การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค

RECOGNITION OF PRINTED THAI CHARACTERS USING GENETIC-NEURAL NETWORK

T040627

อุกฤษณ์ มารังค์

UKRIT MARANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2544

ISBN 974-648-178-9

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40627
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2544

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

RECOGNITION OF PRINTED THAI CHARACTERS USING GENETIC-NEURAL NETWORK

UKRIT MARANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

ISBN 974-648-178-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค

RECOGNITION OF PRINTED THAI CHARACTERS USING GENETIC NEURAL NETWORK

ชื่อนักศึกษา นายอุกฤษณ์ มารังค์

รหัสประจำตัว 41061160

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชม กิ้มปาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วิศิษฏ์	หิรัญกิตติ	
ผศ.ดร.บุญธีร์	เครือตราชู	
รศ.สมศักดิ์	มิตะถา	
รศ.ดร.ชม	กิ้มปาน	

วัน/เดือนปี ที่สอบ 24 เมษายน 2544 **เวลา** 12:00-13.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 25 **เดือน** เมษายน **พ.ศ.** 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Thesis Title	Recognition Printed Thai Characters Using Genetic-Neural network
Student	Mr. Ukrit Marang
Student ID.	41061160
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chom Kimpan

ABSTRACT

Neural Network are applied to both Thai and English Characters Recognition system. One of the Neural Network's problems is its long learning period or after a long period of learning process, it can not learn. Finding the best initial weights can solve this problem. Which is usually obtained from random process. The genetic algorithm is applied to find the best initial weights of the neural network. The system processed are tested with 2,840 characters of 4 fonts, AngsanaUPC, BowalliaUPC, CordiaUPC and FreesiaUPC, and 4 sizes, 14, 16, 18 and 22 points, each size has 710 characters. The results show this approach can recognize the testing samples at the accuracy 92% and it can increase learning speed of the Neural network about 49.7% in average.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค รวมทั้งได้ทดสอบการตรวจเทียบจาก รศ. ดร. ชม กิ้มปาน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. บุญธีร์ เครือตราชู ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยเหลือแก้ไขและให้คำแนะนำในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้น

ขอขอบพระคุณ ผศ. ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ ที่ให้คำช่วยเหลือข้อมูลและอุปกรณ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาเรื่องทั่ว ๆ ไป

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขทฤษฎีและอื่น ๆ ที่ผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อุกฤษณ์ มารังค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

บทที่ 2 ขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลตัวอักษร 3

2.1 กระบวนการรู้จำอักษรไทย 3

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกแยะตัวอักษรไทย 6

2.3 วิเคราะห์แนวทางการวิจัยของวิทยานิพนธ์ 6

2.4 การวิเคราะห์ตัวอักษรไทย 8

2.5 ความแตกต่างของตัวอักษรไทยตัวพิมพ์ 10

2.6 การหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษร 10

2.6.1 การคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่อง 10

2.6.2 การหาขอบของภาพ 13

2.6.3 การหาขอบขอบภาพโดยใช้การติดตามขอบเขตขอบภาพ 13

2.6.4 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่ 16

บทที่ 3 เจนเนติกอัลกอริธึม 19

3.1 พันธุศาสตร์ชีววิทยา 19

3.2 เจนเนติกอัลกอริธึมเบื้องต้น 23

3.3 ฟังก์ชันเป้าหมายฟังก์ชันความเหมาะสม 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 รูปแบบโครโมโซม 27
3.5 วัฏจักรจีเนติกอัลกอริธึม 28
3.6 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยากับเจนเนติกอัลกอริธึม 30

บทที่ 4 นิวรอลเน็ตเวิร์ค 39
4.1 ทฤษฎีนิวรอลเน็ตเวิร์ค 39
4.1.1 ลักษณะนิวรอลเน็ตเวิร์ค 39
4.1.2 นิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 1 ชั้น (Single Layer Neural Network) 42
4.1.3 โครงสร้างของนิวรอลในกรณีที่มีลักษณะหลาย ๆ ชั้น 42
4.2 การฝึกสอน (Training) ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค 44
4.2.1 เพอเซปตรอน (Percdptron) 44
4.2.2 กฎของเดลตา (The Delta Rule) 46

บทที่ 5 ทฤษฎีที่นำมาใช้และกระบวนการรู้จำ 48
5.1 บทนำ 48
5.2 การแยกตัวอักษรออกจากประโยคและภาพ 49
5.3 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร 51
5.3.1 การหาขอบภาพโดยใช้การคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่อง 52
5.3.2 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่ 54
5.4 การประยุกต์เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คมาใช้ในวิทยานิพนธ์ 63
5.4.1 ขั้นตอนการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยใช้เจนเนติก อัลกอริธึม 65
5.4.2 ขั้นตอนการเรียนรู้โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค 66

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง 74
6.1 หลักการทั่วไปของการทดลอง 74
6.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ 74
6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของการอ่านตัวอักษรพิมพ์ 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.3.1 ความละเอียดของภาพตัวอักษร 75
6.3.2 สื่อการพิมพ์ 75
6.3.3 สภาพแวดล้อมในการอ่านข้อมูลที่ดี 75
6.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 75
6.4 ขั้นตอนการทดลอง 76
6.5 โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค 77
6.6 ผลการทดลอง 79

บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ 86
7.1 สรุป 86
7.2 ข้อเสนอแนะ 87
เอกสารอ้างอิง 89
ภาคผนวก ก. รหัสแอสกี้ของอักขระในรหัส สมอ. 92
ภาคผนวก ข. ทฤษฎีฟัซซี่เซ็ต 94
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 112
ภาคผนวก ง. ตัวโปรแกรมการรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทย 113
ประวัติผู้เขียน 152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงการวิจัยเรื่องการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยตัวพิมพ์ 7

2.2 ตัวอย่างอักษรที่มีความคล้ายกันมาก 11

2.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพ 13

2.4 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่างๆ ของตัวอักษร “ก” จำนวน 4 ตัว 18

2.5 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่างๆ ของตัวอักษร “ค” จำนวน 4 ตัว 19

3.1 ตารางแสดงคำศัพท์ทางพันธุศาสตร์กับทางเจนเนติกอัลกอริธึม 31

4.1 ตารางเอกซ์คลูซีฟออเกต 46

5.1 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่างๆ ของตัวอักษร “ก” ถึง “ช” 57

5.2 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่างๆ ของตัวอักษร “ฌ” ถึง “ด” 58

5.3 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่างๆ ของตัวอักษร “ต” ถึง “ฝ” 59

5.4 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่างๆ ของตัวอักษร “พ” ถึง “ศ” 60

5.5 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่างๆ ของตัวอักษร “ษ” ถึง “ไ” 62

5.6 ตารางผลการทดลองหาอัตราการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค 68

5.7 ตารางผลการเรียนรู้นิวรอลเน็ตเวิร์คกับจำนวนฮิดเดนโหนด 70

6.1 ตารางแสดงผลการทดลองการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นโดยใช้เจนเนติกอัลกอริธึมเมื่อเทียบกับการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยการสุ่ม 80

6.2 ตารางแสดงผลการทดลองการรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คกับการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริธึม 81

6.3 ตารางแสดงผลการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยฟอนท์ AngsanUPC 81

6.4 ตารางแสดงผลสรุปการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ฟอนต์ AngsanaUPC 83

6.5 ตารางแสดงผลการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ทุกฟอนต์ 83

6.6 ตารางแสดงผลสรุปการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ทุกฟอนต์ 84

6.7 ตารางแสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษรที่คล้ายกัน 85

ค.1 ตัวเลขอารบิค 92

ค.2 อักษรภาษไทย 92

ค.3 อักขระพิเศษ 93

ค.4 ตัวเลขไทย 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงภาพบิตแม็พ (Bitmap) ของตัวอักษร "ก" 4
2.2 แสดงภาพหน้ากระดาษที่ใช้โปรแกรมอ่านภาพจากเครื่องกวาดภาพ 5
2.3 แสดงการตัดบรรทัดโดยใช้จุดที่มีการเปลี่ยนค่าศูนย์ 5
2.4 แสดงการหาฮิสโตแกรมในแนวตั้งเพื่อตัดอักษรจากบรรทัด 6
2.5 แสดงการตัดอักษรออกจากบรรทัด 6
2.6 แสดงตัวอักษรแบบหัวกลม 9
2.7 แสดงตัวอักษรหัวตัด 9
2.8 แสดงการกำหนดระดับของอักษรไทย 10
2.9 ลักษณะของจุดภาพข้างเคียง 2 แบบ (ก) 8-Connectivity (ข) 4-Connectivity 12
2.10 ค่า NC_4 และ NC_8 ของจุดภาพ 12
2.11 ตัวอย่างการคำนวณ NC_4 และ NC_8 13
2.12 ค่าตัวเลขต่อเนื่องที่เป็นขอบภาพ 14
2.13 การสแกนหาจุดภาพที่เป็นจุดเริ่มต้น 15
2.14 จุดเริ่มต้นของการติดตามขอบภาพ 15
2.15 การติดตามจุดภาพที่เป็นขอบ เมื่อ P_{n-1} เป็นตำแหน่งของภาพที่ผ่านมา P_n เป็นตำแหน่งของขอบภาพที่กำลังพิจารณา และ P_{n+1} เป็นตำแหน่งของขอบภาพต่อไป 16
2.16 ขอบของภาพที่ได้จากการติดตามขอบเขต 16
2.17 แสดงทิศทางของรหัสลูกโซ่ 17
2.18 แสดงการเข้ารหัสลูกโซ่ (Chain Code) 17
2.19 แสดงการแบ่งพื้นที่ของตัวอักษร 18
3.1 แสดงโครโมโซมทางพันธุศาสตร์ 21
3.2 แสดงการแบ่งตัวของเซลทางพันธุศาสตร์ 22
3.3 แสดงการครอสโอเวอร์ทางพันธุศาสตร์ 23
3.4 แสดงการมิวเตชันทางพันธุศาสตร์ 24
3.5 แสดงหลักการเบื้องต้นของ GA 25
3.6 แสดงวัฏจักรของเจนเนติกอัลกอริธึม 28
3.7 แสดงรายละเอียดทางพันธุศาสตร์ กับเจนเนติกอัลกอริธึม 30
3.8 แสดงไดอะแกรมการทำงานของเจนเนติกอัลกอริธึมแบบง่าย 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 ครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด	36
3.10 ไบนารีมิวเตชัน	37
4.1 ลักษณะของนิวรอลเซล (Neuron cell) ของเซลประสาท	39
4.2 นิวรอล (Neuron) ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network)	40
4.3 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย	41
4.4 สมการ Threshold	41
4.5 ลักษณะของนิวรอล 1 หน่วย ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)	41
4.6 ลักษณะของนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 1 ชั้น (Single Layer Neural Network)	42
4.7 ลักษณะนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 2 ชั้น (Two Layer Neural Network)	43
4.8 แสดงฟังก์ชันการกระตุ้น	44
4.9 ลักษณะของเพอเซปตรอน (Perceptron)	44
4.10 เพอเซปตรอน (Perceptron) ที่ใช้ในการแก้ปัญหา	45
4.11 กราฟความสัมพันธ์ X-Y	45
5.1 ขั้นตอนการทำงานการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค	48
5.2 แสดงภาพหน้ากระดาษที่ใช้โปรแกรมอ่านภาพจากเครื่องกวาดภาพ	49
5.3 แสดงการตัดบรรทัด โดยใช้จุดที่มีการเปลี่ยนค่าศูนย์	49
5.4 แสดงการหาฮิสโตแกรมในแนวตั้งเพื่อตัดตัวอักษรจากบรรทัด	50
5.5 แสดงโฟลว์ชาร์ทการแยกบรรทัดออกจากข้อความภาพ	50
5.6 แสดงโฟลว์ชาร์ทการแยกตัวอักษรออกจากภาพบรรทัด	51
5.7 ลักษณะของจุดภาพข้างเคียงแบบ 4-Connectivity	52
5.8 ค่า NC_4 ของจุดภาพ	52
5.9 ค่าตัวเลขต่อเนื่องที่เป็นขอบภาพตัวอักษร “ง”	53
5.10 แสดงโฟล์วชาร์ทการคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่องของจุดภาพข้างเคียงแบบ 4-Connectivity	53
5.11 ทิศทางของรหัสลูกโซ่	54
5.12 แสดงทิศรหัสลูกโซ่และการเข้ารหัสลูกโซ่ (Chain code) ตัวอักษร “ง”	54
5.13 แสดงการแบ่งพื้นที่รหัสลูกโซ่ของตัวอักษร “ง”	55
5.14 แสดงโฟลว์ชาร์ทการเข้ารหัสลูกโซ่	56
5.15 แสดงการเรียนรู้โดยเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.16 แสดงวงล้อล็อตเตอรี่ 66

5.17 แสดงผลการเรียนรู้เมื่อกำหนดอัตราการเรียนรู้ 0.2 68

5.18 แสดงผลการเรียนรู้เมื่อกำหนดอัตราการเรียนรู้ 0.05 69

5.19 แสดงการคำนวณค่าเอาท์พุทแต่ละโหนดของนิวรอลเน็ตเวิร์ค 70

5.20 แสดงตัวอย่างของค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้น (W_1) ของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่หาโดย เจนเนติกอัลกอริธึม 72

5.21 แสดงตัวอย่างของค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้น (W_2) ของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่หาโดย เจนเนติกอัลกอริธึม 73

6.1 แสดงผลขั้นตอนการเรียกโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย (GANN) 77

6.2 แสดงรายละเอียดหน้าจอภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย (GANN) 77

6.3 แสดงผลการดึงข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ใช้ในการรู้จำ 78

6.4 แสดงผลการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติกนิวรอลเน็ตเวิร์ค 78

6.5 แสดงรูปแบบตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละ ฟอนต์ 85

ข.1 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีที่เป็นเซตธรรมดา 95

ข.2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต A ในกรณีเป็นฟัซซี่เซต 96

ข.3 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร "ความสูง" ที่ประกอบไปด้วย 3 เทอม เซต 97

ข.4 แสดงภาพฟัซซี่รูปสามเหลี่ยม 99

ข.5 แสดงภาพฟัซซี่รูปสี่เหลี่ยมคางหมู 100

ข.6 แสดงเส้นโค้งรูปตัว S 101

ข.7 แสดงค่าฟัซซี่เซตรูประฆังคว่ำ 101

ข.8 แสดงค่าฟังก์ชัน Gaussian 102

ข.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก 104

ข.10 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต COOL และ NORMAL 106

ข.11 แสดงรูปแบบตัวอักษร "ก" 107

ข.12 ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริธึม 109

ข.13 แสดงวงล้อล็อตเตอรี่ 110

ข.14 แสดงระบบการรู้จำของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก สามารถช่วยมนุษย์เราในการทำงานที่ยุ่งยากซับซ้อนให้เสร็จภายในเวลาอันสั้น ทำให้มนุษย์เรามีความสะดวกสบายยิ่งขึ้นกว่าแต่ก่อน แต่ความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนี้ ไม่สามารถจะนำไปใช้งานได้ดีในงานที่มีลักษณะอาศัยความฉลาดของมนุษย์ในการตัดสินใจ ซึ่งมีความไม่แน่นอนในการแก้ไขปัญหาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย รวมทั้งความเร็วในการแก้ปัญหาของเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อปัญหาในลักษณะเช่นนี้ จะใช้เวลาในการแก้ปัญหานานเป็นอันมาก

เทคโนโลยีด้านโครงข่ายนิวรอล (Neural Network) สามารถช่วยเราในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โครงข่ายนิวรอลเป็นเทคโนโลยีหนึ่งทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่อาศัยรูปแบบทางโครงสร้างและการทำงานของสมองมนุษย์ มาทำการสร้างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความฉลาด มีความรู้อยู่ภายในตัวมันเอง มีความสามารถในการเรียนรู้ต่อความรู้ที่เข้ามาใหม่ มีความสามารถในการแก้ปัญหาที่มีลักษณะไม่แน่นอน และมีความเร็วในการแก้ปัญหาสูง แต่เนื่องจากปัญหาของนิวรอลเน็ตเวิร์คอยู่ที่การหาค่าถ่วงน้ำหนักกลาง ซึ่งระบบเรียนรู้ได้ดีหรือช้าขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักกลาง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเอาแนวความคิดของทฤษฎีเจนเนติก-อัลกอรึทึมมาแก้ปัญหาการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการเรียนรู้โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพในส่วนของการเรียนรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค เนื่องจากปัญหาของนิวรอลเน็ตเวิร์คอยู่ที่การหาค่าถ่วงน้ำหนักกลาง ซึ่งทำให้ระบบเรียนรู้ได้ดีจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ ๆ เหล่านี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเอาแนวความคิดของทฤษฎีวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นกระบวนการสืบทอดยืนเด่นที่สอดคล้องกับธรรมชาติ คือสิ่งมีชีวิตจะอยู่รอดได้ต้องเป็นสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการถ่ายทอดทางพันธุ์กรรมที่ดีที่สุดมาแก้ปัญหาการหาค่าน้ำหนักเริ่มต้นที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ การทำงานจะแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ การแยกตัวอักษรออกจากประโยค ส่วนที่สองการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และส่วนที่สามคือการเรียนรู้โดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักกลางนั้นสามารถที่จะหาได้โดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก่อนจะเข้าสู่งานวิจัยของผู้เขียน ขอแนะนำผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับนิวรอลเน็ตเวิร์คและเจนเนติกอัลกอริทึมในการรู้จำตัวอักษรทั้งภาษาไทยและอังกฤษ

บทความวิจัยชื่อ

- การรู้จำตัวเลขโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึม[1] ดูภาคผนวก ค เพิ่มเติม งานวิจัยนี้ใช้วิธีการนำตัวเลขมาหาค่าจีโอเมทริกแล้วหาค่าความเป็นสมาชิกฟัซซี่ลอจิก เมื่อได้ค่าสมาชิกแล้ว นำมาหาค่าสัมประสิทธิ์โดยเจนเนติกอัลกอริทึม เก็บไฟล์สัมประสิทธิ์ไว้เป็นตัววัดความเหมือนของตัวเลขเพื่อแยกตัวอักษรต่อไป
- Recognition of Printed Thai Characters Using Boundary Normalization and Fuzzy Neural Networks. [2] ดูภาคผนวก ค เพิ่มเติม งานวิจัยนี้ใช้หลักการหาลักษณะเด่นโดยใช้ Boundary เสร็จแล้วแยกลักษณะเด่นโดยฟัซซี่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากฟัซซี่ให้นิวรอลเน็ตเวิร์คเรียนรู้เพื่อแยกแยะตัวอักษรต่อไป
- Recognition of Printed Thai Characters Using Elliptic Fourier Descriptors and Genetic Neural Networks. [3] ดูภาคผนวก ค เพิ่มเติม งานวิจัยนี้ใช้หลักการหาคุณลักษณะตัวอักษรโดยใช้ Elliptic Fourier Descriptors จากนั้นนำคุณลักษณะเฉพาะตัวอักษรไปเรียนรู้โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค แล้วใช้เจนเนติกอัลกอริธึมหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางของนิวรอลเน็ตเวิร์ค
- การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีโปรเจ็กชั่นฟีเจอร์และฟัซซี่เทคนิค[19] งานวิจัยนี้ให้หลักการโปรเจ็กชั่นตัวอักษรทั้งแนวตั้งและแนวนอน จากนั้นสุ่มพื้นที่ตัวอักษรออกเป็นช่วง ๆ ตัดสินใจโดยแยกแยะตัวอักษรโดยวิธีฟัซซี่เทคนิค
- การรู้จำตัวอักษรอังกฤษแบบตัวพิมพ์โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค[32] งานวิจัยนี้ใช้หลักการนำตัวอักษรภาพภาษาอังกฤษส่งให้นิวรอลเน็ตเวิร์คเรียนรู้ตรง ๆ โดยไม่ผ่านขบวนการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีการประยุกต์นำเอาเจนเนติกอัลกอริทึมและนิวรอลเน็ตเวิร์คมาใช้ในการรู้จำตัวอักษรทั้งภาษาไทยและอักฤษ เพื่อเพิ่มความสามารถในการรู้จำ และลดความผิดพลาดในการรู้จำในกรณีที่ตัวอักษรมีสัญญาณรบกวน แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คก็ยังเป็นส่วนสำคัญในการที่จะทำให้นิวรอลเน็ตเวิร์คเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นยังขึ้นอยู่กับการค่าหาถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นซึ่งปรกติได้จากการสุ่ม วิธีการหนึ่งที่นำมาช่วยแก้ปัญหาให้นิวรอลสามารถเรียนรู้ได้เร็วขึ้นคือ การนำเอาเจนเนติกอัลกอริทึมมาช่วยในการหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการนำเอาเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้หาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์คแทนวิธีการสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการนำเสนอแนวความคิดเจนเนติกอัลกอริทึมมาแก้ปัญหาการหาค่าน้ำหนักเริ่มต้นที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการรู้จำตัวอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค โดยรายละเอียดต่างๆ ภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดแบ่งในส่วนของเนื้อหาทั้งหมดออกเป็น 7 บท ซึ่งแต่ละบทจะมีหัวข้อและเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ

อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาตลอดจนวัตถุประสงค์ของขอบเขตของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลตัวอักษร

อธิบายถึงลักษณะทั่วไปของกระบวนการแยกอักษรทีละบรรทัดจากภาพหน้ากระดาษ แล้วนำมาแยกอักษรทีละตัวออกจากบรรทัด ผลลัพธ์ที่ได้ส่งไปคำนวณหาคุณสมบัติเฉพาะของตัวอักษรโดยใช้ หลักการคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่อง (Connectivity number) และ การเข้ารหัสลูกโซ่

บทที่ 3 ทฤษฎีเจนเนติกอัลกอริทึม

อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานของกระบวนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมเบื้องต้น การกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย ฟังก์ชันความเหมาะสม และการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมมาหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

บทที่ 4 ทฤษฎีโครงข่ายนิวรอล

อธิบายถึงทฤษฎีโครงข่ายนิวรอล ลักษณะโครงข่ายนิวรอล วิธีการฝึกสอนโครงข่ายนิว-รอลและการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับโครงข่ายนิวรอลในการเรียนรู้ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

บทที่ 5 ทฤษฎีที่นำมาใช้และกระบวนการรู้จำ

อธิบายถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ของโปรแกรม

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง

แสดงการทดลอง ผลการทดลองของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ฟอนต์และขนาดในแบบและขนาดตามขอบเขตที่กำหนด

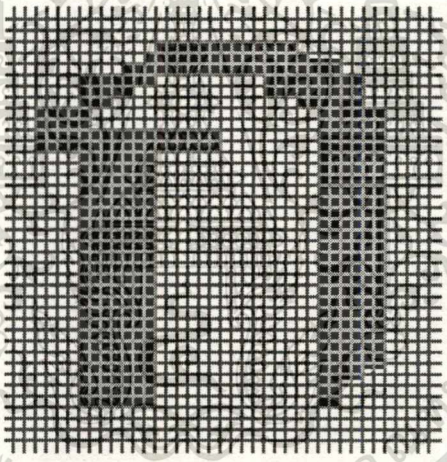
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์

สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลองพร้อมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดจนข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลตัวอักษร

ขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลภาพของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย เป็นกระบวนการในการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ระบบการรู้จำตัวอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทย เมื่อป้อนข้อมูลตัวอักษรผ่านเข้าเครื่องตรวจกวาดภาพจะได้ข้อมูลภาพตัวอักษรออกมาอยู่ในรูปแบบบิตแม๊พ (Bitmap) แสดงในรูปที่ 2.1 ก่อนอื่นเราต้องแปลงข้อมูลภาพแบบบิตแม๊พของตัวอักษรที่ได้จากเครื่องตรวจกวาดภาพให้เป็นข้อมูลแบบไบนารี่ (Binary) คือในรูปตัวเลข 0 กับ 1 เสียก่อน จากนั้นก็ทำการแยกข้อมูลตัวอักษรออกจากหน้ากระดาษแต่ละตัวแล้วก็ทำการปรับตัวอักษรให้เป็นขนาดมาตรฐานในรูปแบบเมตริก จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษร เพื่อนำไปประมวลผลในโครงข่ายแบบเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค เป็นขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2.1 แสดงภาพบิตแม๊พ (Bitmap) ของตัวอักษร “ก”

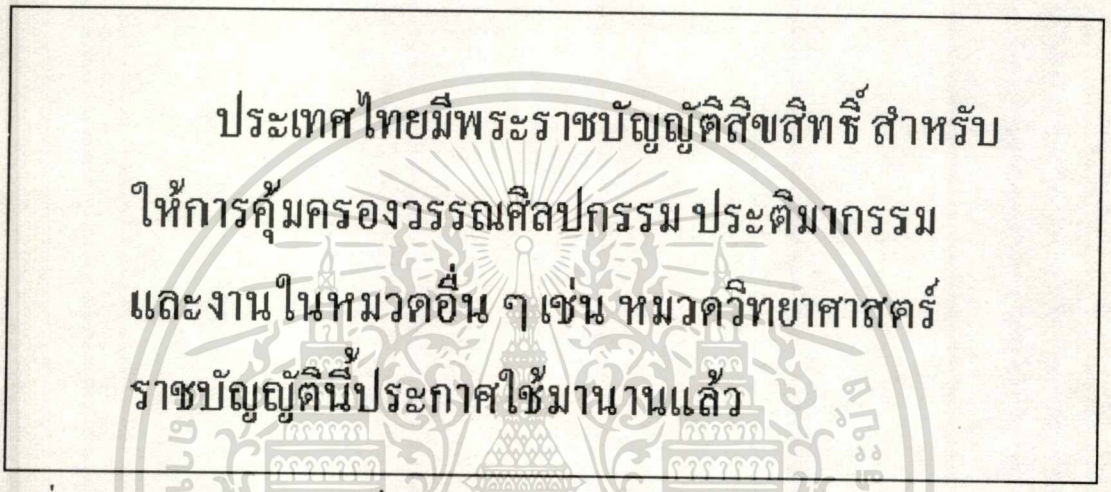
2.1 กระบวนการรู้จำอักษรไทย

กระบวนการรู้จำอักษรไทยเริ่มด้วยการอ่านข้อมูลภาพหน้ากระดาษด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพชนิดตั้งโต๊ะ ผลลัพท์ที่ได้เป็นภาพขาวดำ เมื่อพิจารณาจุดของภาพจะเป็นพิกเซล (Pixel) หรือจุดที่มีค่าเป็นศูนย์และหนึ่งซึ่งอาจหมายถึงส่วนเนื้อของตัวอักษรและพื้นขาวของกระดาษ การรู้จำอักษรไทยจะต้องนำภาพหน้ากระดาษนี้ไปประมวลผลให้เหลือเพียงรูปตัวอักษรแต่ละตัวก่อนเพราะกระบวนการรู้จำแบบเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คใช้ได้กับอักษรเพียงตัวเดียวเท่านั้น กระบวนการนี้เริ่มจากการแยกอักษรทีละบรรทัดจากหน้ากระดาษ แล้วนำมาแยกอักษรทีละตัวออกจากบรรทัด ผลลัพธ์ที่ได้ส่งไปคำนวณหาคุณสมบัติต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาขั้นนี้จะจำกัดขอบเขตว่า ในหน้ากระดาษหนึ่งนั่นมีแต่ละตัวอักษรตัวพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยวิธีปรกติเท่านั้น (เช่น ไม่ได้พิมพ์ทแยง หรือพิมพ์เหลื่อมกัน) ในหนึ่งหน้ากระดาษใช้ขนาดอักษรตามที่กำหนดคือ 14, 16, 18, 20 และ 22 พอยต์ และเป็นฟอนต์แบบเดียว ป้อนกระดาษตรงไม่ป้อนกระดาษเอียงมากเกินไปซึ่งจะทำให้สามารถใช้ฮิสโตแกรม หรือการสแกนตามแนวนอนและแนวตั้งสามารถแยกอักษรออกมาได้กระบวนการตัดตัวอักษรออกจากภาพหน้ากระดาษประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

ก. อ่านภาพแบบขาวดำเข้ามาทั้งหน้ากระดาษ



รูปที่ 2.2 แสดงภาพหน้ากระดาษที่ใช้โปรแกรมอ่านภาพจากเครื่องกวาดภาพ

ข. หาฮิสโตแกรมของภาพในแนวนอน

ค. ระหว่างที่หาฮิสโตแกรมในแนวนอน ถ้ามีค่าฮิสโตแกรมจุดใดที่เปลี่ยนจากศูนย์เป็นค่าใดใดก็ตามให้สันนิฐานว่าเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นบรรทัด

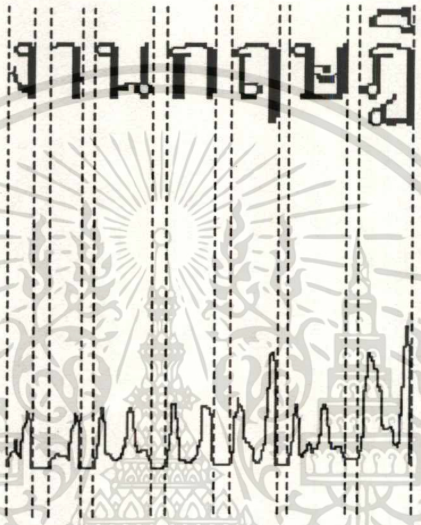
รูปที่ 2.3 แสดงการตัดบรรทัด โดยใช้จุดที่มีการเปลี่ยนค่าศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

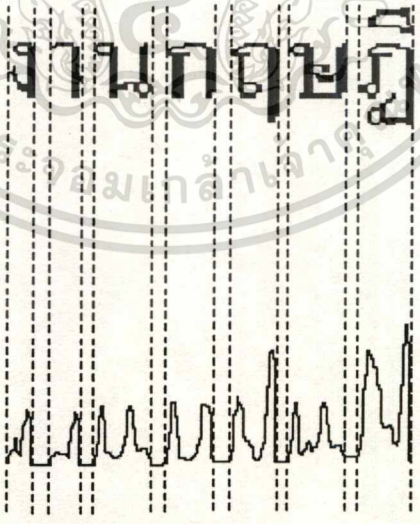
ง. ถ้าเส้นระหว่างบรรทัดห่างพอ จะตัดออกเป็นสองบรรทัดได้

จ. ทำการแยกส่วนของบรรทัดออกมาทีละบรรทัด เก็บไว้ในอาเรย์หรือในไฟล์ ตามลำดับ การตัดบรรทัด ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนหมดทุกบรรทัด

ฉ. ตัดตัวอักษรจากบรรทัดออกเป็นทีละตัว (Character Segmentation) โดยอาศัยฟังก์ชันฮิส-โตแกรมของเซลในแนวตั้ง กรณีที่ตัวอักษรกำหนดขนาดอักษรคงที่ (Fixed spacing) ปัญหาจะไม่ยุ่งยากนัก แต่กรณีที่พิมพ์ตัวอักษรที่ปรับช่องว่างแบบไม่ตายตัว (Proportional spacing) จะมีปัญหาค่อนข้างมาก รวมทั้งกรณีการพิมพ์นั้นออกแบบให้พิมพ์อักษรทับกันได้ด้วย เช่น ในระบบพิมพ์ดีด



รูปที่ 2.4 แสดงการหาฮิสโตแกรมในแนวตั้งเพื่อตัดอักษรจากบรรทัด



รูปที่ 2.5 แสดงการตัดอักษรออกจากบรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกแยะตัวอักษรไทย

ก่อนจะเข้าสู่งานวิจัยของผู้เขียน ขอแนะนำผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำมาก่อนซึ่ง สุรสิทธ์ ราตรี ในวิทยานิพนธ์สำหรับปริญญามหาบัณฑิต พ.ศ. 2533 เรื่อง "การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยการค้นหาลักษณะโครงสร้างของลายเส้น" ได้รวบรวมและวิจารณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกตัวอักษรภาษาไทยทั้งตัวพิมพ์และแบบลายมือเขียนจำนวน 6 เรื่อง ซึ่งไม่นำมากล่าวซ้ำในที่นี้อีก แต่ขอสรุปเป็นตารางไว้เฉพาะเรื่องของตัวอักษรพิมพ์ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงการวิจัยเรื่องการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยตัวพิมพ์

ชื่อวิธีการ	คุณสมบัติที่ใช้	ฟังก์ชันตัดสินใจหรือวิธีตัดสินใจ	ผู้วิจัย
1. การจดจำแบบซ้อนทับ	จุดของภาพ	Correlation Function Maximum Likehood	ชม กิ้มปาน
2. การจดจำแบบวิเคราะห์โครงสร้าง	ความสัมพันธ์ของจุดต่างๆ ในตัวอักษร	Table Lookup Pattern matching	ชม กิ้มบาน
3. การจดจำอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการพิจารณาหัวของอักษร	เหมือนแบบที่ 2. เพิ่มส่วนการพิจารณาส่วนหัวอักษร	Table lookup Pattern matching	สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์
4. การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือไทยโดยวิธีแยกลักษณะเด่น	รูปแบบรหัสจากความสัมพันธ์ของเส้นและเนื้ออักษร	Table lookup Pattern matching	ประสาร ตังติสานนท์
5. การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีค้นหาลักษณะโครงสร้างของลายเส้น	รูปแบบรหัสจากความสัมพันธ์ของขอบและเนื้ออักษร	Table lookup Pattern matching	สุรสิทธิ์ ราตรี

2.3 วิเคราะห์แนวทางการวิจัยของวิทยานิพนธ์

จากตารางที่ 2.1 การวิจัยที่แสดงในตารางนี้แสดงว่าวิธีการตัดสินใจสำหรับการรู้จำอักษรไทยตัวพิมพ์ผู้เขียนวิเคราะห์ว่าส่วนใหญ่เป็นวิธีทางด้านสถิติ และวิธีการที่ใช้มากแบ่งได้เป็นสามกลุ่ม คือ การเปรียบเทียบรูปแบบ (Pattern matching) หรือการเปิดตาราง (Table lookup) การเทียบความเหมือน (Correlation) และการตัดสินด้วยสมการเส้นตรง (Linearly equation decision)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบแรกคือการเทียบรูปแบบหรือการเปิดตาราง โดยนำต้นแบบตัวอักษรจำนวนมากมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่าง ๆ แล้วนำไปสร้างเป็นตารางไว้ และเมื่อมีอินพุทป้อนเข้ามาจะนำคุณสมบัติของอักษรอินพุทนั้นมาเทียบกับตาราง ถ้าคุณสมบัติที่เก็บไว้ตรงกับตารางในกลุ่มอักษรใดก็จะสรุปว่า จัดเป็นอักษรนั้น การออกแบบตารางที่ซับซ้อนขึ้นจะพิจารณาว่าอักษรหนึ่งตัวอาจมีต้นแบบหลายแบบซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันออกไป จึงต้องสร้างเป็นกลุ่มของข้อมูลต้นแบบหนึ่งตัวขึ้นมา และถ้านำคุณสมบัติของอักษรที่ไม่รู้จักมาเทียบตรงกับตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มก็จะสรุปว่าเป็นตัวอักษรตัวนั้น วิธีเทียบอักษรนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญ 2 ข้อคือ ลักษณะหรือคุณสมบัติที่ใช้จะต้องมีความคงที่ และผลลัพธ์การทำงานที่ได้ไม่มีค่าที่บ่งถึงระดับความเหมือน (Level of similarity measurement) ระหว่างต้นแบบกับอินพุท

แบบที่สองคือการเทียบความเหมือน จากงานวิจัยที่อ้างถึงเป็นการนำเนื้ออักษรทั้งตัวมาเปรียบเทียบ (โดยการนำมาลบกัน หรือค่าเปรียบเทียบในรูปสมการต่าง ๆ) กับต้นแบบจำนวนมากเพื่อหาว่า ต้นแบบใดมีความแตกต่างจากอินพุทน้อยที่สุด (โดยการเรียงลำดับหาค่าสูงสุดต่ำสุด) โดยจัดกลุ่มของตัวอย่างให้อยู่ในกลุ่มของตัวต้นแบบที่มีความแตกต่างน้อยที่สุด วิธีนี้มีปัญหาในการคำนวณถ้าเนื้ออักษรใหญ่และมีจำนวนตัวอย่างมากจะใช้เวลาคำนวณนานมาก แต่จะได้ผลลัพธ์ที่บอกให้รู้ด้วยว่าค่าที่บ่งระดับความเหมือนระหว่างอินพุทกับต้นแบบมีเพียงใด

