomD	70.00 %
ประสิทธิภาพในการรู้จำมีค่า	74.90 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## T2 – Power Electronics and Electrical Drives

Power electronic devices and systems, integrated power electronics, modeling simulation and control of power electronics, DC - DC conversion, AC/DC Modern rectifiers, distributed power system, UPS, active and hybrid filtering

รูปที่ 4.15 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม  
แบบอักษร Palatino Linotype (Test 5)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบภาพเอกสาร Test 5

ผลที่ได้หลังผ่านกระบวนการรู้จำ โดยโครงข่ายประสาทเทียม	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
T2 . Phwet Flecttbulcs and	45.45 %
FlecttlcAl Dtlves	62.50 %
Phwet electtbulc 2evlces Au4	56.00 %
mymtOmm, intOgrAtOG powOr	60.87 %
-l-CtroniCm, modoling zimulAtiom	66.67 %
AnG Control of powOr	76.47 %
(l(OtroniOm, D( - D( Q&nv&t-x&n,	46.43 %
AC/LC Moaern rePtifierm.	77.27 %
GimtriUutOG powOr mymtOm, UPS,	66.67 %
ACTivO AnG hwriG filtOring	65.23 %
ประสิทธิภาพในการรู้จำมีค่า	61.80 %

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### An Inter-Track Interference Mitigation technique Using Partial ITI Estimation in Patterned Media Storage

Lin M. M. Myint<sup>1</sup>, *Student Member, IEEE*, Prinya Tantaswad<sup>2</sup>, *Member, IEEE*, and Pornchai Supnithi<sup>2</sup>, *Member, IEEE*

<sup>1</sup>School of Technology, Shinawatra University, Samkok, Pathumthani 12160, Thailand

<sup>2</sup>Faculty of Engineering and I/U CRC in Data Storage Technology and Applications, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang (KMITL), Bangkok 10520, Thailand

These instructions give you guidelines for preparing papers for IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. Use this document as a template if you are using Microsoft Word 6.0 or later. Otherwise, use this document as an instruction set. This template is useful for estimating the length of conference-related papers, but its use is optional. The electronic file of your paper will be formatted further at IEEE. Paper titles should be written in uppercase and lowercase letters.

*Index Terms*—intertrack-interference, low-density parity-check (LDPC) code, patterned media, soft-output Viterbi algorithm (SOVA).

รูปที่ 4.16 ภาพเอกสารที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม  
แบบอักษร Times New Roman (Test 6)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 6

ผลที่ได้หลังผ่านกระบวนการรู้จำโดยโครงข่ายประสาทเทียม	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
Aj Ii Icr-T rack Ii terkrc hcc M iligalion icchlnliq ic Uiihg Parllal ITI Ewflmifloh lh	56.94 %
Palterhcd Mcd la Sfovrhgc	54.54 %
Lin M. M. MyInt4 , <u>musnt cmbec U</u> , P(inyA TautaswadQ, <u>mber. &amp;EE</u> , aud Eecu.hal	73.17 %
Supnllthltx, <u>mbe- y</u>	63.64 %
e S.neel ef Te.hdeleuy, S hlu.atea Uulversity, S.LeL, Pihumth.n] l . l qD, ThailI.nd	57.14 %
<u>F..u Ity ef EnCTue-cina and I/U CRC lu DAta Steca/e TeChneleay and</u> Apptll..tleus, Ei eu	57.53 %
Mongbml' m llomtitmte of Teobuo logy. Lqovbrqbqug (KM ITL), Bqmgkok l Om3O, ThqillqnU	58.90 %
Thcic lh\$lrhctlohi gsxc yoh gdidclnci mr preparlhg oipcr\$ mr IEEE TGN\$ACIIdN\$ GN	48.57 %

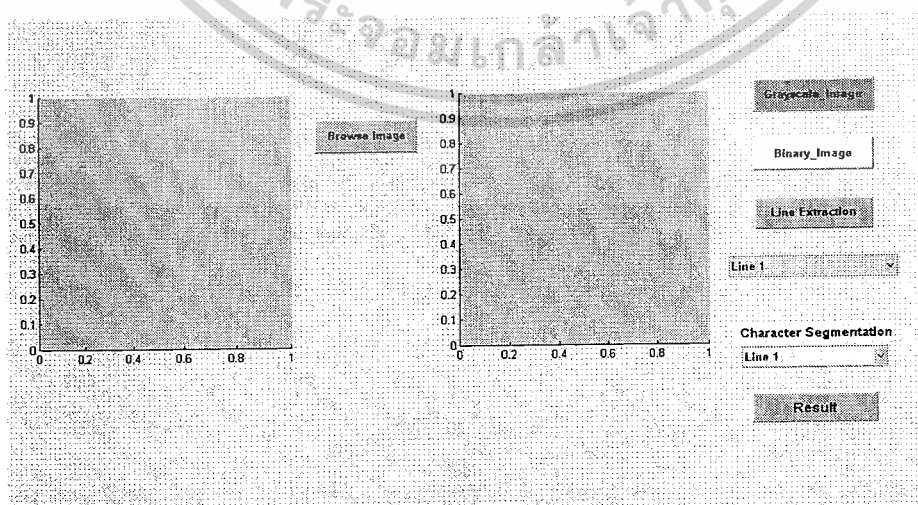
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงผลการทดลองภาพเอกสาร Test 6

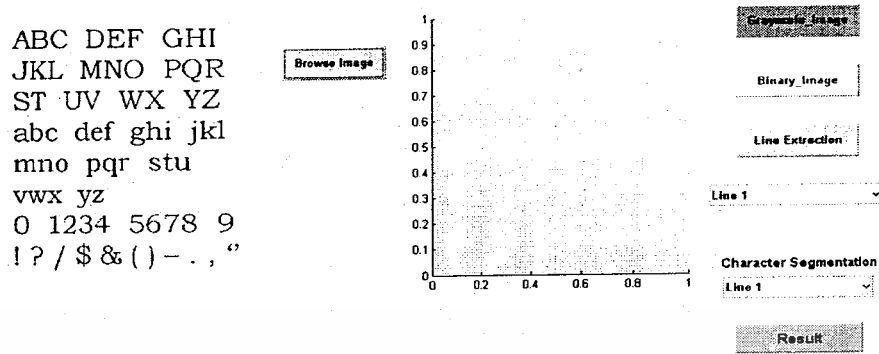
ผลที่ได้หลังจากกระบวนการรู้จำโดยโครงข่ายประสาทเทียม	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
MAGNETIC\$. UMc lhl\$ docnmcht aM i tcmpllc lf yoi arc nilhg MlcroioR brJ o.O or liltP.	51.47 %
Otherwl\$c. hic lhi\$ dochmch( am ah ihw(ricIioh ict. Th iS lcm o!alc ii hickl mr cMllmiIlg	39.19 %
Ihc lchgIh of kongrgnce-relaIcd papcri. hhf iIi nic l\$ opmlojal. The glczlroh ss Plc of yoir	50.65 %
piotr Will og mrmillcd krlhcP il IEEE. PlocP IIIc\$ Mhohld Ut WrlllgB ih rvDD(rPi\$( ihd	31.51 %
lowercase letters.	94.12 %
k- Qi-ihtr(rack-lhlerkrenze. low-dchMlw pirlfy-zhzrk (LPPU& zod (. oil(rrh(d	44.62 %
mcDlli. ioB-on lph f Vllcrhi algorlthlm (SOVA).	58.54 %
<b>ประสิทธิภาพในการรู้จำมีค่า</b>	<b>52.42 %</b>

โดยอักษรตัวหนาและขีดเส้นใต้ด้วยเส้นคู่ หมายถึง อักษรเอียงและตัวเลขยกกำลังที่ไม่ได้ทำการฝึกสอน จึงไม่สามารถทำการตัดแยกตัวอักษรได้ครบตามจำนวนที่แท้จริง และไม่สามารถรู้จำผ่านโครงข่ายประสาทเทียมได้อย่างถูกต้อง

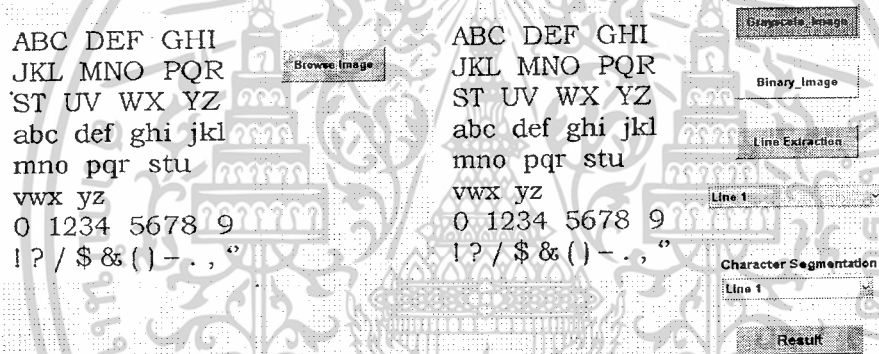
#### 4.3 การแสดงผล GUI (Graphic User Interface)



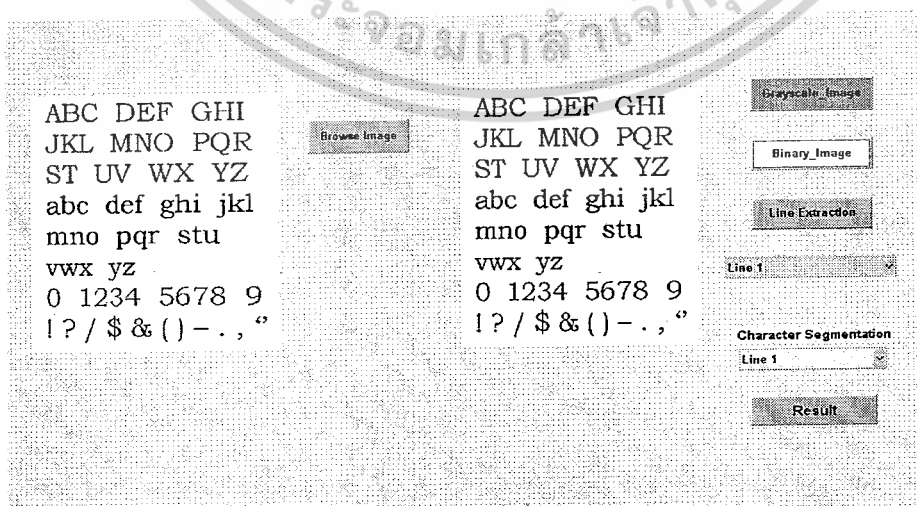
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงและไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.17 หน้าต่าง GUI ที่ได้ในการแสดงผล  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Browse Image เลือกรูปที่ต้องการ



รูปที่ 4.19 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Grayscale Image



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูที่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.20 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Binary Image  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABC DEF GHI  
 JKL MNO PQR  
 ST UV WX YZ  
 abc def ghi jkl  
 mno pqr stu  
 vwx yz  
 0 1234 5678 9  
 !? / \$ & ( ) - . , " ' ,

Browse Image

ABC DEF GHI  
 JKL MNO PQR  
 ST UV WX YZ  
 abc def ghi jkl  
 mno pqr stu  
 vwx yz  
 0 1234 5678 9  
 !? / \$ & ( ) - . , " ' ,

Grayscale Image

Binary Image

Line Extraction

Line 1

Character Segmentation

Line 1

Result

รูปที่ 4.21 หน้าต่าง GUI หลังจากกดปุ่ม Line Extraction

ABC DEF GHI  
 JKL MNO PQR  
 ST UV WX YZ  
 abc def ghi jkl  
 mno pqr stu  
 vwx yz  
 0 1234 5678 9  
 !? / \$ & ( ) - . , " ' ,

Browse Image

ABC DEF GHI

Grayscale Image

Binary Image

Line Extraction

Line 1

Character Segmentation

Line 1

Result

รูปที่ 4.22 หน้าต่าง GUI ในการเลือกตัดบรรทัดที่ 1 ของภาพ

ABC DEF GHI  
 JKL MNO PQR  
 ST UV WX YZ  
 abc def ghi jkl  
 mno pqr stu  
 vwx yz  
 0 1234 5678 9  
 !? / \$ & ( ) - . , " ' ,