แบบที่สามเป็นการตัดสินใจ โดยนำคุณสมบัติจำนวน 2 คุณสมบัติมาสร้างเป็นกราฟของรูปแบบแบบ 2 มิติ นำกลุ่มทั้งหมดมาพล็อตลงในนี้ แล้วสร้างสมการการตัดสินใจแบบเส้นตรงขึ้นมาจำนวนหนึ่ง เพื่อหาทางแบ่งกลุ่มของตัวอย่างให้ออกเป็นกลุ่มเล็ก ๆ หลายกลุ่ม ในระดับการแบ่งกลุ่มพื้นฐานจะมีเพียงสองกลุ่มที่พิจารณาได้ว่า ใช้สมการเส้นตรงเส้นเดียวสามารถแบ่งกลุ่มรูปแบบเป็น 2 กลุ่ม แล้ววิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของสมการเส้นตรงนั้น เมื่อมีอินพุทที่ไม่รู้กลุ่มเข้ามา จะนำคุณสมบัติของอินพุทนั้นมาแมพในอวกาศของรูปแบบเพื่อดูว่าจะจัดในกลุ่มใด โดยใช้เส้นตรงที่กำหนดเป็นแนวทาง หรือใช้การคำนวณโดยการแทนค่าของตำแหน่งของอินพุทลงในสมการของเส้นตรงที่ใช้ในการตัดสินใจ เพื่อหาว่าพิกัดของอินพุทอยู่บนหรือใต้เส้นตรงนั้นทำให้เลือกกลุ่มได้ ปัญหาของวิธีการนี้คือรูปแบบในธรรมชาติส่วนมากมีการจัดกลุ่มที่ไม่สามารถใช้สมการเส้นตรงตัดสินได้

การวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ จะขอนำเสนอหลักการเรียนรู้แบบใหม่ที่หลีกเหลี่ยงข้อจำจัดของวิธีที่กล่าวมา โดยเรียกชื่อว่า "การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค" และใช้คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับขอบของตัวอักษรเพื่อใช้ในการรู้จำ ซึ่งมีรายละเอียดในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

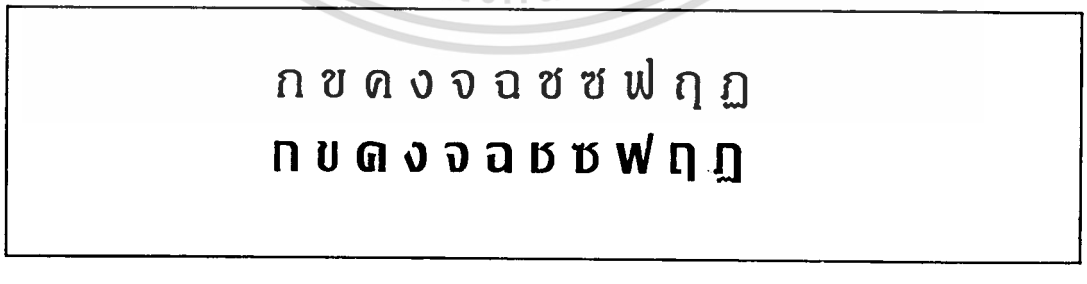
2.4 การวิเคราะห์ตัวอักษรไทย

การวิเคราะห์ตัวอักษรไทยเพื่อจะให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถแยกแยะออกให้ได้ควรจะเริ่มจากการศึกษารูปร่างของอักษรไทยมาตราฐาน แต่ปัจจุบันยังไม่มีการประกาศรูปร่างอักษรไทยมาตราฐานได้สำเร็จ แม้จะมีการตั้งคณะกรรมการการร่างสัดส่วนของอักษรไทยโดยราชบัณฑิตสถานแห่งชาติตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2517 ขึ้นมาแล้วก็ตาม รูปแบบของตัวอักษรไทยโดยทั่วไปอาจวิเคราะห์ได้ดังนี้

ก. แบบมีหัวกลม เป็นตัวอักษรที่แสดงเอกลักษณ์เฉพาะของภาษาไทยคือ เป็นตัวอักษรที่มี "หัว" เป็นรูปแบบที่อ่านง่าย มีระเบียบ ใช้ในการสื่อสารที่เป็นทางการ เช่น หนังสือ เอกสารต่าง ๆ

รูปที่ 2.6 แสดงตัวอักษรแบบหัวกลม

ข. แบบหัวตัดและไม่มีหัว เป็นรูปแบบที่ได้จากการดัดแปลงการเขียนด้วยปากกาหัวตัดหรือปากกาแบน ลักษณะของหัวจึงคล้ายกับการตั้งมุมองศาปลายปากที่จับเขียน มักใช้ขนาดใหญ่กว่าตัวอักษรปรกติ ในงานที่ต้องการเน้นหรือเรียกความสนใจ



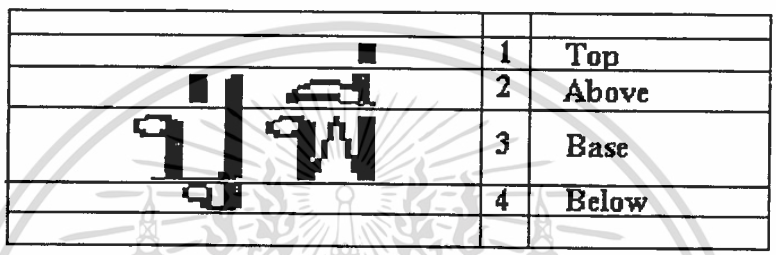
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอักษรหัวตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. แบบคัดลายมือหรือเรียกว่าเป็นตัวอาลักษณ์ เป็นรูปแบบตัวอักษรที่เลียนแบบการเขียนด้วยปากกาแหลม มักมีความหนาบางของเส้นต่างกัน ใช้สำหรับงานที่ต้องการให้เกียรติและยกย่อง เช่น ในปริญญาบัตรหรือบัตรเชิญ เป็นต้น

ง. แบบประดิษฐ์ เป็นรูปแบบที่เกิดจากการเขียนอย่างอิสระไม่มีแบบแผน เพื่อดึงดูดความสนใจ มักใช้เป็นหัวเรื่องหรือป้ายประกาศ

สำหรับภาษาไทยเนื่องจากยังขาดมาตราฐาน จึงเป็นเพียงการกำหนดไว้คร่าว ๆ โดยถ้านิยามระดับต่าง ๆ ในบรรทัดหนึ่งดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการกำหนดระดับของอักษรไทย

การจัดระดับอักษรโดยทั่วไปจะเป็นตามหลักการต่อไปนี้

1. ตัวอักษรทุกตัว อักษรอยู่ในระดับที่ 3
2. สระและวรรณยุกต์ ่ ้ ๊ ๋ ็ อยู่ในระดับที่ 2 หรือ 1 ถ้ามีสระในข้อ 3
3. สระ ิ ี ึ ื ั อยู่ในระดับที่ 2
4. ะ า แ อยู่ที่ระดับที่ 3
5. โ ใ ไ ำ ระดับ 3 และเลยไปถึงระดับ 2
6. สระ ุ ู อยู่ที่ระดับ 4

การกำหนดขนาดตัวอักษรตัวพิมพ์ในวงการพิมพ์ ใช้หน่วยที่เรียกว่า พอยท์และการจัดหน้ากระดาษ ใช้หน่วยเป็นไพก้า ซึ่งเทียบกับหน่วยนิ้วได้ดังนี้ 12 พอยท์ เท่ากับ 1 ไพก้า เท่ากับ 1 นิ้ว กลุ่มขนาดตัวอักษรที่ใช้กับงานต่าง ๆ โดยทั่วไปเป็นดังนี้

ก. ขนาด 6-12 พอยท์ เป็นตัวอักษรขนาดเล็ก ที่ใช้สำหรับงานที่มีเนื้อที่จำกัดและมีข่าวสารมาก เช่น สลากยา หรือ ใช้บรรยายใต้ภาพของสิ่งพิมพ์ที่ใช้ตัวธรรมดาเรียงพิมพ์เนื้อเรื่อง

ข. ขนาด 14-19.5 พอยท์ เป็นตัวอักษรธรรมดาที่ใช้เรียงพิมพ์เนื้อเรื่องสิ่งพิมพ์ทั้งหมดที่ไม่ต้องการเน้นตัว เป็นตัวพิมพ์ที่ใช้มากที่สุด สำหรับงานหนังสือทั่วไป ยกเว้นหนังสือสำหรับเด็กหรือคนแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ขนาด 24-32 พอยท์ เป็นตัวอักษรที่ใช้สำหรับหนังสือสำหรับเด็กและคนแก่ หรือการเน้นข้อความประกาศ

ง. ขนาด 40-72 พอยท์ เป็นตัวอักษรที่ใช้สำหรับ ประกาศ ใบปลิว หรือพาดหัวข่าวหนังสือพิมพ์ เพื่อเรียกความสนใจ

2.5 ความแตกต่างของตัวอักษรไทยตัวพิมพ์

การแยกวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงสองกลุ่มออกจากกัน เช่น แยกแหวนและตะปูออกจากกัน ย่อมง่ายกว่าแยกวัตถุที่มีรูปร่างคล้ายกัน เช่น แยกแหวนกลมกับแหวนเหลี่ยมออกจากกัน การแยกตัวอักษรก็เช่นกัน ถ้ามีการออกแบบชุดตัวอักษรที่มีลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (โดยไม่ทำให้เสียความสวยงามไป) หรือมีการออกแบบให้มีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างที่ใช้แยกได้ง่ายเอาไว้ล่วงหน้า ย่อมจะทำให้การแยกรูปแบบหรือกลุ่มของตัวอักษรเป็นไปได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาวิจัยถึงการนำหลักการนี้เข้าไปร่วมในการออกแบบตัวอักษร

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างอักษรที่มีความคล้ายกันมาก (ตามตารางในแนวนอน)

ลำดับ	ตัวอักษรที่คล้ายกัน
1	ก ถ ภ
2	ม ฆ
3	ค ด ต ศ
4	ฝ ฟ
5	ท ฑ

ซึ่งเป็นปัญหาที่ขึ้นอยู่กับการออกแบบ เพราะจะเห็นว่าในบางแบบตัวอักษรเหล่านี้จะแตกต่างกันอย่างอย่างเห็นได้ชัด

2.6 การหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษร

2.6.1 การคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่อง (Connectivity number)

ค่าตัวเลขต่อเนื่อง [7] เป็นคุณสมบัติทาง โทโพโลยี่ (Topological property) ของจุดภาพที่อยู่ติดกันในรูปแบบสองระดับ ค่าตัวเลขต่อเนื่องนี้จะเป็นตัวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพข้างเคียง (Neighborhood pixel) จุดภาพข้างเคียงบนรูปแบบสองระดับใด ๆ จะแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. จุดภาพข้างเคียงแบบเลข 4 จุดภาพ (4-Connectivity)
2. จุดภาพข้างเคียงแบบเลข 8 จุดภาพ (8-Connectivity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ P เป็นจุดภาพใด ๆ บนรูปแบบสองระดับ จุดภาพข้างเคียงของจุด P ทั้ง 2 แบบ แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

(ก) การต่อกันแบบเลข 8 (ข) การต่อกันแบบเลข 4

รูปที่ 2.9 ลักษณะของจุดภาพข้างเคียง 2 แบบ (ก) 8-Connectivity (ข) 4-Connectivity

ค่าตัวเลขต่อเนื่องของจุดภาพข้างเคียงทั้ง 2 แบบสามารถหาได้จากสมการ 2.1 และสมการ 2.2

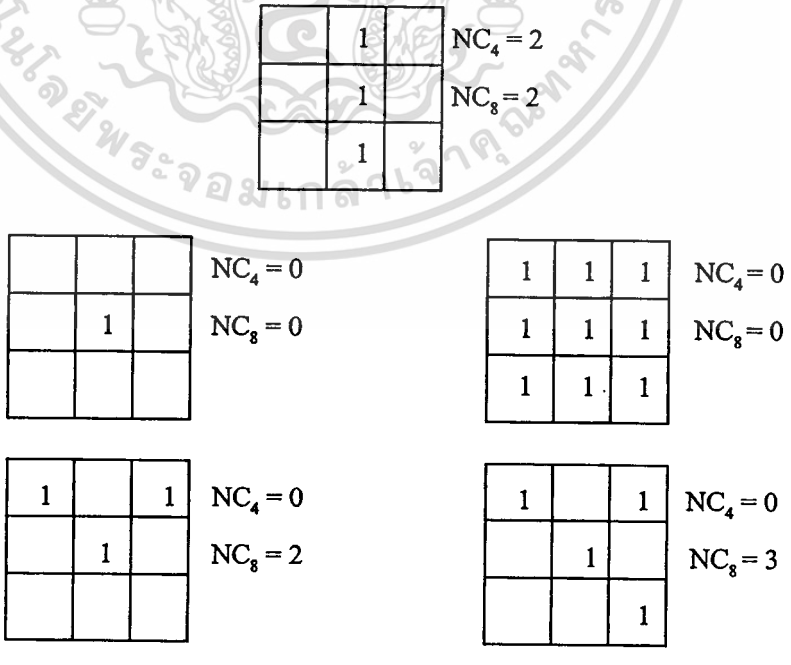
$$NC_4 = \sum (X_k - X_k X_{k+1} X_{k+2}) \tag{2.1}$$

$$NC_8 = \sum_{Si} (\bar{X}_k - \bar{X}_k \bar{X}_{k+1} \bar{X}_{k+2}) \tag{2.3}$$

$Si = \{1,3,5,7\}, k \geq 9 \rightarrow k = k-8$

$\bar{x} = (1 - x)$

ผลที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ 2.1 หรือ 2.2 จะได้เป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 4 ดังแสดงในรูป 2.30



รูปที่ 2.10 ค่า NC_4 และ NC_8 ของจุดภาพ

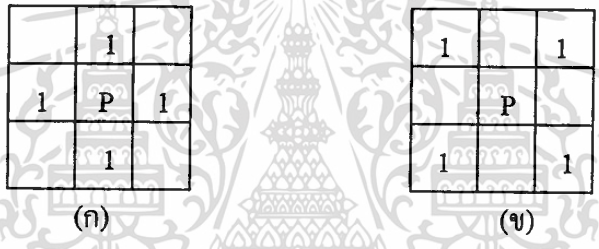
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวเลขต่อเนื่องที่คำนวณได้ทั้ง 2 แบบ จะบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพ ออกมาดังที่แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพ

ค่าตัวเลขต่อเนื่อง	จุดอิสระหรือจุดภายใน	จุดปลาย		จุดต่อเนื่อง					จุดแยก				จุดตัด	
NC_4	0	1	0	1	2	2	2	0	3	0	1	2	4	0
NC_8	0	1	1	2	2	2	1	2	1	3	3	2	0	4
ค่าตัวเลขต่อเนื่องของจุดอิสระหรือจุดภายในคือ 0, จุดปลายคือ 1, จุดต่อเนื่องคือ 2, จุดแยกคือ 3, จุดตัดคือ 4														

ตัวอย่างการคำนวณ



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการคำนวณค่า NC_4 และ NC_8

จากรูปที่ 2.31 (ก) จะคำนวณค่า NC_4 และ NC_8 ได้ดังนี้

$$NC_4 = X_1 + X_3 + X_5 + X_7 - (X_1 * X_2 * X_3) - (X_3 * X_4 * X_5) - (X_5 * X_6 * X_7) - (X_7 * X_8 * X_1)$$

$$= 1+1+1+1-(1*0*1)-(1*0*1)-(1*0*1)-(1*0*1)$$

$$= 4$$

$$NC_8 = \bar{X}_1 + \bar{X}_3 + \bar{X}_5 + \bar{X}_7 - (\bar{X}_1 * \bar{X}_2 * \bar{X}_3) - (\bar{X}_3 * \bar{X}_4 * \bar{X}_5) - (\bar{X}_5 * \bar{X}_6 * \bar{X}_7) - (\bar{X}_7 * \bar{X}_8 * \bar{X}_1)$$

$$= 0+0+0+0-(0*1*0) -(0*1*0) -(0*1*0) -(0*1*0) -(0*1*0)$$

$$= 0$$

จากรูปที่ 2.31 (ข) จะคำนวณค่า NC_4 และ NC_8 ได้ดังนี้

$$NC_4 = X_1 + X_3 + X_5 + X_7 - (X_1 * X_2 * X_3) - (X_3 * X_4 * X_5) - (X_5 * X_6 * X_7) - (X_7 * X_8 * X_1)$$

$$= 0+0+0+0-(0*1*0) -(0*1*0) -(0*1*0) -(0*1*0) -(0*1*0)$$

$$= 0$$

$$NC_8 = \bar{X}_1 + \bar{X}_3 + \bar{X}_5 + \bar{X}_7 - (\bar{X}_1 * \bar{X}_2 * \bar{X}_3) - (\bar{X}_3 * \bar{X}_4 * \bar{X}_5) - (\bar{X}_5 * \bar{X}_6 * \bar{X}_7) - (\bar{X}_7 * \bar{X}_8 * \bar{X}_1)$$

$$= 1+1+1+1-(1*0*1)-(1*0*1)-(1*0*1)-(1*0*1)$$

$$= 4$$

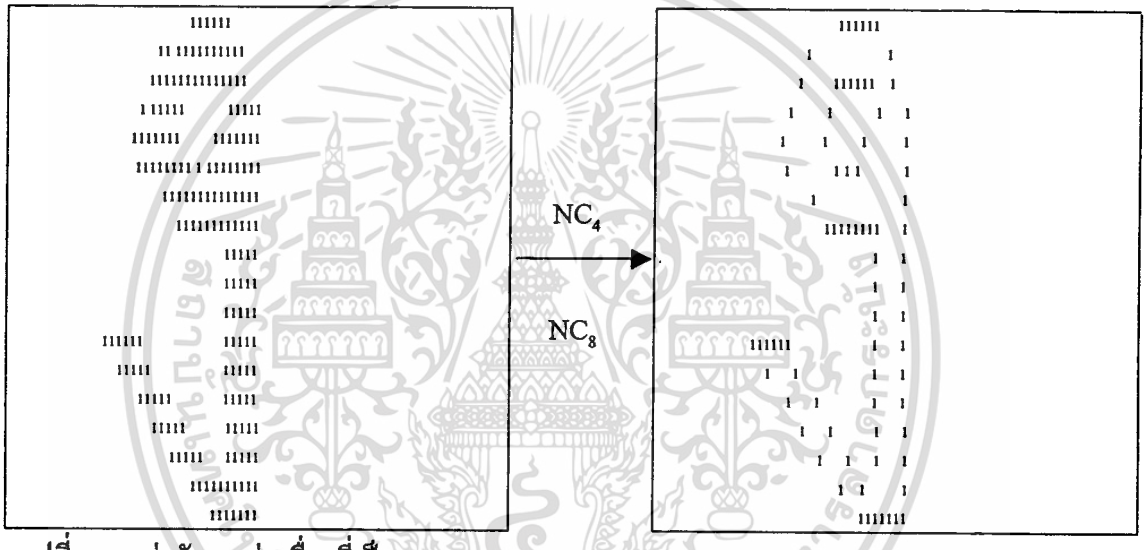
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การหาขอบภาพ (Edge detection)

ขอบเขตของภาพในรูปแบบกับฉากจะแบ่งแยกจากกันโดยของภาพ (Edge) การหาขอบเขตของภาพบนรูปแบบสองระดับใด ๆ มีวิธีการทำได้หลาย ๆ วิธี เช่นการใช้คุณสมบัติทางโทโพโลยี่ของจุดภาพ [14] การติดตามขอบภาพ (Contour following) [11],[12] หรือวิธีการใช้หน้าต่าง [22] สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้นจะกล่าวถึงเพียง 2 วิธีแรกเท่านั้น คือ

1. การหาขอบภาพโดยการใช้ค่าตัวเลขต่อเนื่อง NC_4 และ NC_8 ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 ให้หัวข้อ 2.6.1

จุดภาพใด ๆ ก็ตาม ที่มีค่า NC_4 และ NC_8 เป็นไปตามลักษณะของจุดปลาย (End point) ซึ่งก็หมายถึงว่าเป็นจุดภาพที่เป็นขอบดังแสดงในรูปที่ 2.12



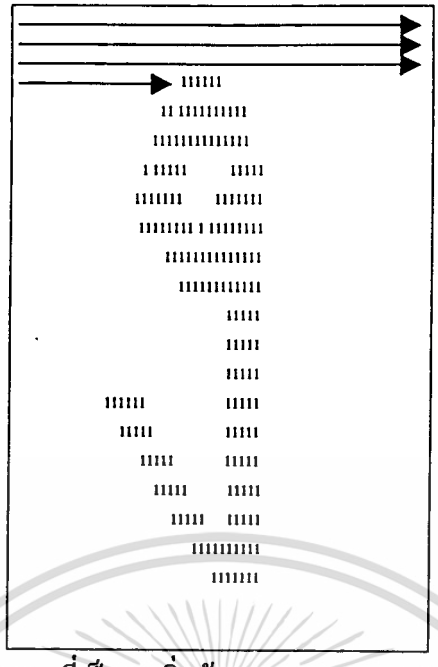
รูปที่ 2.12 ค่าตัวเลขต่อเนื่องที่เป็นขอบภาพ

ดังนั้น จึงสามารถใช้ค่าตัวเลขต่อเนื่องที่หาได้ บอกขอบของภาพได้ทั้งของในและขอบนอกของภาพ แต่จะไม่สามารถบอกจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบได้

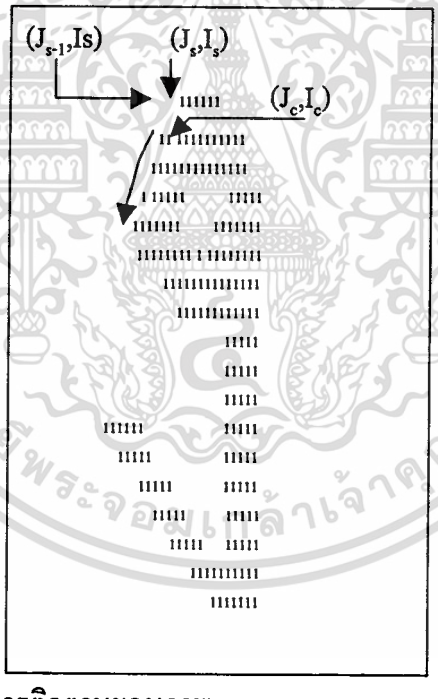
2.6.3 การหาขอบของภาพโดยใช้การติดตามของของภาพ (Contour Following)

การหาขอบภาพโดยใช้วิธีนี้จะต้องหาจุดเริ่มต้นของขอบก่อน จากรูปแบบ 2 ระดับในภาพที่ 2.13 จะทำการสแกนไปบนรูปจากบนลงล่าง (Forward scanning) จนกระทั่งพบจุดที่เป็นภาพ ก็จะถือว่าจุดนั่นเป็นจุดเริ่มต้นของขอบภาพ (J_s,I_s) และจะกำหนดให้จุดก่อนหน้าที่จะถึงจุดเริ่มต้นของขอบนี้ (J_{s-1},I_s) เป็นตำแหน่งเริ่มต้นสำหรับการวนในทิศทวนเข็มนาฬิกา เพื่อติดตามขอบภาพจุดต่อไป (J_c,I_c) ดังภาพที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



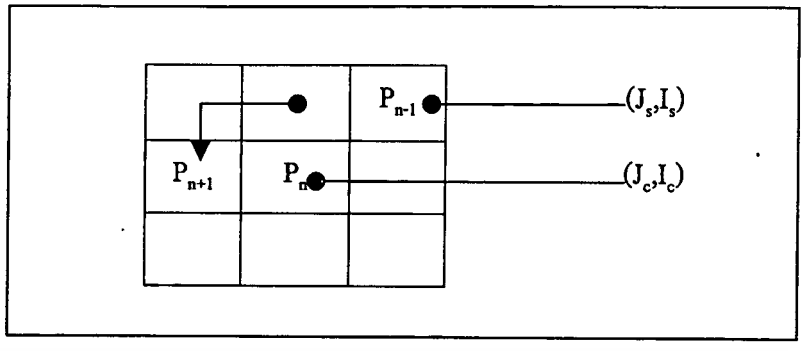
รูปที่ 2.13 การสแกนหาจุดภาพที่เป็นจุดเริ่มต้น



รูปที่ 2.14 จุดเริ่มต้นของการติดตามขอบภาพ

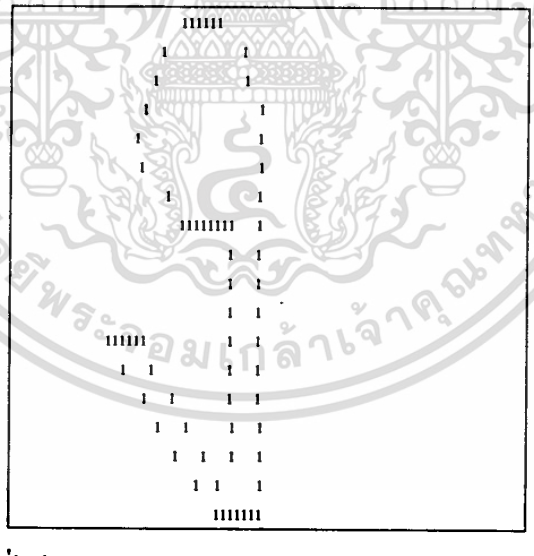
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นวางตารางหน้าต่างขนาด 3 X 3 ที่ขอบภาพ (J_c,I_c) แล้วจะวนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เพื่อติดตามขอบภาพจุดต่อไป ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การติดตามหาจุดภาพที่เป็นขอบ เมื่อ P_{n-1} เป็นตำแหน่งตำแหน่งขอบภาพที่ผ่านมา P_n เป็นตำแหน่งของขอบภาพที่กำลังพิจารณา และ P_{n+1} เป็นตำแหน่งของขอบภาพต่อไป

จากภาพที่ 2.15 จะเห็นว่าจุดเริ่มต้นในการติดตามขอบจุดต่อไป (P_{n+1}) จะเป็นตำแหน่งที่ถัดไปจากจุดขอบภาพที่ผ่านมา (P_{n-1}) ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเสมอ ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้เมื่อติดตามขอบเขตของภาพไปจนกระทั่งพบตำแหน่งเริ่มต้นของขอบ (J_s,I_s) ก็จะได้ขอบของภาพออกมา ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ขอบของภาพที่ได้จากการติดตามขอบเขต

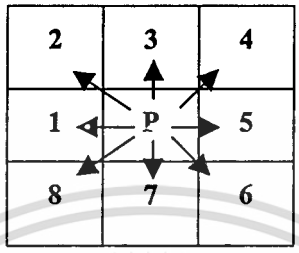
การหาขอบภาพโดยวิธีการติดตามขอบภาพมีข้อดีคือ สามารถบอกจำนวนจุดภาพได้ แต่ขอบภาพที่ได้จะได้เฉพาะขอบนอกเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่ (Chain Code)

รหัสลูกโซ่ [5], [6] คือ Code ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ทางด้านทิศทางของพิกเซล (Pixel) หนึ่งกับพิกเซล อื่นรอบๆ

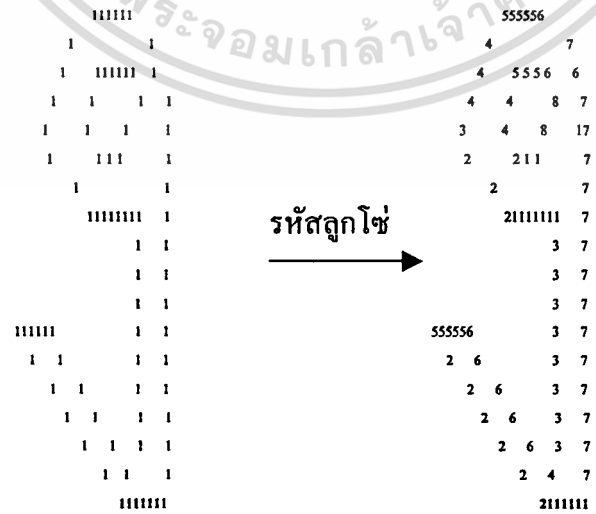
รหัสลูกโซ่ (Chain code) มีขนาด 1 พิกเซล และ มีทิศทาง 8 ทิศทาง คือใช้ รหัสลูกโซ่ ในการเคลื่อนที่ระหว่างพิกเซลชี้บอกทางดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ทิศทางของรหัสลูกโซ่

เพื่อเป็นการลดข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยให้น้อยลง เรากำหนดลักษณะเด่นของตัวอักษรโดยเรารหัสลูกโซ่มาทำการประมวลผล ซึ่งสามาระแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังรูปที่ 2.17

ตัวอักษรอินพุทที่ป้อนเข้ามายังระบบอาจเป็นตัวอักษรที่มีขนาดไม่เท่ากัน จะต้องมีกระบวนการปรับให้เป็นกลาง (Normalization) ก่อน วิธีการอย่างง่ายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือการย่อหรือขยายให้อินพุทมีขนาดเท่ากันกับกรอบมาตราฐานหนึ่ง จากการทดลองผลลัพธ์ที่น่าพอใจใช้กรอบขนาด 33 x 33 จุด แล้วทำการหาขอบของตัวอักษรโดยใช้ NC4 ตามหัวข้อที่ 2.6.1 หลังจากได้ขอบนอกและขอบในของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยแล้วทำการหารหัสของจุดแต่ละจุดที่เชื่อมกันโดยใช้รหัสลูกโซ่ (Chain code) ตามหัวข้อที่ 2.6.4

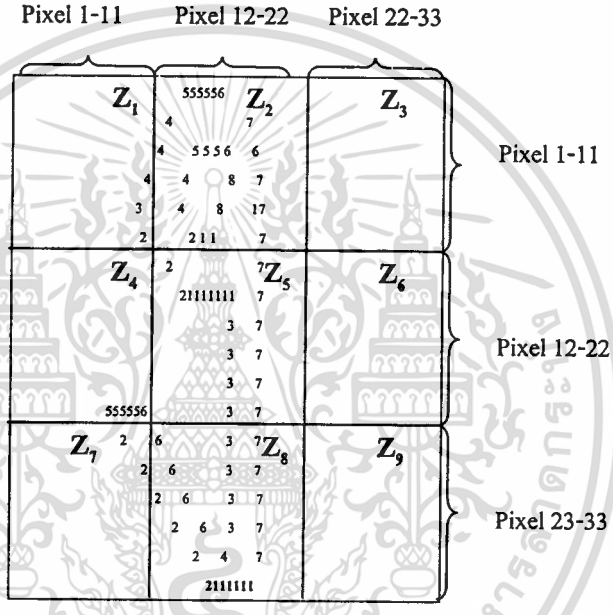


รูปที่ 2.18 แสดงการเข้ารหัสลูกโซ่ (Chain code)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้รหัสลูกโซ่แล้วทำการนับรหัสลูกโซ่ในพื้นที่เฉพาะ กำหนดชื่อเรียกบริเวณต่าง ๆ เป็น Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9 การแบ่งพื้นที่เฉพาะเหล่านี้ลดจำนวนข้อมูลให้น้อยลงและยังสามารถระบุลักษณะของตัวอักษรได้ บริเวณที่กำหนดจะมีสัดส่วนดังแสดงในรูป 2.19 ในการกำหนดรหัสลูกโซ่เรานับรหัสลูกโซ่ในทิศตรงข้ามกันเป็นรหัสเดียวกัน เช่น รหัส 1 กับ 5, 2 กับ 6, 4 กับ 8 เพื่อป้องรหัสผิดพลาดจากการเข้ารหัส ตัวอย่างการนับรหัสลูกโซ่แสดงในตารางที่ 2.4 และ 2.5

จากการศึกษาคุณสมบัติการนับจำนวนรหัสลูกโซ่ในแต่ละพื้นที่ พบว่าน่าจะใช้เป็นคุณสมบัติเพื่อรู้จำตัวอักษรได้ ถ้าจะนำสิ่งเหล่านี้มาใช้กับระบบการรู้จำ ดังจะอธิบายการวิธีการใช้ในบทต่อไป



รูปที่ 2.19 แสดงการแบ่งพื้นที่รหัสลูกโซ่

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษร "ก" จำนวน 4 ตัว

ตัวอย่างที่	บริเวณ Z_1	บริเวณ Z_2	บริเวณ Z_3	บริเวณ Z_4	บริเวณ Z_5	บริเวณ Z_6	บริเวณ Z_7	บริเวณ Z_8	บริเวณ Z_9
1	1,5 = 10	1,5 = 20	1,5 = 5	1,5 = 0	1,5 = 0	1,5 = 0	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 3
	2,6 = 2	2,6 = 5	2,6 = 7	2,6 = 3	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 0
	3,7 = 5	3,7 = 1	3,7 = 10	3,7 = 18	3,7 = 0	3,7 = 20	3,7 = 15	3,7 = 0	3,7 = 14
	4,8 = 8	4,8 = 5	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 1
2	1,5 = 10	1,5 = 24	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 0	1,5 = 0	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 2
	2,6 = 1	2,6 = 2	2,6 = 13	2,6 = 2	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 1
	3,7 = 2	3,7 = 2	3,7 = 6	3,7 = 18	3,7 = 0	3,7 = 20	3,7 = 17	3,7 = 0	3,7 = 15
	4,8 = 14	4,8 = 1	4,8 = 2	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	บริเวณ Z_1	บริเวณ Z_2	บริเวณ Z_3	บริเวณ Z_4	บริเวณ Z_5	บริเวณ Z_6	บริเวณ Z_7	บริเวณ Z_8	บริเวณ Z_9
3	1,5 = 9	1,5 = 21	1,5 = 6	1,5 = 2	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 4	1,5 = 0	1,5 = 2
	2,6 = 1	2,6 = 1	2,6 = 9	2,6 = 2	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 2	2,6 = 0	2,6 = 0
	3,7 = 3	3,7 = 2	3,7 = 9	3,7 = 17	3,7 = 0	3,7 = 20	3,7 = 13	3,7 = 0	3,7 = 15
	4,8 = 10	4,8 = 1	4,8 = 5	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 2	4,8 = 0	4,8 = 4
4	1,5 = 10	1,5 = 25	1,5 = 4	1,5 = 2	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 3
	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 13	2,6 = 2	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 0
	3,7 = 7	3,7 = 1	3,7 = 8	3,7 = 17	3,7 = 0	3,7 = 20	3,7 = 17	3,7 = 0	3,7 = 13
	4,8 = 6	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 0	4,8 = 2

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษร "ค" จำนวน 4 ตัว

ตัวอย่างที่	บริเวณ Z_1	บริเวณ Z_2	บริเวณ Z_3	บริเวณ Z_4	บริเวณ Z_5	บริเวณ Z_6	บริเวณ Z_7	บริเวณ Z_8	บริเวณ Z_9
1	1,5 = 8	1,5 = 24	1,5 = 4	1,5 = 2	1,5 = 8	1,5 = 0	1,5 = 3	1,5 = 1	1,5 = 4
	2,6 = 0	2,6 = 8	2,6 = 10	2,6 = 6	2,6 = 5	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 0	2,6 = 0
	3,7 = 5	3,7 = 2	3,7 = 6	3,7 = 10	3,7 = 12	3,7 = 20	3,7 = 9	3,7 = 7	3,7 = 17
	4,8 = 14	4,8 = 4	4,8 = 2	4,8 = 1	4,8 = 7	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 0
2	1,5 = 8	1,5 = 26	1,5 = 6	1,5 = 5	1,5 = 11	1,5 = 0	1,5 = 2	1,5 = 0	1,5 = 4
	2,6 = 1	2,6 = 4	2,6 = 8	2,6 = 5	2,6 = 1	2,6 = 2	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 0
	3,7 = 8	3,7 = 2	3,7 = 7	3,7 = 17	3,7 = 4	3,7 = 17	3,7 = 15	3,7 = 0	3,7 = 16
	4,8 = 11	4,8 = 2	4,8 = 1	4,8 = 4	4,8 = 6	4,8 = 1	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 1
3	1,5 = 8	1,5 = 25	1,5 = 5	1,5 = 2	1,5 = 10	1,5 = 0	1,5 = 2	1,5 = 0	1,5 = 3
	2,6 = 0	2,6 = 8	2,6 = 10	2,6 = 6	2,6 = 2	2,6 = 0	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 1
	3,7 = 5	3,7 = 1	3,7 = 9	3,7 = 18	3,7 = 4	3,7 = 20	3,7 = 15	3,7 = 0	3,7 = 15
	4,8 = 14	4,8 = 2	4,8 = 1	4,8 = 6	4,8 = 6	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 0	4,8 = 1
4	1,5 = 7	1,5 = 26	1,5 = 6	1,5 = 1	1,5 = 11	1,5 = 0	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 4
	2,6 = 1	2,6 = 5	2,6 = 11	2,6 = 8	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 2	2,6 = 0	2,6 = 0
	3,7 = 6	3,7 = 1	3,7 = 7	3,7 = 19	3,7 = 6	3,7 = 20	3,7 = 17	3,7 = 0	3,7 = 17
	4,8 = 12	4,8 = 3	4,8 = 1	4,8 = 4	4,8 = 5	4,8 = 0	4,8 = 2	4,8 = 0	4,8 = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

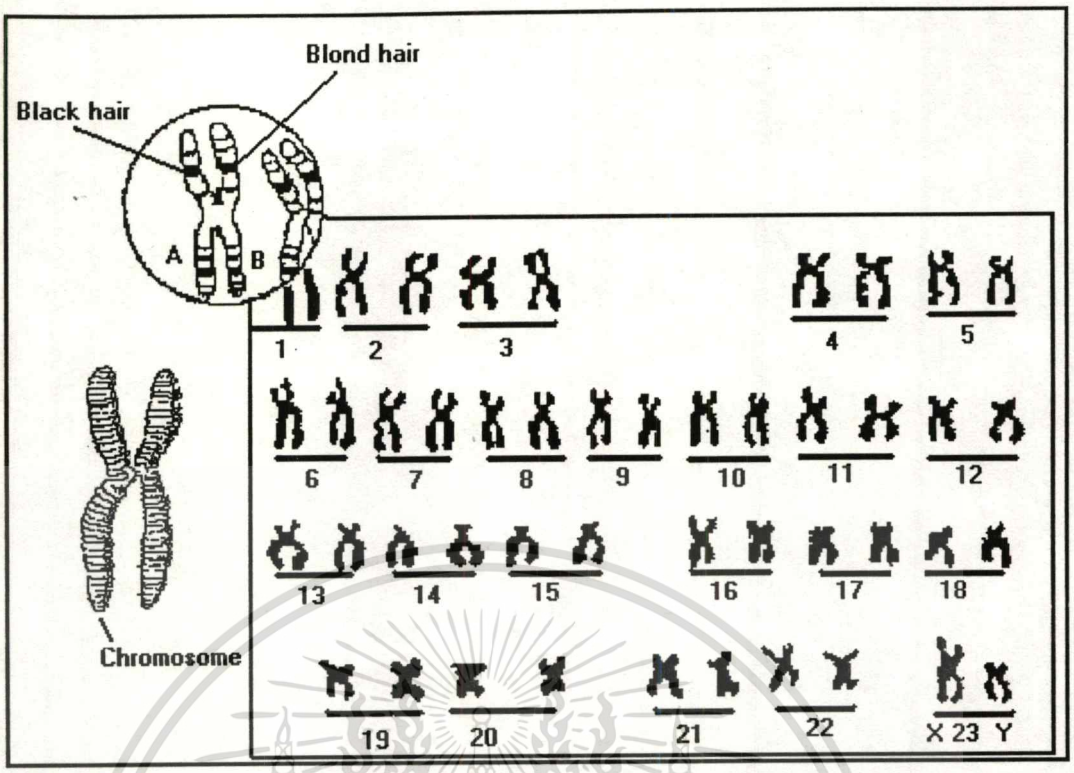
บทที่ 3
เจนเนติกอัลกอริทึม

ในปัจจุบันนี้ปัญหาที่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ทางวิทยาศาสตร์วิศวกรรม-ศาสตร์ คอมพิวเตอร์ หรือในการทำงานต่างๆ ที่เกิดขึ้นมากมายนั้น สามารถหาคำตอบได้หลายๆ วิธี ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของปัญหา ความคิด เทคนิค วิธีการวิเคราะห์ปัญหานั้น ๆ และความแพร่หลายในการพัฒนาศักยภาพของคอมพิวเตอร์ให้รู้จักเรียนรู้เพื่อช่วยหาคำตอบหรือช่วยตัดสินคำตอบในขั้นต้นมีมากขึ้น โดยปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มนำความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติมาช่วยในการศึกษาวิจัย เช่น นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network) ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นต้น เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จำลองรูปแบบวิธีการทางชีววิทยา ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่หรือขยายเผ่าพันธุ์ในรุ่นลูก รุ่นหลานต่อไป ซึ่งอาศัยพื้นฐานความคิดของวิวัฒนาการทางธรรมชาติถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ทางพันธุกรรม โดยปฏิบัติตามกระบวนการทางพันธ์ศาสตร์ เพื่อจะใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุดของปัญหาโดยคอมพิวเตอร์

3.1 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา

เมนเดล (Mendel) บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์ ค้นพบว่า ยีนส์ (Genes) หน่วยเก็บลักษณะทางกรรมพันธุ์เป็นตัวกำหนดลักษณะภายนอก ซึ่งยีนส์หลายๆ ยีนส์จะเรียงตัวกันอยู่บนเส้นโครโมโซม (Chromosome) อีกทีหนึ่งในเซลของสิ่งมีชีวิตโดยจะอยู่กันเป็นคู่ ๆ แต่จะแตกต่างกันที่ค่าลักษณะต่างๆ ในแต่ละตำแหน่งยีนส์เรียกว่าแอลลี (Allele) ซึ่งแบบต่าง ๆ ของยีนส์ที่มีแอลลีต่างกันในแต่ละตำแหน่งยีนส์เดียวกันเรียกว่า ยีโนไทป์ (Genotype) สำหรับลักษณะภายนอกที่ปรากฏออกมาให้เห็นเรียกว่า ฟีโนไทป์ (Phenotype) เช่น ในคนจะมีโครโมโซม 23 คู่ 46 โครโมโซมจะประกอบด้วยยีนส์ต่าง ๆ กันราว 1,250 ยีนส์ ตัวอย่างคู่โครโมโซมที่ 1 ในคนดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยยีนส์ลักษณะสีผม สีผิว สีตา และอื่น ๆ อีกประมาณ 1,247 ลักษณะ และโครโมโซม 1A มีแอลลีของยีนส์ลักษณะสีผมคือ ผมสีดำ ส่วนโครโมโซม 1B มีแอลลีของยีนส์ลักษณะสีผมคือ ผมสีบลอนด์ [34] [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



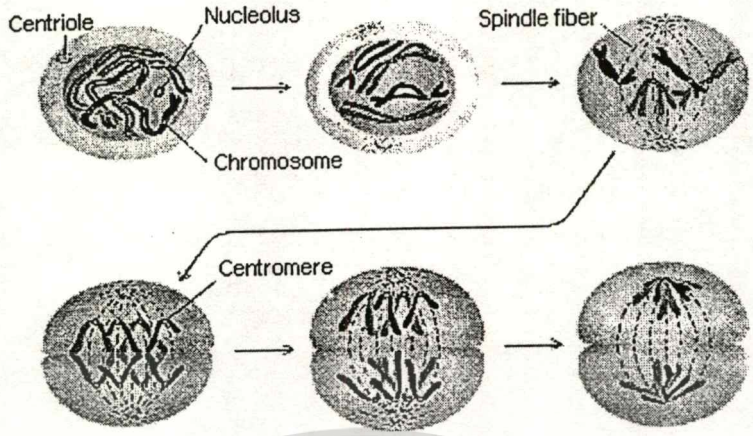
รูปที่ 3.1 แสดงโครโมโซมทางพันธุศาสตร์

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นเมื่อมีการแบ่งตัวของเซลสิ่งมีชีวิต ซึ่งมี 2 แบบ คือ

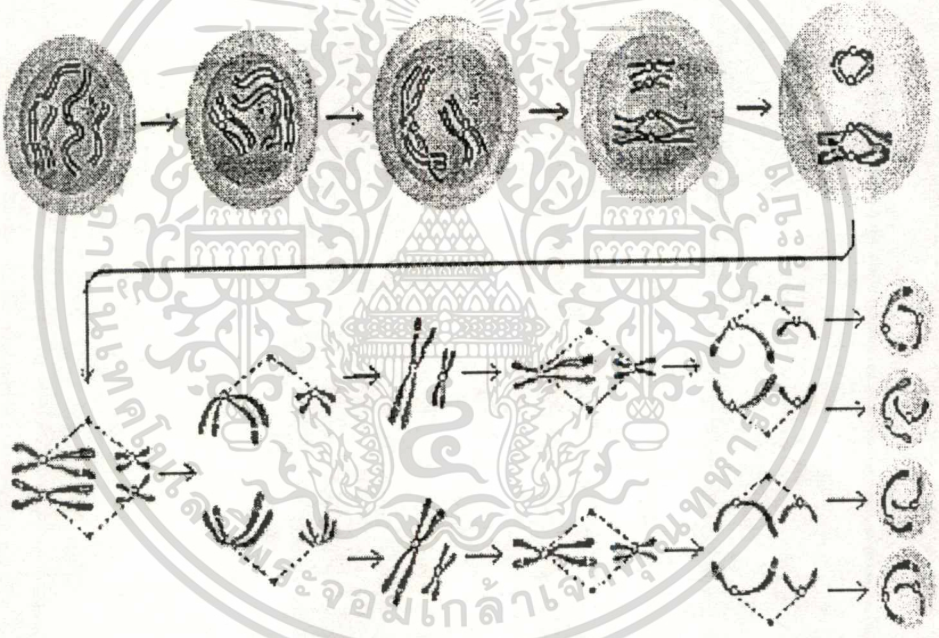
1. การเพิ่มจำนวนเซล เป็นการแบ่งตัวแบบไมโตสิส (Mitosis) โดยโครโมโซมแต่ละตัวจะขยายตัวเพิ่มจำนวนตัวเองขึ้นเป็นสอง และเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nucleous) จะสลายลงเพื่อดึงแยกโครโมโซมที่เพิ่ม จำนวนขึ้นออกจากโครโมโซมเดิมเป็นสองด้าน แล้วเยื่อหุ้มนิวเคลียสจะถูกสร้างขึ้นใหม่กลายเป็นเซลใหม่ 2 เซล ที่มีโครโมโซมเหมือนเดิม ดังรูป 3.2-a

2. การแบ่งตัวของเซลสืบพันธุ์ เป็นการแบ่งตัวแบบไมโอสิส (Meiosis) โดยโครโมโซมจากเซลพ่อ 1 โครโมโซมและโครโมโซมจากเซลแม่ 1 โครโมโซม จะเริ่มจับคู่กันที่โครโมโซมชนิดเดียวกัน ในขณะเดียวกันโครโมโซมแต่ละตัวทั้งที่มาจากพ่อและมาจากแม่ ต่างก็จำลองแบบของตนเพิ่มขึ้นมาอีกแต่ละโครโมโซม ทำให้ได้จำนวนโครโมโซมทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และดำเนินการทางพันธุกรรมจนถึงระยะแบ่งตัว โครโมโซมพ่อพร้อมกับแบบจำลองและโครโมโซมแม่พร้อมกับแบบจำลองที่ได้ จะแยกคู่ไปรวมกันเป็น 2 นิวเคลียส กลายเป็นเซลใหม่ 2 เซล ซึ่งจะแบ่งตัวต่อทันที โดยแต่ละโครโมโซมพ่อแยกตัวออกจากแบบจำลอง และโครโมโซมแม่ก็แยกตัวออกจากแบบจำลองรวมกันเป็นเซลใหม่ 4 เซล ดังรูปที่ 3.2-b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.2-a การเพิ่มจำนวนเซล



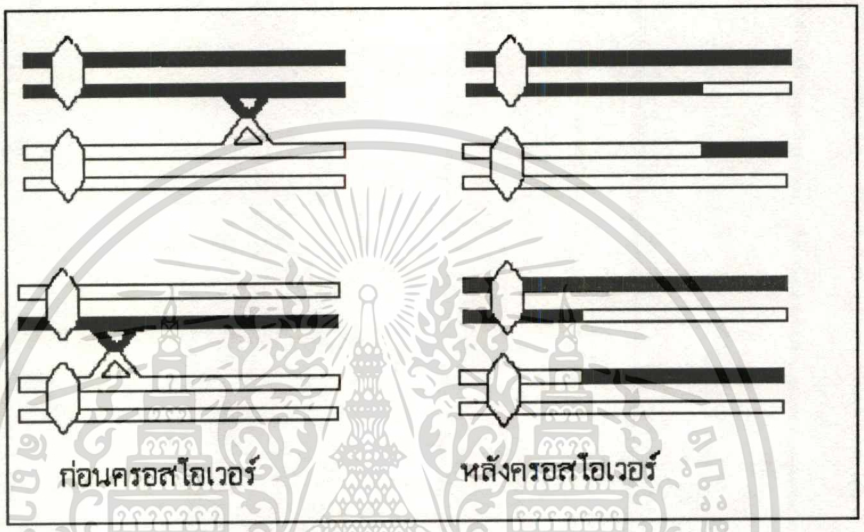
2.2-b การแบ่งตัวของเซลสืบพันธุ์

รูปที่ 3.2 แสดงการแบ่งตัวของเซลทางพันธุศาสตร์

วิธีการทางพันธุศาสตร์ในระหว่างที่เกิดการแบ่งตัวของไมโอสิสนั้น โครโมโซมจะมีโอกาสแลกเปลี่ยนส่วนบางส่วนซึ่งกันและกัน อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ครอสโอเวอร์ (Crossover) ของลักษณะต่าง ๆ ขึ้น ซึ่งการครอสโอเวอร์นั้นเกิดขึ้นขณะที่มีการจำลองแบบเพิ่มขึ้น และเกิดขึ้นระหว่างโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ ไม่ใช่เกิดขึ้นระหว่างโครโมโซมพ่อกับแบบจำลอง ซึ่งการครอสโอเวอร์จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนลักษณะของยีนส์ต่าง ๆ ของคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครโมโซมพ่อกับแม่ โดยเนื่องจากยีนส์แต่ละยีนส์เรียงตัวกันบนเส้นโครโมโซมนั้นไม่ได้อยู่กันอย่างหนาแน่น แต่มีระยะห่างกันอย่างไม่สม่ำเสมอ เพราะคุณสมบัติของยีนส์นั้นเป็นโมเลกุลของสารโปรตีนประกอบตัวกันทางเคมี ช่องว่างระหว่างยีนส์นี่เองจะเป็นตำแหน่งที่แตกออกมาได้เวลาจะครอสโอเวอร์ และแลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมโดยส่วนที่อยู่หลังรอยแตก โดยะถูกย้ายไปอยู่อีกโครโมโซมหนึ่งทั้งหมด นอกจากนี้ยังจะสามารถแตกอีกกี่แห่งก็ได้ ซึ่งผลนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถที่จะเชื่อมกันมากน้อยเพียงไรของช่องว่างระหว่างยีนส์ดังรูปที่ 3.3



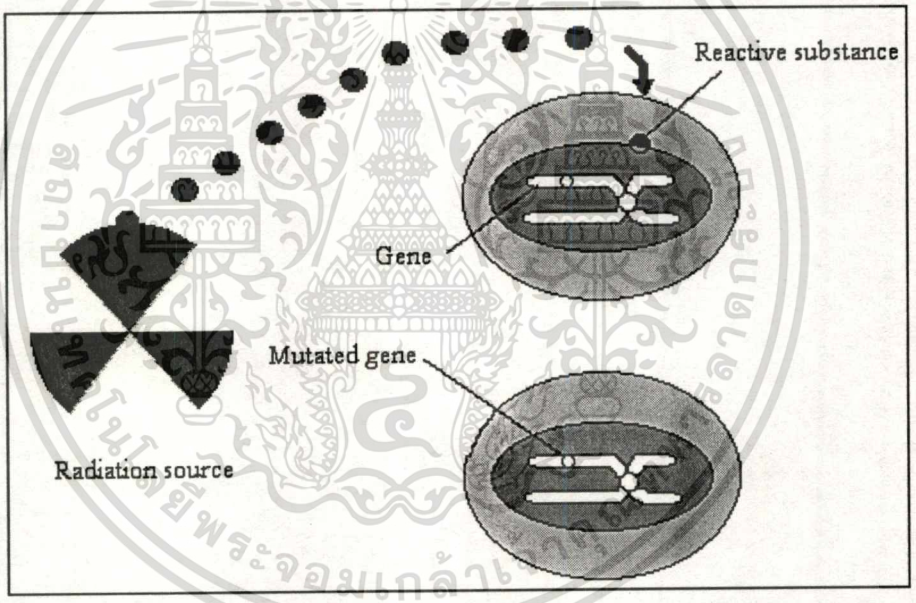
รูปที่ 3.3 แสดงการครอสโอเวอร์ทางพันธุศาสตร์

ประโยชน์ที่เกิดจากการครอสโอเวอร์ที่เราจะเห็นได้คือทำให้มีโอกาสที่จะได้ลักษณะต่าง ๆ กันมาอยู่รวมกันได้หลายแบบมากขึ้น ทำให้สิ่งที่มีชีวิตรุ่นลูกที่เกิดขึ้นมามีความหลากหลายมากขึ้น และอาจทำให้มีโอกาสเกิดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะต่าง ๆ ที่ดีพอเหมาะรวมอยู่ด้วยกันได้อย่างพอดี เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม ถ้าการเกิดเซลใหม่โดยถ่ายทอดโครโมโซมไม่มีการครอสโอเวอร์แล้วโครโมโซมใดเคยมียีนส์ลักษณะใดก็จะมีลักษณะนั้นอยู่เรื่อย ๆ รุ่นลูกก็จะมีลักษะเช่นเดียวกัน โอกาสที่สิ่งมีชีวิตนั้นจะเจริญ หรือปรับตัวให้ดีขึ้นย่อมมีได้ยากกว่าการเปลี่ยนลักษณะยีนส์ใหม่หลาย ๆ แบบมากขึ้น

ลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตจะสามารถอยู่รอดได้โดยการคัดเลือกทางธรรมชาติคือ คัดเลือกโครโมโซมที่มีลักษณะที่ทำให้สิ่งมีชีวิตแข็งแรงเพียงพอ หรือเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งจะสามารถอยู่รอดและถ่ายทอดไปยังลูกหลาน ดังนั้นการคัดเลือกของธรรมชาติเพื่อถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เป็นเพียงส่วนประกอบของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น มูเตชัน (Mutation) หรือการผ่าเหล่า คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ไปจากเดิมที่ควรเป็นไปตามการถ่ายทอด ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดลักษณะที่แปลก ๆ ออกไปมากมายสำหรับสิ่งมีชีวิตหนึ่ง ๆ ซึ่งเท่ากับเป็นการให้โอกาสในการที่จะเลือกลักษณะแปลก ๆ มาขึ้น เนื่องจากขบวนการวิวัฒนาการโดยธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เองนั้นช้ามาก เพราะกว่าธรรมชาติจะปรับสภาพแวดล้อมให้สิ่งมีชีวิตค่อย ๆ ปรับตัวเองให้เหมาะสมนั้นมีโอกาสน้อยมาก การผ่าเหล่านั้นทุกลักษณะในแต่ละยีนส์ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดความเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้พอ ๆ กับ และถ้าเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมขณะนั้นก็จะคงอยู่ต่อไป แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะใดเกิดผิดจังหวะคือไม่เหมาะกับสภาพขณะนั้น ๆ ก็จะไม่ถูกคัดเลือกและหายไป ซึ่งข้อสรุปนี้ได้จากการทดลองโดยการนำเอายีนส์ของแบคทีเรียมาผสมกัน และจัดสภาพแวดล้อมที่ไม่อำนวยต่อการผสมกันแล้ว ยีนส์จะปรับตัวเองเพื่อเร่งขบวนการผสมพันธ์จนได้ผลดีในรุ่นหลัง ๆ ตัวอย่างของการผ่าเหล่าในอดีตคือการกำเนิดของปลาทองนั้น มีต้นกำเนิดมาจากการกลายพันธุ์หรือผ่าเหล่าของปลาซิว และในปัจจุบันลักษะใหม่ที่เกิดการผ่าเหล่าก็ยังคงมีให้เห็นอยู่ เช่น ความสามารถของเชื้อโรคแบคทีเรียในการต้านทานต่อยาฆ่าเชื้อ หรือเซลผิดปกติดันเกิดมาจากกัมมันตภาพรังสีต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อสารภายในเซลทำให้ลักษณะของยีนส์ในเซลเปลี่ยนไป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.4 เป็นต้น



รูปที่ 3.4 แสดงการมูเตชันทางพันธุศาสตร์

3.2 เจนเนติกอัลกอริทึมเบื้องต้น

ปี ค.ศ. 1975 John Holland [13] เริ่มสนใจศึกษาในทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) ในการกำเนิดประชากร (Population) สิ่งมีชีวิตในรุ่นต่อ ๆ ไป โดยกระบวนการทางธรรมชาติทางชีววิทยาประกอบด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) คือสิ่งมีชีวิตใดแข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่านั่นหมายถึงการมีโครโมโซมซึ่งประกอบด้วยยีนส์ต่าง ๆ ที่มีลักษณะที่ดี นั้นจะมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า โครโมโซมที่สามารถอยู่รอดได้ก็จะถูกถ่ายทอดยีนส์ที่มีลักษณะที่ดีเหล่านั้นไปยังลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน และกระบวนการทางพันธุศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Genetic Operation) คือการกำเนิดโครโมโซมใหม่โดยการผสมพันธุ์เพื่อถ่ายทอดยีนส์จากครอสโอเวอร์ หรือกลายพันธุ์จากมูเตชัน

จากความเชื่อในวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ที่แสดงถึงคุณลักษณะที่เป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตโดยการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ บนโครโมโซมนั้นมีคุณสมบัติทั่วไปที่ยอมรับกันคือ [23] [25]

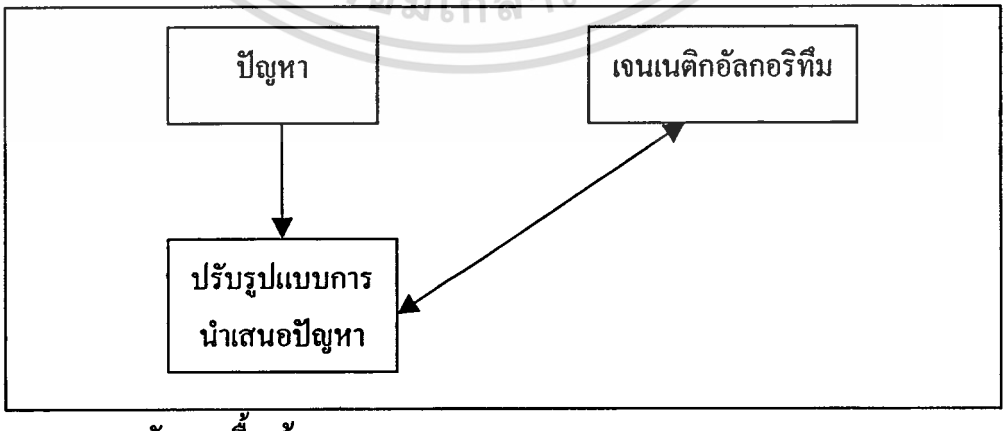
1. วิวัฒนาการเป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเปลี่ยนแปลงบนโครโมโซม ที่เป็นอยู่ซึ่งแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ

2. ธรรมชาติทางการคัดเลือกมีความสัมพันธ์กับโครโมโซมที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ดี ที่จะคัดเลือกเพื่อถ่ายทอดส่วนของโครงสร้างที่ดี

3. การถ่ายทอดในขณะที่เกิดวิวัฒนาการนั้น โครโมโซมพ่อ-แม่ มีการเปลี่ยนส่วนโครงสร้างกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูก และเหตุผลที่ทำให้เกิดโครโมโซมลูกที่แตกต่างออกไปคือขบวนการผ่าเหล่า

4. วิวัฒนาการทางธรรมชาติมิได้เป็นสิ่งที่เกิดจากความจดจำ แต่เป็นกระบวนการที่เกิดจากโครงสร้างต่าง ๆ ในโครโมโซมที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

Holland คิดว่าแนวความคิดจากคุณสมบัติเหล่านี้ น่าจะนำมาปรับใช้กับคอมพิวเตอร์ให้ช่วยแก้ปัญหาที่ยุ่งยากต่าง ๆ ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด เข้าจึงได้ทำการวิจัยโดยจำลองแบบเพื่อทดลองกับปัญหาแบบต่าง ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาระบบปรับปรุงการประมวลผลเอง (Self adaptive process) และเพื่อสร้างโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อแก้ปัญหา โดยอาศัยแนวคามคิดของระบบทางธรรมชาติ และค้นพบวิธีการใหม่ซึ่งเรียกว่า เจน-เนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GA) [8] [9] [16]



รูปที่ 3.5 แสดงหลักการเบื้องต้นของ GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 [18] แสดงหลักการเบื้องต้นในการใช้ GA แก้ปัญหา โดยจะต้องมีการปรับปรุงรูปแบบปัญหาในการนำเสนอ GA ในลักษณะที่เหมาะสม เพราะ GA เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ และธรรมชาติทางพันธุกรรมโดยการรวมกันหรือสลับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ อันเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของปัญหาที่ให้คำตอบที่ต้องการ ซึ่งอาศัยหลักการสุ่ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น การค้นหาคำตอบจากรุ่นหนึ่งไปรุ่นถัดไปตามวิวัฒนาการทางธรรมชาตินั้น คำตอบในรุ่นใหม่เกิดขึ้นจากการสร้างความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่าง ๆ ที่ประกอบด้วยค่าตัวแปรที่เหมาะสมดีในรุ่นก่อน ดังนั้นจึงทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการพื้นฐานของ GA เป็นแบบการสุ่ม แต่มีหลักการและประสิทธิภาพจากการคาดเดาคำตอบใหม่จากสถิติคำตอบเดิมที่ดี ซึ่งแตกต่างจากวิธีทั่วไปคือ

1. GA ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัส (Coding) รูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่าง ๆ ของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้น

2. GA ค้นหาคำตอบโดยพิจารณาจากประชากรคำตอบ หรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง

3. GA ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา

4. GA ค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้น ๆ

3.3 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาของ GA มีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากการหาคำตอบที่ผ่านมา วิธีการของ GA จะไม่พิจารณาจากขั้นตอนของการแก้ปัญหา แต่จะพิจารณาโดยตัดสินว่าคำตอบใหม่ที่ได้รับดีขึ้นหรือไม่ หรือเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ต้องการหรือไม่ จากฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function: f) เนื่องจากแต่ละปัญหาจะสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่าง ๆ ของปัญหานั้น ๆ ที่ระบุคำตอบใดคำตอบหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ ณ ค่าพารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดชุดดังกล่าว สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function : F) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness) ของแต่ละโครโมโซมเปรียบเสมือนค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม และเป็นฟังก์ชันที่กำหนดโอกาส หรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมเหมาะสมจะถูกคัดเลือกมากน้อยเพียงใด นั่นคือฟังก์ชันความเหมาะสมเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงค่าคำตอบที่เกิดขึ้นจากชุดตัวแปรของปัญหาของโครโมโซมนั้นดีเพียงใด โดยทั่วไปแล้วเรามักใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันความเหมาะสม หรืออาจใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำเสนอ GA เป็นฟังก์ชันความเหมาะสมก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

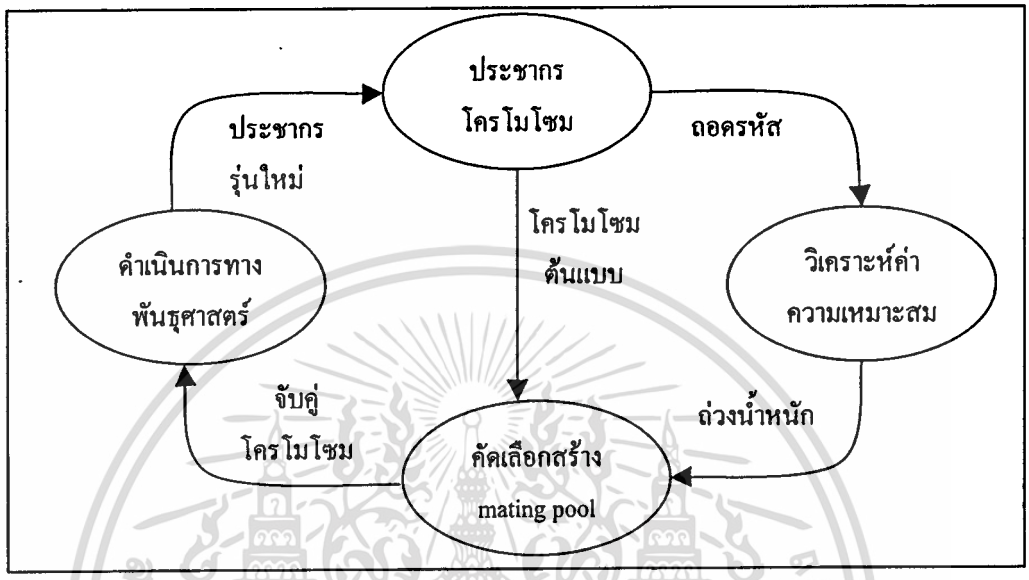
3.4 รูปแบบโครโมโซม

เราทราบกันแล้วว่าวิวัฒนาการทางธรรมชาติชีววิทยานั้นความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นในโครโมโซม ดังนั้นจุดเริ่มต้นของการจำลองแบบทางธรรมชาติ GA เพื่อใช้แก้ปัญหาจึงเริ่มจากการมองปัญหาเทียบเท่ากับโครโมโซมชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยยีนส์ลักษณะต่าง ๆ ซึ่งหมายถึงลำดับข้อมูลต่าง ๆ ที่จะแปลความหมายแล้วให้ค่าคำตอบของปัญหาค่าหนึ่ง การมองภาพยีนส์ของ GA ให้ถือเสมือนยีนส์ทางพันธุกรรมที่แสดงความหมายหรือเป็นตัวแทนคำตอบใดคำตอบหนึ่ง หรือลักษณะใดลักษณะหนึ่งทางกรรมพันธุ์ ในทางพันธุศาสตร์นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงลักษณะที่อยู่รอดในสภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับ GA นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงค่าคำตอบของปัญหาที่แปรพันไปตามการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปยีนส์หมายถึงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปัญหา ดังนั้นการกำหนดรูปแบบโครโมโซมของแต่ละปัญหาโดยการแปลงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่าง ให้อยู่ในรูปลำดับของยีนส์บนโครโมโซมหรือเรียกว่าสตริง (String) อันประกอบด้วยบิท (bit) หรือเรียกว่าอักขระ (character) ซึ่งลักษณะต่าง ๆ ที่เป็นได้ของแต่ละยีนส์คือค่าบิท (Bit Value) หรือค่าตัวแปร พารามิเตอร์ ต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ และรูปแบบของค่าบิทที่จัดเรียงบนโครโมโซมคือ ยีโนไทป์ (genotype) ที่จะแสดงถึงค่าของตัวแปรพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ชุดหนึ่งหรือฟีโนไทป์ (phenotype) นั่นเอง การกำหนดรูปแบบโครโมโซมของปัญหาให้เป็นตามแบบธรรมชาติ และประกอบรวมกันในจำนวนยีนส์หรือความยาวของโครโมโซมที่คงที่ เช่น หากต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชั้นทางคณิตศาสตร์ $y = x^2$ ที่ x เป็นจำนวนเต็มอยู่ในช่วง [0,31] แล้ว วิธีการของ GA ในการแก้ปัญหาโดยกำหนดรูปแบบโครโมโซมจากการกำหนดรหัสตัวแปร x เป็นตัวเลขไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่ง x จะมีค่าตั้งแต่ 00000 ถึง 11111 เป็นค่า 0 ถึง 31 ตามต้องการ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วัฏจักรเจนเนติก อัลกอริทึม

เมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว GA จะสามารถประมวลผลหาคำตอบของปัญหาได้ โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อไปตามวัฏจักรการทำงานของ GA (Genetic Algorithm Cycle) ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งมี 4 ขั้นตอน คือ



รูปที่ 3.6 แสดงวัฏจักรเจนเนติก อัลกอริทึม

(1) สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่าตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ โดยประชากรต้นกำเนิน (Initial Population) เกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมต้นกำเนิด จากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิทของแต่ละโครโมโซม

(2) วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซม โดยถอดรหัสค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละบิทในโครโมโซม และคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้

(3) สร้าง mating pool คือชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบ ซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม หากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก

(4) ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยสุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบใน mating pool เพื่อสร้างประชากรโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ประกอบด้วย ครอสโอเวอร์ โดยการแลกเปลี่ยนค่าบิทบางส่วนของโครโมโซมซึ่งกันและกัน หรือมูเตชัน โดยสุ่มเปลี่ยนค่าบิทบางบิทของแต่ละโครโมโซมเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้นหาคำตอบของ GA จะประมวลผลซ้ำตามวัฏจักร GA จนกว่าจะได้รับคำตอบที่พอใจตามกฎเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หรือในระยะเวลาตามจำนวนรุ่นที่ดำเนินการที่ต้องการ ซึ่งแสดงอัลกอริทึมการทำงานของ GA [18] ดังนี้