Browse Image

JKL MNO PQR

Grayscale Image

Binary Image

Line Extraction

Line 2

Character Segmentation

Line 1

Result

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.23 หน้าต่าง GUI ในการเลือกตัดบรรทัดที่ 2 ของภาพ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABC DEF GHI  
 JKL MNO PQR  
 ST UV WX YZ  
 abc def ghi jkl  
 mno pqr stu  
 vwx yz  
 0 1234 5678 9  
 !? / \$ & ( ) - . , , "

Browse Image

ABC DEF GHI

Crop Image

Binary Image

Line Extraction

Line 2

Character Segmentation

Line 1

Result

รูปที่ 4.24 หน้าต่าง GUI ในการแบ่งขอบเขตตัวอักษรบรรทัดที่ 1

ABC DEF GHI  
 JKL MNO PQR  
 ST UV WX YZ  
 abc def ghi jkl  
 mno pqr stu  
 vwx yz  
 0 1234 5678 9  
 !? / \$ & ( ) - . , , "

Browse Image

JKL MNO PQR

Crop Image

Binary Image

Line Extraction

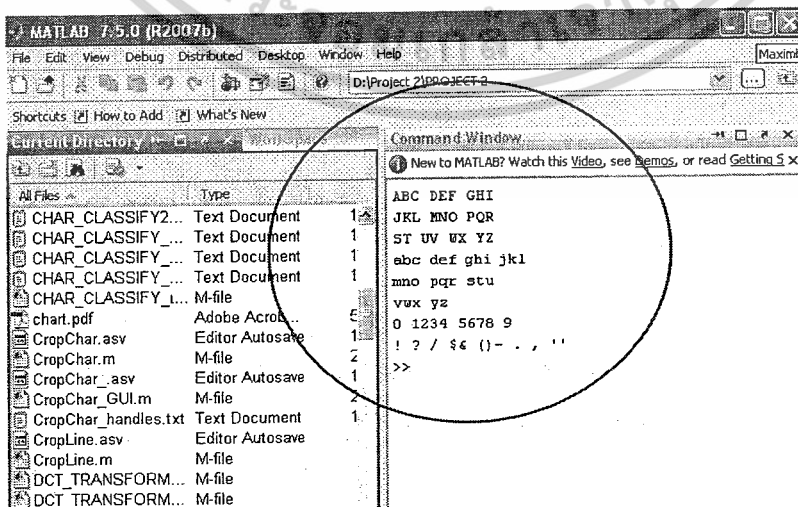
Line 2

Character Segmentation

Line 2

Result

รูปที่ 4.25 หน้าต่าง GUI ในการแบ่งขอบเขตตัวอักษรบรรทัดที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.26 แสดงผลที่เป็นตัวอักษรเมื่อกดปุ่ม Result  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

5.1 บทสรุป

จากโครงการ “ระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษ” ใช้กระบวนการ การประมวลผลภาพ และ  
 โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจาก โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา สามารถสรุปได้ดังนี้

- การประมวลผลภาพ สามารถที่จะค้นหาตำแหน่งของตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่  
 ตัวพิมพ์เล็ก ตัวเลข และสัญลักษณ์ต่างๆ ภายในภาพเอกสารหน้ากระดาษ ได้

- การแยกคุณลักษณะเฉพาะของภาพ โดยใช้การแปลงดิสครีต โคไซน์ สามารถทำการลดข้อมูล  
 ของภาพตัวอักษรแต่ละตัวหลังจากผ่านการปรับขนาดให้เท่ากัน (Normalization by Resizing) ทำให้ลด  
 ความซับซ้อนในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมได้

- การรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ ตัวพิมพ์เล็ก ตัวเลข และสัญลักษณ์ต่างๆ โดย  
 โครงข่ายประสาทเทียม สามารถรู้จำตัวอักษรทั้งหมดที่ป้อนเข้าไปได้

ระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษในทางปฏิบัติ เมื่อทดลองด้วยการอ่านภาพเอกสารด้วยเครื่อง  
 สแกนเนอร์จากเอกสารโดยทั่วไป เพื่อทดสอบความสามารถของหลักการแยกประเภทตัวอักษรด้วยวิธีของ  
 โครงข่ายประสาทเทียมพบว่า การรู้จำตัวอักษรเพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำนั้น ไม่สามารถดำเนินการ  
 โดยลำพังได้ จำเป็นต้องศึกษาหลักการประมวลผลขั้นต้น และการแยกคุณลักษณะเฉพาะของตัวอักษร  
 เพิ่มเติม เพื่อให้อัตราการรู้จำตัวอักษรถูกต้องมากขึ้น จากกรทดสอบผลการรู้จำตัวอักษรจากเอกสารบาง  
 ฉบับ พบว่าให้อัตราการรู้จำอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่มีปัญหาในเรื่องของการประมวลผลขั้นต้น จึงควรพัฒนา  
 เรื่องตัวอักษรติดกันและการจัดระดับตัวอักษรให้ดียิ่งขึ้น

5.2 บทวิจารณ์

1. การคัดเลือกตัวอักษรที่จะนำมาฝึกสอน ต้องคัดเลือกด้วยความระมัดระวัง สิ่งที่ต้องคำนึงถึง  
 คือ อินพุตแพทเทิร์นที่มีลักษณะเหมือนกันแต่มีเอาต์พุตหลายค่า เช่น ตัวเลขหนึ่ง “1” กับตัวอักษร  
 ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ ไอ “I” หากแบบอักษรของทั้งสองตัวเป็นแบบไม่มีหัว การฝึกสอนด้วยโครงข่าย  
 ประสาทเทียมจะไม่สิ้นสุด กราฟของค่าจะผิดพลาด ระบบโดยรวมจะเกิดการแกว่งไม่ลดลงตามจำนวน  
 รอบที่ฝึกสอน ดังนั้น ควรสร้างความสัมพันธ์ของอินพุตแพทเทิร์นตัวอักษรกับเอาต์พุตแพทเทิร์นให้มีค่า  
 แบบ one-to-one หรือ many-to-one เท่านั้น (ไม่ควรเกิดกรณี many-to-many)

2. มีตัวเลขบางตัวที่ไม่สามารถแยกออกจากตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่สอดคล้องกันได้ เช่นตัวเลข  
 ศูนย์ “0” กับตัวอักษร โอ “O” ตัวเลขหนึ่ง “1” กับตัวอักษร ไอ “I” ตัวเลขห้า “5” กับตัวอักษรเอส “S” เป็น  
 ต้น อย่างไรก็ตาม ผลการตีความตัวเลขหรือตัวอักษรไม่ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการแยกประเภทตัวอักษรด้วย  
 โครงข่ายประสาทเทียม จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นพิจารณาแทน เช่น โปรแกรมตรวจสอบการสะกดคำ เป็น  
 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การพัฒนาผลการรู้จำตัวอักษรให้ดียิ่งขึ้น ควรทำการแยกประเภทของตัวอักษรแบบหยาบๆ (Coarse Classification) ออกเป็นกลุ่มหลายๆ กลุ่ม โดยอาศัยคุณสมบัติทางสถิติและคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านโครงสร้าง พยางค์ คำ และประโยค ก่อนจะเริ่มใช้กระบวนการแยกประเภทตัวอักษรในขั้นตอนสุดท้าย

4. จากผลการทดสอบการรู้จำตัวอักษรพบว่า ประสิทธิภาพการรู้จำตัวอักษรไม่ได้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการแยกประเภทของตัวอักษรด้วยวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการประมวลผลขั้นต้นเป็นสำคัญ หากสามารถแยกตัวอักษรทุกตัวออกจากกันได้อย่างชัดเจน จะช่วยให้ผลการรู้จำตัวอักษรถูกต้องอยู่ในเกณฑ์สูงมากขึ้น

5. การทดสอบครั้งนี้ไม่มีการฝึกสอนตัวอักษรเสียง ทำให้ผลการรู้จำตัวอักษรเสียงมีความผิดพลาดสูง จึงควรหลีกเลี่ยงการทดสอบตัวอักษรเสียงดังกล่าว ส่วนตัวอักษรในภาพเอกสารที่อ่านเข้ามา บางตัวไม่เคยผ่านการฝึกสอนมาก่อน ทำให้ผลการรู้จำตัวอักษรมีความผิดพลาดสูง เช่นกัน

6. ในการทดสอบไม่มีการวิเคราะห์เพื่อแยกภาพวาดและข้อความตัวอักษรออกจากกัน ดังนั้น การอ่านเอกสารที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์ควรเลือกเฉพาะภาพข้อความเท่านั้น

### 5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

ปัญหาและอุปสรรคที่พบในโครงการนี้ มีทั้งในส่วนกระบวนการ การประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้ คือ

1. การตัดแยกตัวอักษรตัวเดียวกัน แต่อยู่ในขอบเขตคนละบรรทัด เช่นตัวอักษรเอ “a” จากบรรทัดที่ไม่มีตัวอักษรที่มีส่วนหัวหรือส่วนหางเกินออกมาเลย กับตัวอักษรเอ “a” จากบรรทัดที่มีส่วนหัวจากตัว “b” หรือส่วนหางจากตัว “y” เกินออกมา จะทำให้ความแม่นยำในการให้เอาต์พุตดังกล่าวออกมาถูกต้องนั้น ลดน้อยลง

2. การปรับค่าจำนวน โหนดของฮิดเดนเลเยอร์ (Hidden Layer) ให้มีความเหมาะสมมากที่สุด

3. เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน (Learning) ให้โครงข่ายประสาทเทียมรู้จำตัวอักษรทั้งหมดนั้นจะใช้เวลานานพอสมควรในการรู้จำ

4. ในขั้นตอนการทดสอบ (Testing) พบว่า เอาต์พุตอักษรต่างๆ ยังไม่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว อาจแก้ไขได้โดยการเพิ่มรูปแบบของตัวอักษรที่ใช้ในการฝึกสอน หรืออาจเพิ่มความซับซ้อนของการรู้จำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยการเพิ่มจำนวนฮิดเดนเลเยอร์

ภาคผนวก ก.

การคำนวณ Neural Network ชั้นพื้นฐานในลักษณะต่างๆ

1. การใช้ Perceptron แก้ปัญหาตรรกะ “และ” (AND) แบบ 1 กับ -1

ตารางที่ 1 ตารางความจริงของ AND

x1	x2	t
1	1	1
1	-1	-1
-1	1	-1
-1	-1	-1

ค่าระดับเริ่มต้นเป็น

$$w = [0 \ 0 \ 0]$$

มีค่าอัตราการเรียนรู้

$$\eta = 1$$

สามารถเขียนค่าน้ำหนัก (weight) และอินพุต ในรูปของเวกเตอร์ ดังนี้

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n, 1]^T$$

จะหาค่า  $u$  ได้จาก

$$u = w^T x$$

และหาค่า  $y$  ได้จาก

$$y = \begin{cases} 1, & u \geq 0 \\ -1, & u < 0 \end{cases}$$

ตารางที่ 2 ตารางการคำนวณ Perceptron ของ AND

	x1	x2	1	u	y	t	w1	w2	$\theta$
	-	-	-	-	-	-	0	0	0
รอบที่ 1	1	1	1	0.3	0	1	0	0	0
	1	-1	1	0	1	-1	-1	1	-1
	-1	1	1	1	1	-1	0	0	-2
	-1	-1	1	-2	-1	-1	0	0	-2
รอบที่ 2	1	1	1	-2	-1	1	1	1	-1
	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
	-1	-1	1	-3	-1	-1	1	1	-1
รอบที่ 3	1	1	1	1	1	1	1	-1	

2. การใช้ Perceptron แก้ปัญหาตรรกะ “หรือ” (OR) แบบ 1 กับ -1

ตารางที่ 3 ตารางความจริงของ OR

x1	x2	t
1	1	1
1	-1	1
-1	1	1
-1	-1	-1

ค่าระดับเริ่มต้นเป็น  $w = [0 \ 0 \ 0]$

มีค่าอัตราการเรียนรู้  $\eta = 1$

สามารถเขียนค่าน้ำหนัก (weight) และอินพุท ในรูปของเวกเตอร์ ดังนี้

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n, 1]^T$$

จะหาค่า  $u$  ได้จาก  $u = w^T x$

และหาค่า  $y$  ได้จาก  $y = \begin{cases} 1, & u \geq 0 \\ -1, & u < 0 \end{cases}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ตารางการคำนวณ Perceptron ของ OR

	x1	x2	1	u	y	t	w1	w2	$\theta$
	-	-	-	-	-	-	0	0	0
รอบที่ 1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
	1	-1	1	0	1	1	0	0	0
	-1	1	1	0	1	1	0	0	0
	-1	-1	1	0	1	-1	0	0	-2
รอบที่ 2	1	1	1	-2	-1	1	2	2	0
	1	-1	1	2	1	1	2	2	0
	-1	1	1	2	1	1	2	2	0
	-1	-1	1	0	1	-1	2	2	-2
รอบที่ 3	1	1	1	-2	1	-1	2	2	-2
	1	-1	1	0	1	1	2	2	-2
	-1	1	1	0	1	1	2	2	-2
	-1	-1	1	-2	-1	-1	2	2	-2

3. การใช้ Perceptron แก้ปัญหาตรรก “และ” (AND) แบบ 1 กับ 0

ตารางที่ 5 ตารางความจริงของ AND

x1	x2	t
1	1	1
-1	0	0
0	1	0
0	0	0

ค่าระดับเริ่มต้นเป็น  $w = [0 \ 0 \ 0]$

มีค่าอัตราการเรียนรู้  $\eta = 1$

สามารถเขียนค่าน้ำหนัก (weight) และอินพุท ในรูปของเวกเตอร์ ดังนี้

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n, 1]^T$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะหาค่า  $u$  ได้จาก

$$u = w^T x$$

และหาค่า  $y$  ได้จาก

$$y = \begin{cases} 1, & u > 1 \\ 0, & u \leq 1 \end{cases}$$

ตารางที่ 6 ตารางการคำนวณ Perceptron ของ AND

	x1	x2	1	u	y	t	w1	w2	$\theta$
	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1
รอบที่ 1	1	1	1	0.3	0	1	1.1	1.1	1.1
	1	0	1	2.2	1	0	0.1	1.1	0.1
	0	1	1	1.2	1	0	0.1	0.1	-0.9
	0	0	1	-0.9	0	0	0.1	0.1	-0.9
รอบที่ 2	1	1	1	-0.7	0	1	1.1	1.1	0.1
	1	0	1	1.2	1	0	0.1	1.1	-0.9
	0	1	1	0.2	0	0	0.1	1.1	-0.9
	0	0	1	-0.9	0	0	0.1	1.1	-0.9
รอบที่ 3	1	1	1	0.3	0	1	1.1	2.1	0.1
	1	0	1	1.2	1	0	0.1	2.1	-0.9
	0	1	1	1.2	1	0	0.1	1.1	-1.9
	0	0	1	-1.9	0	0	0.1	1.1	-1.9
รอบที่ 4	1	1	1	-0.7	0	1	1.1	2.1	-0.9
	1	0	1	0.2	0	0	1.1	2.1	-0.9
	0	1	1	1.2	1	0	1.1	1.1	-1.9
	0	0	1	-1.9	0	0	1.1	1.1	-1.9
รอบที่ 5	1	1	1	0.3	0	1	2.1	2.1	-0.9
	1	0	1	1.2	1	0	1.1	2.1	-1.9
	0	1	1	0.2	0	0	1.1	2.1	-1.9
	0	0	1	-1.9	0	0	1.1	2.1	-1.9
รอบที่ 6	1	1	1	1.3	1	1	1.1	2.1	-1.9
	1	0	1	-0.8	0	0	1.1	2.1	-1.9
	0	1	1	0.2	0	0	1.1	2.1	-1.9
	0	0	1	-1.9	0	0	1.1	2.1	-1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การใช้ Perceptron แก้ปัญหาตรรก “หรือ” (OR) แบบ 1 กับ 0

ตารางที่ 7 ตารางความจริงของ OR

x1	x2	t
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

ค่าระดับเริ่มต้นเป็น

$$w = [0 \ 0 \ 0]$$

มีค่าอัตราการเรียนรู้

$$\eta = 1$$

สามารถเขียนค่าน้ำหนัก (weight) และอินพุท ในรูปของเวกเตอร์ ดังนี้

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n, 1]^T$$

จะหาค่า  $u$  ได้จาก

$$u = w^T x$$

และหาค่า  $y$  ได้จาก

$$y = \begin{cases} 1, & u > 1 \\ 0, & u \leq 1 \end{cases}$$

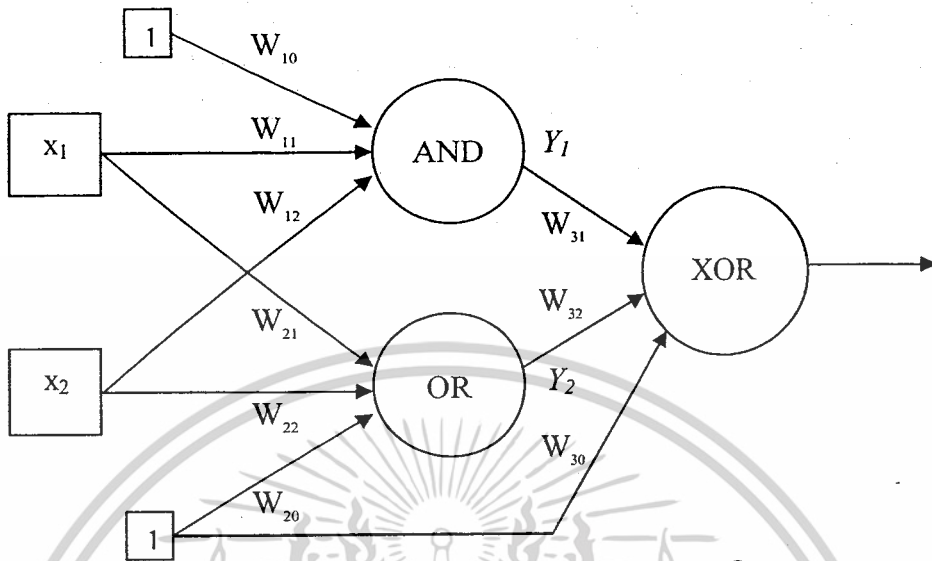
ตารางที่ 8 ตารางการคำนวณ Perceptron ของ OR

	x1	x2	1	u	y	t	w1	w2	$\theta$
	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1
รอบที่ 1	1	1	1	0.3	0	1	1.1	1.1	1.1
	1	0	1	2.2	1	1	1.1	1.1	1.1
	0	1	1	2.2	1	1	1.1	1.1	1.1
	0	0	1	1.1	1	0	1.1	1.1	0.1
รอบที่ 2	1	1	1	2.3	1	1	1.1	1.1	0.1
	1	0	1	1.2	1	1	1.1	1.1	0.1
	0	1	1	1.2	1	1	1.1	1.1	0.1
	0	0	1	0.1	0	0	1.1	1.1	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การใช้ Perceptron แก้ปัญหาตรรก “หรือ” (XOR)



รูปที่ 1 การออกแบบโครงข่าย

ตารางที่ 9 ตารางความจริงของ XOR

x1	x2	y1	y2	t
1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	1
-1	1	-1	1	1
-1	-1	-1	1	-1

ค่าระดับเริ่มต้นเป็น  $w = [0\ 0\ 0]$

มีค่าอัตราการเรียนรู้  $\eta = 1$

สามารถเขียนค่าน้ำหนัก (weight) และอินพุต ในรูปของเวกเตอร์ ดังนี้

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n, 1]^T$$

จะหาค่า  $u$  ได้จาก  $u = w^T x$

และหาค่า  $y$  ได้จาก  $y = \begin{cases} 1, & u \geq 0 \\ 0, & u < 0 \end{cases}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ตารางการคำนวณ Perceptron ของ XOR

	x1	x2	1	u	y	t	w	w	$\theta$	
	-	-	-	-	-	-	0	0	0	
รอบที่ 1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	
	1	-1	1	0	1	-1	-1	1	-1	
	-1	1	1	1	1	-1	0	0	-2	
	-1	-1	1	-2	-1	-1	0	0	-2	
	1	1	1	0	1	1	0	0	0	
	1	-1	1	0	1	1	0	0	0	
	-1	1	1	0	1	1	0	0	0	
	-1	-1	1	0	1	-1	1	1	-1	
	1	1	1	0	1	-1	-1	-1	-1	
	1	-1	1	-3	-1	1	0	0	0	
	-1	1	1	0	1	1	0	0	0	
	-1	-1	1	0	1	-1	1	1	-1	
	รอบที่ 2	1	1	1	-2	-2	1	1	1	-1
		1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
		-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
		-1	-1	1	-3	-1	-1	1	1	-1
1		1	1	1	1	1	1	1	-1	
1		-1	1	-1	-1	1	2	0	0	
-1		1	1	-2	-1	1	1	1	1	
-1		-1	1	-1	-1	1	1	1	1	
1		1	1	-3	-1	-1	1	-1	-1	
1		-1	1	-1	-1	1	0	-2	0	
-1		1	1	2	1	1	0	-2	0	
-1		-1	1	2	1	-1	1	-1	-1	
รอบที่ 3		1	1	1	1	1	1	1	1	-1
		1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
		-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
		-1	-1	1	-3	-1	-1	1	1	-1
	1	1	1	3	1	1	1	1	1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 (ต่อ) ตารางการคำนวณ Perceptron ของ XOR

	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1
	1	-1	1	-3	-1	1	0	0	0
	-1	1	1	0	1	1	0	0	0
	-1	-1	1	0	1	-1	1	1	-1
รอบที่ 4	1	1	1	1	1	1	1	1	-1
	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
	-1	-1	1	-3	-1	-1	1	1	-1
	1	1	1	3	1	1	1	1	1
	1	-1	1	1	1	1	1	1	1
	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
	1	1	1	1	1	-1	0	0	-2
	1	-1	1	-2	-1	1	-1	1	-1
	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1
	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
รอบที่ 5	1	1	1	1	1	1	1	1	-1
	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
	-1	-1	1	-3	-1	-1	1	1	-1
	1	1	1	3	1	1	1	1	1
	1	-1	1	1	1	1	1	1	1
	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1
	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1
	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