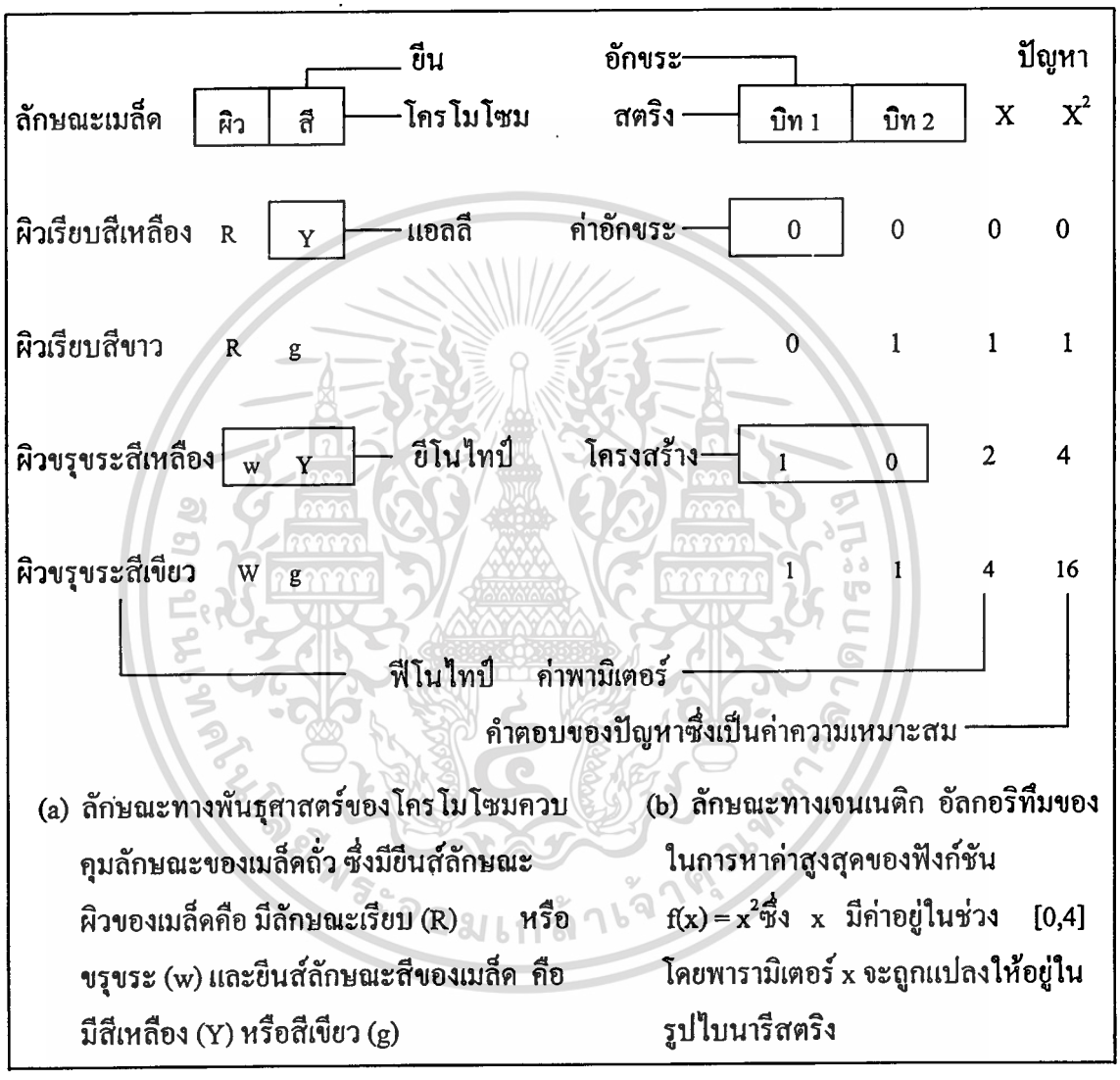
อัลกอริทึม GA

```
BEGIN
    t:=0
    // สร้างประชากรโครโมโซมต้นกำเนิดโดยการสุ่ม
    Initpopulation P(t);
    // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซมประชากรต้นกำเนิด
    Evaluate P(t);
    // ตรวจสอบเงื่อนไขความพอใจ (เช่น เวลา, ค่าความเหมาะสม เป็นต้น)
    while not terminate
    begin
      t:=t+1;
      // คัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจากประชากรรุ่นก่อน
      P'(t) := Selectparents P(t-1);
      // แลกเปลี่ยนส่วนยีนส์ภายในโครดมโซมต้นแบบ
      Recombine P'(t);
      // มูเตชันโครโมโซมต้นแบบ
       Mutate P'(t)
      // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของประชากรรุ่นใหม่
       Evaluate P'(t);
      // ประชากรรุ่นใหม่กลายเป็นประชากรรุ่นเก่าต่อไป
      P(t) = P'(t);
    end;
END.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยากับเจนเนติกอัลกอริทึม

เพื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างทางพันธุศาสตร์ กับ เจนเนติกอัลกอริทึม แล้วเรากล่าวโดยสรุปได้คือ ในทางพันธุศาสตร์ แต่ละโครโมโซม ประกอบด้วยหน่วยเก็บลักษณะ หรือยีนส์ ซึ่งเก็บค่าแสดงลักษณะ หรือแอลลี และแต่ละแบบของชุดยีนส์เรียกว่ายีโนไทป์ ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกที่ปรากฏเรียกว่า ฟีโนไทป์ ดังรูป 3.7-a



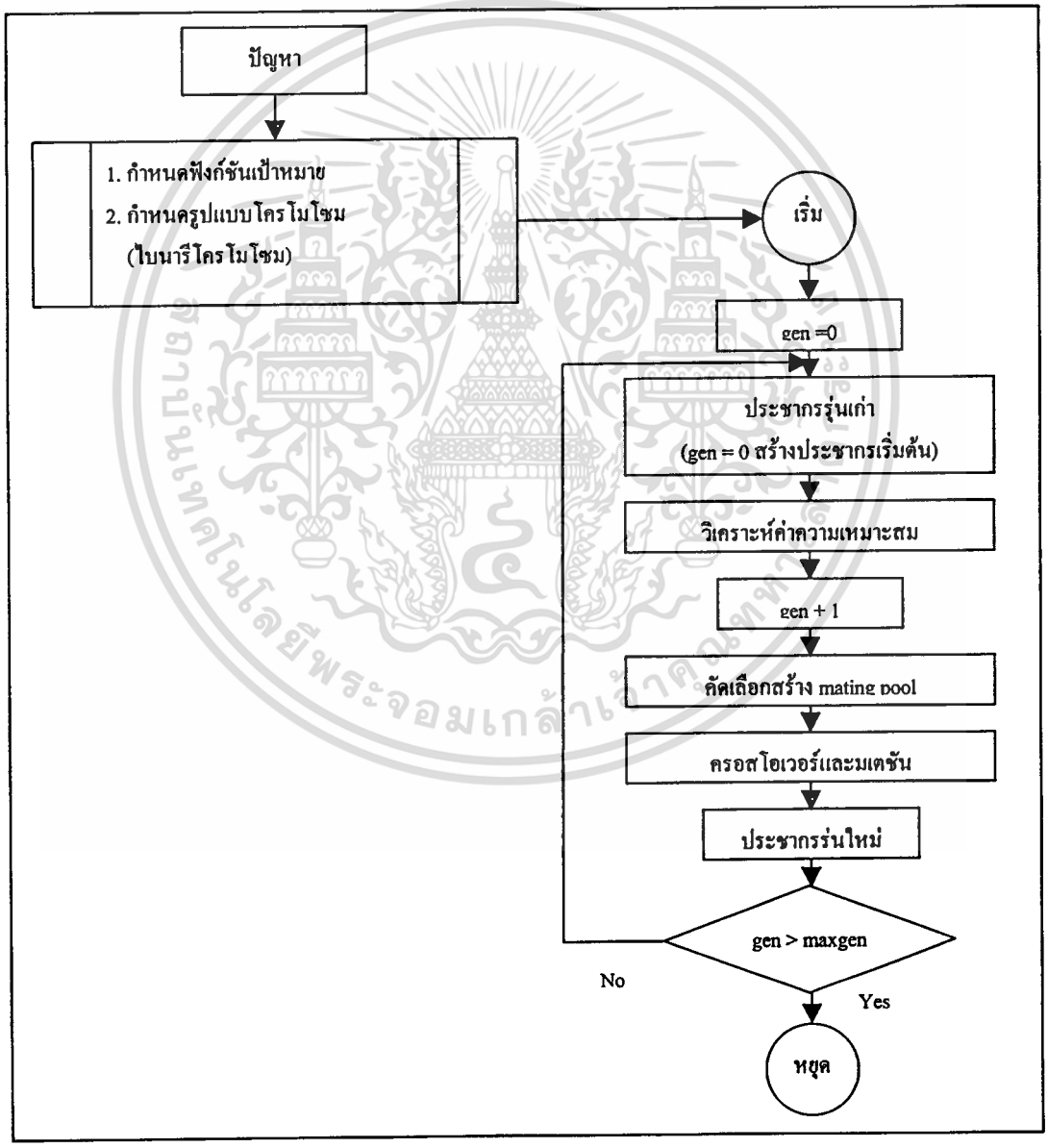
รูปที่ 3.7 แสดงรายละเอียดทางพันธุศาสตร์ กับ เจนเนติกอัลกอริทึม

สำหรับในทางเจนเนติกอัลกอริทึม ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง ซึ่งมักเรียกกันว่าโครโมโซม ประกอบด้วยอักขระ หรือบิท แต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะเก็บค่าอักขระ หรือค่าของบิท ที่แสดงถึงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมที่มีค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาแตกต่างกัน และเป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละปัญหา ดังรูป 3.7-b ซึ่งสรุปความหมายเปรียบเทียบคำศัพท์ ที่ใช้ทางพันธุศาสตร์กับทางเจนเนติก อัลกอริทึม ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงคำศัพท์ทางพันธุศาสตร์กับทางเจนเนติกอัลกอริทึม

Natural Genetic	Genetic Algorithm
Chromosome	String
Gene	Character, bit
Allele	Character value, bit value
Locus	String position
Genotype	Structure
Phenotype	A decode structure



รูปที่ 3.8 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ เจนเนติก อัลกอริทึมแบบง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GA ในยุคเริ่มแรกของ Holland นั้นคือ เจนเนติกอัลกอริทึมแบบง่าย (Simple Genetic) Algorithm : SGA) [9] ซึ่งมีขั้นตอนพื้นฐานที่มีกระบวนการไม่มากนักและง่ายในการศึกษาความเข้าใจแต่ละขั้นตอนการทำงานของ GA เพื่อแก้ปัญหาในการหาคำตอบ แสดงดังไดอะแกรมในรูปที่ 3.8 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นตอนเตรียมการและขั้นตอนการทำงาน

สำหรับในส่วนของขั้นเตรียมการนั้นเป็นส่วนของการปรับรูปแบบของปัญหาให้เหมาะสมสำหรับการนำเสนอ GA เพื่อใช้ในการแก้ปัญหานั้น ๆ ประกอบด้วย

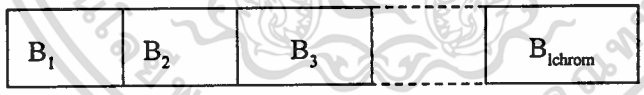
1 กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม เพื่อความสะดวกและง่ายต่อความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ จะกำหนดตัวอย่างปัญหาสำหรับอธิบายรายละเอียดการหาคำตอบของ SGA คือปัญหาการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $y = x^2$ ที่ x มีค่าระหว่างจำนวนเต็ม I[0,31] ดังนั้น

ตัวอย่าง : ฟังก์ชันเป้าหมายคือ $f = x^2$

และกำหนดให้ฟังก์ชันความเหมาะสม คือ $F = x^2$

ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด คือ ค่า x ที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (MAX(F))

2 กำหนดรูปแบบโครโมโซม รูปแบบโครโมโซมของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารี โดยค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีโครโมโซม คือประกอบด้วยบิทที่มีค่าเป็น 0 หรือ1 ซึ่งเป็นค่าในเลขฐานสอง และมีความยาว (Chromosome Length : lchrom) ตามแต่จะกำหนด ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ได้ดังนี้



ซึ่ง $B_i \in I[0,1]$

ตัวอย่าง: วิธีการเข้ารหัสแบบไบนารีโดยแปลงค่าพารามิเตอร์ x ให้อยู่ในรูปไบนารีบิท 5 บิท (lchrom = 5) ดังนั้นโครโมโซมของปัญหาจะมีค่าอยู่ในช่วง 00000 ถึง 11111 ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะทำให้ x มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 31 ตามที่ต้องการ

ในส่วนของรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของ SGA จะเป็นขั้นตอนพื้นฐานเบื้องต้นแบบง่ายประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ประชากรรุ่นเก่า (Old Population) เป็นชุดโครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรใหม่ (New Population) ในวิวัฒนาการรุ่น (generation : gen) ต่อไป ประชากรเริ่มต้นที่ gen = 0 จะถูกสร้างขึ้นโดยการสุ่มตามจำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น (Population Size : popsize) ที่กำหนด

ตัวอย่าง :

ลำดับ	โครโมโซม
1	01110
2	11001
3	01000
4	10011

ชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นนี้เป็นชุดโมโมโซมในแต่ละรุ่นประกอบด้วย 4 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมเกิดจากการสุ่มค่าไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ครั้ง

2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสม เป็นขั้นตอนของการถอดระหัสจากรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาของแต่ละโครโมโซม ในที่นี้ฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันความเหมาะสม คือ $F = x^2$ ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของ SGA โดยถอดรหัสเลขฐาน 2 ของแต่ละโครโมโซมเป็นค่าตัวแปร x และคำนวณค่าความเหมาะสมคือค่า x^2

ตัวอย่าง :

ลำดับ	โครโมโซม	x	ค่าความเหมาะสม
1	01110	14	196
2	11001	25	625
3	01000	8	64
4	10011	19	361

ชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นมีค่าความเหมาะสมเป็น 196,625,64 และ 361 ตามลำดับ

3. การคัดเลือก เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อสร้าง mating pool โดยคัดเลือกชุดโครโมโซมรุ่นเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อ-แม่ เพื่อใช้สร้างโครโมโซมลูกเป็นรุ่นต่อไป สำหรับสำหรับการคัดเลือกของ SGA เป็นแบบอ้างอิงค่าความเหมาะสม (Fitness-based Selection) โดยพิจารณาค่าความเหมาะสมเป็นตัวตัดสินว่า โครโมโซมใดในรุ่นเก่ามีโอกาสจะถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อ-แม่มากน้อยเพียงใด โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีจะถูกกำหนดน้ำหนักค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกต่อการสุ่มเลือกแต่ละครั้ง (Probability of Selected Value : pselect) ของแต่ละโครโมโซมโดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด ดังสมการที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{pselect}_i = \frac{F_i}{\sum F} \tag{3.1}$$

ซึ่งสามารถคำนวณค่าที่คาดหวังว่าจะสุ่มได้ (Expected Value: E) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่น ดังสมการที่ 3.2

$$E_i = \text{pselect}_i * \text{popsize} = \frac{F_i}{F} \tag{3.2}$$

สำหรับวิธีการสุ่มโครโมโซมต้นแบบของ SGA เป็นแบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roullet Wheel: RW) ซึ่งกำหนดขนาดแต่ละช่องของวงล้อนั้นตามค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม ซึ่งมีวิธีการดังนี้

(1) หาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

(2) หาค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม

(3) หาค่าความถี่สะสม (q) ของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมดังสมการที่ 3.3

$$q_i = \sum_{j=1}^{i} \text{pselect}_j \tag{3.3}$$

(4) สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) มีค่าอยู่ในช่วง [0.0, 1.0]

(5) เลือกโครโมโซมลำดับที่ r ซึ่ง r มีค่าอยู่ระหว่าง q_{i-1} และ q_i

ตัวอย่าง :

ลำดับ	โครโมโซม	x	ค่าความเหมาะสม (F)	ค่าความน่าจะเป็น (pselect_i)	จำนวนที่คาดหวัง (E_i)	จำนวนที่สุ่มได้จาก RW
1	0 1 1 1 0	14	196	0.157	0.628	1
2	1 1 0 0 1	25	625	0.502	2.008	2
3	0 1 0 0 0	18	64	0.051	0.204	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0.290	1.160	1
	รวม	1246	1.000	4.000		
	ค่าเฉลี่ย	312	0.25จ	1.000		
	ค่าสูงสุด	625	0.502	2.008		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการกำหนดค่าความน่าจะเป็น โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด จะเห็นได้ว่าในการคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจาก 4 โครโมโซมนี้ โอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 1 ต่อการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 0.157 และโอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับ 2,3,4 ต่อการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 0.502, 0.051 และ 0.290 ตามลำดับ และจำนวนโคโมโซมต้นแบบที่สุ่มได้โดยจำลองการหมุนวงล้อดังนี้

ลำดับโครโมโซม	1	2	3	4
ค่าความเหมาะสม (F)	196	265	64	361
ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้แต่ละครั้ง ($pselect_i$)	0.157	0.502	0.051	0.290
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น (q_i)	0.157	0.659	0.710	1.000
สร้างเลขสุ่มในการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง ®	0.333	0.844	0.456	0.128
ลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก ($q_{i-1} \leq r \leq q_i$)	2	4	2	1

ซึ่งจำนวนที่สุ่มได้เป็นโครโมโซมต้นแบบใน mating pool ของแต่ละโครโมโซมเป็น 1,2, 0 และ 1 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมลำดับที่ 2 มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุดจะมีโอกาสถูกคัดเลือกในจำนวนที่มากที่สุด ส่วนโครโมโซมลำดับที่ 3 มีค่าความเหมาะสมต่ำมากจึงมีโอกาสที่จะไม่ถูกคัดเลือกเลย

4 ดำเนินการทางพันธุศาสตร์ เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของ SGA คือ ครอสโอเวอร์และมูเตชัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ครอสโอเวอร์ เป็นตัวดำเนินการในการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อ-แม่ ตามการกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover: Pc) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมลูก มีขั้นตอนการทำงานคือ

ขั้นตอนที่แรก : สุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ใน mating pool ที่สร้างไว้จากการคัดเลือก

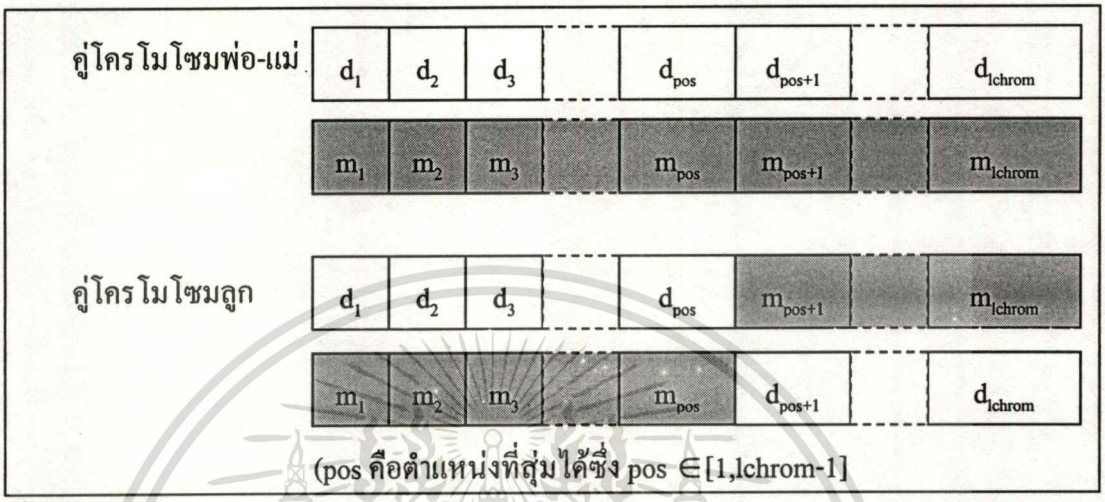
ขั้นตอนที่สอง : สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) มีค่าอยู่ในช่วง [0.0,1.0] โดยถ้า $r \leq Pc$ แล้วโครโมโซมพ่อ-แม่นั้นจึงมีการครอสโอเวอร์

ขั้นตอนที่สาม : ครอสโอเวอร์โดยแลกเปลี่ยนส่วนของคู่โครโมโซมพ่อ-แม่นั้น ซึ่งการครอสของ SGA เป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด (One-point Crossover) แสดงดังรูปที่ 3.9 ดังนี้

- สุ่มเลือกตำแหน่ง pos เป็นตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์ ซึ่ง pos มีค่าอยู่ในช่วง [1,lchrom-1]
- แลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิทของคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ตั้งแต่ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุ่มเลือกตำแหน่ง pos เป็นตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์ ซึ่ง pos มีค่าอยู่ในช่วง [1,lchrom-1]
- แลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิทของคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ตั้งแต่ตำแหน่งที่ pos+1ถึง lchrom ซึ่งจะทำให้เกิดโครโมโซมลูกใหม่ 2 โครโมโซม



รูปที่ 3.9 ครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด

จำนวนการครอสโอเวอร์ในแต่ละรุ่นดำเนินการขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า Pc ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละปัญหา เช่น ถ้าจำนวนประชากรแต่ละรุ่น popsize เท่ากับ 30 โครโมโซม และกำหนด Pc = 0.6 แล้ว จำนวนการครอสโอเวรอ์ในแต่ละรุ่นเท่ากับ Pc*(popsize/2) = 0.6*(30/2) = 9 ครั้ง (การครอสโอเวอร์ 1 ครั้ง เกิดจากโครโมโซม 2 โครโมโซม)

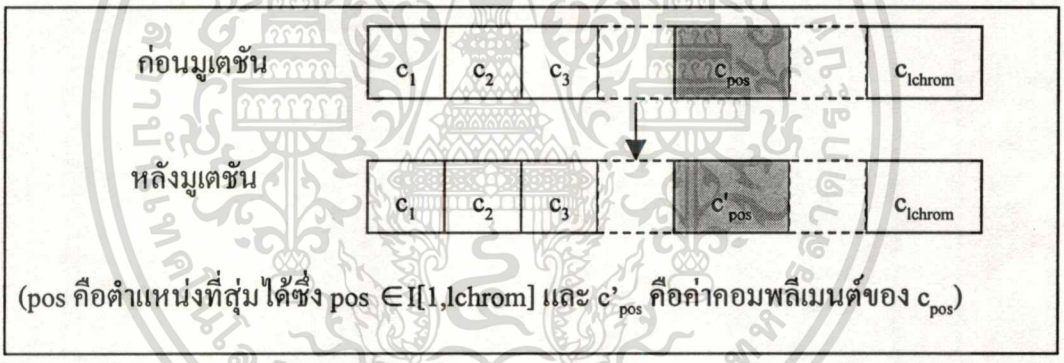
ตัวอย่าง : กำหนด Pc = 0.5 โครโมโซมพ่อ-แม่ ใน mating pool จากการคัดเลือกครอสโอเวอร์ดังนี้

ลำดับที่คัดเลือก	Mating Pool	สุ่มจับคู่พ่อ-แม่	เลขสุ่ม (r)	ก่อนครอสโอเวอร์	สุ่มตำแหน่ง (pos)	หลังครอสโอเวอร์	X	ค่าความเหมาะสม (F)	ลำดับโครโมโซมลูก
2	1 1 0 0 1	1,2	0.321	0 1 1 1 0	2	0 1 0 0 1	9	81	1
4	1 0 0 1 1		≤ 0.5	1 1 0 0 1		1 1 1 1 0	30	***900***	2
2	1 1 0 0 1	2,4	0.654	ไม่ครอสโอเวอร์		1 1 0 0 1	25	625	3
1	0 1 1 1 0		> 0.5			1 0 0 1 1	19	361	4
	รวม							1967	
	ค่าเฉลี่ย							492	
	ค่าสูงสุด							900	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ใน mating pool ได้โครโมโซมลำดับที่ 1 คู่ลำดับที่ 2 และลำดับที่ 2 คู่กับลำดับที่ 4 แต่เฉพาะโครโมโซมคู่แรกจะเกิดครอส-โอเวอร์ เนื่องจากเลขสุ่ม $r \leq 0.5$ ตามอัตราการครอสโอเวอร์ที่กำหนด โดยตำแหน่งในการครอสโอเวอร์ที่สุ่มได้คือ pos = 2 จะเห็นได้ว่าโครโมโซมลูกลำดับที่ 2 ที่เกิดขึ้นหลังจากครอสโอเวอร์มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นกว่าโครโมโซมพ่อ-แม่ ทั้งหมดในรุ่นก่อนเป็น 900 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการจำลองแบบกระบวนการครอสโอเวอร์ตามธรรมชาติทางพันธุศาสตร์ของ SGA ช่วยสร้างคำตอบที่ดีขึ้น

4.2 มูเตชัน เป็นตัวดำเนินการผ่าเหล่าตัวหนึ่งที่อาจช่วยให้โครโมโซม มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นหลังจากครอสโอเวอร์ โดยกลับค่าของบิทเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งบิทที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมูเตชันในแต่ละบิท (Probability of Mutation :Pm) ที่กำหนด สำหรับการมิวเต-ชันของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารีมูเตชัน (Binary Mutation) โดยกลับค่าบิทเป็นค่าคอมพลีเมนต์คือจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ไบนารีมูเตชัน

จำนวนการมูเตชันในแต่ละรุ่นขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า P_m ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละปัญหา เช่น ถ้าจำนวนประชากรแต่ละรุ่น popsize เท่ากับ 30 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 5 บิท และกำหนดให้ P_m = 0.02 แล้ว จำนวนการมูเตชันในแต่ละรุ่นเท่ากับ P_m*popsize*lchrom = 0.02*30*5 = 3 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง : กำหนด $P_m = 0.1$ ดำเนินการมูเตชันโครโมโซมลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์ดังนี้

ลำดับ	ก่อน มูเตชัน	เลขสุ่ม (r)	หลัง มูเตชัน	X	ค่าความเหมาะสม (F)
1	0 1 0 0 1	0.581 0.346 0.062 0.785 0.401	0 1 1 0 1	13	169
2	1 1 1 1 0	0.829 0.534 0.947 0.308 0.277	1 1 1 1 0	30	900
3	1 1 0 0 1	0.398 0.646 0.494 0.765 0.029	0 1 0 0 0	24	576
4	1 0 0 1 1	0.175 0.335 0.837 0.577 0.308	1 1 1 1 0	19	361
	รวม				2006
	ค่าเฉลี่ย				***502***
	ค่าสูงสุด				900

จากการสุ่มตำแหน่งที่จะมูเตชันโดยสร้างเลขสุ่ม r ของแต่ละตำแหน่งบิทในแต่ละโครโมโซมแล้ว ตำแหน่งบิทที่ 3 ของโครโมโซมลำดับที่ 1 และตำแหน่งบิทที่ 4 ของโครโมโซมลำดับที่ 3 เป็นตำแหน่งที่ $r \leq 0.1$ ตามอัตราการที่กำหนดจึงเกิดมูเตชัน ทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมจาก 81 และ 625 เป็น 169 และ 576 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามูเตชันเป็นตัวดำเนินการที่อาจทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นหรือลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมดีขึ้นจาก 492 เป็น 502 แสดงถึงการหาคำตอบของ SGA โดยส่วนมากดีขึ้น และความสำคัญของการหาคำตอบของ GA นั้นเป็นความต้องการได้คำตอบโดยพิจารณาจากคำตอบที่ดีขึ้น ซึ่งจะมีโอกาสอยู่รอดเพื่อถ่ายทอดส่วนที่ดีในรุ่นต่อไป

5. ประชากรรุ่นใหม่ เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนของวิวัฒนาการต่าง ๆ ทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้น จะถูกถ่ายทอดกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าสำหรับวิวัฒนาการในรุ่นถัดไป ซึ่งเรียกวิวัฒนาการแบบนี้ว่า การถ่ายทอดแบบทั่วไปหรือรีโพรดักชันแบบทั่วไป (General Reproduction) กระบวนการต่าง ๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำ ๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่มากที่สุด (max generation : maxgen) ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

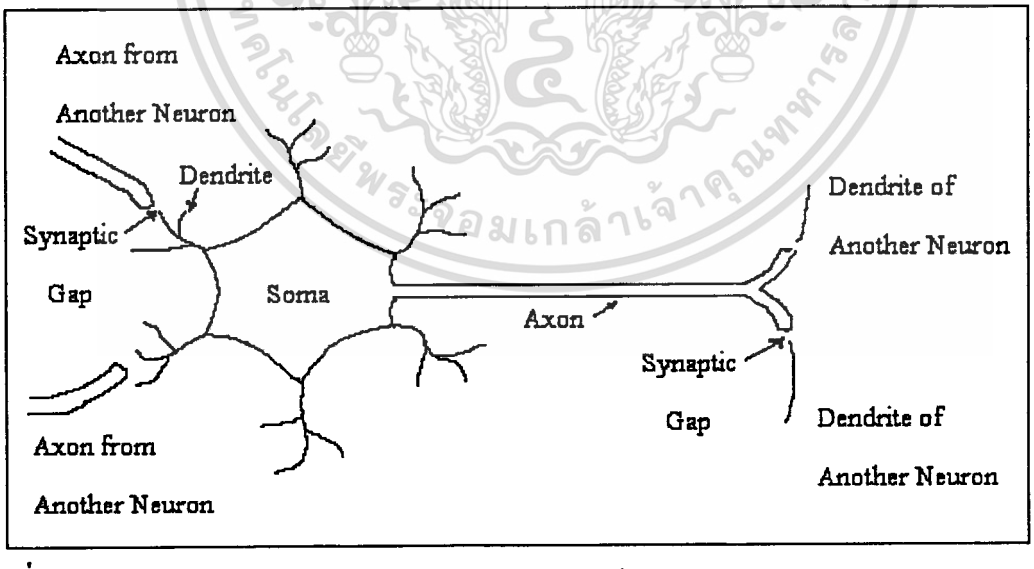
บทที่ 4
นิวรอลเน็ตเวิร์ค

4.1 ทฤษฎีพื้นฐานของนิวรอลเน็ตเวิร์ค(Neural Network)

นิวรอลเน็ตเวิร์ค(Neural Network) เป็นแนวความคิดหนึ่งทาง AI (Artificial Intelligence) ในการพยายามสร้างเครื่องจักร (Machine) ที่จะสามารถเรียนรู้และจดจำ ซึ่งมีกระบวนการ (Process) คล้ายคลึงกระบวนการทางสมองของมนุษย์

4.1.1 ลักษณะของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

นิวรอลเน็ตเวิร์ค(Neural Network) มีลักษณะเป็นการจำลองรูปแบบทางชีววิทยาทางโครงสร้างสมองของมนุษย์ โดยการจำลองเอาบางส่วนมาใช้ผสมกับรูปแบบการจัดโครงสร้างที่ถูกคิดขึ้นเพื่อทำให้เกิดฟังก์ชันที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วลักษณะโครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network) มีอยู่หลายรูปแบบแต่ลักษณะทางโครงสร้างพื้นฐานจะเหมือนกันกล่าวคือ ลักษณะทางโครงสร้างพื้นฐานจะประกอบไปด้วยนิวรอล (Neural) ซึ่งเป็นเซลทางสมองของมนุษย์ซึ่งนิวรอลเน็ตเวิร์ค(Neural Network) จำลองแบบมา ลักษณะโดยทั่วไปของนิวรอลเซล (Neuron cell) จะมีลักษณะดังรูปข้างล่าง



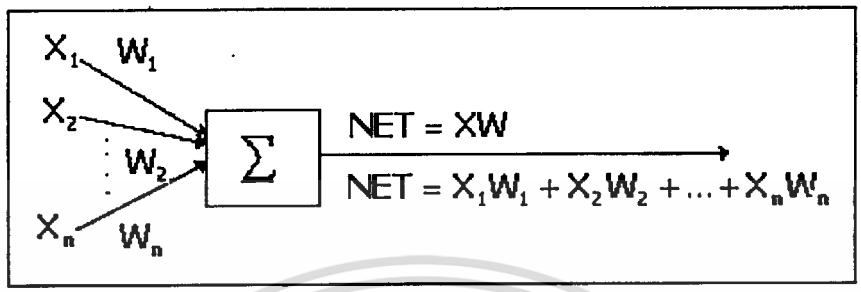
รูปที่ 4.1 ลักษณะของนิวรอลเซล (Neuron cell) ของเซลประสาท

กล่าวคือจะประกอบไปด้วยส่วนของเอนไดร์ท (Dendrites) ซึ่งจะยื่นออกมาจากเซลร่างกาย (Cell body) ไปเชื่อมต่อยังนิวรอลเซล (Neuron cell) อื่น ๆ โดยที่จุดเชื่อมต่อเหล่านี้ จะมีส่วนของไซแนบส์ (Synaps) ซึ่งสามารถปรับตัวได้เมื่อ input ได้ถูกส่งผ่านไซแนบส์ (Synapse) มา แล้วจะไป

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมตัวกันที่เซลร่ายกาย (Cell body) และนิวรอลเซล (Neuron cell) จะส่งเอาท์พุท ออกทางแอกซอน (Axon) ตามลักษณะการรวมตัวกันของอินพุท ที่เซลร่ายกาย (Cell body)

สำหรับลักษณะของนิวรอล (Neuron) ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network) จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 นิวรอล (Neuron) ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค(Neural Network)

จะมีลักษณะคล้ายกับนิวรอลเซล (Neuron cell) กล่าวคือ ส่วนของอินพุทที่เข้ามาจะมีค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งเปรียบเสมือนส่วนของไซแนบค์ (Synapse) ซึ่งสามารถปรับค่าได้ ผ่านเข้ามาที่ส่วนที่ทำหน้าที่รวมอินพุทที่เข้ามาและออกเป็นค่าเอาท์พุทค่าหนึ่ง สำหรับค่าเอาท์พุทที่ออกมาสามารถคำนวณตามสมการ 4.1

$$NET = X_1 W_1 + X_2 W_2 + \ldots + X_n W_n \qquad (4.1)$$

หรืออาจเขียนในรูปแบบของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$NET = XW$$

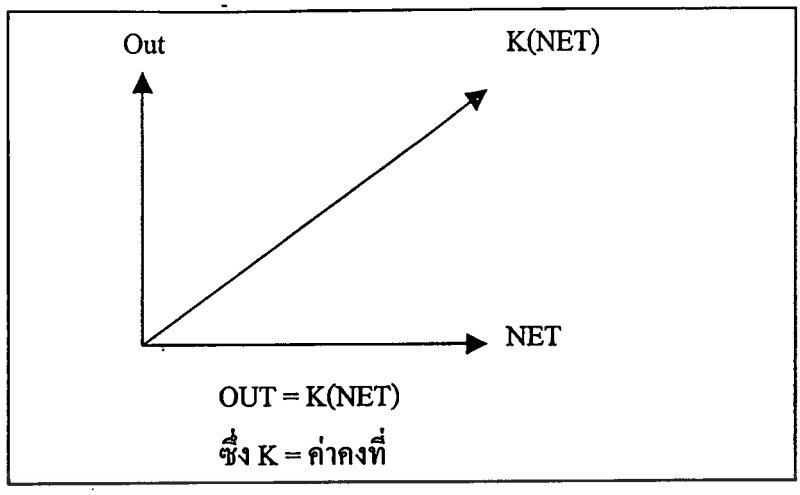
โดย X = เวกเตอร์อินพุท

W = เวกเตอร์น้ำหนัก

NET = เวกเตอร์เอาท์พุท

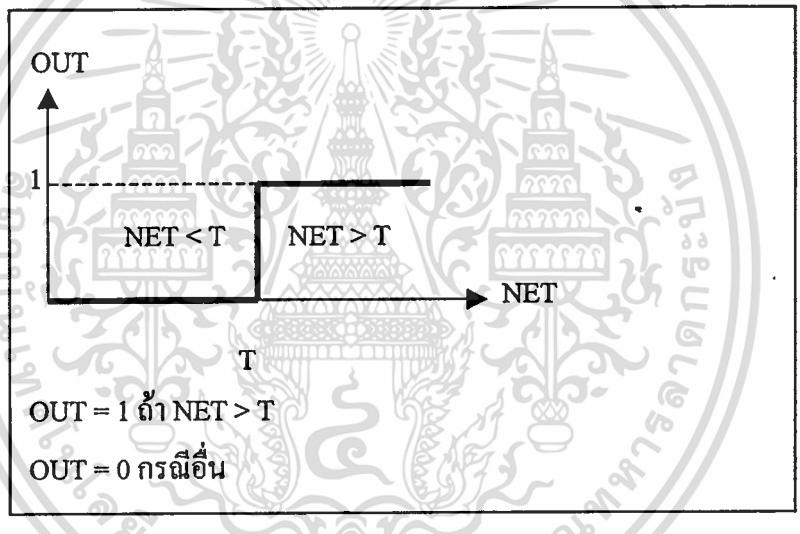