### Program source codes.

#### 1. The process of extract line to characters segmentation.

```
%-----Input Image-----  
%-----  
  
A = imread('D:\PROJECT 2\Picture.bmp');  
B = RGB_GRAY(A);  
img = THRESHOLD(B);  
  
%-----Line Extraction-----  
%-----  
  
[m,n]=size(img);  
for i=1:m  
    X(i)=sum(img(i,1:n));  
    if X(i)==n  
        img(i,1:n)=0;  
    end  
end  
  
%-----Top and Bottom of Each Row-----  
%-----  
  
count1=0;count2=0;  
for i=1:m-1  
    if sum(img(i,1:n))==0 && sum(img(i+1,1:n))~=0  
        count1=count1+1;  
        T(count1)=i+1;  
    end  
end  
for i=1:m-1  
    if sum(img(i,1:n))~=0 && sum(img(i+1,1:n))==0  
        count2=count2+1;  
        TT(count2)=i;  
    end  
end  
  
%-----Display Every Row-----  
%-----  
  
for i=1:length(T)  
    figure,imshow(img(T(1,i):TT(1,i),1:n));  
end  
  
%-----Transfer Row() to Process of Characters Segmentation-----  
%-----  
  
for i=1:length(T)  
    if i==1  
        Row1=[img(T(1,1):TT(1,1),1:n)];  
        CropChar(Row1)  
    elseif i==2  
        Row2=[img(T(1,2):TT(1,2),1:n)];  
        CropChar(Row2)  
    elseif i==3  
        Row3=[img(T(1,3):TT(1,3),1:n)];  
        CropChar(Row3)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CropChar (Row3)
elseif i==4
    Row4=[img (T (1, 4) : TT (1, 4), 1:n)];
    CropChar (Row4)
elseif i==5
    Row5=[img (T (1, 5) : TT (1, 5), 1:n)];
    CropChar (Row5)
elseif i==6
    Row6=[img (T (1, 6) : TT (1, 6), 1:n)];
    CropChar (Row6)
elseif i==7
    Row7=[img (T (1, 7) : TT (1, 7), 1:n)];
    CropChar (Row7)
elseif i==8
    Row8=[img (T (1, 8) : TT (1, 8), 1:n)];
    CropChar (Row8)
elseif i==9
    Row9=[img (T (1, 9) : TT (1, 9), 1:n)];
    CropChar (Row9)
elseif i==10
    Row10=[img (T (1, 10) : TT (1, 10), 1:n)];
    CropChar (Row10)
elseif i==11
    Row11=[img (T (1, 11) : TT (1, 11), 1:n)];
    CropChar (Row11)
elseif i==12
    Row12=[img (T (1, 12) : TT (1, 12), 1:n)];
    CropChar (Row12)
elseif i==13
    Row13=[img (T (1, 13) : TT (1, 13), 1:n)];
    CropChar (Row13)
elseif i==14
    Row14=[img (T (1, 14) : TT (1, 14), 1:n)];
    CropChar (Row14)
elseif i==15
    Row15=[img (T (1, 15) : TT (1, 15), 1:n)];
    CropChar (Row15)
elseif i==16
    Row16=[img (T (1, 16) : TT (1, 16), 1:n)];
    CropChar (Row16)
elseif i==17
    Row17=[img (T (1, 17) : TT (1, 17), 1:n)];
    CropChar (Row17)
elseif i==18
    Row18=[img (T (1, 18) : TT (1, 18), 1:n)];
    CropChar (Row18)
elseif i==19
    Row19=[img (T (1, 19) : TT (1, 19), 1:n)];
    CropChar (Row19)
elseif i==20
    Row20=[img (T (1, 20) : TT (1, 20), 1:n)];
    CropChar (Row20)
elseif i==21
    Row21=[img (T (1, 21) : TT (1, 21), 1:n)];
    CropChar (Row21)
elseif i==22
    Row22=[img (T (1, 22) : TT (1, 22), 1:n)];
    CropChar (Row22)
elseif i==23
    Row23=[img (T (1, 23) : TT (1, 23), 1:n)];
    CropChar (Row23)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif i==24
    Row24=[img(T(1,24):TT(1,24),1:n)];
    CropChar(Row24)
elseif i==25
    Row25=[img(T(1,25):TT(1,25),1:n)];
    CropChar(Row25)
elseif i==26
    Row26=[img(T(1,26):TT(1,26),1:n)];
    CropChar(Row26)
elseif i==27
    Row27=[img(T(1,27):TT(1,27),1:n)];
    CropChar(Row27)
elseif i==28
    Row28=[img(T(1,28):TT(1,28),1:n)];
    CropChar(Row28)
elseif i==29
    Row29=[img(T(1,29):TT(1,29),1:n)];
    CropChar(Row29)
elseif i==30
    Row30=[img(T(1,30):TT(1,30),1:n)];
    CropChar(Row30)
end
end
end

```

## 2. The process of characters segmentation to the result.

```

function CropChar (Row)
%-----Characters Segmentation-----
%
[u,v]=size(Row);
for j=1:v
    T=sum(Row(1:u,j));
    if T==u
        Row(1:u,j)=0;
    end
end
end
%-----Left and Right of Each Character-----
%
count1=0;count2=0;
for j=1:v-1
    if sum(Row(1:u,j))==0 && sum(Row(1:u,j+1))~=0
        count1=count1+1;
        L(count1)=j+1;
    end
end

for j=1:v-1
    if sum(Row(1:u,j))~=0 && sum(Row(1:u,j+1))==0
        count2=count2+1;
        LL(count2)=j;
    end
end
%-----Display Every Characters-----
%
for i=1:length(L)
    figure,imshow(Row(1:u,L(1,i):LL(1,i)));
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-----Calculate the average of space-----  
-----

```
space=0;
for i=1:length(L)-1
    space = (L(1,i+1)-LL(1,i))+space;
end
avg = space/(length(L)-1);
```

-----Transfer Let() to Display the Result-----  
-----

```
for i=1:length(L)
    if i==1
        Let01=[Row(1:u,L(1,1):LL(1,1))];
        AA = imresize(Let01,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
        if length(L) > 1
            if (L(1,2)-LL(1,1)) >= avg
                Let01_=[Row(1:u,LL(1,1):L(1,2))];
                AA = imresize(Let01_,[30,30]);
                BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
                CHAR_CLASSIFY(BB);
            end
        end
    elseif i==2
        Let02=[Row(1:u,L(1,2):LL(1,2))];
        AA = imresize(Let02,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
        if length(L) > 2
            if (L(1,3)-LL(1,2)) >= avg
                Let02_=[Row(1:u,LL(1,2):L(1,3))];
                AA = imresize(Let02_,[30,30]);
                BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
                CHAR_CLASSIFY(BB);
            end
        end
    elseif i==3
        Let03=[Row(1:u,L(1,3):LL(1,3))];
        AA = imresize(Let03,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
        if length(L) > 3
            if (L(1,4)-LL(1,3)) >= avg
                Let03_=[Row(1:u,LL(1,3):L(1,4))];
                AA = imresize(Let03_,[30,30]);
                BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
                CHAR_CLASSIFY(BB);
            end
        end
    elseif i==4
        Let04=[Row(1:u,L(1,4):LL(1,4))];
        AA = imresize(Let04,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if length(L) > 4
    if (L(1,5)-LL(1,4)) >= avg
        Let04_=[Row(1:u,LL(1,4):L(1,5))];
        AA = imresize(Let04_, [30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==5
    Let05=[Row(1:u,L(1,5):LL(1,5))];
    AA = imresize(Let05, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 5
        if (L(1,6)-LL(1,5)) >= avg
            Let05_=[Row(1:u,LL(1,5):L(1,6))];
            AA = imresize(Let05_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==6
    Let06=[Row(1:u,L(1,6):LL(1,6))];
    AA = imresize(Let06, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 6
        if (L(1,7)-LL(1,6)) >= avg
            Let06_=[Row(1:u,LL(1,6):L(1,7))];
            AA = imresize(Let06_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==7
    Let07=[Row(1:u,L(1,7):LL(1,7))];
    AA = imresize(Let07, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 7
        if (L(1,8)-LL(1,7)) >= avg
            Let07_=[Row(1:u,LL(1,7):L(1,8))];
            AA = imresize(Let07_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==8
    Let08=[Row(1:u,L(1,8):LL(1,8))];
    AA = imresize(Let08, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 8
        if (L(1,9)-LL(1,8)) >= avg
            Let08_=[Row(1:u,LL(1,8):L(1,9))];
            AA = imresize(Let08_, [30,30]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==9
    Let09=[Row(1:u,L(1,9):LL(1,9))];
    AA = imresize(Let09,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 9
        if (L(1,10)-LL(1,9)) >= avg
            Let09_=[Row(1:u,LL(1,9):L(1,10))];
            AA = imresize(Let09_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

elseif i==10
    Let10=[Row(1:u,L(1,10):LL(1,10))];
    AA = imresize(Let10,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 10
        if (L(1,11)-LL(1,10)) >= avg
            Let10_=[Row(1:u,LL(1,10):L(1,11))];
            AA = imresize(Let10_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

elseif i==11
    Let11=[Row(1:u,L(1,11):LL(1,11))];
    AA = imresize(Let11,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 11
        if (L(1,12)-LL(1,11)) >= avg
            Let11_=[Row(1:u,LL(1,11):L(1,12))];
            AA = imresize(Let11_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

elseif i==12
    Let12=[Row(1:u,L(1,12):LL(1,12))];
    AA = imresize(Let12,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 12
        if (L(1,13)-LL(1,12)) >= avg
            Let12_=[Row(1:u,LL(1,12):L(1,13))];
            AA = imresize(Let12_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif i==13
    Let13=[Row(1:u,L(1,13):LL(1,13))];
    AA = imresize(Let13,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 13
        if (L(1,14)-LL(1,13)) >= avg
            Let13_=[Row(1:u,LL(1,13):L(1,14))];
            AA = imresize(Let13_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

elseif i==14
    Let14=[Row(1:u,L(1,14):LL(1,14))];
    AA = imresize(Let14,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 14
        if (L(1,15)-LL(1,14)) >= avg
            Let14_=[Row(1:u,LL(1,14):L(1,15))];
            AA = imresize(Let14_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

elseif i==15
    Let15=[Row(1:u,L(1,15):LL(1,15))];
    AA = imresize(Let15,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 15
        if (L(1,16)-LL(1,15)) >= avg
            Let15_=[Row(1:u,LL(1,15):L(1,16))];
            AA = imresize(Let15_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

elseif i==16
    Let16=[Row(1:u,L(1,16):LL(1,16))];
    AA = imresize(Let16,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 16
        if (L(1,17)-LL(1,16)) >= avg
            Let16_=[Row(1:u,LL(1,16):L(1,17))];
            AA = imresize(Let16_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

elseif i==17
    Let17=[Row(1:u,L(1,17):LL(1,17))];
    AA = imresize(Let17,[30,30]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 17
    if (L(1,18)-LL(1,17)) >= avg
        Let17=[Row(1:u,LL(1,17):L(1,18))];
        AA = imresize(Let17_, [30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==18
    Let18=[Row(1:u,L(1,18):LL(1,18))];
    AA = imresize(Let18, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 18
        if (L(1,19)-LL(1,18)) >= avg
            Let18_=[Row(1:u,LL(1,18):L(1,19))];
            AA = imresize(Let18_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==19
    Let19=[Row(1:u,L(1,19):LL(1,19))];
    AA = imresize(Let19, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 19
        if (L(1,20)-LL(1,19)) >= avg
            Let19_=[Row(1:u,LL(1,19):L(1,20))];
            AA = imresize(Let19_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==20
    Let20=[Row(1:u,L(1,20):LL(1,20))];
    AA = imresize(Let20, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 20
        if (L(1,21)-LL(1,20)) >= avg
            Let20_=[Row(1:u,LL(1,20):L(1,21))];
            AA = imresize(Let20_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==21
    Let21=[Row(1:u,L(1,21):LL(1,21))];
    AA = imresize(Let21, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 21
        if (L(1,22)-LL(1,21)) >= avg