สำหรับโดยทั่วไปแล้ว ส่วนเอาท์พุทที่ออกมา จะถูกกระทำต่อจะถูกกระทำต่อไปโดยส่วนที่เรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ซึ่งมีลักษณะของฟังก์ชันนี้มีอยู่หลายรูปแบบซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นสมการเชิงเส้นอย่างง่าย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



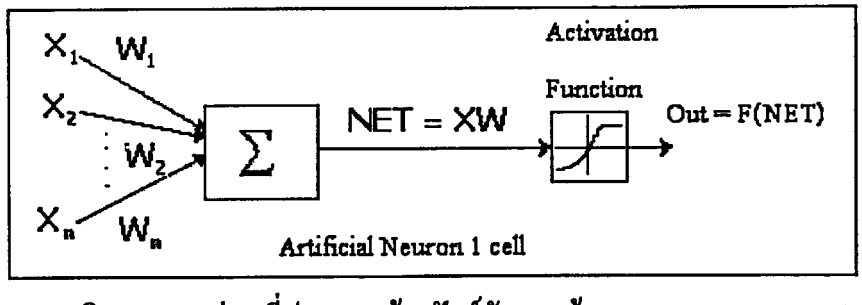
รูปที่ 4.3 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย

หรือในรูปของฟังก์ชัน Threshold



รูปที่ 4.4 สมการ Threshold

หรืออาจอยู่ในรูปฟังก์ชันอื่นซึ่งมีลักษณะไม่เชิงเส้น (Nonlinear function) **ในรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของนิวรอล** (Neuron) **ที่ได้รวมเอาฟังก์ชันการกระตุ้น** (Activation Function) **ไว้แล้ว**



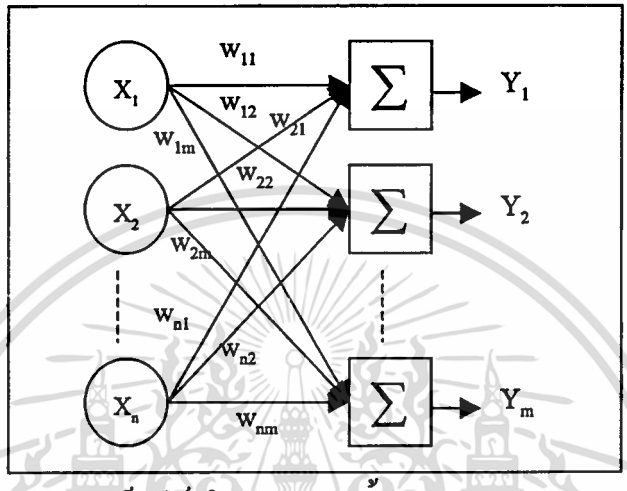
รูปที่ 4.5 ลักษณะของนิวรอล 1 หน่วย ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 นิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 1 ชั้น (Single Layer Neural Network)

ถึงแม้ว่าลักษณะของนิวรอลเพียง 1 นิวรอล จะสามารถทำฟังก์ชันบางอย่างได้ แต่ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการทำงานมาจากการรวมนิวรอลหลาย ๆ นิวรอลเข้าด้วยกัน

ลักษณะรูปแบบอย่างง่ายที่สุดของนิวรอลเน็ตเวิร์คจะจัดกลุ่มของนิวรอลมีลักษณะ 1 ชั้น (Single Layer) ดังแสดงในรูป 4.6



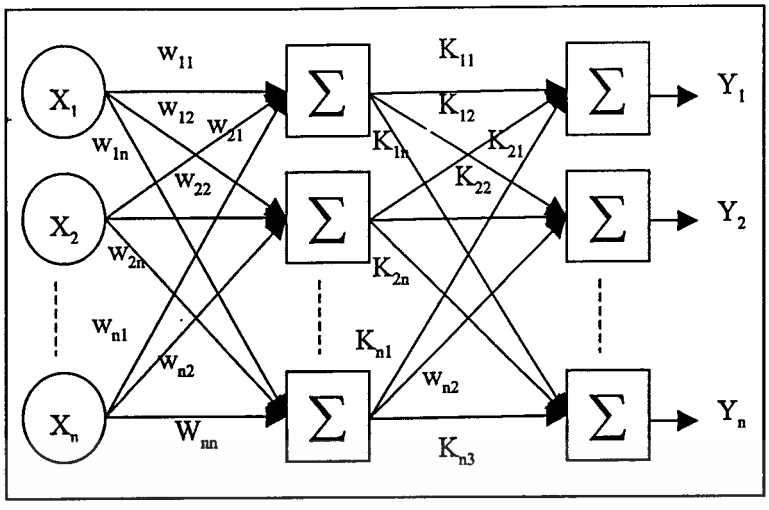
รูปที่ 4.6 ลักษณะของนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 1 ชั้น (Single Layer Neural Network)

สำหรับในส่วนของวงกลมจะเป็นเพียงส่วนที่แบ่งกระจายอินพุทไปยังนิวรอล (Neuron) ต่าง ๆ สำหรับลักษณะโครงสร้างในรูปที่ 4.6 อาจจะมีการเชื่อมโยงบางส่วนถูดตัดทิ้งไปหรืออาจจะมีการป้อนหลับจากเอาพุทไปยังอินพุทได้เรียกว่ามีลักษณะย้อนกลับ (Backward Learning) เพื่อส่งสัญญาณผิดพลาดกลับไปปรับเวต (Weight) ให้ดีขึ้นเพื่อลดสัญญาณผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการเรียนรู้กลุ่มอินพุทชุดหนึ่ง ๆ โดยโครงสร้างอย่างง่ายนี้สามารถฝึกสอนกลุ่มอินพุทที่มีลักษณะง่าย ๆ ได้แต่ถ้าต้องการนำไปประยุกต์ใช้กับอินพุทที่มีรูปร่างยาก ๆ หรือคล้าย ๆ กันต้องเพิ่มชั้นของโครงสร้างนิวรอลอีกเพื่อขยายเวต (Weight) ให้มากขึ้นในการเรียนรู้

4.1.3 โครงสร้างของนิวรอลในกรณีที่มีลักษณะหลาย ๆ ชั้น (Multilayer Neural Network)

ลักษณะของนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะเพียง 1 ชั้น (Single Layer Neural Network) ถึงแม้ว่าจะทำงานได้ดีขึ้นจากนิวรอลเพียง 1 นิวรอล แต่ประสิทธิภาพในการทำงานจะเพิ่มมากขึ้นถ้าเราจัดรูปแบบโครงสร้างในลักษณะหลาย ๆ ชั้น (Multilayer) ในรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 2 ชั้น (Two Layer Neural Network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ลักษณะนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 2 ชั้น (Two-Layer Neural Network)

สำหรับประสิทธิภาพในการทำงานของนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะหลาย ๆ ชั้นนี้ (Multilayer Neural Network) จะไม่เพิ่มขึ้นหรือไม่แตกต่างจากนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 1 ชั้น (Single Layer Neural Network) เลย ถ้าในส่วนของฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) มีลักษณะเป็นสมการเชิงเส้น (Linear Function) ซึ่งเราสามารถแสดงให้เห็นได้โดยพิจารณาสมการดังนี้คือ

ถ้าให้ X เป็นอินพุทเวกเตอร์

W_1 เป็นค่าน้ำหนักในรูปเมตริกซ์ในชั้นที่ 1

W_2 เป็นค่าน้ำหนักในรูปเมตริกซ์ในชั้นที่ 2

เฉพาะฉะนั้นค่าเอาท์พุทที่ออกมาจะอยู่ในรูป

$$\text{Output} = (XW_1)W_2$$

เนื่องจากเราสามารถจัดกลุ่มการคูณได้ ดังนั้นอาจเขียนได้เป็น

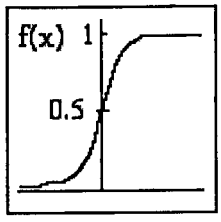
$$\text{Output} = X(W_1W_2)$$

ซึ่งแสดงว่าลักษณะของนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 2 ชั้น (Two Layer Neural Network) จะเหมือนกับนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 1 ชั้น (Single Layer Neural Network) ที่มีค่าเมตริกซ์ ของค่าน้ำหนักเท่ากับผลคูณของเมตริกซ์ของค่าน้ำหนักในชั้นที่ 1 คูณกับชั้นที่ 2

ดังนั้นในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะหลาย ๆ ชั้น (Multilayer Neural Network) เพิ่มจากนิวรอลเน็ตเวิร์คในลักษณะ 1 ชั้น จึงควรกำหนดฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) ในลักษณะไม่เชิงเส้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นที่มีสมการของฟังก์ชัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = 1/(1+\exp^{(-x)}) \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.8 แสดงฟังก์ชันการกระตุ้น

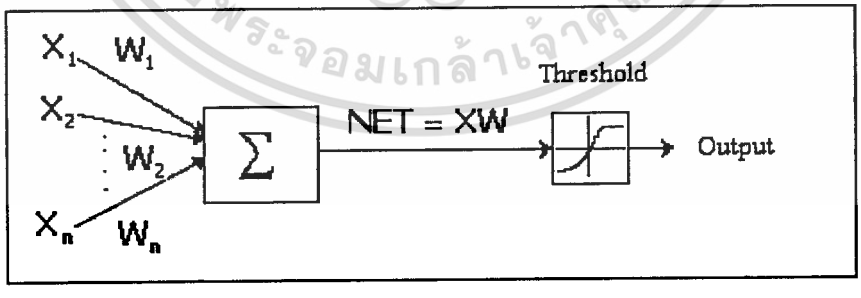
4.2 การฝึกสอน (Training) ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

การฝึกสอนเป็นลักษณะที่จะพยายามสอนให้นิวรอลเน็ตเวิร์คมีความรู้ในลักษณะที่เราต้องการ โดยในลักษณะการฝึกสอนของนิวรอลเน็ตเวิร์คจะเป็นการป้อนชุดอินพุทให้แก่นิวรอลเน็ตเวิร์ค และพยายามปรับค่าน้ำหนักของตัวโครงข่ายไปเรื่อย ๆ เพื่อให้มีค่าลู่เข้า (Converge) ค่าของเอาท์พุทที่เราต้องการให้มีค่าออกมา

โดยทั่วไปแล้ว เราจะเรียกวิธีการฝึกสอนเพื่อให้ตัวโครงข่ายสามารถเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าเอาท์-พุทที่ต้องการออกมาว่า Training Algorithm

4.2.1 เพอเซปตรอน (Perceptron)

ลักษณะของนิวรอลในยุคแรก ๆ ของนิวรอลเน็ตเวิร์คมีชื่อเรียกว่าเพอเซปตรอนซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.9

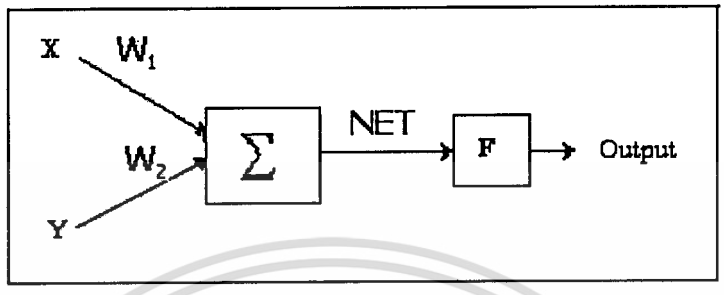


รูปที่ 4.9 ลักษณะของเพอเซปตรอน (Perceptron)

ลักษณะโดยทั่วไปจะเหมือนกับนิวรอลที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่มีลักษณะเฉพาะคือในส่วนของฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) จะเป็นฟังก์ชัน Threshold ซึ่งจะให้ค่า 1 ออกมา ถ้าค่าผลรวมที่เข้ามามีค่ามากเกินกว่าค่าที่กำหนดหนึ่งและจะให้ค่า 0 ออกมา ถ้าค่าผลรวมมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการฝึกสอนจะกระทำกันในลักษณะเพียง 1 ชั้น ซึ่งประสบผลสำเสร็จกันมากในช่วงแรก ๆ แต่ต่อมาได้ประสบปัญหาบางอย่างซึ่งลักษณะของเพอเซปตรอนเพียง 1 ชั้น ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ซึ่งปัญหาตัวอย่างที่ประสบปัญหากันซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาได้เป็นปัญหาเกี่ยวกับการเอกคลูซีฟออร์ (XOR problem) พิจารณาจากรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เพอเซปตรอน (Perceptron) ที่ใช้ในการแก้ปัญหา

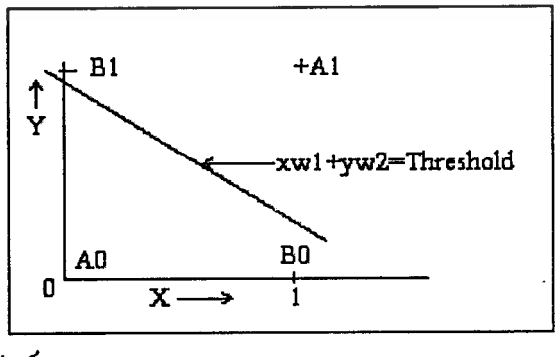
ถ้า x และ y เป็นอินพุทที่จะทำการ XOR เพราะฉะนั้นค่า NET ที่ออกมาจึงมีค่าเท่ากับสมการ 4.3

$$NET = XW_1+YW_2 \tag{4.3}$$

ถ้าเรากำหนดค่า Threshold ของฟังก์ชัน F ให้มีค่า ๆ หนึ่งและกำหนดค่า W_1 และ W_2 เป็นค่า ๆ หนึ่งแล้วเราจะได้สมการ 4.4

$$Threshold = XW_1+YW_2 \tag{4.4}$$

ซึ่งทำการพล็อตกราฟในพิกัด X-Y จะได้กราฟเส้นตรงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ X-Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางเอกซ์คลูซีฟออเกต

Point	Xvalue	Yvalue	Desired Output
A0	0	0	0
B0	1	0	1
B1	0	1	1
A1	1	1	0

พิจารณาตารางเอกซ์คลูซีฟออเกตในตารางที่ 4.1 ถ้าเราทำการพล็อตจุดต่าง ๆ ของตารางลงไปในกราฟความสัมพันธ์ X-Y จะได้รูปที่ 4.11

ถ้าเราพิจารณาสมการที่ให้ค่า NET ออกมาใหม่อีกทีจะเห็นว่าค่า NET ที่มีค่ามากกว่าค่า Threshold จะมีค่าอยู่ทางซีกใดซีกหนึ่งของเส้นตรงส่วนค่า NET ที่มีค่าน้อยกว่าจะอยู่ทางอีกซีกหนึ่ง

จากความจริงที่ว่าเพอเซปตรอนนี้สามารถแก้ปัญหานี้ได้ถ้าจุด A_0, A_1 อยู่อีกซีกหนึ่งและจุด B_0, B_1 อยู่ในอีกซีกหนึ่ง โดยใช้เส้นตรงที่มีค่า NET เท่ากับ Threshold เป็นตัวแบ่งแต่จากรูปไม่ว่าจะแบ่งด้วยสมการเส้นตรงรูปแบบใดก็ไม่สามารถที่จะแบ่งได้ ซึ่งหมายถึงไม่ว่าเราจะกำหนดค่า Threshold, W_1, W_2 มีค่าเช่นไร ก็ไม่สามารถให้ค่าเอาพุทออกมาถูกต้องทุกค่า ซึ่งปัญหาเช่นนี้เราเรียกว่า ปัญหาการแบ่งแยกเชิงเส้น (Linear separability problem) ซึ่งเกิดขึ้นมากมายหลายปัญหานอกจากปัญหาของการ XOR

ปัญหาของการ XOR นี้ สามารถแก้ปัญหาได้ โดยการใช้ลักษณะของการใช้เพอเซปตรอนหลาย ๆ ชั้น แต่มีวิธีการที่ให้ได้มาซึ่งค่าน้ำหนักของตัวโครงข่ายเป็นลักษณะของการกำหนดค่าโดยใช้ความคิดขึ้นมาเอง ไม่ใช่ลักษณะของการฝึกสอน เนื่องมาจากในสมัยนั้นยังไม่มีการค้นวิธีการฝึกสอนที่ได้ผลในส่วนของเพอเซปตรอนหลาย ๆ ชั้น ดังนั้นปัญหาเหล่านี้จึงเป็นปัญหาที่ยืดเยื้อมานานหลายปี สาเหตุเนื่องมาจากการขาดการฝึกสอนตัวโครงข่ายในลักษณะหลาย ๆ ชั้นนั่นเอง

4.2.2 กฎของเดลตา (The Delta Rule)

กฎที่สำคัญกฎหนึ่งซึ่งใช้ในการฝึกสอนเพอเซปตรอนและต่อมาได้ถูกขยายเพื่อนำไปใช้ในการฝึกสอน แก่นิวรอลเน็ตเวิร์คที่มีลักษณะหลายชั้นด้วย มีชื่อเรียกว่า กฎของเดลต้า โดยกฎของเดลตานี้จะถูกใช้ในการปรับน้ำหนักของเพอเซปตรอนได้อย่างสมเหตุสมผล ลักษณะของกฎจะประกอบด้วยสูตรการคำนวณต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = (T-A) \tag{4.5}$$

โดย T เป็นค่าเอาท์พุทที่เราต้องการให้เกิดผลออกมาจากเพอเซปตรอนนั้น

A เป็นค่าเอาท์พุทที่ออกมาจริงตามการป้อนอินพุทเข้าไป

δ เป็นค่าผลต่างระหว่างค่า ข้างบน

หลังจากได้ค่า δ แล้วค่านี้จะถูกนำไปคูณกับค่าอินพุทแต่ละอินพุท เพื่อใช้ในการปรับค่าน้ำหนักที่เหมาะสมของแต่ละอินพุทนอกจากนั้นยังต้องถูกนำไปคูณกับค่าอัตราการเรียนรู้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกสอนให้เร็วขึ้นหรือช้าลง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\Delta i = n\delta X_i \tag{4.6}$$

ซึ่งค่า Δi หมายถึงค่าที่จะต้องถูกนำไปใช้ในการปรับค่าน้ำหนักของแต่ละค่าน้ำหนัก

ค่า X_i คือค่าอินพุตเวกเตอร์

ค่า n คืออัตราการเรียนรู้ (Learning rate)

ดังนั้นสมการปรับค่าน้ำหนักสามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

$$w_i(n+1) = w_i(n) + \Delta i \tag{4.7}$$

โดย Δi เป็นค่าน้ำหนักที่ต้องการปรับของแต่ละอินพุทของค่าอินพุท x ใด ๆ ในสมการ 4.7

$w_i(n+1)$ เป็นค่าน้ำหนักหลังการปรับ

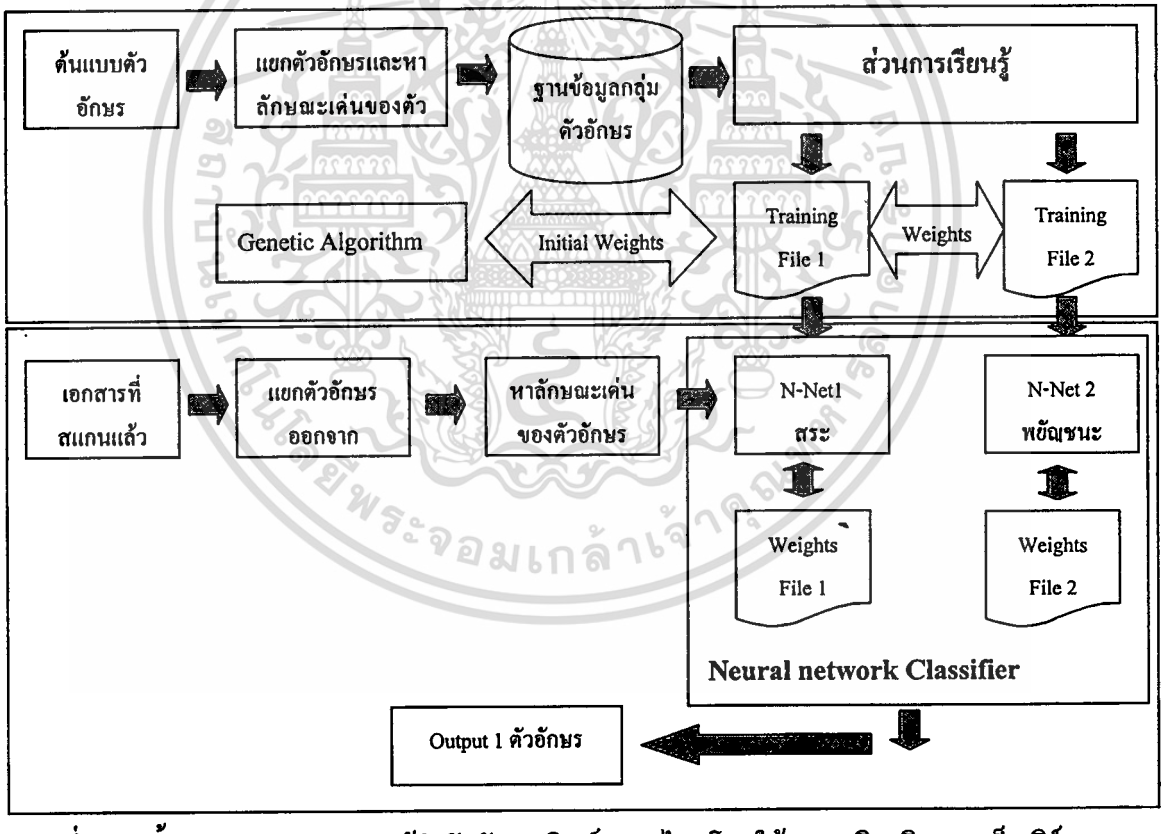
$w_i(n)$ เป็นค่าน้ำหนักก่อนการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ทฤษฎีที่นำมาใช้และกระบวนการรู้จำ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำหลักการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 - 4 มาประยุกต์ใช้ในการรู้จำตัวอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกจะเป็นการทดลองเกี่ยวกับการแยกตัวอักษรออกจากประโยคและการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในบทที่ 2 ส่วนที่สองเป็นขบวนการเรียนรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค การเริ่มต้นหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม จากนั้นเรียนรู้โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค ส่วนที่สามเป็นการทดลองแก้ไขปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้จากนิวรอลเน็ตเวิร์ค

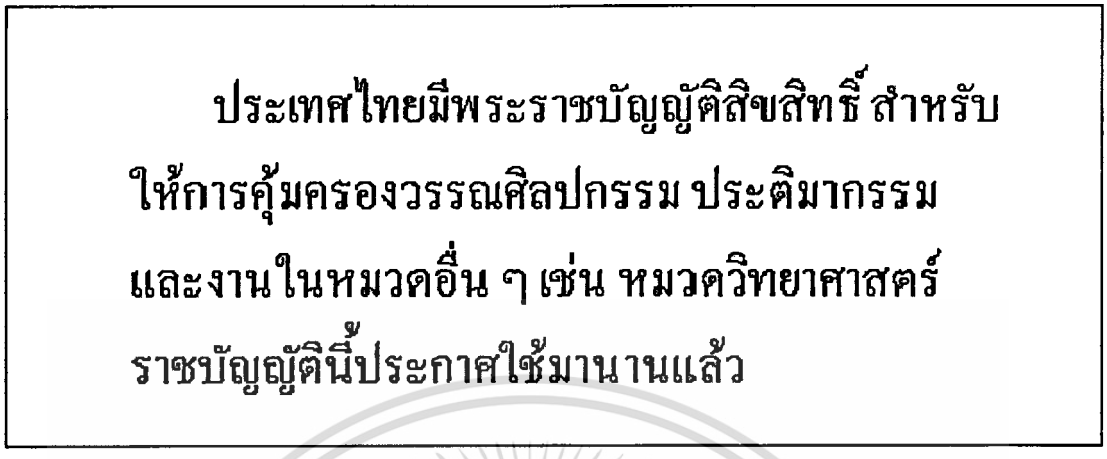


รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การแยกตัวอักษรออกจากประโยคและภาพ

ก. อ่านภาพแบบขาวดำเข้ามาทั้งหน้ากระดาษ



รูปที่ 5.2 แสดงภาพหน้ากระดาษที่ใช้โปรแกรมอ่านภาพจากเครื่องกวาดภาพ

ข. หาฮิสโตแกรมของภาพในแนวนอน

ค. ระหว่างที่หาฮิสโตแกรมในแนวนอน ถ้ามีค่าฮิสโตแกรมจุดใดที่เปลี่ยนจากศูนย์เป็นค่าใดใดก็ตามให้สันนิฐานว่าเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นบรรทัด

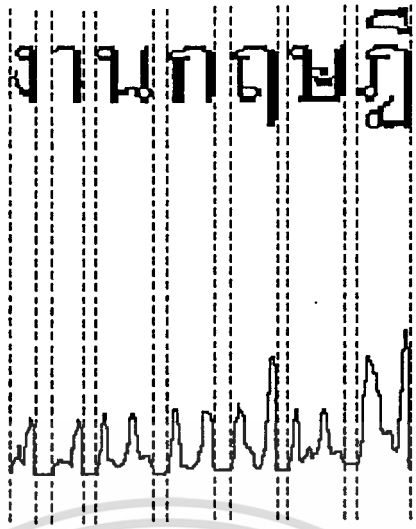
รูปที่ 5.3 แสดงการตัดบรรทัด โดยใช้จุดที่มีการเปลี่ยนค่าศูนย์

ง. ถ้าเส้นระหว่างบรรทัดห่างพอ จะตัดออกเป็นสองบรรทัดได้

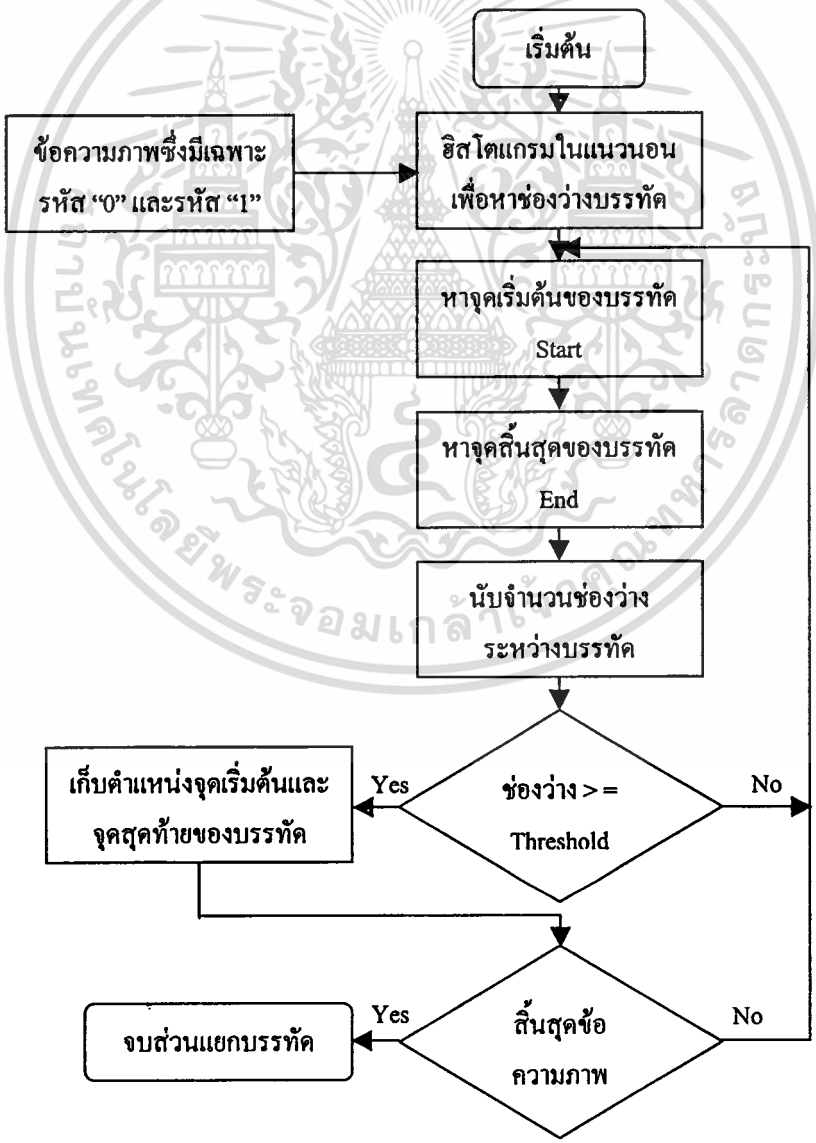
จ. ทำการแยกส่วนของบรรทัดออกมาทีละบรรทัด เก็บไว้ในอาเรย์หรือในไฟล์ ตามลำดับ การตัดบรรทัด ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนหมดทุกบรรทัด

ฉ. ตัดตัวอักษรจากบรรทัดออกเป็นทีละตัว (Character Segmentation) โดยอาศัยฟังก์ชันฮิสโตแกรมของเซลในแนวตั้ง กรณีที่ตัวอักษรกำหนดขนาดใหญ่กว่าที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

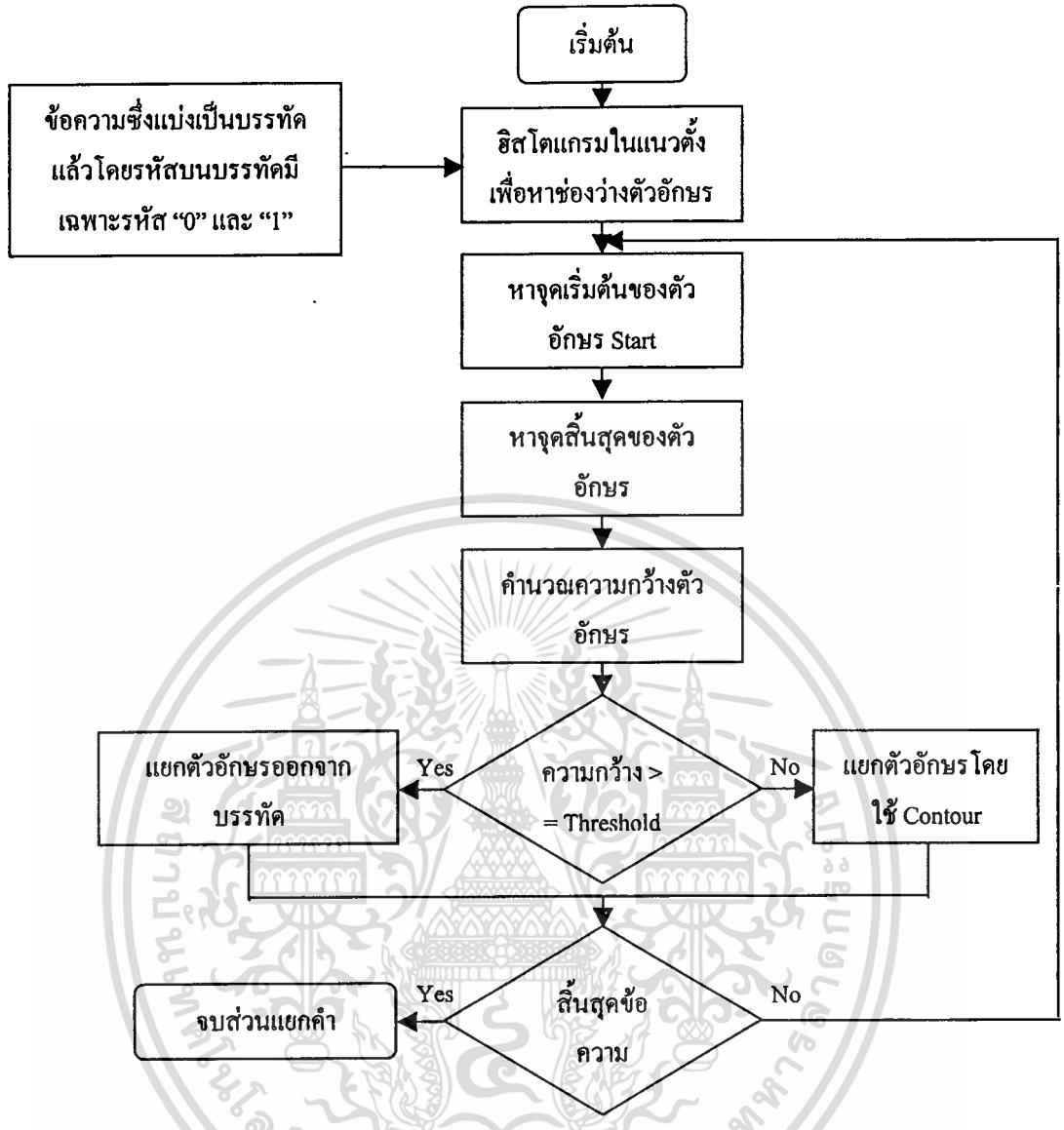


รูปที่ 5.4 แสดงการหาฮิสโตแกรมในแนวตั้งเพื่อตัดอักษรจากบรรทัด



รูปที่ 5.5 แสดงโฟลว์ชาร์ทการแยกบรรทัดออกจากข้อความภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงโฟลว์ชาร์ทการแยกตัวอักษรออกจากภาพบรรทัด

5.3 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร

ขั้นตอนในการหาลักษณะเด่นของตัวอักษรแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนแรกเป็นการหาขอบภาพโดยใช้ การคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่อง (Connectivity number) ซึ่งได้อธิบายหลักการโดยละเอียดไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5.1 ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนเข้าการเข้ารหัสตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่ (Chain code) ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 การหาขอบภาพโดยใช้การคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่อง แบบ จุดภาพข้างเคียงแบบเลข 4 (4-Connectivity)

กำหนดให้ P เป็นจุดภาพใด ๆ จุดภาพข้างเคียงของจุด P แสดงไว้ในรูปที่ 5.7

X4	X3	X2
X5	P	X1
X6	X7	X8

การต่อกันแบบเลข 4

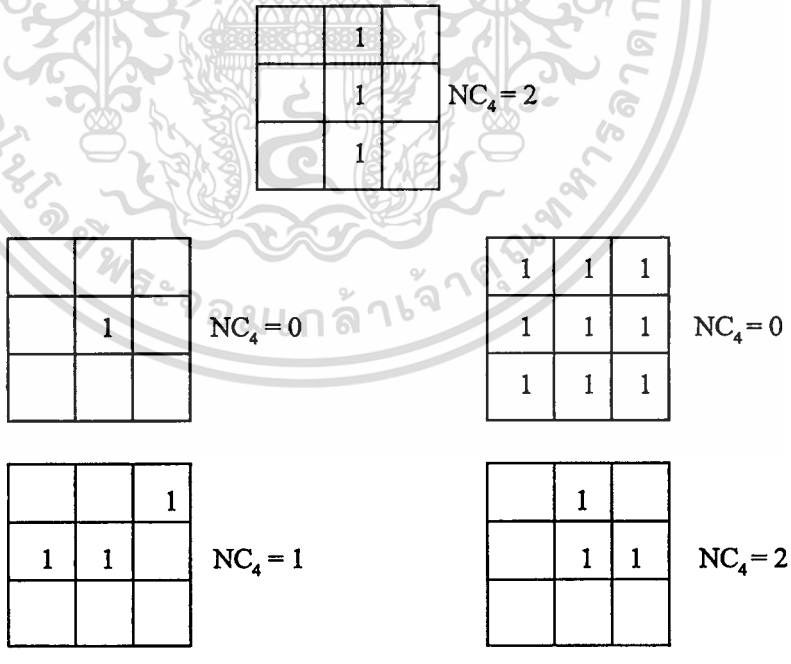
รูปที่ 5.7 ลักษณะของจุดภาพข้างเคียงแบบ 4-Connectivity

ค่าตัวเลขต่อเนื่องของจุดภาพข้างเคียงสามารถหาได้จากสมการ 5.1

$$NC_4 = \sum (X_k - X_k X_{k+1} X_{k+2}) \qquad (5.1)$$

$Si = \{1,3,5,7\}, k \geq 9 \rightarrow k = k-8$

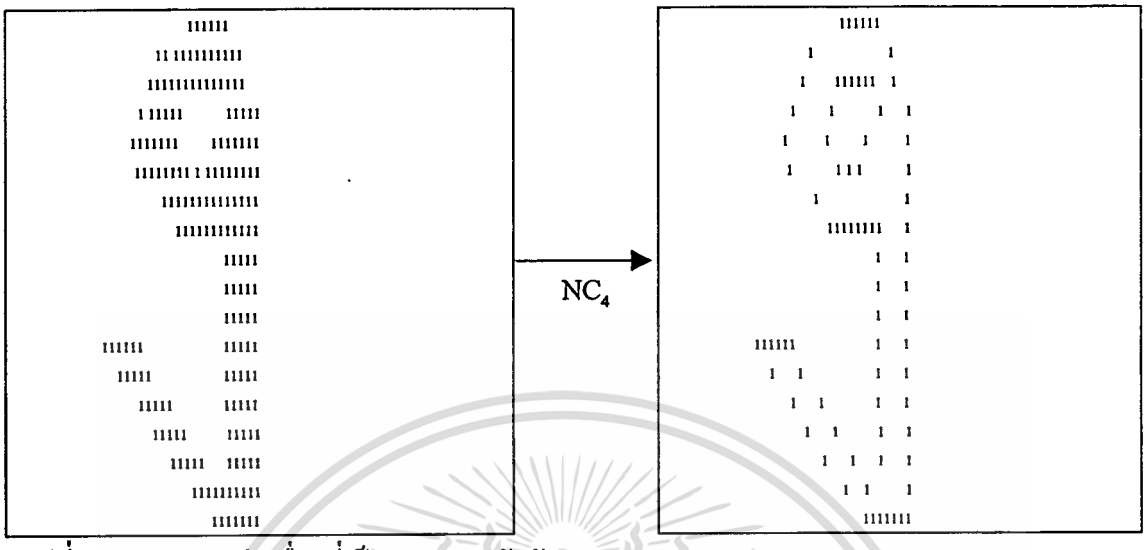
ผลที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ 5.1 จะได้เป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 4 ดังแสดงในรูป 5.8



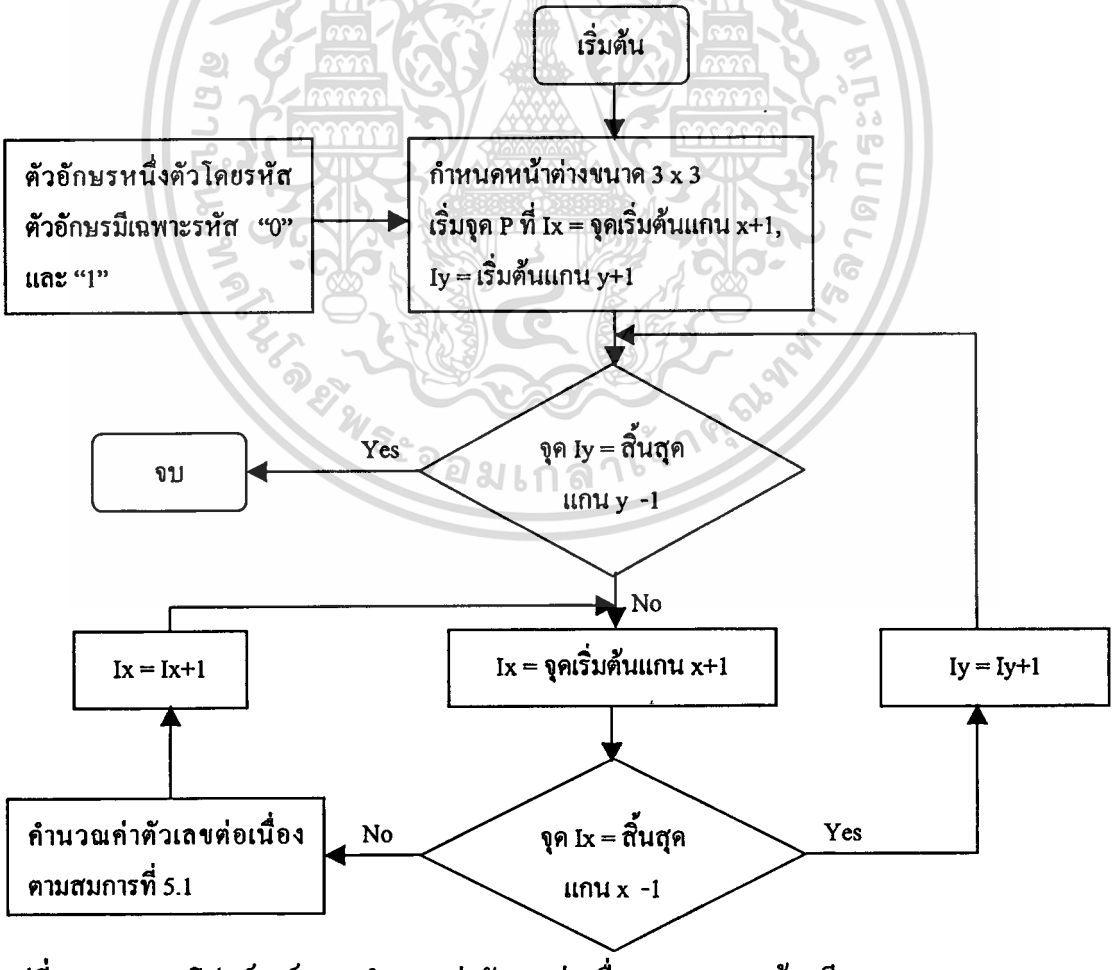
รูปที่ 5.8 ค่า NC_4 ของจุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวเลขต่อเนื่องที่คำนวณจะบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพ ออกมาดังที่แสดงในบทที่ 2 ตารางที่ 2.3



รูปที่ 5.9 ค่าตัวเลขต่อเนื่องที่เป็นขอบภาพตัวอักษร "ง"

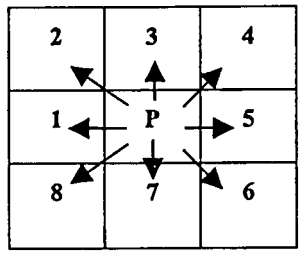


รูปที่ 5.10 แสดงโฟลว์ชาร์ทการคำนวณค่าตัวเลขต่อเนื่องของจุดภาพข้างเคียงแบบ 4-Connectivity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

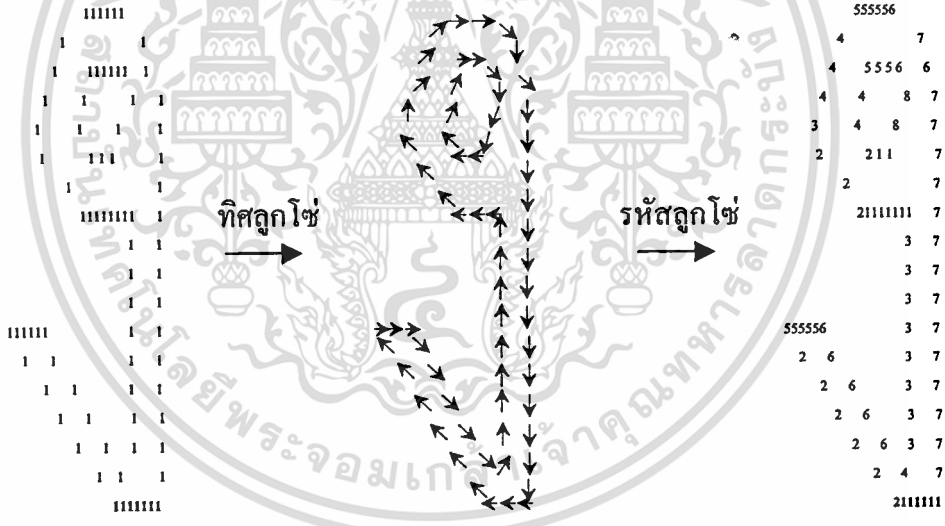
5.3.2 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่ (Chain Code)

รหัสลูกโซ่ (Chain code) มีขนาด 1 พิกเซล และ มีทิศทาง 8 ทิศทาง คือใช้ รหัสลูกโซ่ ในการเคลื่อนที่ระหว่างพิกเซลชี้บอกทางดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ทิศทางของรหัสลูกโซ่

เพื่อเป็นการลดข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยให้น้อยลง เรากำหนดลักษณะเด่นของตัวอักษรโดยเรารหัสลูกโซ่มาทำการประมวลผล ซึ่งสามาระแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังรูปที่ 5.12 รายละเอียดอธิบายในบทที่ 2 หัวข้อ 2.6.4

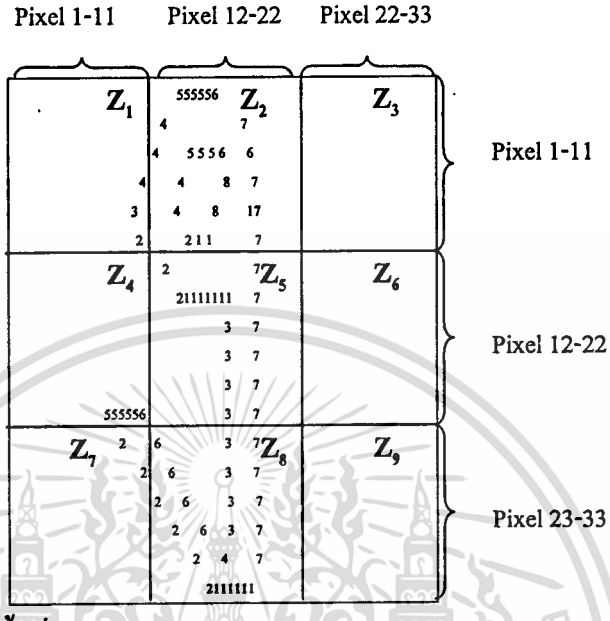


รูปที่ 5.12 แสดงทิศรหัสลูกโซ่และการเข้ารหัสลูกโซ่ (Chain code) ตัวอักษร "ง"

เมื่อได้รหัสลูกโซ่แล้วทำการนับรหัสลูกโซ่ในพื้นที่เฉพาะ กำหนดชื่อเรียกบริเวณต่าง ๆ เป็น Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9 การแบ่งพื้นที่เฉพาะเหล่านี้ลดจำนวนข้อมูลให้น้อยลงและยังสามารถระบุลักษณะของตัวอักษรได้ บริเวณที่กำหนดจะมีสัดส่วนดังแสดงในรูป 5.13 ในการกำหนดรหัสลูกโซ่เรานับรหัสลูกโซ่ในทิศตรงข้ามกันเป็นรหัสเดียวกัน เช่น รหัส 1 กับ 5, 2 กับ 6, 4 กับ 8 เพื่อป้องรหัสผิดพลาดจากการเข้ารหัส ตัวอย่างการนับรหัสลูกโซ่แสดงในตารางที่ 5.1 ถึง 5.5

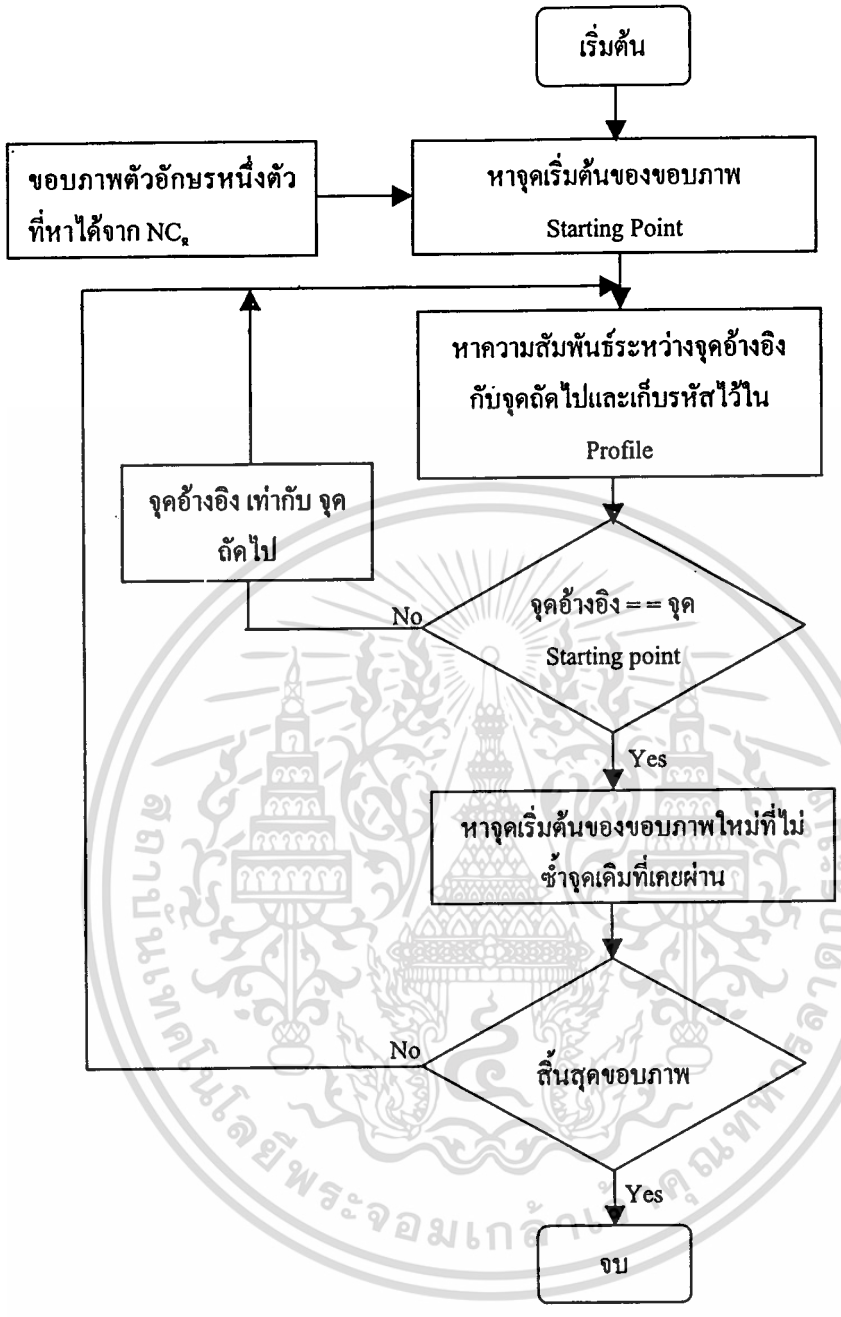
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาคุณสมบัติการนับจำนวนรหัสลูกโซ่ในแต่ละพื้นที่ พบว่าน่าจะใช้เป็นคุณสมบัติเพื่อรู้จำตัวอักษรได้ ถ้าจะนำสิ่งเหล่านี้มาใช้กับระบบการรู้จำ ดังจะอธิบายการวิธีการใช้ในบทต่อไป



รูปที่ 5.13 แสดงการแบ่งพื้นที่รหัสลูกโซ่ของตัวอักษร “ง”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงโฟลว์ชาร์ทการเข้ารหัสลูกโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษร “ก” ถึง “ซ”

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร “ก”	อักษร “ข”	อักษร “ค”	อักษร “ฆ”	อักษร “ง”	อักษร “จ”	อักษร “ฉ”	อักษร “ช”	อักษร “ซ”
1	$Z_1(1,5)$	9	18	7	9	0	15	17	12	7
2	$Z_1(2,6)$	1	4	0	5	0	1	4	2	8
3	$Z_1(3,7)$	2	8	7	9	0	1	1	10	10
4	$Z_1(4,8)$	14	6	13	12	0	9	10	12	7
5	$Z_2(1,5)$	21	5	28	4	20	17	17	5	3
6	$Z_2(2,6)$	3	6	4	6	5	7	5	9	10
7	$Z_2(3,7)$	1	13	3	11	7	2	1	9	6
8	$Z_2(4,8)$	1	2	1	5	3	2	1	3	10
9	$Z_3(1,5)$	4	2	3	1	7	5	4	3	3
10	$Z_3(2,6)$	12	0	10	0	5	6	8	2	2
11	$Z_3(3,7)$	6	15	9	14	10	6	6	5	6
12	$Z_3(4,8)$	1	2	1	6	1	0	0	18	17
13	$Z_4(1,5)$	2	9	2	11	9	7	8	9	13
14	$Z_4(2,6)$	4	4	12	10	11	1	6	9	12
15	$Z_4(3,7)$	16	4	11	6	1	7	11	7	9
16	$Z_4(4,8)$	3	2	4	2	1	2	6	5	1
17	$Z_5(1,5)$	4	0	7	2	4	0	0	4	3
18	$Z_5(2,6)$	0	2	1	4	10	6	1	2	0
19	$Z_5(3,7)$	0	20	8	18	0	15	9	18	22
20	$Z_5(4,8)$	1	2	5	3	0	2	0	2	1
21	$Z_6(1,5)$	0	0	0	0	0	0	1	0	0
22	$Z_6(2,6)$	0	0	2	2	1	0	0	5	5
23	$Z_6(3,7)$	20	20	17	18	19	20	19	13	15
24	$Z_6(4,8)$	0	0	1	1	0	0	1	1	0
25	$Z_7(1,5)$	3	0	2	0	0	0	0	0	0
26	$Z_7(2,6)$	0	0	1	2	0	0	2	0	0
27	$Z_7(3,7)$	17	0	8	9	0	0	8	1	0
28	$Z_7(4,8)$	0	0	0	2	0	0	1	1	0
29	$Z_8(1,5)$	0	7	0	7	4	10	11	14	13
30	$Z_8(2,6)$	0	8	0	5	12	6	4	1	1
31	$Z_8(3,7)$	0	10	7	10	1	10	6	12	14
32	$Z_8(4,8)$	0	0	1	8	0	1	8	5	1
33	$Z_9(1,5)$	1	8	3	5	5	6	17	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "ก"	อักษร "ข"	อักษร "ค"	อักษร "ฆ"	อักษร "ง"	อักษร "จ"	อักษร "ฉ"	อักษร "ช"	อักษร "ซ"
34	$Z_9(2,6)$	1	1	1	5	2	0	7	2	1
35	$Z_9(3,7)$	13	10	15	10	8	13	13	9	9
36	$Z_9(4,8)$	5	9	1	5	2	4	5	6	8

ตารางที่ 5.2 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษร "ฌ" ถึง "ค"

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "ฌ"	อักษร "ญ"	อักษร "ฎ"	อักษร "ฏ"	อักษร "ฐ"	อักษร "ฑ"	อักษร "ฒ"	อักษร "ณ"	อักษร "ค"
1	$Z_1(1,5)$	15	16	8	10	13	4	4	15	5
2	$Z_1(2,6)$	2	2	2	2	1	6	4	1	2
3	$Z_1(3,7)$	6	6	3	3	6	11	8	7	5
4	$Z_1(4,8)$	9	10	8	6	6	12	14	10	13
5	$Z_2(1,5)$	7	7	23	24	18	2	7	7	25
6	$Z_2(2,6)$	13	12	2	2	7	5	13	9	3
7	$Z_2(3,7)$	8	8	2	4	2	15	2	9	0
8	$Z_2(4,8)$	0	2	5	2	2	8	11	2	0
9	$Z_3(1,5)$	1	0	6	6	15	6	0	2	4
10	$Z_3(2,6)$	0	0	9	9	5	5	0	0	13
11	$Z_3(3,7)$	15	14	9	9	1	12	20	14	6
12	$Z_3(4,8)$	4	3	2	0	6	9	5	1	1
13	$Z_4(1,5)$	1	2	11	15	14	7	1	2	2
14	$Z_4(2,6)$	4	1	4	3	7	11	11	5	12
15	$Z_4(3,7)$	16	18	10	10	6	11	20	15	13
16	$Z_4(4,8)$	2	1	7	6	4	2	10	2	5
17	$Z_5(1,5)$	0	1	3	4	4	0	5	0	14
18	$Z_5(2,6)$	0	0	0	0	8	1	4	0	5
19	$Z_5(3,7)$	20	20	9	8	12	26	15	20	10
20	$Z_5(4,8)$	0	0	3	1	0	5	10	0	12
21	$Z_6(1,5)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	$Z_6(2,6)$	0	0	0	1	3	1	1	0	0
23	$Z_6(3,7)$	20	20	20	19	16	19	29	20	20
24	$Z_6(4,8)$	0	0	0	1	0	1	0	0	0
25	$Z_7(1,5)$	11	9	8	8	0	0	3	4	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "ฌ"	อักษร "ญ"	อักษร "ฎ"	อักษร "ฏ"	อักษร "ฐ"	อักษร "ฑ"	อักษร "ฒ"	อักษร "ณ"	อักษร "ด"
26	$Z_7(2,6)$	5	4	2	2	0	0	0	11	1
27	$Z_7(3,7)$	14	12	6	4	0	0	15	6	12
28	$Z_7(4,8)$	4	1	3	4	0	0	2	6	1
29	$Z_8(1,5)$	6	4	13	10	9	3	4	4	1
30	$Z_8(2,6)$	12	7	7	11	4	0	8	2	0
31	$Z_8(3,7)$	12	16	5	6	13	15	13	17	1
32	$Z_8(4,8)$	14	4	13	11	1	2	8	6	2
33	$Z_9(1,5)$	6	9	9	7	3	2	4	9	3
34	$Z_9(2,6)$	10	2	6	2	0	0	11	8	1
35	$Z_9(3,7)$	13	11	14	17	13	16	13	15	15
36	$Z_9(4,8)$	2	6	1	2	3	1	4	8	1

ตารางที่ 5.3 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษร "ต" ถึง "ฝ"

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "ต"	อักษร "ถ"	อักษร "ท"	อักษร "ธ"	อักษร "น"	อักษร "บ"	อักษร "ป"	อักษร "ผ"	อักษร "ฝ"
1	$Z_1(1,5)$	4	9	21	18	18	15	0	14	0
2	$Z_1(2,6)$	0	1	7	4	8	8	0	1	0
3	$Z_1(3,7)$	6	6	8	3	11	7	0	10	0
4	$Z_1(4,8)$	14	12	5	8	4	8	0	6	0
5	$Z_2(1,5)$	13	21	1	18	0	0	0	6	0
6	$Z_2(2,6)$	12	1	1	11	2	4	0	4	0
7	$Z_2(3,7)$	1	4	16	2	6	6	0	6	0
8	$Z_2(4,8)$	11	1	11	1	0	0	0	3	0
9	$Z_3(1,5)$	3	5	5	13	1	3	1	4	3
10	$Z_3(2,6)$	14	12	12	2	0	0	0	0	0
11	$Z_3(3,7)$	7	6	9	3	15	17	17	17	18
12	$Z_3(4,8)$	1	2	1	8	2	0	4	0	1
13	$Z_4(1,5)$	1	1	0	0	0	0	16	1	14
14	$Z_4(2,6)$	13	2	0	0	0	1	7	2	0
15	$Z_4(3,7)$	14	8	10	0	10	9	9	18	12
16	$Z_4(4,8)$	2	0	0	0	0	0	3	2	7
17	$Z_5(1,5)$	15	2	0	4	0	0	1	6	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "ต"	อักษร "ถ"	อักษร "ท"	อักษร "ธ"	อักษร "น"	อักษร "บ"	อักษร "ป"	อักษร "ผ"	อักษร "ฝ"
18	$Z_5(2,6)$	12	0	4	3	0	0	1	10	6
19	$Z_5(3,7)$	6	9	17	19	10	10	7	10	3
20	$Z_5(4,8)$	17	1	4	1	0	0	0	12	4
21	$Z_6(1,5)$	0	0	0	3	0	0	0	2	0
22	$Z_6(2,6)$	2	0	0	2	0	0	0	1	0
23	$Z_6(3,7)$	17	20	20	18	20	20	20	18	20
24	$Z_6(4,8)$	2	0	0	0	0	0	0	3	0
25	$Z_7(1,5)$	2	1	1	7	2	6	6	4	8
26	$Z_7(2,6)$	6	5	0	0	0	0	0	2	2
27	$Z_7(3,7)$	5	6	9	1	9	8	9	12	15
28	$Z_7(4,8)$	3	0	0	2	0	1	1	3	2
29	$Z_8(1,5)$	0	17	2	15	12	17	17	0	3
30	$Z_8(2,6)$	0	6	0	1	1	1	1	0	8
31	$Z_8(3,7)$	1	9	5	12	4	5	7	0	0
32	$Z_8(4,8)$	7	6	3	0	9	0	0	1	9
33	$Z_9(1,5)$	5	3	3	6	15	10	11	3	6
34	$Z_9(2,6)$	0	0	1	0	6	0	1	4	6
35	$Z_9(3,7)$	15	16	15	11	15	11	15	11	13
36	$Z_9(4,8)$	0	1	1	5	4	8	5	2	5

ตารางที่ 5.4 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษร "พ" ถึง "ศ"

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "พ"	อักษร "ฟ"	อักษร "ภ"	อักษร "ม"	อักษร "ย"	อักษร "ร"	อักษร "ล"	อักษร "ว"	อักษร "ศ"
1	$Z_1(1,5)$	14	0	5	13	9	14	13	8	10
2	$Z_1(2,6)$	9	0	1	8	3	5	0	4	1
3	$Z_1(3,7)$	12	0	4	8	8	3	2	2	2
4	$Z_1(4,8)$	5	0	10	8	6	9	10	9	12
5	$Z_2(1,5)$	1	0	21	0	10	27	27	19	18
6	$Z_2(2,6)$	8	0	2	3	4	8	7	0	3
7	$Z_2(3,7)$	16	0	2	4	6	0	1	0	5
8	$Z_2(4,8)$	6	0	2	1	4	2	2	1	1
9	$Z_3(1,5)$	4	2	5	0	2	10	5	4	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "พ"	อักษร "ฟ"	อักษร "ภ"	อักษร "ม"	อักษร "ย"	อักษร "ร"	อักษร "ล"	อักษร "ว"	อักษร "ศ"
10	$Z_3(2,6)$	1	1	9	2	1	2	6	10	4
11	$Z_3(3,7)$	20	16	8	12	14	3	7	9	9
12	$Z_3(4,8)$	0	2	1	6	4	5	4	0	7
13	$Z_4(1,5)$	0	15	3	0	3	0	1	0	7
14	$Z_4(2,6)$	1	8	1	1	2	0	1	0	6
15	$Z_4(3,7)$	9	8	9	9	11	0	12	0	15
16	$Z_4(4,8)$	0	6	0	0	6	0	6	0	6
17	$Z_5(1,5)$	0	3	3	0	7	4	3	0	8
18	$Z_5(2,6)$	1	4	0	1	0	4	2	0	7
19	$Z_5(3,7)$	20	20	9	9	1	7	2	0	3
20	$Z_5(4,8)$	5	5	1	0	2	2	2	0	12
21	$Z_6(1,5)$	0	0	0	0	0	3	2	0	1
22	$Z_6(2,6)$	8	6	0	2	0	1	2	0	1
23	$Z_6(3,7)$	23	24	20	19	20	8	16	20	17
24	$Z_6(4,8)$	1	2	0	1	0	1	0	0	0
25	$Z_7(1,5)$	1	1	12	14	6	0	5	0	2
26	$Z_7(2,6)$	1	0	7	6	7	0	8	0	1
27	$Z_7(3,7)$	8	10	7	10	9	3	9	0	15
28	$Z_7(4,8)$	0	0	11	6	0	1	2	0	1
29	$Z_8(1,5)$	1	2	0	5	17	22	13	13	0
30	$Z_8(2,6)$	0	1	0	16	1	3	2	2	0
31	$Z_8(3,7)$	5	7	5	2	0	9	8	7	0
32	$Z_8(4,8)$	5	6	3	7	2	5	3	3	0
33	$Z_9(1,5)$	2	4	3	8	7	1	5	8	3
34	$Z_9(2,6)$	3	6	0	1	0	1	1	3	1
35	$Z_9(3,7)$	13	15	15	10	10	4	15	9	15
36	$Z_9(4,8)$	1	1	4	4	5	7	1	10	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษร "ษ" ถึง "ไ"

ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "ษ"	อักษร "ส"	อักษร "ห"	อักษร "ฬ"	อักษร "อ"	อักษร "ฮ"	อักษร "ๆ"	อักษร "ใ"	อักษร "ไ"
1	$Z_1(1,5)$	21	9	10	8	16	15	13	16	8
2	$Z_1(2,6)$	6	0	11	9	1	8	0	3	6
3	$Z_1(3,7)$	8	3	9	13	4	2	0	0	14
4	$Z_1(4,8)$	7	12	8	9	11	9	3	3	0
5	$Z_2(1,5)$	0	20	0	0	25	23	18	27	12
6	$Z_2(2,6)$	1	8	0	2	5	7	2	13	1
7	$Z_2(3,7)$	7	0	7	10	1	5	1	2	16
8	$Z_2(4,8)$	0	4	1	3	1	3	2	1	4
9	$Z_3(1,5)$	1	5	7	9	5	5	3	15	0
10	$Z_3(2,6)$	0	2	8	9	8	0	3	1	4
11	$Z_3(3,7)$	15	8	9	9	9	6	9	3	7
12	$Z_3(4,8)$	4	8	19	9	0	9	0	1	0
13	$Z_4(1,5)$	0	1	0	0	3	5	0	0	0
14	$Z_4(2,6)$	0	1	0	4	2	4	0	0	0
15	$Z_4(3,7)$	10	12	10	16	17	13	0	0	0
16	$Z_4(4,8)$	0	7	0	0	1	7	0	0	0
17	$Z_5(1,5)$	21	4	5	4	6	9	1	0	0
18	$Z_5(2,6)$	9	4	5	7	0	2	0	0	0
19	$Z_5(3,7)$	4	1	6	20	6	20	0	10	10
20	$Z_5(4,8)$	2	4	16	9	5	6	1	0	0
21	$Z_6(1,5)$	3	0	2	0	1	0	0	0	0
22	$Z_6(2,6)$	1	2	2	0	1	1	1	0	0
23	$Z_6(3,7)$	17	15	17	18	19	8	18	10	10
24	$Z_6(4,8)$	8	0	1	1	0	1	0	0	0
25	$Z_7(1,5)$	6	4	2	3	5	3	0	0	0
26	$Z_7(2,6)$	1	5	0	0	3	7	0	0	0
27	$Z_7(3,7)$	6	11	9	9	9	12	0	0	0
28	$Z_7(4,8)$	2	4	0	1	0	1	0	0	0
29	$Z_8(1,5)$	20	8	1	0	15	17	0	4	4
30	$Z_8(2,6)$	1	3	2	1	3	1	0	1	1
31	$Z_8(3,7)$	6	7	5	9	0	4	0	11	9
32	$Z_8(4,8)$	0	2	3	2	2	5	0	2	3
33	$Z_9(1,5)$	12	4	2	4	6	2	7	14	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

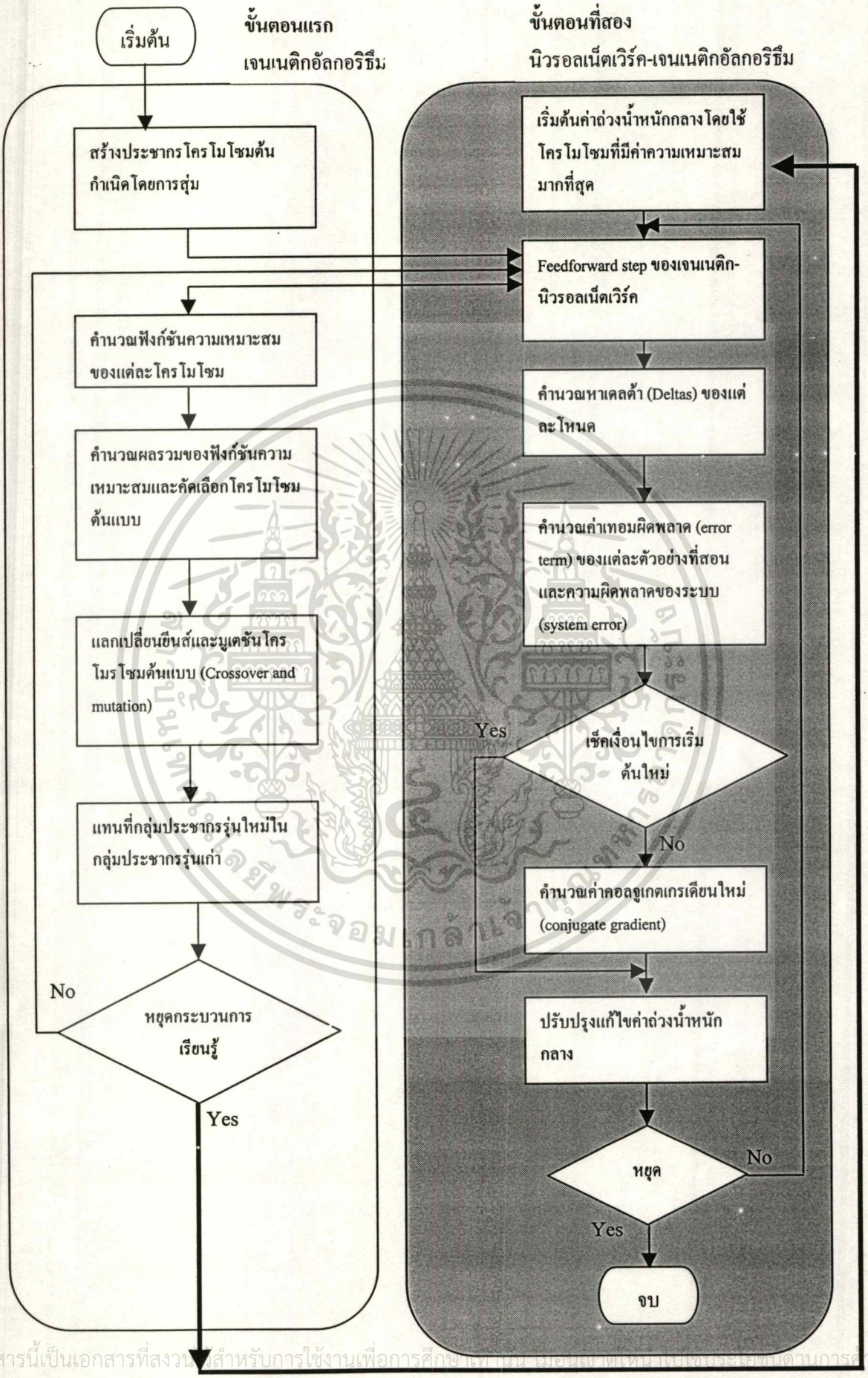
ลำดับ	บริเวณ Z	อักษร "ษ"	อักษร "ส"	อักษร "ห"	อักษร "ฬ"	อักษร "อ"	อักษร "ฮ"	อักษร "ๆ"	อักษร "ๆ"	อักษร "ๆ"
34	$Z_9(2,6)$	2	0	1	3	0	1	1	5	9
35	$Z_9(3,7)$	9	17	14	9	7	4	17	7	4
36	$Z_9(4,8)$	6	0	2	1	8	7	1	1	2

5.4 การประยุกต์เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คมาใช้ในวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพในส่วนของการเรียนรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้เจน-เนติกอัลกอริธึมหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์ค เพื่อเพิ่มประสิทธิ์ภาพในการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คได้มีการนำเจนเนติกอัลกอริธึมมาใช้ค้นหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์คซึ่งปราศจากการใช้เกรเดียน (Gradiant) หลักการพื้นฐานคือ คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักกลางที่ถูกเข้ารหัสเป็นโครโมโซม ซึ่งเราใช้ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) เป็นตัววัดผลลัพธ์ว่าดีที่สุดหรือไม่ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าเฉลี่ยผลรวมของค่าผิดพลาดของนิวรอลเน็ตเวิร์ค (average squared system error)

ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งมีการทำงานแบ่งเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกใช้เจนเนติกหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นที่ดีที่สุดให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์ค ขั้นตอนที่สองเป็นการเรียนรู้โดยนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบ แพร่ย้อนกลับ (Blackpropagation Neural Network) แสดงในรูปที่ 5.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงการเรียนรู้โดยเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 ขั้นตอนการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยเจนเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยใช้เจนเนติกอัลกอริธึมมีขั้นตอนการทำงานหลัก ๆ อยู่ 5 ขั้นตอนการเรียนรู้ของเจนเนติกอัลกอริธึมจะได้ผลดีที่สุด ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าตัวแปรให้กับเจนเนติกอัลกอริธึม วิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งได้จากการทดลองดังนี้

5.4.1.1 การกำหนดค่าตัวแปรให้กับเจนเนติกอัลกอริธึม

ก. จำนวนรอบในการเรียนรู้สูงสุด (Iterations)

ข. จำนวนประชากรทั้งหมด (Population size): 250 จำนวนประชากรมากหรือน้อยมาผลต่อการเรียนรู้ของเจนเนติกอัลกอริธึม ถ้าจำนวนประชากรน้อยความหลากหลายของกลุ่มประชากรก็มีน้อย ถ้าจำนวนประชากรมากเกินไปการเรียนรู้ก็จะเป็นไปได้ช้า ผลการทดลองจำนวนประชากรไม่ควรต่ำว่า 200 และไม่ควรสูงกว่า 500 ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ 250

ค. ความยาวของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ (Length of decision variable): 11 บิต ดังนั้นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจจึงมีจำนวน $2^n = 2^{11} = 2,048$ ระดับ เมื่อ n คือความยาวของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ

ง. ความยาวของโครโมโซม (Chromosome length): 88,473 (8,043x 11) บิท

- W_1 = 2,628 (36 x 73) : Input node x Hidden Node
- b_1 = 73 : Bias Layer 1
- W_2 = 511 (73 x 7) : Hidden node x Output Node
- b_2 = 7 : Bias Layer 2

จ. อัตราการครอสโอเวอร์ (Crossover rate): 0.9

ฉ. อัตราการกลายพันธ์ (Mutation rate) : 0.095

ช. ช่วงในการตัดสินใจ (Range of decision variables): -2 ถึง 2

5.4.1.2 การสร้างประชากรโครโมโซมเริ่ม เกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมต้นกำหนดจากการสุ่มค่าแต่ละบิทของแต่ละโครโมโซม

Initial population = Random (0,1)

5.4.1.3 คำนวณฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

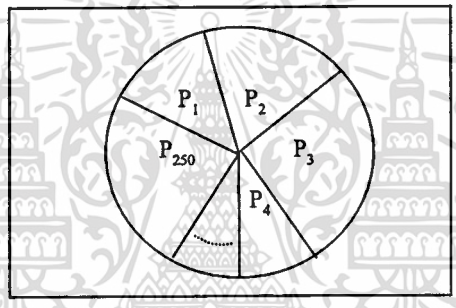
ฟังก์ชันความเหมาะสมในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ค่ารวมของความผิดพลาดกำลังสอง (Squared errors: $(t-y)^2$) เป็นตัววัดค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่จะมีชีวิตรอดตามสมการ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Fitness function} = \text{Squared errors} = (t-y)^2 \quad (5.2)$$

เมื่อ t คือเป้าหมายที่ต้องการ (Target) และ
y คือ เอาท์พุทที่ได้จากนิวรอลเน็ตเวิร์ค

5.4.1.4 คำนวณผลรวมของฟังก์ชันความเหมาะสมและคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบ เป็นขบวนการผลิตโครโมโซมรุ่นต่อไปโดยการคัดลอกโครโมโซมตามค่าความเหมาะสม (Fitness Value) โดยที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดจะมีโอกาสที่จะให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นต่อไปได้มากกว่าซึ่งการกระทำนี้ก็สอดคล้องตามหลักธรรมชาติ ในทางการปฏิบัติการที่จะทราบว่าดารจะคัดลอกโครโมโซมใดไปจำนวนเท่าใดนั้น ทำได้โดยการสร้างวงล้อล็อตเตอรี่ โดยแบ่งวงล้อออกเป็นสัดส่วนตามความน่าจะเป็นดังแสดงในรูป 5.16 และสมการที่ 5.3



รูปที่ 5.16 แสดงวงล้อล็อตเตอรี่

$$x = \frac{\text{Fitness function}}{\text{sum(Fitnes s function)}} \times 100\,\% \quad (5.3)$$

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม

Fitness function ของ $P_1 = 35$

$P_2 = 86$

$P_3 = 104$

$P_4 = 25$

ผลรวมของ Fitness function = 35 + 86 + 104 + 25 = 250

เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของ $P_1 = 14\,\%$

$P_2 = 34.4\,\%$

$P_3 = 41.6\,\%$

$P_4 = 10\,\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ X คือเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดเมื่อคิดจากทั้งหมด แสดงรูปที่ 5.16 จากรูป 5.16 เป็นตัวอย่างการสร้างวงล้อล็อตเตอรี่ที่เกิดจากโครโมโซม 250 ตัว ซึ่งมีความน่าจะเป็นในการให้กำเนิดลูกในรุ่นต่อไปเท่ากับ P_1-P_{250} ในการผลิตโครโมโซมรุ่นต่อไปนั้นทำได้โดยการหมุนวงล้อล็อตเตอรี่ โครโมโซมที่ได้รับคัดเลือกก็จะถูกคัดลอกออกไปเก็บไว้ใน mating spool

5.4.1.5 การแลกเปลี่ยนยีนและ มูเตชันโครโมโซมต้นแบบ (Crossover and Mutation)

ก. การแลกเปลี่ยนยีน เป็นขบวนการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซม 2 ตัว เพื่อให้ได้มาซึ่งโครโมโซมใหม่ซึ่งมีคุณลักษระแตกต่างไปจากโครโมโซมของพ่อแม่ทั้งสอง ในการทำงานการแลกเปลี่ยนนั้นจะประกอบไปด้วย สองขั้นตอนคือ จัดคู่ของโครโมโซมที่จะทำการแลกเปลี่ยนโดยการสุ่ม Mating spool และการเลือกตำแหน่งที่จะทำการแลกเปลี่ยนโดยวิธีการสุ่มระหว่าง 1 ถึง ความยาวโครโมโซม-1

ข. การมูเตชัน หรือการเปลี่ยนแปลงค่า ถึงแม้ว่าในการทำงานการผลิตโครโมโซมรุ่นต่อไปและการข้ามฟากนั้นจะมีแนวโน้มว่าจะได้โครโมโซมรุ่นต่อไปที่มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น แต่ในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้อาจทำให้แนวโน้มที่ดีขึ้นสูญเสียไป จึงต้องมีการสลับตำแหน่งหรือเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อป้องกันการสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นได้

5.5.1 ขั้นตอนการเรียนรู้โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค

การเรียนรู้ของโครงข่ายนิวรอลจะได้ผลลัพธ์ดีที่สุดส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าตัวแปรให้กับโครงข่ายนิวรอล วิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งได้จากการทดลองดังนี้

5.5.1.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์ค

ก. อินพุทโหนดมีทั้งหมด 36 โหนด จำนวน 71 ตัวอักษร ข้อมูลอินพุทได้จากการหาลักษณะเด่นของตัวอักษรโดยใช้รหัสลูกโซ่ตามหัวข้อ 2.64 ใช้ฟร้อน AngsanaUPC ขนาด 18 พอยท์

ข. เอาท์พุทโหนดมีทั้งหมด 7 โหนด ซึ่งแทนการตัดสินใจอักษรแต่ได้ทั้งหมด 128 ตัวอักษร

ค. จำนวนรอบสูงสุดที่กำหนด 200,000 รอบ

ง. ฟังก์ชันกระตุ้นใช้ Logsig = $f(x) = 1/(1+\exp^{(-x)})$

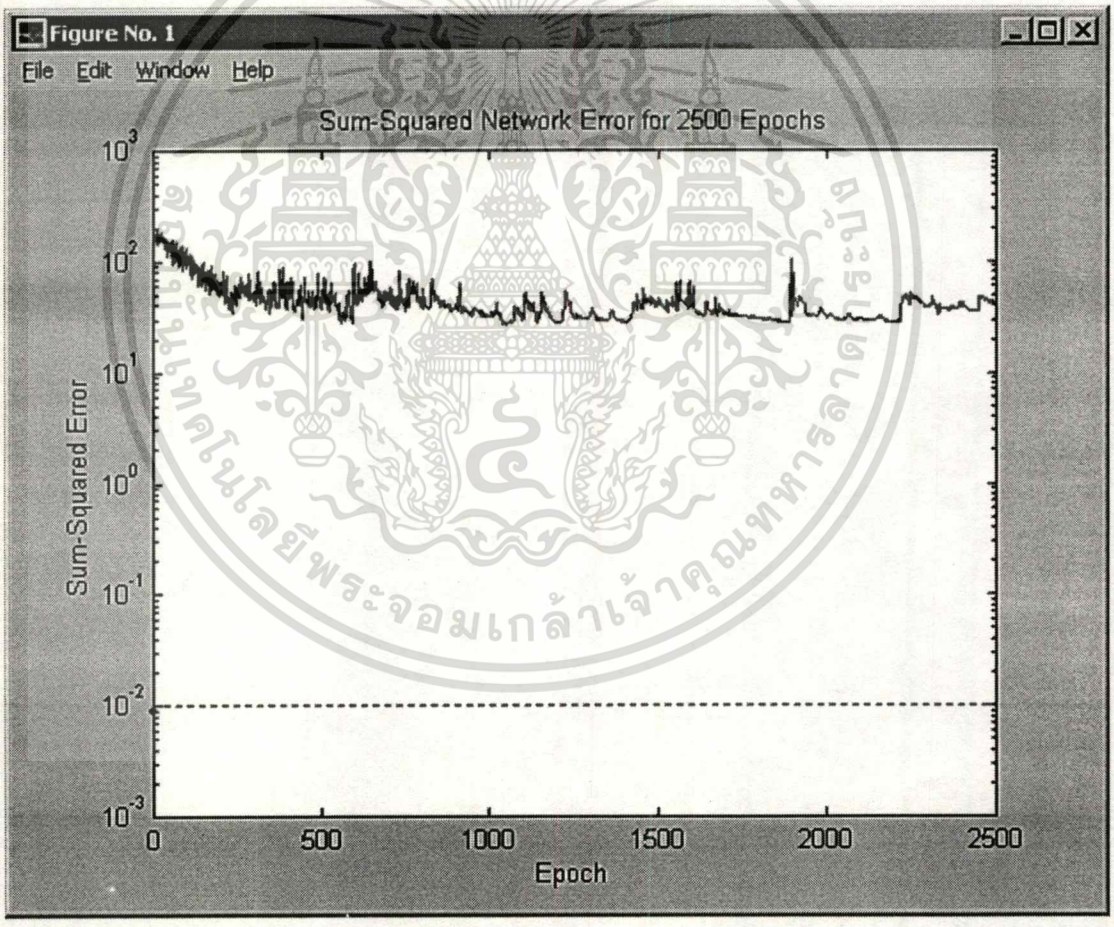
จ. ค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นเริ่มได้จากเจนเนติกอัลกอริธึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ. อัตราการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Learning rate) = 0.05 ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นในตาราง 5.6

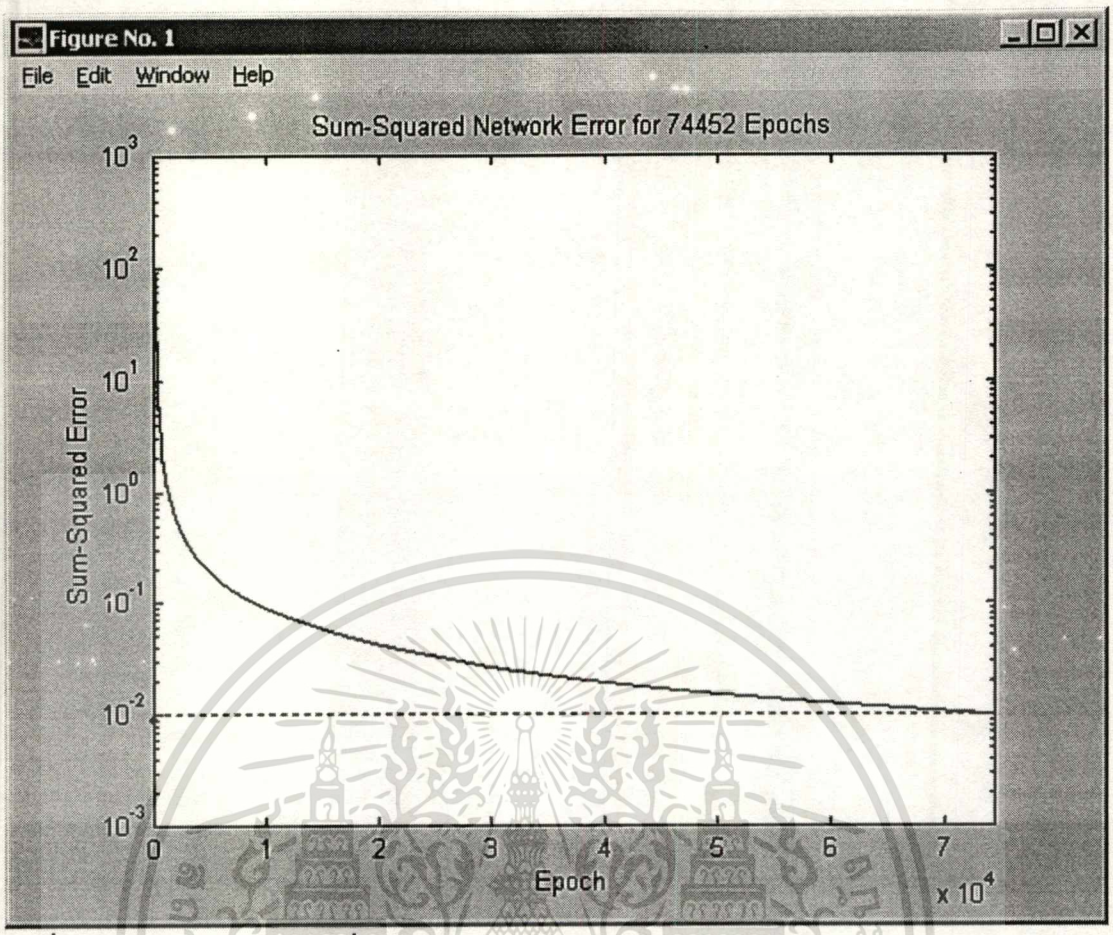
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองหาอัตราการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

อัตราการเรียนรู้จำนวน	รอบที่ใช้ในการเรียนรู้	Sum Squared errors (SSE)
0.2	100,000	ไม่สามารถเรียนรู้
0.05*	74,452	> 0.01
0.02	100,000	0.011489
0.01	100,000	0.002332



รูปที่ 5.17 แสดงผลการเรียนรู้เมื่อกำหนดอัตราการเรียนรู้ 0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงผลการเรียนรู้เมื่อกำหนดอัตราการเรียนรู้ 0.05

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้มีส่วนสำคัญในการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์ค การกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ที่สูงอาจทำให้ค่าความผิดพลาดมากขึ้น และถ้ากำหนดอัตราการเรียนรู้ต่ำจะทำให้การเรียนรู้เป็นไปได้ช้า

ช. จำนวนฮิดเดนโหนดได้จากการทดลอง ฮิดเดนโหนด (Hidden node) เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของโครงข่ายนิวรอล ซึ่งโครงข่ายจะเรียนรู้ได้ดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดฮิดเดนโหนดซึ่งการหาฮิดเดนโหนดนั้นยังไม่มีสมการมาใช้เป็นตัวคำนวณหาฮิดเดนโหนด แต่ว่ามีการอ้างผลงานวิจัยที่ได้ทำการยอมรับโดย Komogorove ในปี 1957 [21] และ popularized โดย [21] ซึ่งใช้กับโครงข่ายนิวรอล 3 ชั้น ตามสมการ 5.4

$$\text{Hidden node} = 2d+1 \tag{5.4}$$

d = จำนวน Input Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณฮิดเดนโหนดในวิทยานิพธ์ กำหนด Input = 36 โหนด

Hidden node = (2*36)+1 = 73 โหนด

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาฮิดเดนโหนดเพื่อให้เหมาะสมกับโครงข่ายนิวรอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผลการทดลองเป็นไปตามตาราง 5.8

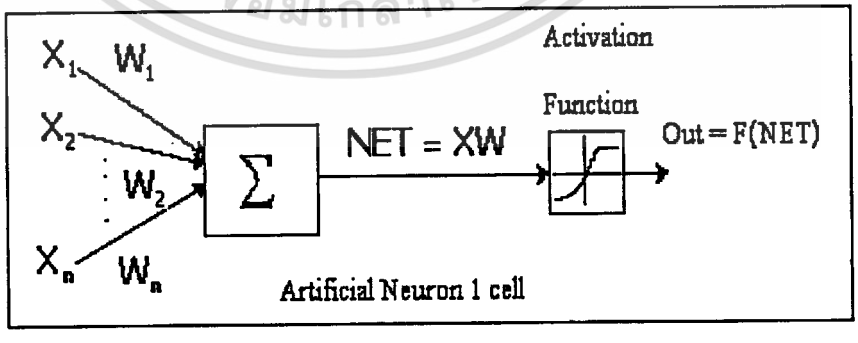
ตารางที่ 5.7 แสดงผลการเรียนรู้นิวรอลเน็ตเวิร์คกับจำนวนฮิดเดนโหนด

ลำดับ	จำนวน Hidden Node	จำนวนรอบในการเรียนรู้ (Epochs)	Sum square error (SSE)
1	150	71,291	0.0099
2	100	85,189	0.0099
3*	73	74,452	0.0099
4	50	200,000*	1.0047

* Sum square error (SSE) > 0.01

จากผลการทดลองฮิดเดนโหนดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 73 ถึง 150 โหนด ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ตามสมการที่ 5.4 ซึ่งฮิดเดนโหนดที่คำนวณได้ตามสมการเท่ากับ 73 โหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกใช้ฮิดเดนโหนด 73 โหนด เพราะมีจำนวนโหนดไม่มาก ไม่น้อย และจำนวนรอบในการเรียนรู้ใกล้เคียงกันซึ่งเป็นไปตามสมการ

5.5.1.2 ขั้นตอนการคำนวณค่าเอาท์พุทของแต่ละโหนดของนิวรอลเน็ตเวิร์ค แสดงในรูปที่ 5.19 และสมการที่ 5.5



รูปที่ 5.19 แสดงการคำนวณค่าเอาท์พุทแต่ละโหนดของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Output} = f(W_1X_1 + W_2X_2 + \ldots + W_nX_n + b) \quad (5.5)$$

เมื่อ W_n คือค่าถ่วงน้ำหนักกลางของแต่ละโหนด

X_n คืออินพุทแต่ละโหนด

b คือค่าไบอัส (Bias)

ตัวอย่างการคำนวณค่าเอาท์พุทแต่ละโหนดของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

Input: $X_1 = 6, X_2 = 14, X_3 = 13, X_4 = 12;$

Weight: $W_1 = 0.0196, W_2 = -0.5193, W_3 = -0.0315, W_4 = 0.3001;$

Bias: $b_1 = 0.2374$

$$\text{Net} = \sum_{i=1}^{4} W_i X_i + b_1 = (W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + W_4X_4) + b_1$$

$$\text{Net} = ((0.\ 0196*6) + (-0.5193*14) + (-0.0315*13) + (0.3001*12)) + 0.2374$$

$$\text{Net} = -3.9609$$

$$\text{Output } f(\text{Net}) = \frac{1}{1+\exp^{-(Net)}} = \frac{1}{1+\exp^{-(-3.9609)}} = 0.0187$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0040	0.0157	-0.0082	-0.0147	0.0194	0.0363	-0.0114	-0.0030	0.0256	-0.0085
0.0135	0.0009	-0.0060	-0.0012	0.0137	-0.0002	-0.0192	-0.0030	0.0093	0.0136
0.0198	0.0094	0.0123	0.0049	0.0242	-0.0079	-0.0121	0.0177	-0.0025	-0.0224
0.0244	-0.0227	0.0109	-0.0103	-0.0057	0.0119	-0.0035	0.0158	0.0090	-0.0207
-0.0261	-0.0214	0.0123	-0.0002	-0.0126	-0.0143	-0.0214	0.0322	0.0269	0.0049
0.0249	0.0026	-0.0075	0.0160	0.0023	0.0119	0.0068	-0.0013	0.0046	0.0040
0.0196	0.0300	-0.0017	0.0075	-0.0017	-0.0018	0.0136	0.0125	-0.0164	-0.0234
-0.0033	-0.0211	-0.0138	0.0059	-0.0236	0.0105	-0.0100	-0.0111	-0.0219	-0.0039
0.0208	-0.0138	0.0001	-0.0124	-0.0091	-0.0184	-0.0166	0.0170	-0.0134	-0.0249
0.0016	-0.0098	0.0193	-0.0088	0.0251	-0.0247	-0.0068	0.0164	-0.0070	-0.0178
0.0135	0.0287	0.0180	-0.0196	0.0216	0.0054	-0.0243	-0.0231	0.0119	-0.0001
0.0126	0.0074	-0.0062	0.0204	-0.0012	-0.0007	-0.0084	-0.0252	-0.0160	-0.0115
-0.0143	0.0030	-0.0277	-0.0267	-0.0415	0.0054	0.0075	0.0225	-0.0177	-0.0278
-0.0132	-0.0304	-0.0015	-0.0057	0.0050	-0.0190	-0.0065	0.0179	0.0275	0.0000
0.0138	-0.0127	-0.0085	-0.0193	0.0165	0.0274	-0.0026	0.0073	-0.0077	-0.0083
-0.0121	-0.0007	-0.0461	0.0262	0.0043	0.0190	-0.0048	0.0089	-0.0082	-0.0198
-0.0260	-0.0028	0.0185	-0.0199	0.0357	-0.0058	0.0020	-0.0269	-0.0034	0.0069
-0.0144	-0.0258	0.0178	0.0361	-0.0134	0.0063	0.0234	0.0007	-0.0324	0.0146
0.0035	0.0036	-0.0079	-0.0269	-0.0228	0.0325	0.0133	0.0128	-0.0204	0.0087
0.0214	0.0128	0.0266	-0.0021	-0.0348	0.0155	-0.0150	0.0173	0.0259	-0.0022
-0.0014	0.0120	0.0025	-0.0042	0.0283	0.0153	0.0199	0.0103	-0.0285	0.0010
-0.0109	-0.0218	-0.0033	-0.0272	0.0030	0.0068	0.0030	0.0027	-0.0096	-0.0101
-0.0190	-0.0246	-0.0240	-0.0076	0.0055	0.0029	0.0102	0.0132	0.0031	0.0185
-0.0117	0.0067	-0.0267	0.0160	-0.0237	-0.0178	-0.0298	-0.0123	0.0044	-0.0244
0.0035	-0.0104	0.0249	-0.0117	-0.0085	0.0066	-0.0011	0.0167	-0.0299	0.0221
-0.0390	0.0005	0.0081	0.0134	0.0213	-0.0081	-0.0070	-0.0136	-0.0215	0.0160
0.0070	-0.0094	-0.0044	0.0246	0.0263	0.0044	-0.0108	0.0199	0.0176	0.0281
0.0133	-0.0234	0.0161	0.0115	-0.0117	-0.0117	0.0053	-0.0265	0.0106	0.0047
0.0003	-0.0141	-0.0075	0.0213	-0.0055	0.0326	0.0197	-0.0161	0.0179	-0.0142