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Let21_=[Row(1:u,LL(1,21):L(1,22))];
        AA = imresize(Let21_, [30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==22
    Let22=[Row(1:u,L(1,22):LL(1,22))];
    AA = imresize(Let22, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 22
        if (L(1,23)-LL(1,22)) >= avg
            Let22_=[Row(1:u,LL(1,22):L(1,23))];
            AA = imresize(Let22_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==23
    Let23=[Row(1:u,L(1,23):LL(1,23))];
    AA = imresize(Let23, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 23
        if (L(1,24)-LL(1,23)) >= avg
            Let23_=[Row(1:u,LL(1,23):L(1,24))];
            AA = imresize(Let23_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==24
    Let24=[Row(1:u,L(1,24):LL(1,24))];
    AA = imresize(Let24, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 24
        if (L(1,25)-LL(1,24)) >= avg
            Let24_=[Row(1:u,LL(1,24):L(1,25))];
            AA = imresize(Let24_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==25
    Let25=[Row(1:u,L(1,25):LL(1,25))];
    AA = imresize(Let25, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 25
        if (L(1,26)-LL(1,25)) >= avg
            Let25_=[Row(1:u,LL(1,25):L(1,26))];
            AA = imresize(Let25_, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเฉพาะที่ปรึกษาหารือเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end
end

elseif i==26
Let26=[Row(1:u,L(1,26):LL(1,26))];
AA = imresize(Let26,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 26
    if (L(1,27)-LL(1,26)) >= avg
        Let26_=[Row(1:u,LL(1,26):L(1,27))];
        AA = imresize(Let26_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==27
Let27=[Row(1:u,L(1,27):LL(1,27))];
AA = imresize(Let27,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 27
    if (L(1,28)-LL(1,27)) >= avg
        Let27_=[Row(1:u,LL(1,27):L(1,28))];
        AA = imresize(Let27_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==28
Let28=[Row(1:u,L(1,28):LL(1,28))];
AA = imresize(Let28,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 28
    if (L(1,29)-LL(1,28)) >= avg
        Let28_=[Row(1:u,LL(1,28):L(1,29))];
        AA = imresize(Let28_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==29
Let29=[Row(1:u,L(1,29):LL(1,29))];
AA = imresize(Let29,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 29
    if (L(1,30)-LL(1,29)) >= avg
        Let29_=[Row(1:u,LL(1,29):L(1,30))];
        AA = imresize(Let29_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Let30=[Row(1:u,L(1,30):LL(1,30))];
AA = imresize(Let30,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 30
    if (L(1,31)-LL(1,30)) >= avg
        Let30_=[Row(1:u,LL(1,30):L(1,31))];
        AA = imresize(Let30_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==31
Let31=[Row(1:u,L(1,31):LL(1,31))];
AA = imresize(Let31,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 31
    if (L(1,32)-LL(1,31)) >= avg
        Let31_=[Row(1:u,LL(1,31):L(1,32))];
        AA = imresize(Let31_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==32
Let32=[Row(1:u,L(1,32):LL(1,32))];
AA = imresize(Let32,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 32
    if (L(1,33)-LL(1,32)) >= avg
        Let32_=[Row(1:u,LL(1,32):L(1,33))];
        AA = imresize(Let32_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==33
Let33=[Row(1:u,L(1,33):LL(1,33))];
AA = imresize(Let33,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);
if length(L) > 33
    if (L(1,34)-LL(1,33)) >= avg
        Let33_=[Row(1:u,LL(1,33):L(1,34))];
        AA = imresize(Let33_,[30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==34
Let34=[Row(1:u,L(1,34):LL(1,34))];
AA = imresize(Let34,[30,30]);
BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
CHAR_CLASSIFY(BB);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if length(L) > 34
    if (L(1,35)-LL(1,34)) >= avg
        Let34 =[Row(1:u,LL(1,34):L(1,35))];
        AA = imresize(Let34, [30,30]);
        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==35
    Let35=[Row(1:u,L(1,35):LL(1,35))];
    AA = imresize(Let35, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 35
        if (L(1,36)-LL(1,35)) >= avg
            Let35 =[Row(1:u,LL(1,35):L(1,36))];
            AA = imresize(Let35, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==36
    Let36=[Row(1:u,L(1,36):LL(1,36))];
    AA = imresize(Let36, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 36
        if (L(1,37)-LL(1,36)) >= avg
            Let36 =[Row(1:u,LL(1,36):L(1,37))];
            AA = imresize(Let36, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==37
    Let37=[Row(1:u,L(1,37):LL(1,37))];
    AA = imresize(Let37, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 37
        if (L(1,38)-LL(1,37)) >= avg
            Let37 =[Row(1:u,LL(1,37):L(1,38))];
            AA = imresize(Let37, [30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==38
    Let38=[Row(1:u,L(1,38):LL(1,38))];
    AA = imresize(Let38, [30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 38
        if (L(1,39)-LL(1,38)) >= avg
            Let38 =[Row(1:u,LL(1,38):L(1,39))];
            AA = imresize(Let38, [30,30]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
        CHAR_CLASSIFY(BB);
    end
end

elseif i==39
    Let39=[Row(1:u,L(1,39):LL(1,39))];
    AA = imresize(Let39,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 39
        if (L(1,40)-LL(1,39)) >= avg
            Let39_=[Row(1:u,LL(1,39):L(1,40))];
            AA = imresize(Let39_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==40
    Let40=[Row(1:u,L(1,40):LL(1,40))];
    AA = imresize(Let40,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 40
        if (L(1,41)-LL(1,40)) >= avg
            Let40_=[Row(1:u,LL(1,40):L(1,41))];
            AA = imresize(Let40_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==41
    Let41=[Row(1:u,L(1,41):LL(1,41))];
    AA = imresize(Let41,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 41
        if (L(1,42)-LL(1,41)) >= avg
            Let41_=[Row(1:u,LL(1,41):L(1,42))];
            AA = imresize(Let41_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==42
    Let42=[Row(1:u,L(1,42):LL(1,42))];
    AA = imresize(Let42,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 42
        if (L(1,43)-LL(1,42)) >= avg
            Let42_=[Row(1:u,LL(1,42):L(1,43))];
            AA = imresize(Let42_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif i==43
    Let43=[Row(1:u,L(1,43):LL(1,43))];
    AA = imresize(Let43,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 43
        if (L(1,44)-LL(1,43)) >= avg
            Let43_=[Row(1:u,LL(1,43):L(1,44))];
            AA = imresize(Let43_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==44
    Let44=[Row(1:u,L(1,44):LL(1,44))];
    AA = imresize(Let44,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 44
        if (L(1,45)-LL(1,44)) >= avg
            Let44_=[Row(1:u,LL(1,44):L(1,45))];
            AA = imresize(Let44_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==45
    Let45=[Row(1:u,L(1,45):LL(1,45))];
    AA = imresize(Let45,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 45
        if (L(1,46)-LL(1,45)) >= avg
            Let45_=[Row(1:u,LL(1,45):L(1,46))];
            AA = imresize(Let45_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==46
    Let46=[Row(1:u,L(1,46):LL(1,46))];
    AA = imresize(Let46,[30,30]);
    BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
    CHAR_CLASSIFY(BB);
    if length(L) > 46
        if (L(1,47)-LL(1,46)) >= avg
            Let46_=[Row(1:u,LL(1,46):L(1,47))];
            AA = imresize(Let46_,[30,30]);
            BB=MTX_TRANSFORM5(DCT_TRANSFORM5(AA));
            CHAR_CLASSIFY(BB);
        end
    end

elseif i==47
    Let47=[Row(1:u,L(1,47):LL(1,47))];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำมาจากงานวิจัยของคณะเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3. Function m-file of each process

#### 3.1 Input image to gray-scale image.

```
function [OUT]=RGB_GRAY(IN)
    [H,W,L]=size(IN);
    OUT=zeros(H,W);
    for i=1:1:H
        for j=1:1:W
            OUT(i,j)=((0.587*IN(i,j,L-2))+(0.114*IN(i,j,L-1))+(0.299*IN(i,j,L)));
        end
    end
    OUT=uint8(OUT);
end
```

#### 3.2 Gray-scale image to binary image.

```
function [OUT]=THRESHOLD(IN)
    [H,W]=size(IN);
    OUT=zeros(H,W);
    THRESHOLD=(max(max(IN))-min(min(IN)))/2;
    for i=1:1:H
        for j=1:1:W
            if IN(i,j)>=THRESHOLD
                OUT(i,j)=1;
            else
                OUT(i,j)=0;
            end
        end
    end
end
```

#### 3.3 Discrete Cosine Transform with 5x5 DCT matrix.

```
function [OUT]=DCT_TRANSFORM5(IN)
    IN=double(IN);
    %-----Discrete Cosine Transform with 5x5 DCT matrix-----
    %-----

    DCT_MTX=dctmtx(5);
    OUT=blkproc(IN,[5 5], 'P1*x*P2',DCT_MTX,DCT_MTX');

    %-----Transforms and multiply by specified mask with 5x5 DCT
    %-----matrix
    %-----

    MASK=[1 1 1 1 0
          1 1 1 0 0
          1 1 0 0 0
          1 0 0 0 0
          0 0 0 0 0];
    OUT=blkproc(OUT,[5 5], 'P1.*x',MASK);
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 Matrix transformation for 5X5 DCT matrix.

```
%-----Transforms 30x30 to 1x360 matrix-----  
%-----
```

```
function [OUT]=MTX_TRANSFORM5(IN)
```

```
[H,W]=size(IN);  
OUT=zeros(1,360);  
K=0;  
if H==30&&W==30  
    for i=1:1:30  
        for j=1:1:30  
            if i==1||i==6||i==11||i==16||i==21||i==26  
                if j>=1&&j<=4  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=6&&j<=9  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=11&&j<=14  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=16&&j<=19  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=21&&j<=24  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=26&&j<=29  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                end  
            elseif i==2||i==7||i==12||i==17||i==22||i==27  
                if j>=1&&j<=3  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=6&&j<=8  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=11&&j<=13  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=16&&j<=18  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=21&&j<=23  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=26&&j<=28  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                end  
            elseif i==3||i==8||i==13||i==18||i==23||i==28  
                if j>=1&&j<=2  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                elseif j>=6&&j<=7  
                    K=K+1;  
                    OUT(K)=IN(i,j);  
                end  
            end  
        end  
    end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j>=11&&j<=12
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j>=16&&j<=17
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j>=21&&j<=22
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j>=26&&j<=27
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    end
elseif i==4||i==9||i==14||i==19||i==24||i==29
    if j==1
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j==6
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j==11
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j==16
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j==21
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    elseif j==26
        K=K+1;
        OUT(K)=IN(i,j);
    end
    end
end
end
end
end
end

```

### 3.5 Discrete Cosine Transform with $10 \times 10$ DCT matrix.

```

function [OUT]=DCT_TRANSFORM10(IN)

    IN=double(IN);

    %-----Discrete Cosine Transform with 10x10 DCT matrix-----
    %-----

    DCT_MTX=dctmtx(10);
    OUT=blkproc(IN,[10 10], 'P1*x*P2', DCT_MTX, DCT_MTX');

    %-----Transforms and multiply by specified mask with 10x10 DCT
    %-----matrix
    %-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MASK=[1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
      1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
      1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
      1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
      1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
      1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
      1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
OUT=blkproc(OUT, [10 10], 'F1.*x',MASK);

```

end

### 3.6 Matrix transformation for 5X5 DCT matrix.

```

%-----Transforms 30x30 to 1x252 matrix-----
%-----

```

```

function [OUT]=MTX_TRANSFORM10(IN)

[H,W]=size(IN);
OUT=zeros(1,252);
K=0;
if H==30&&W==30
    for i=1:1:30
        for j=1:1:30
            if i==1||i==11||i==21
                if j>=1&&j<=7
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                elseif j>=11&&j<=17
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                elseif j>=21&&j<=27
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                end
            elseif i==2||i==12||i==22
                if j>=1&&j<=6
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                elseif j>=11&&j<=16
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                elseif j>=21&&j<=26
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                end
            elseif i==3||i==13||i==23
                if j>=1&&j<=5
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                elseif j>=11&&j<=15
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                elseif j>=21&&j<=25
                    K=K+1;
                    OUT(K)=IN(i,j);
                end
            end
        end
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 4. Neural Network. (Back-propagation)

### 4.1 Network training.

```
-----TRAIN_CHAR Back-Propagation Neural Network-----
%-----
clear all

%-----Network variables-----
%-----

TYPE=10; % Type if DCT matrix (5)=5x5 (10)=10x10.
if TYPE==10
    IN=252; % Input layer node.
    HN=30; % Hidden layer node. (Adjustable)
    load PTTN10.mat % DCT coefficient of all characters.
elseif TYPE==5
    IN=360;
    HN=30;
    load PTTN5.mat
end

ON=75; % Output layer node.
PT=300; % Number of pattern.
WH=rand(HN, IN)-0.5; % Hidden layer weights.
BH=rand(1, HN); % Hidden layer biases.
WO=rand(ON, HN)-0.5; % Output layer weights.
BO=rand(1, ON); % Output layer biases.
NETH=zeros(1, HN); % Hidden layer NET variables.
YH=zeros(1, HN); % Hidden layer output.
FH=zeros(1, HN); % Hidden layer Error factors.
NETO=zeros(1, ON); % Output layer NET variables.
YO=zeros(1, ON); % Output layer output.
FO=zeros(1, ON); % Output layer Error factors.
N=0.1; % Learning rate. (Adjustable)
Emax=0.0001; % Maximum error. (Adjustable)
Esum=1; % All patterns error variable.
Ep=0; % Pattern error variable.
L=0; % Loop count variable.

%-----Specify pattern array variables-----
%-----

P=zeros(PT, IN);
P(1,:) = A01; P(2,:) = A02; P(3,:) = A03; P(4,:) = A04; %A
P(5,:) = B01; P(6,:) = B02; P(7,:) = B03; P(8,:) = B04; %B
P(9,:) = C01; P(10,:) = C02; P(11,:) = C03; P(12,:) = C04; %C
P(13,:) = D01; P(14,:) = D02; P(15,:) = D03; P(16,:) = D04; %D
P(17,:) = E01; P(18,:) = E02; P(19,:) = E03; P(20,:) = E04; %E
P(21,:) = F01; P(22,:) = F02; P(23,:) = F03; P(24,:) = F04; %F
P(25,:) = G01; P(26,:) = G02; P(27,:) = G03; P(28,:) = G04; %G
P(29,:) = H01; P(30,:) = H02; P(31,:) = H03; P(32,:) = H04; %H
P(33,:) = I01; P(34,:) = I02; P(35,:) = I03; P(36,:) = I04; %I
P(37,:) = J01; P(38,:) = J02; P(39,:) = J03; P(40,:) = J04; %J
P(41,:) = K01; P(42,:) = K02; P(43,:) = K03; P(44,:) = K04; %K
P(45,:) = L01; P(46,:) = L02; P(47,:) = L03; P(48,:) = L04; %L
P(49,:) = M01; P(50,:) = M02; P(51,:) = M03; P(52,:) = M04; %M
P(53,:) = N01; P(54,:) = N02; P(55,:) = N03; P(56,:) = N04; %N
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P(57,:) = O01; P(58,:) = O02; P(59,:) = O03; P(60,:) = O04;  
P(61,:) = P01; P(62,:) = P02; P(63,:) = P03; P(64,:) = P04;  
P(65,:) = Q01; P(66,:) = Q02; P(67,:) = Q03; P(68,:) = Q04;  
P(69,:) = R01; P(70,:) = R02; P(71,:) = R03; P(72,:) = R04;  
P(73,:) = S01; P(74,:) = S02; P(75,:) = S03; P(76,:) = S04;  
P(77,:) = T01; P(78,:) = T02; P(79,:) = T03; P(80,:) = T04;  
P(81,:) = U01; P(82,:) = U02; P(83,:) = U03; P(84,:) = U04;  
P(85,:) = V01; P(86,:) = V02; P(87,:) = V03; P(88,:) = V04;  
P(89,:) = W01; P(90,:) = W02; P(91,:) = W03; P(92,:) = W04;  
P(93,:) = X01; P(94,:) = X02; P(95,:) = X03; P(96,:) = X04;  
P(97,:) = Y01; P(98,:) = Y02; P(99,:) = Y03; P(100,:) = Y04;  
P(101,:) = Z01; P(102,:) = Z02; P(103,:) = Z03; P(104,:) = Z04;

\*O  
\*P  
\*Q  
\*R  
\*S  
\*T  
\*U  
\*V  
\*W  
\*X  
\*Y  
\*Z

P(105,:) = a01; P(106,:) = a02; P(107,:) = a03; P(108,:) = a04;  
P(109,:) = b01; P(110,:) = b02; P(111,:) = b03; P(112,:) = b04;  
P(113,:) = c01; P(114,:) = c02; P(115,:) = c03; P(116,:) = c04;  
P(117,:) = d01; P(118,:) = d02; P(119,:) = d03; P(120,:) = d04;  
P(121,:) = e01; P(122,:) = e02; P(123,:) = e03; P(124,:) = e04;  
P(125,:) = f01; P(126,:) = f02; P(127,:) = f03; P(128,:) = f04;  
P(129,:) = g01; P(130,:) = g02; P(131,:) = g03; P(132,:) = g04;  
P(133,:) = h01; P(134,:) = h02; P(135,:) = h03; P(136,:) = h04;  
P(137,:) = i01; P(138,:) = i02; P(139,:) = i03; P(140,:) = i04;  
P(141,:) = j01; P(142,:) = j02; P(143,:) = j03; P(144,:) = j04;  
P(145,:) = k01; P(146,:) = k02; P(147,:) = k03; P(148,:) = k04;  
P(149,:) = l01; P(150,:) = l02; P(151,:) = l03; P(152,:) = l04;  
P(153,:) = m01; P(154,:) = m02; P(155,:) = m03; P(156,:) = m04;  
P(157,:) = n01; P(158,:) = n02; P(159,:) = n03; P(160,:) = n04;  
P(161,:) = o01; P(162,:) = o02; P(163,:) = o03; P(164,:) = o04;  
P(165,:) = p01; P(166,:) = p02; P(167,:) = p03; P(168,:) = p04;  
P(169,:) = q01; P(170,:) = q02; P(171,:) = q03; P(172,:) = q04;  
P(173,:) = r01; P(174,:) = r02; P(175,:) = r03; P(176,:) = r04;  
P(177,:) = s01; P(178,:) = s02; P(179,:) = s03; P(180,:) = s04;  
P(181,:) = t01; P(182,:) = t02; P(183,:) = t03; P(184,:) = t04;  
P(185,:) = u01; P(186,:) = u02; P(187,:) = u03; P(188,:) = u04;  
P(189,:) = v01; P(190,:) = v02; P(191,:) = v03; P(192,:) = v04;  
P(193,:) = w01; P(194,:) = w02; P(195,:) = w03; P(196,:) = w04;  
P(197,:) = x01; P(198,:) = x02; P(199,:) = x03; P(200,:) = x04;  
P(201,:) = y01; P(202,:) = y02; P(203,:) = y03; P(204,:) = y04;  
P(205,:) = z01; P(206,:) = z02; P(207,:) = z03; P(208,:) = z04;

\*a  
\*b  
\*c  
\*d  
\*e  
\*f  
\*g  
\*h  
\*i  
\*j  
\*k  
\*l  
\*m  
\*n  
\*o  
\*p  
\*q  
\*r  
\*s  
\*t  
\*u  
\*v  
\*w  
\*x  
\*y  
\*z

P(209,:) = Num001; P(210,:) = Num002; P(211,:) = Num003; P(212,:) = Num004;  
P(213,:) = Num101; P(214,:) = Num102; P(215,:) = Num103; P(216,:) = Num104;  
P(217,:) = Num201; P(218,:) = Num202; P(219,:) = Num203; P(220,:) = Num204;  
P(221,:) = Num301; P(222,:) = Num302; P(223,:) = Num303; P(224,:) = Num304;  
P(225,:) = Num401; P(226,:) = Num402; P(227,:) = Num403; P(228,:) = Num404;  
P(229,:) = Num501; P(230,:) = Num502; P(231,:) = Num503; P(232,:) = Num504;  
P(233,:) = Num601; P(234,:) = Num602; P(235,:) = Num603; P(236,:) = Num604;  
P(237,:) = Num701; P(238,:) = Num702; P(239,:) = Num703; P(240,:) = Num704;  
P(241,:) = Num801; P(242,:) = Num802; P(243,:) = Num803; P(244,:) = Num804;  
P(245,:) = Num901; P(246,:) = Num902; P(247,:) = Num903; P(248,:) = Num904;

\*0  
\*1  
\*2  
\*3  
\*4  
\*5  
\*6  
\*7  
\*8  
\*9

P(249,:) = Sym0101; P(250,:) = Sym0102; P(251,:) = Sym0103; P(252,:) = Sym0104; \*!  
P(253,:) = Sym0201; P(254,:) = Sym0202; P(255,:) = Sym0203; P(256,:) = Sym0204; \*?  
P(257,:) = Sym0301; P(258,:) = Sym0302; P(259,:) = Sym0303; P(260,:) = Sym0304; \*/  
P(261,:) = Sym0401; P(262,:) = Sym0402; P(263,:) = Sym0403; P(264,:) = Sym0404; \*\$  
P(265,:) = Sym0501; P(266,:) = Sym0502; P(267,:) = Sym0503; P(268,:) = Sym0504; \*&  
P(269,:) = Sym0601; P(270,:) = Sym0602; P(271,:) = Sym0603; P(272,:) = Sym0604; \*(  
P(273,:) = Sym0701; P(274,:) = Sym0702; P(275,:) = Sym0703; P(276,:) = Sym0704; \*)  
P(277,:) = Sym0801; P(278,:) = Sym0802; P(279,:) = Sym0803; P(280,:) = Sym0804; \*-  
P(281,:) = Sym0901; P(282,:) = Sym0902; P(283,:) = Sym0903; P(284,:) = Sym0904; \*.  
P(285,:) = Sym1001; P(286,:) = Sym1002; P(287,:) = Sym1003; P(288,:) = Sym1004; \*/,

\*!  
\*?  
\*/  
\*\$  
\*&  
\*(  
\*)  
\*-  
\*.  
\*,

P(289,:) = Sym1101; P(290,:) = Sym1102; P(291,:) = Sym1103; P(292,:) = Sym1104; \*'  
P(293,:) = Sym1201; P(294,:) = Sym1202; P(295,:) = Sym1203; P(296,:) = Sym1204; \*'  
P(297,:) = Sym1301; P(298,:) = Sym1302; P(299,:) = Sym1303; P(300,:) = Sym1304;

Space

\*-----Specify pattern targets-----  
\*-----