รูปที่ 5.20 แสดงตัวอย่างของค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้น(w_i)ของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่หาโดยเจนเนติกอัลกอริธึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0002	-0.0012	-0.0001	0.0000	-0.0009	0.0001	-0.0010	0.0009	0.0004	0.0003
0.0001	-0.0005	-0.0011	-0.0011	0.0006	0.0012	0.0011	-0.0012	-0.0009	0.0003
0.0012	-0.0008	0.0011	0.0002	0.0010	-0.0010	0.0011	-0.0007	0.0005	-0.0001
0.0004	0.0010	0.0009	0.0001	-0.0005	-0.0005	-0.0010	-0.0002	0.0004	-0.0002
0.0005	0.0003	0.0001	0.0007	0.0005	-0.0004	-0.0005	-0.0009	0.0011	-0.0011
-0.0004	0.0011	0.0006	-0.0001	-0.0002	-0.0005	-0.0005	-0.0010	-0.0011	0.0011
0.0001	-0.0007	-0.0009	-0.0012	0.0011	-0.0002	0.0007	0.0008	-0.0010	-0.0012
0.0008	-0.0005	-0.0009	-0.0004	0.0008	-0.0004	0.0002	-0.0005	0.0012	-0.0011
-0.0008	-0.0006	0.0010	0.0010	-0.0002	-0.0003	-0.0013	0.0003	-0.0010	-0.0013
0.0002	0.0008	0.0005	0.0005	-0.0012	-0.0002	0.0004	-0.0003	0.0001	0.0007
-0.0002	-0.0011	-0.0001	-0.0005	-0.0002	0.0004	-0.0003	0.0003	-0.0011	-0.0009
-0.0008	0.0006	0.0003	-0.0009	-0.0008	-0.0011	0.0007	0.0003	0.0011	-0.0010
0.0007	-0.0011	0.0007	0.0009	-0.0007	-0.0005	0.0008	-0.0011	0.0007	-0.0011
-0.0007	-0.0008	-0.0006	0.0011	-0.0008	-0.0006	0.0010	-0.0004	0.0001	-0.0010
-0.0004	0.0006	0.0005	0.0001	0.0009	-0.0001	-0.0006	-0.0012	0.0007	0.0012
0.0001	0.0009	-0.0005	0.0001	-0.0009	0.0008	0.0006	-0.0010	-0.0001	-0.0008
-0.0003	-0.0010	0.0009	0.0002	-0.0001	-0.0007	0.0007	0.0006	-0.0008	-0.0007
-0.0004	0.0007	0.0013	-0.0008	-0.0005	0.0000	0.0013	0.0009	0.0004	0.0000
0.0008	-0.0009	-0.0001	0.0000	-0.0005	0.0012	-0.0003	0.0003	-0.0006	0.0009
-0.0005	-0.0002	-0.0003	-0.0012	-0.0005	0.0001	0.0011	-0.0002	-0.0004	-0.0002
-0.0006	0.0007	0.0009	-0.0009	-0.0012	-0.0003	0.0011	0.0009	-0.0006	0.0004
-0.0001	-0.0008	-0.0008	0.0012	-0.0010	0.0010	-0.0009	0.0013	0.0000	0.0004
0.0004	0.0005	0.0009	0.0008	-0.0010	0.0011	-0.0004	0.0013	-0.0002	0.0005
0.0005	-0.0009	-0.0001	-0.0009	-0.0008	-0.0010	-0.0008	-0.0009	-0.0010	0.0005
-0.0009	-0.0002	0.0011	0.0008	-0.0009	0.0002	-0.0002	0.0004	0.0006	-0.0007
0.0007	0.0013	-0.0009	-0.0004	0.0004	0.0006	-0.0005	0.0003	-0.0004	0.0000
-0.0009	0.0002	-0.0004	0.0005	-0.0009	-0.0004	0.0012	0.0001	-0.0005	-0.0004
-0.0007	0.0006	-0.0005	0.0007	-0.0013	-0.0010	0.0001	0.0013	-0.0001	-0.0011
0.0008	0.0002	0.0003	-0.0005	0.0012	-0.0010	-0.0004	0.0000	-0.0010	0.0009

รูปที่ 5.21 แสดงตัวอย่างของค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้น(W_2)ของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่หาโดยเจนเนติกอัลกอริธึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 หลักการทั่วไปของการทดลอง

หลักเกณฑ์ในการทดสอบมีผลอย่างมากต่อผลการทดลอง เช่น หลักเกณฑ์คัดเลือกข้อมูลออกมาเป็นกลุ่มทดสอบและกลุ่มสำหรับให้ระบบเรียนรู้ เมื่อนำมาป้อนให้ระบบทำงาน ปรากฏว่าในการทดลองนั้นไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากตัวอักษรที่นำมาเรียนรู้นั้นมีผลกับระบบการรู้จำ แบบตัวอักษรที่แตกต่างกัน ขนาดที่ต่างกัน เป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้ระบบการรู้จำมีประสิทธิภาพมากแค่ไหน หรือนำตัวอย่างที่ไม่ดีไปสอนให้ระบบเรียนรู้ใหม่ทำให้ระบบสามารถรู้จำรูปแบบนั้นได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเลือกข้อมูลที่จะใช้ในการสอนเพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูล ซึ่งผู้ทดลองอาจอ้างได้ว่าที่ทำเช่นนี้มีหลักการว่าระบบตอนแรกมีจำนวนตัวอย่างที่ไม่ครอบคลุมทุกกรณีหรือใช้จำนวนข้อมูลน้อยไป ดังนั้นจึงมีการแก้ไขฐานข้อมูลของคุณสมบัติของตัวอักษรเพื่อให้มีคุณภาพของระบบดีขึ้น ทำให้เป็นเรื่องที่หาข้อยุติค่อนข้างลำบากว่าการพัฒนาระบบทดสอบป้อนข้อมูลใหม่เช่นนี้ควรมีหลักเกณฑ์อย่างใด หรือรวมทั้งเรื่องของความยากง่ายของอินพุทด้วย เช่น มีการป้อนรูปอักษรที่มีความคลุมเคลือเพื่อทดสอบระบบขณะที่ถ้าให้นำอินพุทนั้นมาให้มนุษย์อ่านเองก็ยังอาจเกิดความไม่แน่ใจหรืออาจอ่านผิดได้

6.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

เนื่องจากว่ารูปแบบของการพิมพ์และรูปร่างของตัวอักษรไทย ที่ปรากฏในสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ มีปัญหาหลายอย่างขึ้นอยู่กับสภาพและวิธีการต่าง ๆ เป็นอันมากเพื่อให้สามารถวิเคราะห์การแยกแยะอักษรไทยได้ จะต้องจำกัดสภาพแวดล้อมเพื่อให้ปัญหานั้นแคบลงและสามารถทดสอบได้ในทางปฏิบัติ และเนื่องจากความถูกต้องในการรู้จำเกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดตัวอักษรออกมาทีละตัวจากหน้ากระดาษอย่างมาก ถ้าตัดอักษรออกมาผิด ๆ กระบวนการรู้จำก็จะทำงานผิดพลาดไปอย่างแน่นอน ในปัจจุบันยังไม่มีการวิจัยด้านการตัดตัวอักษรไทยที่ทำได้สมบูรณ์ ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพของวิธีการรู้จำตามหลักเกณฑ์ที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้จึงมีการตรวจสอบให้แน่ใจว่าอินพุทที่ใช้เป็นอินพุทที่มีการตัดตัวอักษรอย่างถูกต้อง ผลการทดลองที่ได้จึงไม่คำนึงถึงกรณีที่มีความผิดพลาดจากกระบวนการตัดอักษร

ในการปฏิบัติจริงมีการเขียนโปรแกรมตัดตัวอักษรโดยการแสกนในทางแนวนอนและแนวตั้งแล้วตัดตัวอักษรออกมาโดยวิธีวนตามขอบตัวอักษร แล้วตรวจสอบด้วยสายตาถ้ายังมีความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำการแก้ไขโดยโปรแกรมตัดแต่งภาพ เพื่อแยกอักษรที่ติดกันหรือเส้นอักษรขาดจากกันอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ผิดพลาดน้อยที่สุด

6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของการอ่านตัวอักษรตัวพิมพ์

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความถูกต้องของการอ่านอักษรตัวพิมพ์ ในแง่ของการใช้งานทั่วไปมีดังนี้

6.3.1 ความละเอียดของภาพตัวอักษร

ภาพตัวอักษรที่อ่านเข้ามาส่วนใหญ่ใช้ข้อมูลแบบไบนารีและพิจารณาความละเอียดเป็นจำนวนจุดในแนวนอนคูณจำนวนจุดในแนวตั้ง ถ้ายังมีจำนวนจุดมากความถูกต้องก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นรูปตัวอักษรขนาด 100 x 100 สามารถอ่านได้ง่ายกว่าขนาด 8 x 8 ปัจจัยตัวนี้ขึ้นอยู่กับสิ่งอื่น ๆ อีก เช่น ขนาดจริงของตัวอักษร เพราะถ้าตัวอักษรยิ่งมีขนาดใหญ่ภาพที่อ่านได้ยิ่งมีรายละเอียดมาก หรือความละเอียดของเซนเซอร์อ่านความเข้มแสงยิ่งมากยิ่งมีรายละเอียดมาก เช่นกัน

มีข้อควรสังเกตว่าถ้าข้อมูลอักษรเดิมมีความละเอียดน้อยการขยายรูปภาพให้ใหญ่ขึ้นจะไม่ได้รายละเอียดมาก การย่อรูปตัวอักษรลงมาจะลดสัญญาณรบกวนและคุณลักษณะที่สำคัญของตัวอักษรก็ยังคงอยู่ด้วย

6.3.2 สื่อการพิมพ์

สื่อในการพิมพ์อักษรยังมีองค์ประกอบย่อยหลายอย่าง เช่น หมึกที่ใช้พิมพ์ สีของหมึกพิมพ์ กรรมวิธีในการพิมพ์ สีของกระดาษพิมพ์ ความละเอียดของเนื้อกระดาษเป็นต้น ถ้าเป็นกระดาษอย่างดี สีพื้นเป็นสีขาว ไม่มีรอยขูดขีดฆ่า สะอาด ใช้วิธีการพิมพ์แบบออฟเซทหรือเครื่องพิมพ์เลเซอร์ ก็จะได้ข้อมูลมีคุณภาพดีมาก

6.3.3 สภาพแวดล้อมในการอ่านข้อมูลที่ดี

ระหว่างการอ่านข้อมูลด้วยเซนเซอร์หรือเครื่องมือแบบต่าง ๆ การกำหนดสภาพแวดล้อมที่ดีมีผลอย่างมากต่อคุณภาพข้อมูล เช่น ให้แสดงพอหรือไม่ ใช่วิธีการอย่างไรในการแปลงระดับความเข้มของแสดงให้เป็นรหัสไบนารี

6.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

กลุ่มข้อมูลต้นแบบเป็นกลุ่มข้อมูลของตัวอักษรภาษาไทยตัวพิมพ์ ได้มาจากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ HP LaserJet6P ความละเอียด 600 dpi โปรแกรมที่ใช้พิมพ์ชื่อ Microsoft word บนเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ฟอนต์ที่ใช้ AngsanaUPC, BrowalliaUPC, CordiaUPC, FreesiaUPC ขนาด 14, 16, 18, 22 พอยท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประมวลผลเป็นเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ใช้ซีพียู PII 300 เมกาเฮิรทซ์ หน่วยความจำ 384 MB เครื่องอ่านข้อมูลภาพเป็นเครื่องสแกนภาพรุ่น HP ScanJet 61000C ความละเอียดในการอ่าน 300 dpi ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน โปรแกรมที่ใช้ในการอ่านภาพคือ Microsoft Paint เครื่องอ่านข้อมูลภาพสามารถกำหนดตัวแปรที่มีผลกับการทดลองได้หลายอย่างดังนี้

ก. ชนิดของการอ่านภาพ Type: จากการทดลองเบื้องต้นใช้ Black and White Drawing เนื่องจากเป็นแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

ข. ระดับความเข้มของแสดงที่ใช้ในการอ่าน Brightness: เลือกค่า 120 เนื่องจากข้อมูลมีพื้นสีขาวและตัวอักษรเป็นสีดำ

ค. ความละเอียดในการอ่านข้อมูล ใช้ความละเอียดทางกายภาพสูงสุดคือ 300 จุดต่อนิ้วทั้งแนวนอน และแนวตั้ง

6.4 ขั้นตอนการทดลอง

6.4.1 พิมพ์ตัวอักษรฟอนต์ AnsanaUPC, BrowalliaUPC, CordiaUPC, FreesiaUPC ขนาด 14, 16, 18, 22 พอยท์

6.4.2 อ่านข้อมูล นำข้อมูลกระดาษแต่ละแผ่นมาอ่านด้วยเครื่องอ่านภาพ แผ่นละ 10 ครั้ง

6.4.3 นำข้อมูลต้นแบบฟอนต์ AnsanaUPC, BrowalliaUPC, CordiaUPC, FreesiaUPC ขนาด 18 พอยท์ไปหาลักษณะเฉพาะของตัวอักษรโดยใช้รหัสลูกโซ่ และนำไปเรียนรู้โดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค

6.4.4 นำข้อมูลทดสอบไปทดสอบ และวัดความถูกต้อง

ทั้งนี้ในการทดลองใช้กระดาษแต่ละแผ่น เป็นกระดาษสำหรับเครื่องถ่ายเอกสารขนาด 70 แกรม

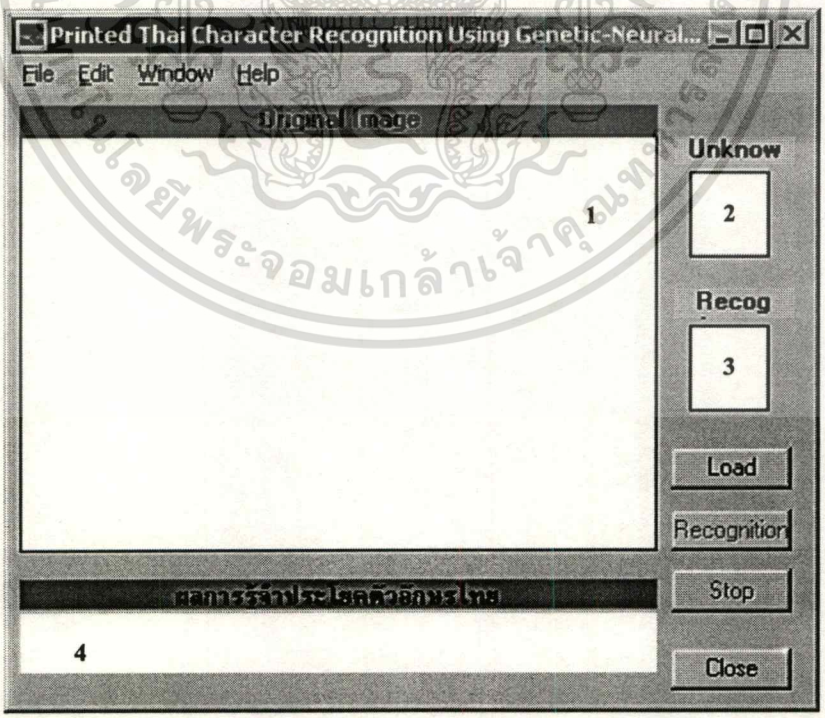
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

ก. Run program Mathlab 5.1 หลังจากนั้น Run เรียกโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค (GANN) แสดงในรูปที่ 6.1

รูปที่ 6.1 แสดงผลขั้นตอนการเรียกโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย (GANN)

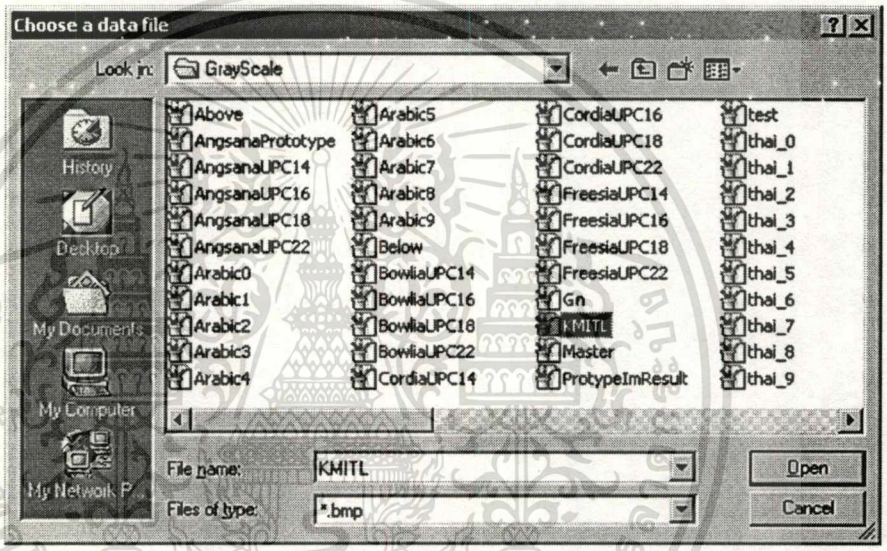


รูปที่ 6.2 แสดงรายละเอียดหน้าจอภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย (GANN)

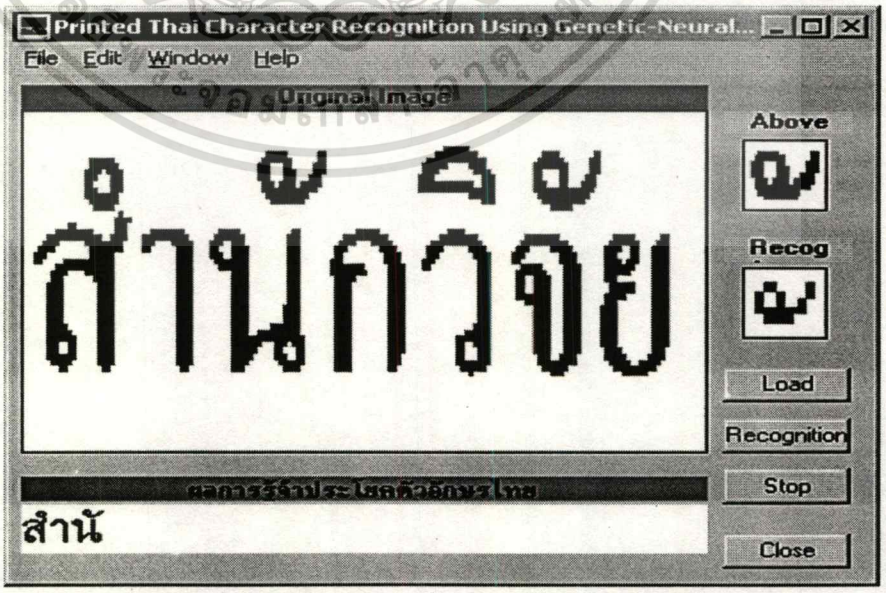
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ส่วนของโปรแกรม GANN จะประกอบด้วย

- พื้นที่ (1) แสดงผลภาพต้นแบบ
- พื้นที่ (2) แสดงผลการแยกตัวอักษรออกจากประโยคและภาพ
- พื้นที่ (3) แสดงผลการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย
- พื้นที่ (4) แสดงผลการรู้จำประโยคตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย
- ปุ่ม “Load” ดึงข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ใช้ในการรู้จำ
- ปุ่ม “Recognition” เริ่มต้นการรู้จำตัวอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทย
- ปุ่ม “Stop” ใช้เพื่อหยุดการทำงานชั่วคราว
- ปุ่ม “Exit” ออกจากโปรแกรม GANN



รูปที่ 6.3 แสดงผลการดึงข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ใช้ในการรู้จำ



รูปที่ 6.4 แสดงผลการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติกนิวรอลเน็ตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 ผลการทดลอง

6.6.1 ผลการทดลองการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นโดยเจนเนติกอัลกอริทึม เทียบกับการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นโดยการสุ่มค่า

ผลการทดลองการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยการสุ่ม เราไม่สามารถบอกได้ว่าค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นดีหรือไม่ในการสุ่มแต่ละครั้ง ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นนั้นมีผลต่อกระบวนการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คเป็นอย่างมากดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเอากระบวนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมซึ่งมีหลักการและประสิทธิภาพจากการคาดเดาคำตอบใหม่จากสถิติคำตอบเดิมที่ดี ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทั่วไปคือ

1. เจนเนติกอัลกอริทึม ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัส รูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆ ของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้น
2. เจนเนติกอัลกอริทึม ค้นหาคำตอบโดยพิจารณาจากประชากรคำตอบ หรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง
3. เจนเนติกอัลกอริทึม ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชั่นเป้าหมายของปัญหา
4. เจนเนติกอัลกอริทึม ค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้น ๆ

ผลการทดลองการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นโดยเจนเนติกอัลกอริทึมมีผลให้การเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คดีขึ้นตามการกำหนดจำนวนรอบในกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม เมื่อเทียบกับการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยการสุ่ม ซึ่งการสุ่มแต่ละครั้งให้ค่าเริ่มต้นถ่วงน้ำหนักนิวรอลเน็ตเวิร์คไม่เหมือนกันดังแสดงในตารางที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการลองการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นโดยเจนเนติกอัลกอริทึมเมื่อเทียบกับการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยการสุ่ม

การหาค่าเริ่มต้นค่าถ่วงน้ำหนักกลางโดยการสุ่ม	จำนวนรอบของการเรียนรู้เจนเนติกอัลกอริทึม (รอบ)	จำนวนรอบที่ใช้ในการเรียนรู้		
		NNBP*		GANN*
		เรียนรู้ได้	เรียนรู้ไม่ได้	
ครั้งที่ 1 - 5	25,000	2	3	56,287
ครั้งที่ 6 - 10	125,000	1	4	34,589
ครั้งที่ 11 -15	250,000	0	5	29,542
ครั้งที่ 16 - 20	1,250,000	2	3	27,542
	รวม	5	15	

เฉลี่ยจำนวนรอบที่นิวรอลเน็ตเวิร์คสามารถเรียนรู้ได้ 73,550 รอบ

* NNBP is Training by Neural network Backpropagation กำหนดจำนวนรอบสูงสุด 100,000, GANN is Genetic-Neural network

** SSE is Sum square error > 0.01

ผลการทดลองแสดงให้เห็นในตารางที่ 6.1 จากตารางจะเห็นว่าเจนเนติกอัลกอริทึมสามารถหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นที่ดีที่สุดให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์คได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการกำหนดจำนวนรอบของเจนเนติกอัลกอริทึม ด้วย กรณีเรากำหนดจำนวนรอบการค้นหาคำตอบไว้สูง ก็จะได้คำตอบของค่าถ่วงน้ำหนักกลางของนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ดีขึ้นด้วย ที่สำคัญกาหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นโดยเจนเนติกอัลกอริทึม มีความถูกต้อง 100% ไม่ล้มเหลว และลดจำนวนรอบในการเรียนรู้ได้คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 49.7 % แต่ไม่ได้คิดนับรวมกับจำนวนรอบของกระบวนการค้นหาโดยเจนเนติกอัลกอริทึม

6.6.2 ผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คเทียบกับการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึม

ผลการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค กับการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึม จากผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คมีความสามารถในการรู้จำดีกว่าและเวลาในการรู้จำเร็วกว่า การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึม ประเดนที่หนึ่ง การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คไม่ได้เก็บข้อมูลในรูปฐานข้อมูล แต่เก็บอยู่ในรูปค่าถ่วงน้ำหนักกลางแทน แต่การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึมต้องเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล ประเดนที่สอง การรู้จำตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คมีความสามารถในการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยสูงกว่า เพราะว่าการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คใช้คุณสมบัติเฉพาะของตัวอักษรมากกว่า ดังนั้นการรูจำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึมจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการแยกตัวอักษรเป็นกลุ่มย่อยๆ มากกว่าจะใช้ในการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยตรง

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค กับการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึม

เวลาที่ใช้ในการรู้จำ (ต่อหนึ่งตัวอักษรต่อวินาที)		เปอร์เซ็นต์การรู้จำ Fuzzy-Genetic	เปอร์เซ็นต์การรู้จำ Genetic-Neural Networks
Fuzzy-Genetic	Genetic-Neural networks		
1.27	0.44	65%	92%

จากตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คเปรียบกับการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึม กระทำโดยวัดประสิทธิภาพด้านความเร็วและเปอร์เซ็นต์การรู้จำ ทดสอบโดยใช้ตัวอักษรฟอนต์ AngsanaUPC, BowaliaUPC, CordiaUPC, FreesiaUPC ขนาด 14, 16, 18 และ 22 พอยท์ ขนาดละ 710 ตัว รวมทั้งหมด 2,840 ตัวอักษร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.2 จากแสดงให้เห็นว่า ผลการรู้จำโดยวิธีเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คดีกว่าอย่างมากถึง 92% เมื่อเทียบกับวิธี ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งถูกต้องเพียง 65%

6.6.3 ผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเรียนรู้โดยใช้ฟอนต์ AngsanaUPC ขนาด 18 พอยท์ และการเรียนรู้โดยใช้ฟอนต์ทุกฟอนต์ ขนาด 18 พอยท์

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ฟอนต์ AngsanaUPC

อักษร	AngsanaUPC		BrowalliaUPC		CordiaUPC		FreesiaUPC		อักษรที่ผิดมากสุด
	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด	
ก	36	4	36	4	40	-	40	-	ค
ข	32	8	36	4	32	8	30	10	ธ
ค	37	3	38	2	37	3	39	1	ก,ด
ฆ	40	-	35	5	39	1	40	-	ข,ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

อักษร	AngsanaUPC		BrowalliaUPC		CordiaUPC		FreesiaUPC		อักษรที่ผิดมากสุด
ง	40	-	30	10	39	1	30	10	ข
จ	40	-	40	-	32	8	37	3	ค
ฉ	39	1	20	20	19	21	37	3	ฉ, ค
ช	31	9	19	21	20	20	36	4	ซ, ธ,ฆ
ซ	40	-	36	4	39	1	24	16	ธ, ต
ฌ	40	-	37	3	40	-	34	6	ฎ
ญ	34	6	28	12	28	12	14	26	ณ
ฎ	29	19	9	31	6	34	11	29	ฏ
ฏ	37	3	40	-	35	5	35	5	ฎ
ฑ	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ฒ	38	2	39	1	40	-	40	-	ฌ
ค	30	10	25	15	25	15	33		ค, ต
ต	40	-	32	8	39	1	40	-	ด
ถ	39	1	38	2	36	4	31	9	ฤ
ท	40	-	40	-	39	1	39	1	ฆ
ธ	40	-	35	15	27	13	35	5	ฮ, ซ, จ
น	40	-	35	5	36	4	23	17	ท, ณ
ป	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ผ	40	-	40	-	36	4	37	3	ซ
ฝ	40	-	32	8	39	1	36	4	ป
ภ	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ม	40	-	38	2	33	7	38	2	ฆ, ฌ
ย	39	1	40	-	40	-	40	-	ผ
ร	40	-	35	5	22	18	30	10	จ
ล	40	-	36	4	23	27	22	18	ส, ต
ว	40	-	39	1	27	13	40	-	ฤ
ศ	39	1	38	2	28	21	39	1	ต, ค
ษ	40	-	21	19	26	14	27	13	ฆ, อ
ส	40	-	40	-	37	3	27	23	ต
ห	40	-	32	8	28	22	22	28	พ, ซ, ศ
อ	33	7	35	5	39	1	32	8	จ, ฮ,
ฮ	38	2	39	1	39	1	40	-	ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงผลสรุปการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ฟอนต์ AngsanaUPC

ฟอนต์ตัวอักษร	เปอร์เซ็นต์การรู้จำถูก
AngsanaUPC	94.65 %
BrowalliaUPC	84.93 %
CordiaUPC	80.28 %
FreesiaUPC	78.61 %

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ทุกฟอนต์

อักษร	AngsanaUPC		BrowalliaUPC		CordiaUPC		FreesiaUPC		อักษรที่ผิดมากสุด
	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด	
ก	37	3	40	-	40	-	40	-	ค
ข	39	1	40	-	39	-	32	8	ษ
ค	40	-	48	2	39	1	20	20	ด
ฆ	40	-	40	-	36	4	32	8	ผ, พ
ง	40	-	40	-	40	-	40	-	-
จ	40	-	40	-	28	22	35	5	ฌ, ค
ช	39	1	40	-	32	8	35	5	ซ
ซ	26	14	38	2	20	20	28	12	ช, ฆ
ฌ	36	4	37	3	36	4	36	4	ญ, ณ, ฒ
ญ	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ฎ	22	18	26	14	29	11	39	1	ฏ
ฏ	28	12	21	19	28	12	37	3	ฎ
ฑ	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ฌ	25	15	39	1	35	5	40	-	ญ, ณ
ด	28	12	32	8	29	11	37	3	ค, ต
ต	39	1	28	12	27	13	21	19	ด
ถ	40	-	40	-	39	1	35	5	ฎ
ท	40	-	40	-	32	8	39	1	ฬ