```
T=zeros(PT,ON);
T(1,:)=0;T(1,1)=1;
T(2,:)=0;T(2,1)=1;
T(3,:)=0;T(3,1)=1;
T(4,:)=0;T(4,1)=1;
T(5,:)=0;T(5,2)=1;
T(6,:)=0;T(6,2)=1;
T(7,:)=0;T(7,2)=1;
T(8,:)=0;T(8,2)=1;
T(9,:)=0;T(9,3)=1;
T(10,:)=0;T(10,3)=1;
T(11,:)=0;T(11,3)=1;
T(12,:)=0;T(12,3)=1;
T(13,:)=0;T(13,4)=1;
T(14,:)=0;T(14,4)=1;
T(15,:)=0;T(15,4)=1;
T(16,:)=0;T(16,4)=1;
T(17,:)=0;T(17,5)=1;
T(18,:)=0;T(18,5)=1;
T(19,:)=0;T(19,5)=1;
T(20,:)=0;T(20,5)=1;
T(21,:)=0;T(21,6)=1;
T(22,:)=0;T(22,6)=1;
T(23,:)=0;T(23,6)=1;
T(24,:)=0;T(24,6)=1;
T(25,:)=0;T(25,7)=1;
T(26,:)=0;T(26,7)=1;
T(27,:)=0;T(27,7)=1;
T(28,:)=0;T(28,7)=1;
T(29,:)=0;T(29,8)=1;
T(30,:)=0;T(30,8)=1;
T(31,:)=0;T(31,8)=1;
T(32,:)=0;T(32,8)=1;
T(33,:)=0;T(33,9)=1;
T(34,:)=0;T(34,9)=1;
T(35,:)=0;T(35,9)=1;
T(36,:)=0;T(36,9)=1;
T(37,:)=0;T(37,10)=1;
T(38,:)=0;T(38,10)=1;
T(39,:)=0;T(39,10)=1;
T(40,:)=0;T(40,10)=1;
T(41,:)=0;T(41,11)=1;
T(42,:)=0;T(42,11)=1;
T(43,:)=0;T(43,11)=1;
T(44,:)=0;T(44,11)=1;
T(45,:)=0;T(45,12)=1;
T(46,:)=0;T(46,12)=1;
T(47,:)=0;T(47,12)=1;
T(48,:)=0;T(48,12)=1;
T(49,:)=0;T(49,13)=1;
T(50,:)=0;T(50,13)=1;
T(51,:)=0;T(51,13)=1;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T(52, :)=0;T(52,13)=1;  
T(53, :)=0;T(53,14)=1;  
T(54, :)=0;T(54,14)=1;  
T(55, :)=0;T(55,14)=1;  
T(56, :)=0;T(56,14)=1;  
T(57, :)=0;T(57,15)=1;  
T(58, :)=0;T(58,15)=1;  
T(59, :)=0;T(59,15)=1;  
T(60, :)=0;T(60,15)=1;  
T(61, :)=0;T(61,16)=1;  
T(62, :)=0;T(62,16)=1;  
T(63, :)=0;T(63,16)=1;  
T(64, :)=0;T(64,16)=1;  
T(65, :)=0;T(65,17)=1;  
T(66, :)=0;T(66,17)=1;  
T(67, :)=0;T(67,17)=1;  
T(68, :)=0;T(68,17)=1;  
T(69, :)=0;T(69,18)=1;  
T(70, :)=0;T(70,18)=1;  
T(71, :)=0;T(71,18)=1;  
T(72, :)=0;T(72,18)=1;  
T(73, :)=0;T(73,19)=1;  
T(74, :)=0;T(74,19)=1;  
T(75, :)=0;T(75,19)=1;  
T(76, :)=0;T(76,19)=1;  
T(77, :)=0;T(77,20)=1;  
T(78, :)=0;T(78,20)=1;  
T(79, :)=0;T(79,20)=1;  
T(80, :)=0;T(80,20)=1;  
T(81, :)=0;T(81,21)=1;  
T(82, :)=0;T(82,21)=1;  
T(83, :)=0;T(83,21)=1;  
T(84, :)=0;T(84,21)=1;  
T(85, :)=0;T(85,22)=1;  
T(86, :)=0;T(86,22)=1;  
T(87, :)=0;T(87,22)=1;  
T(88, :)=0;T(88,22)=1;  
T(89, :)=0;T(89,23)=1;  
T(90, :)=0;T(90,23)=1;  
T(91, :)=0;T(91,23)=1;  
T(92, :)=0;T(92,23)=1;  
T(93, :)=0;T(93,24)=1;  
T(94, :)=0;T(94,24)=1;  
T(95, :)=0;T(95,24)=1;  
T(96, :)=0;T(96,24)=1;  
T(97, :)=0;T(97,25)=1;  
T(98, :)=0;T(98,25)=1;  
T(99, :)=0;T(99,25)=1;  
T(100, :)=0;T(100,25)=1;  
T(101, :)=0;T(101,26)=1;  
T(102, :)=0;T(102,26)=1;  
T(103, :)=0;T(103,26)=1;  
T(104, :)=0;T(104,26)=1;

T(105, :)=0;T(105,27)=1;  
T(106, :)=0;T(106,27)=1;  
T(107, :)=0;T(107,27)=1;  
T(108, :)=0;T(108,27)=1;  
T(109, :)=0;T(109,28)=1;  
T(110, :)=0;T(110,28)=1;  
T(111, :)=0;T(111,28)=1;

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ใช้เพื่อการดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T(112, :)=0;T(112,28)=1;  
T(113, :)=0;T(113,29)=1;  
T(114, :)=0;T(114,29)=1;  
T(115, :)=0;T(115,29)=1;  
T(116, :)=0;T(116,29)=1;  
T(117, :)=0;T(117,30)=1;  
T(118, :)=0;T(118,30)=1;  
T(119, :)=0;T(119,30)=1;  
T(120, :)=0;T(120,30)=1;  
T(121, :)=0;T(121,31)=1;  
T(122, :)=0;T(122,31)=1;  
T(123, :)=0;T(123,31)=1;  
T(124, :)=0;T(124,31)=1;  
T(125, :)=0;T(125,32)=1;  
T(126, :)=0;T(126,32)=1;  
T(127, :)=0;T(127,32)=1;  
T(128, :)=0;T(128,32)=1;  
T(129, :)=0;T(129,33)=1;  
T(130, :)=0;T(130,33)=1;  
T(131, :)=0;T(131,33)=1;  
T(132, :)=0;T(132,33)=1;  
T(133, :)=0;T(133,34)=1;  
T(134, :)=0;T(134,34)=1;  
T(135, :)=0;T(135,34)=1;  
T(136, :)=0;T(136,34)=1;  
T(137, :)=0;T(137,35)=1;  
T(138, :)=0;T(138,35)=1;  
T(139, :)=0;T(139,35)=1;  
T(140, :)=0;T(140,35)=1;  
T(141, :)=0;T(141,36)=1;  
T(142, :)=0;T(142,36)=1;  
T(143, :)=0;T(143,36)=1;  
T(144, :)=0;T(144,36)=1;  
T(145, :)=0;T(145,37)=1;  
T(146, :)=0;T(146,37)=1;  
T(147, :)=0;T(147,37)=1;  
T(148, :)=0;T(148,37)=1;  
T(149, :)=0;T(149,38)=1;  
T(150, :)=0;T(150,38)=1;  
T(151, :)=0;T(151,38)=1;  
T(152, :)=0;T(152,38)=1;  
T(153, :)=0;T(153,39)=1;  
T(154, :)=0;T(154,39)=1;  
T(155, :)=0;T(155,39)=1;  
T(156, :)=0;T(156,39)=1;  
T(157, :)=0;T(157,40)=1;  
T(158, :)=0;T(158,40)=1;  
T(159, :)=0;T(159,40)=1;  
T(160, :)=0;T(160,40)=1;  
T(161, :)=0;T(161,41)=1;  
T(162, :)=0;T(162,41)=1;  
T(163, :)=0;T(163,41)=1;  
T(164, :)=0;T(164,41)=1;  
T(165, :)=0;T(165,42)=1;  
T(166, :)=0;T(166,42)=1;  
T(167, :)=0;T(167,42)=1;  
T(168, :)=0;T(168,42)=1;  
T(169, :)=0;T(169,43)=1;  
T(170, :)=0;T(170,43)=1;  
T(171, :)=0;T(171,43)=1;  
T(172, :)=0;T(172,43)=1;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T(173, :)=0;T(173,44)=1;  
T(174, :)=0;T(174,44)=1;  
T(175, :)=0;T(175,44)=1;  
T(176, :)=0;T(176,44)=1;  
T(177, :)=0;T(177,45)=1;  
T(178, :)=0;T(178,45)=1;  
T(179, :)=0;T(179,45)=1;  
T(180, :)=0;T(180,45)=1;  
T(181, :)=0;T(181,46)=1;  
T(182, :)=0;T(182,46)=1;  
T(183, :)=0;T(183,46)=1;  
T(184, :)=0;T(184,46)=1;  
T(185, :)=0;T(185,47)=1;  
T(186, :)=0;T(186,47)=1;  
T(187, :)=0;T(187,47)=1;  
T(188, :)=0;T(188,47)=1;  
T(189, :)=0;T(189,48)=1;  
T(190, :)=0;T(190,48)=1;  
T(191, :)=0;T(191,48)=1;  
T(192, :)=0;T(192,48)=1;  
T(193, :)=0;T(193,49)=1;  
T(194, :)=0;T(194,49)=1;  
T(195, :)=0;T(195,49)=1;  
T(196, :)=0;T(196,49)=1;  
T(197, :)=0;T(197,50)=1;  
T(198, :)=0;T(198,50)=1;  
T(199, :)=0;T(199,50)=1;  
T(200, :)=0;T(200,50)=1;  
T(201, :)=0;T(201,51)=1;  
T(202, :)=0;T(202,51)=1;  
T(203, :)=0;T(203,51)=1;  
T(204, :)=0;T(204,51)=1;  
T(205, :)=0;T(205,52)=1;  
T(206, :)=0;T(206,52)=1;  
T(207, :)=0;T(207,52)=1;  
T(208, :)=0;T(208,52)=1;  
  
T(209, :)=0;T(209,53)=1;  
T(210, :)=0;T(210,53)=1;  
T(211, :)=0;T(211,53)=1;  
T(212, :)=0;T(212,53)=1;  
T(213, :)=0;T(213,54)=1;  
T(214, :)=0;T(214,54)=1;  
T(215, :)=0;T(215,54)=1;  
T(216, :)=0;T(216,54)=1;  
T(217, :)=0;T(217,55)=1;  
T(218, :)=0;T(218,55)=1;  
T(219, :)=0;T(219,55)=1;  
T(220, :)=0;T(220,55)=1;  
T(221, :)=0;T(221,56)=1;  
T(222, :)=0;T(222,56)=1;  
T(223, :)=0;T(223,56)=1;  
T(224, :)=0;T(224,56)=1;  
T(225, :)=0;T(225,57)=1;  
T(226, :)=0;T(226,57)=1;  
T(227, :)=0;T(227,57)=1;  
T(228, :)=0;T(228,57)=1;  
T(229, :)=0;T(229,58)=1;  
T(230, :)=0;T(230,58)=1;  
T(231, :)=0;T(231,58)=1;  
T(232, :)=0;T(232,58)=1;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T(233, :)=0;T(233,59)=1;  
T(234, :)=0;T(234,59)=1;  
T(235, :)=0;T(235,59)=1;  
T(236, :)=0;T(236,59)=1;  
T(237, :)=0;T(237,60)=1;  
T(238, :)=0;T(238,60)=1;  
T(239, :)=0;T(239,60)=1;  
T(240, :)=0;T(240,60)=1;  
T(241, :)=0;T(241,61)=1;  
T(242, :)=0;T(242,61)=1;  
T(243, :)=0;T(243,61)=1;  
T(244, :)=0;T(244,61)=1;  
T(245, :)=0;T(245,62)=1;  
T(246, :)=0;T(246,62)=1;  
T(247, :)=0;T(247,62)=1;  
T(248, :)=0;T(248,62)=1;

T(249, :)=0;T(249,63)=1;  
T(250, :)=0;T(250,63)=1;  
T(251, :)=0;T(251,63)=1;  
T(252, :)=0;T(252,63)=1;  
T(253, :)=0;T(253,64)=1;  
T(254, :)=0;T(254,64)=1;  
T(255, :)=0;T(255,64)=1;  
T(256, :)=0;T(256,64)=1;  
T(257, :)=0;T(257,65)=1;  
T(258, :)=0;T(258,65)=1;  
T(259, :)=0;T(259,65)=1;  
T(260, :)=0;T(260,65)=1;  
T(261, :)=0;T(261,66)=1;  
T(262, :)=0;T(262,66)=1;  
T(263, :)=0;T(263,66)=1;  
T(264, :)=0;T(264,66)=1;  
T(265, :)=0;T(265,67)=1;  
T(266, :)=0;T(266,67)=1;  
T(267, :)=0;T(267,67)=1;  
T(268, :)=0;T(268,67)=1;  
T(269, :)=0;T(269,68)=1;  
T(270, :)=0;T(270,68)=1;  
T(271, :)=0;T(271,68)=1;  
T(272, :)=0;T(272,68)=1;  
T(273, :)=0;T(273,69)=1;  
T(274, :)=0;T(274,69)=1;  
T(275, :)=0;T(275,69)=1;  
T(276, :)=0;T(276,69)=1;  
T(277, :)=0;T(277,70)=1;  
T(278, :)=0;T(278,70)=1;  
T(279, :)=0;T(279,70)=1;  
T(280, :)=0;T(280,70)=1;  
T(281, :)=0;T(281,71)=1;  
T(282, :)=0;T(282,71)=1;  
T(283, :)=0;T(283,71)=1;  
T(284, :)=0;T(284,71)=1;  
T(285, :)=0;T(285,72)=1;  
T(286, :)=0;T(286,72)=1;  
T(287, :)=0;T(287,72)=1;  
T(288, :)=0;T(288,72)=1;  
T(289, :)=0;T(289,73)=1;  
T(290, :)=0;T(290,73)=1;  
T(291, :)=0;T(291,73)=1;  
T(292, :)=0;T(292,73)=1;

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

T(293,:) = 0; T(293,74) = 1;
T(294,:) = 0; T(294,74) = 1;
T(295,:) = 0; T(295,74) = 1;
T(296,:) = 0; T(296,74) = 1;
T(297,:) = 0; T(297,75) = 1;
T(298,:) = 0; T(298,75) = 1;
T(299,:) = 0; T(299,75) = 1;
T(300,:) = 0; T(300,75) = 1;

```

```

%-----Training method-----
%-----

```

```

GRAPH = zeros(1,length(L));

```

```

while Esum > Emax
    L=L+1;
    Esum=0;
    for p=1:1:PT % PT patterns training loop.
        Ep=0; % Clear pattern error value.
        for i=1:1:HN % Hidden layer computation per pattern.
            NETH(i)=(P(p,:)*WH(i,:))'+BH(i);
            YH(i)=1/(1+exp(-NETH(i)));
        end
        for i=1:1:ON % Output layer computation per pattern.
            NETO(i)=(YH*WO(i,:))'+BO(i);
            YO(i)=1/(1+exp(-NETO(i)));
        end
        for i=1:1:ON % Pattern error, output layer error
            factor computation.
            Ep=Ep+(0.5*(T(p,i)-YO(i))^2);
            FO(i)=YO(i)*(1-YO(i))*(T(p,i)-YO(i));
        end
        for i=1:1:HN % Hidden layer error factor computation.
            RESULT=0;
            for j=1:1:ON
                RESULT=RESULT+(FO(j)*WO(j,i));
            end
            FH(i)=YH(i)*(1-YH(i))*RESULT;
        end
        for i=1:1:ON % Output layer weights and biases update.
            WO(i,:)=WO(i,:)+(N*FO(i)*YH);
            BO(i)=BO(i)+(N*FO(i));
        end
        for i=1:1:HN % Hidden layer weights and biases update.
            WH(i,:)=WH(i,:)+(N*FH(i)*P(p,:));
            BH(i)=BH(i)+(N*FH(i));
        end
        Esum=Esum+Ep;
    end
    Esum=Esum/PT;
    GRAPH(L) = Esum;
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 Character classification (Feed Forward Neural Network).

```
%-----CHAR_CLASSIFY Character classification function-----
%-----
function CHAR_CLASSIFY(Letter)
%-----Network variables-----
%-----

TYPE=10; % Type if DCT matrix (5)=5x5(10)=10x10.
if TYPE==10
    IN=252; % Input layer node.
    HN=30; % Hidden layer node. (Adjustable)
    ON=75; % Output layer node.
    WH=zeros(HN, IN); % Hidden layer weights.
    WO=zeros(ON, HN); % Output layer weights.
    BH=zeros(1, HN); % Hidden layer biases.
    BO=zeros(1, ON); % Output layer biases.
    load Network10.mat % Load network weights and biases.
elseif TYPE==5
    IN=360; % Input layer node.
    HN=30; % Hidden layer node. (Adjustable)
    ON=75; % Output layer node.
    WH=zeros(HN, IN); % Hidden layer weights.
    WO=zeros(ON, HN); % Output layer weights.
    BH=zeros(1, HN); % Hidden layer biases.
    BO=zeros(1, ON); % Output layer biases.
    load Network5.mat % Load network weights and biases.
end

ON=75; % Output layer node.
NETH=zeros(1, HN); % Hidden layer NET variables.
YH=zeros(1, HN); % Hidden layer output.
NETO=zeros(1, ON); % Output layer NET variables.
YO=zeros(1, ON); % Output layer output.
P=Letter;

for i=1:1:HN % Hidden layer computation per
pattern.
    NETH(i)=(P*WH(i,:))'+BH(i);
    YH(i)=1/(1+exp(-NETH(i)));
end
for i=1:1:ON % Output layer computation per
pattern.
    NETO(i)=(YH*WO(i,:))'+BO(i);
    YO(i)=1/(1+exp(-NETO(i)));
end

%-----Characters classification-----
%-----

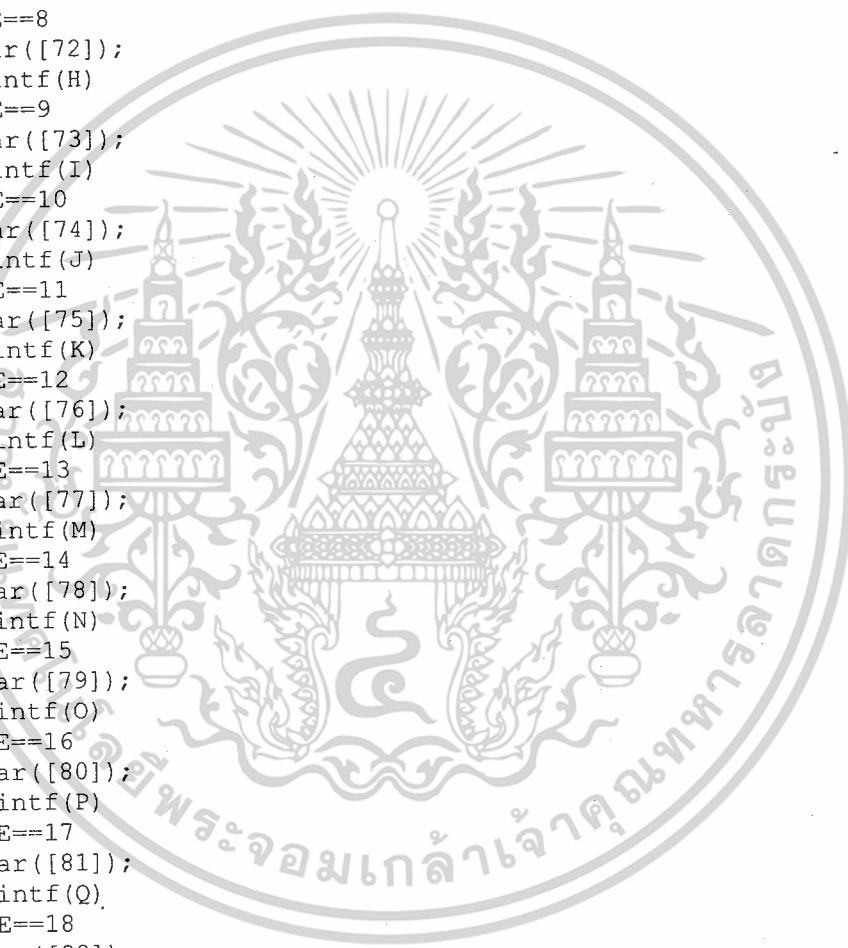
[M,E]=max(YO);
if E==1
    A=char([65]);
    fprintf(A)
elseif E==2
    B=char([66]);
    fprintf(B)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif E==3
    C=char([67]);
    fprintf(C)
elseif E==4
    D=char([68]);
    fprintf(D)
elseif E==5
    E=char([69]);
    fprintf(E)
elseif E==6
    F=char([70]);
    fprintf(F)
elseif E==7
    G=char([71]);
    fprintf(G)
elseif E==8
    H=char([72]);
    fprintf(H)
elseif E==9
    I=char([73]);
    fprintf(I)
elseif E==10
    J=char([74]);
    fprintf(J)
elseif E==11
    K=char([75]);
    fprintf(K)
elseif E==12
    L=char([76]);
    fprintf(L)
elseif E==13
    M=char([77]);
    fprintf(M)
elseif E==14
    N=char([78]);
    fprintf(N)
elseif E==15
    O=char([79]);
    fprintf(O)
elseif E==16
    P=char([80]);
    fprintf(P)
elseif E==17
    Q=char([81]);
    fprintf(Q)
elseif E==18
    R=char([82]);
    fprintf(R)
elseif E==19
    S=char([83]);
    fprintf(S)
elseif E==20
    T=char([84]);
    fprintf(T)
elseif E==21
    U=char([85]);
    fprintf(U)
elseif E==22
    V=char([86]);
    fprintf(V)
elseif E==23

```



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินส่วนตัวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

W=char([87]);
fprintf(W)
elseif E==24
X=char([88]);
fprintf(X)
elseif E==25
Y=char([89]);
fprintf(Y)
elseif E==26
Z=char([90]);
fprintf(Z)
elseif E==27
a=char([97]);
fprintf(a)
elseif E==28
b=char([98]);
fprintf(b)
elseif E==29
c=char([99]);
fprintf(c)
elseif E==30
d=char([100]);
fprintf(d)
elseif E==31
e=char([101]);
fprintf(e)
elseif E==32
f=char([102]);
fprintf(f)
elseif E==33
g=char([103]);
fprintf(g)
elseif E==34
h=char([104]);
fprintf(h)
elseif E==35
i=char([105]);
fprintf(i)
elseif E==36
j=char([106]);
fprintf(j)
elseif E==37
k=char([107]);
fprintf(k)
elseif E==38
l=char([108]);
fprintf(l)
elseif E==39
m=char([109]);
fprintf(m)
elseif E==40
n=char([110]);
fprintf(n)
elseif E==41
o=char([111]);
fprintf(o)
elseif E==42
p=char([112]);
fprintf(p)
elseif E==43
q=char([113]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (เป็นเอกสาร) วิชาการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    fprintf(q)
elseif E==44
    r=char([114]);
    fprintf(r)
elseif E==45
    s=char([115]);
    fprintf(s)
elseif E==46
    t=char([116]);
    fprintf(t)
elseif E==47
    u=char([117]);
    fprintf(u)
elseif E==48
    v=char([118]);
    fprintf(v)
elseif E==49
    w=char([119]);
    fprintf(w)
elseif E==50
    x=char([120]);
    fprintf(x)
elseif E==51
    y=char([121]);
    fprintf(y)
elseif E==52
    z=char([122]);
    fprintf(z)
elseif E==53
    Num0=char([48]);
    fprintf(Num0)
elseif E==54
    Num1=char([49]);
    fprintf(Num1)
elseif E==55
    Num2=char([50]);
    fprintf(Num2)
elseif E==56
    Num3=char([51]);
    fprintf(Num3)
elseif E==57
    Num4=char([52]);
    fprintf(Num4)
elseif E==58
    Num5=char([53]);
    fprintf(Num5)
elseif E==59
    Num6=char([54]);
    fprintf(Num6)
elseif E==60
    Num7=char([55]);
    fprintf(Num7)
elseif E==61
    Num8=char([56]);
    fprintf(Num8)
elseif E==62
    Num9=char([57]);
    fprintf(Num9)
elseif E==63
    Sym01=char([33]);
    fprintf(Sym01)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif E==64
    Sym02=char([63]);
    fprintf(Sym02)
elseif E==65
    Sym03=char([47]);
    fprintf(Sym03)
elseif E==66
    Sym04=char([36]);
    fprintf(Sym04)
elseif E==67
    Sym05=char([38]);
    fprintf(Sym05)
elseif E==68
    Sym06=char([40]);
    fprintf(Sym06)
elseif E==69
    Sym07=char([41]);
    fprintf(Sym07)
elseif E==70
    Sym08=char([45]);
    fprintf(Sym08)
elseif E==71
    Sym09=char([46]);
    fprintf(Sym09)
elseif E==72
    Sym10=char([44]);
    fprintf(Sym10)
elseif E==73
    Sym11=char([39]);
    fprintf(Sym11)
elseif E==74
    Sym12=char([39]);
    fprintf(Sym12)
elseif E==75
    Sym13=char([32]);
    fprintf(Sym13)
end
end
end

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ. การประมวลผลภาพดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สจล, 2549
- [2] นวภัค เอื้ออนันต์. Artificial Neural Network วงจรข่ายนิวรอลเทียม. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547
- [3] มนัส สัจจวิเศษ, วรรณ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้ Matlab ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1 นนทบุรี : อินโฟเพรส, 2543
- [4] ศิวกร รัฐสุขชัยกุล. การประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมแมทแลบ. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545
- [5] เศรษฐพล ลีนปรัชญา. การจำตัวอักษรแบบตัวพิมพ์โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้