ธ	40	-	39	-	18	22	15	25	ถ, ฮ
น	40	-	39	-	30	10	37	3	พ
ป	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ผ	40	-	40	-	35	5	24	16	ม, ษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

อักษร	AngsanaUPC		BrowalliaUPC		CordiaUPC		FreesiaUPC		อักษรที่ผิดมากสุด
ฝ	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ภ	40	-	40	-	40	-	40	-	-
ม	40	-	40	-	24	16	15	25	ฆ, ย, บ
ย	39	1	40	-	40	-	39	1	ษ
ร	40	-	40	-	24	16	26	14	ฮ, ถ
ล	21	19	39	1	27	13	25	15	ถ, ค
ว	38	2	40	-	40	-	37	3	ร
ศ	39	1	38	2	12	28	35	5	ค, ค
ษ	40	-	40	-	40	-	39	1	ฆ
ส	38	2	36	4	25	15	27	13	ล, ศ, ซ, ช, ฏ
ห	40	-	40	-	31	9	22	18	ฟ, ฆ, ส
อ	35	5	40	-	39	1	40	-	ฮ
ฮ	40	-	40	-	23	27	26	24	อ, ค

ตารางที่ 6.6 แสดงผลสรุปการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ทุกฟอนต์

ฟอนต์ตัวอักษร	เปอร์เซ็นต์การรู้จำถูก
AngsanaUPC	94.29 %
BrowalliaUPC	95.28 %
CordiaUPC	89.52 %
FreesiaUPC	88.35 %
เฉลี่ยรวม	92 %

จากตารางที่ 6.6 แสดงผลสรุปการทดสอบความถูกต้อง เมื่อเรียนรู้โดยใช้ทุกฟอนต์ คือ AngsanaUPC, BowaliaUPC, CordiaUPC, FreesiaUPC ขนาด 14, 16, 18 และ 22 พอยท์ เสร็จแล้ว นำมาทดสอบทีละฟอนต์ ในแต่ละฟอนต์มี 4 ขนาด ๆ ละ 710 ตัว รวมทั้งหมด 2,840 ตัวอักษร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.3 ถึง 6.4 การเรียนรู้โดยใช้ฟอนต์ AngsanaUPC อย่างเดียวมีผลกต่อการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย เนื่องจากรูปแบบตัวอักษรที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 6.5

รูปที่ 6.5 แสดงรูปแบบตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละ ฟอนต์

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การรู้จำตัวอักษรของฟอนต์ AngsanaUP จึงมีความถูกต้องมากที่สุดส่วนฟอนต์ Freesia ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องต่ำสุด เนื่องจากรูปแบบของตัวอักษรแตกต่างกันมากกับฟอนต์ AngsanaUPC อีกประเดนหนึ่ง ตัวอักษรบางกลุ่มมีความคลายคลึงกันมากทำให้ลักษณะเฉพาะของตัวอักษรมีความใกล้เคียงกัน เมื่อรวมกับรูปแบบตัวอักษรที่แตกต่างกันทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการรู้จำขึ้น

ตารางที่ 6.7 แสดงคุณสมบัติการนับรหัสลูกโซ่ในบริเวณต่าง ๆ ของอักษรที่คล้ายกัน

ตัวอย่างตัวอักษร	บริเวณ Z_1	บริเวณ Z_2	บริเวณ Z_3	บริเวณ Z_4	บริเวณ Z_5	บริเวณ Z_6	บริเวณ Z_7	บริเวณ Z_8	บริเวณ Z_9
ค	1,5 = 7	1,5 = 26	1,5 = 6	1,5 = 1	1,5 = 11	1,5 = 0	1,5 = 3	1,5 = 0	1,5 = 4
	2,6 = 1	2,6 = 5	2,6 = 11	2,6 = 8	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 2	2,6 = 0	2,6 = 0
	3,7 = 6	3,7 = 1	3,7 = 7	3,7 = 19	3,7 = 6	3,7 = 20	3,7 = 17	3,7 = 0	3,7 = 17
	4,8 = 12	4,8 = 3	4,8 = 1	4,8 = 4	4,8 = 5	4,8 = 0	4,8 = 2	4,8 = 0	4,8 = 0
ค	1,5 = 5	1,5 = 25	1,5 = 4	1,5 = 2	1,5 = 14	1,5 = 0	1,5 = 2	1,5 = 1	1,5 = 3
	2,6 = 2	2,6 = 3	2,6 = 13	2,6 = 12	2,6 = 5	2,6 = 0	2,6 = 1	2,6 = 0	2,6 = 1
	3,7 = 5	3,7 = 0	3,7 = 6	3,7 = 13	3,7 = 10	3,7 = 20	3,7 = 12	3,7 = 1	3,7 = 15
	4,8 = 13	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 5	4,8 = 12	4,8 = 0	4,8 = 1	4,8 = 2	4,8 = 1

ผลการทดลองขั้นต้น ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิ์ภาพในการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ทุกฟอนต์ขนาด 18 พอยท์ ในการเรียนรู้ซึ่งผลการทดลองพบว่าระบบสามารถรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยได้สูงขึ้น ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 6.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

นิวรอลเน็ตเวิร์คมีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมที่พยายามเลียนแบบการทำงานของเซลล์ในสมองมนุษย์ โดยใช้วิธีการประมวลผลกระจายแบบขนาด (Parallel Distributed Processing) ทฤษฎีของนิวรอลเน็ตเวิร์คในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้เฉพาะทฤษฎีของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ใช้การเรียนรู้แบ็คพร็อพพาเกชันในส่วนงานของการแยกประเภทตัวอักษร (Classification) เนื่องจากนิวรอลเน็ตเวิร์คแบ็คพร็อพพาเกชันมีคุณสมบัติเด่นในเรื่อง

1. คุณสมบัติทนต่อความผิดพร่อง (Fault tolerance) หมายถึง ระบบประมวลผลจะไม่หยุดทำงานกลางคัน แม้ว่าหน่วยประมวลผลบางหน่วยจะได้รับความเสียหายจนไม่อาจทำงานได้
2. คุณสมบัติ Generalization หมายถึง นิวรอลเน็ตเวิร์คจะยังคงให้ผลลัพธ์ที่สมเหตุสมผล แม้ว่าจะมีสัญญาณรบกวน หรือข้อมูลขาดความสมบูรณ์ หรือข้อมูลไม่เคยเห็นมาก่อนก็ตาม
3. คุณสมบัติ Adaptability หมายถึง นิวรอลเน็ตเวิร์คสามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นใหม่ได้เร็ว

แต่เนื่องจากปัญหาของนิวรอลเน็ตเวิร์คอยู่ที่ค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้น ซึ่งทำให้ระบบเรียนรู้ได้ดีจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ๆ เหล่านี้ ปรกติการหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นได้จากการสุ่ม กรณีที่การสุ่มได้ผลลัพธ์ที่ดีระบบก็จะเรียนรู้ได้เร็ว แต่ถ้าการสุ่มได้ผลลัพธ์ออกมาไม่ดีระบบจะเรียนรู้ได้ช้าหรือไม่ก็เรียนรู้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนดไว้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเอาแนวความคิดทฤษฎีของเจนเนติกอัลกอริธึมมาแก้ปัญหาการหาค่าน้ำหนักเริ่มต้นที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ

เจนเนติกอัลกอริธึม เป็นทฤษฎีที่เลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ซึ่งประยุกย์ใช้กับคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบของปัญหาในลักษณะการสุ่ม โดยอาศัยหลักการพิจารณาจากกลุ่มคำตอบที่สร้างขึ้นและปรับปรุงแก้ไขคำตอบให้ดีขึ้นด้วยกระบวนการทางพันธุ์-ศาสตร์ วิธีการที่จะประยุกต์ใช้ เจนเนติกอัลกอริธึมกับแต่ละปัญหา จะต้องปรับรูปแบบของปัญหาให้อยู่ในรูปแบบโครโมโซมที่เข้ากับกระบวนการต่างๆ ของเจนเนติกอัลกอริธึม ซึ่งจะเห็นได้จากตัวอย่างรูปแบบโครโมโซมของปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ลักษณะของโครโมโซมจะแตกต่างกันไปตามสภาพของปัญหา และโครโมโซมของปัญหาหนึ่งๆ สามารถนำเสนอได้ในหลายรูปแบบโครโมโซม ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับกระบวนการของตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของปัญหา

เอกสารนี้จัดเตรียมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น เพื่อความถูกต้องของการประมวลผลและปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทั่วไป คือ

1. เจนเนติกอัลกอริธึม ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัสรูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆ ของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้น
2. เจนเนติกอัลกอริธึม ค้นหาคำตอบโดยพิจารณาจากประชากรคำตอบ หรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง
3. เจนเนติกอัลกอริธึม ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชั่นเป้าหมายของปัญหา
4. เจนเนติกอัลกอริธึม ค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้น ๆ

การทดลองการรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค กระทำโดยการนำตัวอักษรมาหาขอบภาพ แล้วหาคุณลักษณะเฉพาะของตัวอักษรโดยการใช้รหัสลูกโซ่ ซึ่งค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันและมีความโดดเด่นในตัวอักษรแต่ละตัว จากนั้นนำเอาจำนวนของรหัสในพื้นที่ไปเรียนรู้โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค

การรู้จำตัวอักษรวิธีนี้สามารถรู้จำตัวอักษรได้แม้ภาพตัวอักษรจะมีสิ่งรบกวน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คนั้นขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นซึ่งปรกติจะหาได้โดยการสุ่ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จำนำเอากระบวนการของเจนเนติกอัลกอริธึมมาหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้น ซึ่งผลการทดลองพบว่าเจนเนติกอัลกอริธึมสามารถหาค่าถ่วงน้ำหนักกลางเริ่มต้นได้เหมาะสม และจะได้ผลดีขึ้นเมื่อมีการกำหนดจำนวนรอบการเรียนรู้ให้สูง ในการทดลองนี้พบว่าตัวอักษรภาษาไทยบางตัวมีความคล้ายคลึงกันมากและมีรายละเอียดที่แตกต่างกันเล็กน้อยจำเป็นต้องเน้นพิจารณาเป็นพิเศษในบริเวณนั้น ๆ ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องใช้เทคนิคพิเศษต่าง ๆ เข้าช่วยจึงจะสามารถแยกแยะได้

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลการทดลองการประมวลการใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คจะใช้เวลานานเนื่องจากการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบอนุกรม ซึ่งหากพิจารณาเปรียบเทียบในเรื่องของการใช้เวลาในการประมวลผลแล้ว เจนเนติกอัลกอริธึมจะให้ผลการทำงานที่ไม่ดีพอ ดังนั้นการที่จะประยุกต์ใช้งานเจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์คได้อย่างมาประสิทธิภาพแล้วควรปรับปรุงให้เป็นการประมวลผลแบบขนาน (Parallel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำหนดค่าจำนวนฮิดเดนโหนดน้อยเกินไป จะทำให้ความสามารถในการแยกแยะตัวอักษรให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจำนวนที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง Hidden node = 2d+1 ซึ่ง d คือ จำนวนอินพุทโหนด

3. ค่าผิดพลาดเฉลี่ยของระบบที่ยอมรับได้ ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับงานที่ประยุกต์ใช้ หากเป็นงานที่ต้องการความละเอียดสูง จะกำหนดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยให้มีค่าน้อย ๆ

4. ปัญหาของแบ็คพร็อพพาเกชันคือ ใช้เวลามากในการเรียนรู้เพื่อจดจำแพทเทิร์น และทุกครั้งที่มีการเพิ่มแพทเทิร์นตัวอักษรใหม่ จะต้องสอนนิวรอลเน็ตเวิร์คใหม่ทุกครั้ง แต่ในกรณีที่ผ่านการฝึกสอนแล้ว ค่าถ่วงน้ำหนักกลางที่ได้จากการฝึกสอนจะถูกเก็บไว้และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. C. Kimpan, A.Itoh, and K. Kawanishi, "Recogniton of printed Thai character using a matching method", IEE Proc., Vol. 130, Pt.E, No. 6, P. 183-188, Nov. 1983.
2. C. Kimpan, "Printed Thai character recognition using topological properties method", INT.J. Electronics, Vol. 60, No. 3, P. 303-329, 1986.
3. C. Kimpan, A.Itoh, and K. Kawanishi, "Fine classification of printed Thai character recognition using the Karhunen-Loeve expansion", Proc. IEE, Vol. 134, Pt.E., No. 5, P. 25764, Sept, 1987.
4. C. Kimpan. 1986. "Printed Thai Character Recognition Dissertation of Engineering", Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Chaokhurn Taharn Ladkrabang.
5. P. HIRANVANICHAKORN, T. AGUI, and M. NAKAJIMA, "Recognition Method of Thai Characters", The Transactions of the IECE of Japan, vol. E65, No. 12, December 1982. (ห 16)
6. P. HIRANVANICHAKORN, T. AGUI, and M. NAKAJIMA," A Recognition Method of Thai Characters by using local features", The transactions of the IECE of Japan, Vol. E67, No. 8, August 1984. (ห 16)
7. S. YOKOI, J. TORIWAKI, and T. FUKUMURA, "Topological properties in Digitized Binary Pictures", IECE, 56-D, No. 11, Japan. (หน้า 10)
8. L. Davis, Handbook of Genetic Algorithm, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
9. L. Davis, M. Steenstrup, Genetic Algorithms and Simulate Annealing : An Overview, Genetic Algorithm and Simulate Annealing, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., Los Altos, CA, 1987, pp. 1-11.
10. D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesly, MA, 1989.
11. T. PAVLIDIS, "Shape Description by Region Analysis," Structural Pattern Recognition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, P. 216-257, 1997. (หน้า 13)
12. O. RICHARD, DUDA and E. PETER HART, "Contour Following, "Pattern Classification and Scene Analysis", A Wiley-Interscience Publication,P. 290-293, 1973. (หน้า 13)
13. J. H. Hollan, Genetic Algorithms, Scientific American, P. 44-45, July 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ "การเตรียมข้อมูลสำหรับการจำแนกรูปแบบตัวอักษรภาษาไทย", บทความทางวิชาการ Seminar MI, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง กรุงเทพ, พฤศจิกายน 2529. (หน้า 13)

18. Z. Michaleuiez, Genetic Algorithms and Data Structures = Evolutionary Programs, Springer Verlag, Berlin, 1992.

19. พิศิษฎ์ โภคารัตน์กุล "การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีโปรเจ็กชั่นฟีเจอร์และฟัซซี่เทคนิค" การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 1 (NCSEC98) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 19-21 ตุลาคม 2541.

20. สกุล คำนวนชัย, 2542. "การรู้จำตัวอักษรคัดลายมือเขียนภาษาไทยประยุกต์ใช้การทรานสฟอร์มแบบคาร์ฮูเน็นเลิฟเข้ากับโครงข่ายฟัซซี่นิวรอล", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

21. R. Schalkoff, Pattern Recognition statistical, structural and Neural Approaches, P. 236-239.

22. ชาญชัย พิสิทธิวิทยานนท์, "การติดตามขอบวัตถุด้วยการใช้ตารางหน้าต่าง", บทความทางวิชาการ Seminar MI, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, พฤศจิกายน 2529. (หน้า 13)

23. R. M. Stin, Real Artificial Life, BYTE, , P. 289-298, January 1991.

24. H. Demuth and M. Beale, Neural Network TOOLBOX for use with MATHLAB, P. 5-1 – 5-9

25. P. Wayner, Genetic Algorithms, BYTE, P. 361-368, January 1991.

26. R. Ronald, A. Yager-Lofti, and A. Zadeh, Fuzzy sets Neural Networks, and Soft Computing, P. 345-367.

27. ไพศาล เหล่าสุวรรณ, พันธุศาสตร์, ไทยวัฒนาพานิช, 2535.

28. ธวัชชัย วิวัฒน์วรพันธ์ไม, พัฒพงษ์ กุลยานนท์, สมศักดิ์ ตันติพุกนนท์ และสุชาติ สรณสถาพร, พันธุกรรมรากฐานแห่งชีวิต, อักษรบัณฑิต, 2520.

29. กิติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ. กาญจนี วงศ์วิภาพร, "จีเนติก อัลกอริทึม", วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, ปีที่ 27 เล่มที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2538, หน้า 1-33.

30. Mohammad Jamshidi, Nader Vadiee and Timothy J. Ross, Fuzzy Logic and Control Software and HardwareApplications Volume2 179-291.

31. David E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search Optimization & Machine Learning, Addison Wesley, MA, 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. เศรษฐพล ลิ้นปราชญา "การรู้จำตัวอักษรอังกฤษแบบตัวพิมพ์โดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540.

33. คมสันต์ หงษ์สมบัติ "เจนเนติกอัลกอริธึมสำหรับช่วยออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

รหัสแอสกี้ของอักขระใน รหัส สมอ.

ตารางที่ ค.1 ตัวเลขอารบิค

รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ
48	0	49	1	50	2
51	3	52	4	53	5
54	6	55	7	56	8
57	9				

ตารางที่ ค.2 อักษรภาษาไทย

รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ
161	ก	162	ข	163	
164	ค	165		166	ฆ
167	ง	168	จ	169	ฉ
170	ช	171	ซ	172	ฌ
173	ญ	174	ฎ	175	ฏ
176	ฐ	177	ฑ	178	ฒ
179	ณ	180	ด	181	ต
182	ถ	183	ท	184	ธ
185	น	186	บ	187	ป
188	ผ	189	ผ	190	พ
191	ฟ	192	ภ	193	ม
194	ย	195	ร	196	ฤ
197	ล	198		199	ว
200	ศ	201	ษ	202	ส
203	ห	204	ฬ	205	อ
206	ฮ				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 อักขระพิเศษ

รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ
207	ฯ	208	ะ	209	ั
210	า	211	ำ	212	ิ
213	ี	214	ึ	215	ื
216	ุ	217	ู		
224	เ	225	แ	226	โ
227	ใ	228	ไ		
230	ๆ	231	็	232	่
233	้	234	๊	235	๋
236	์				

ตารางที่ ค.4 ตัวเลขไทย

รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ	รหัสแอสกี้	อักขระ
240	๐	241	๑	242	๒
243	๓	244	๔	245	๕
246	๖	247	๗	248	๘
249	๙				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ฟัซซี่เซต

จากตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค เปรียบเทียบกับการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริธึม ดังนั้นในภาคผนวก ข. ซึ่งได้อธิบายทฤษฎีฟัซซี่ และทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบตามตารางที่ 6.2

ความสัมพันธ์ของสมาชิกภายในกลุ่มแต่ละตัวกับคำจำกัดความของเซตนั้นจะถูกแสดงในลักษณะของระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ในช่วง [0,1] ซึ่งจะแสดงว่าสมาชิกตัวใดเป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกของเซตที่แสดงถึงเป็นฟัซซี่เซต นั้นอย่างเซตธรราดา (ซึ่งมีค่าเป็น {0,1} ถ้าเรากำหนดให้เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์และฟัซซี่เซต A มีสมาชิกของเซตเป็น X_1, X_2, X_3,...X_n โดยที่ X_i(i=1,2,3,...,n) เป็นค่าฟัซซี่เซต ดังนั้นฟัซซี่เซต A สามารถแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ในฟัซซี่เซตได้โดย $\mu_A(X_i)$ ความสัมพันธ์เช่นนี้ในทางทฤษฎีของฟัซซี่เซตจะเรียกว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) และสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$\mu_A(X_i);\ U \rightarrow [0,1] \qquad (ข.1)$$

โดยที่ $\mu_A(X_i)$ ก็คือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต A

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตใดก็จะสอดคล้องกับคำจำกัดความของเซตนั้น และคำจำกัดความเหล่านี้ก็คือตัวแปรต่าง ๆ ของฟัซซี่เซตที่อยู่ภายใต้ขอบเขตเอกภพสัมพันธ์ หรือระบบใด ๆ ที่เราสนใจ

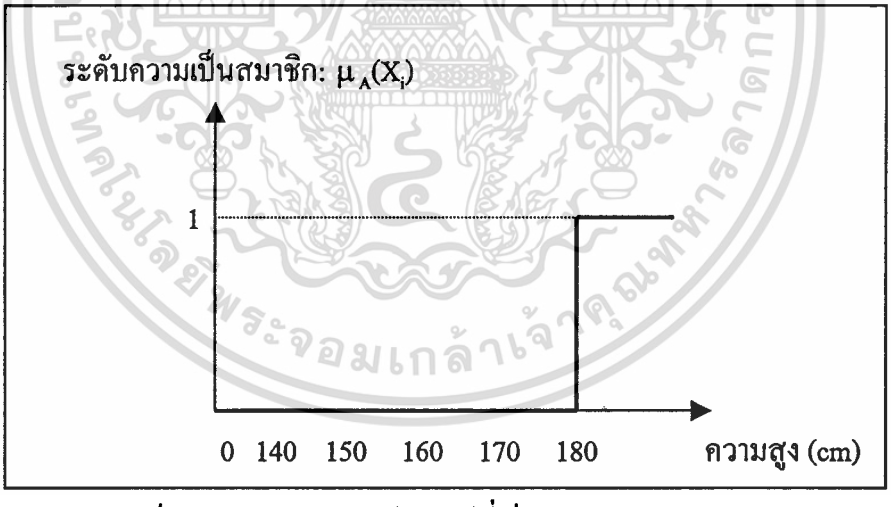
ตัวแปรฟัซซี่ (Fuzzy Variable) ซึ่งก็คือฟัซซี่เซตใด ๆ ของระบบที่เราสนใจดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตัวอย่างเช่น ถ้าเราพิจารณา "อุณหภูมิ" เป็นตัวแปรฟัซซี่ และค่าของตัวแปรของเซตนี้คือ {ต่ำ, ปานกลาง, สูง} จะเรียกเซตของค่าตัวแปรฟัซซี่นี้ว่าเทอมเซต (Term Set) หรือเซตย่อย นอกจากนี้ตัวแปรฟัซซี่แต่ละตัวอาจจะมีส่วนขยาย (Hedges หรือ Qualifiers) เพื่อปรับค่าตัวแปรให้มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น เช่น จากค่าของ ตัวแปรอุณหภูมิ "ต่ำ"→ "ต่ำมาก"→"สูง"→"ค่อนข้างสูง" เป็นต้น คำว่า "มาก" หรือ "ค่อนข้าง" ในที่นี้เป็นส่วนขยายของตัวแปรฟัซซี่ ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถแทนด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 การแทนข้อมูลโดยฟัซซี่เซต

การแทนข้อมูลด้วยฟัซซี่เซต ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันคือเราจะพิจารณาความสูง โดย "ความสูง" ในที่นี้จะเป็นตัวแปรฟัซซี่เซต และเพื่อให้เข้าใจความหมายของฟัซซี่เซตได้เด่นชัดยิ่งขึ้นเราจะเปรียบเทียบการแทนข้อมูลของฟัซซี่เซตกับเซตธรรมดา การแปลงข้อมูลเพื่อคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเซตธรราดาจะต้องมีการกำหนดค่าเทรชโฮลด์เพื่อจะนำมาเป็นตัว ตัดสินว่าสมาชิกตัวใดที่เป็นสมาชิกเซตที่กำลังพิจารณาอยู่บ้าง สำหรับในตัวอย่างของเซตความสูงของผู้ชาย สมมุติอยู่ในช่วง 140 – 180 cm (โดเมนของเซตเอกภพสัมพัทธ์) แต่ในที่นี้เราสนใจคนที่สูง ถ้าเรากำหนดให้เซต A เป็นเซตของคนสูง ("สูง" ในกรณีของฟัซซี่เซตจะเป็นเทอมเซต) ดังนั้นเซต A ในกรณีของเซตธรรมดาจะต้องมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหรือเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้เท่ากับ 180 cm นั่นคือถ้าคนใดมีความสูงมากว่าหรือเท่ากับ 180cm จะถือว่าคนนั้นสูง (เป็นสมาชิกของเซต A) ซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันคุณลักษณะ (Characteristic Function) หรือฟังก์ชัน ความเป็นสมาชิกได้ดังนี้

$$\mu_A(X_i);\ \{X_i \geq 180\} \qquad \text{(ข.2)}$$



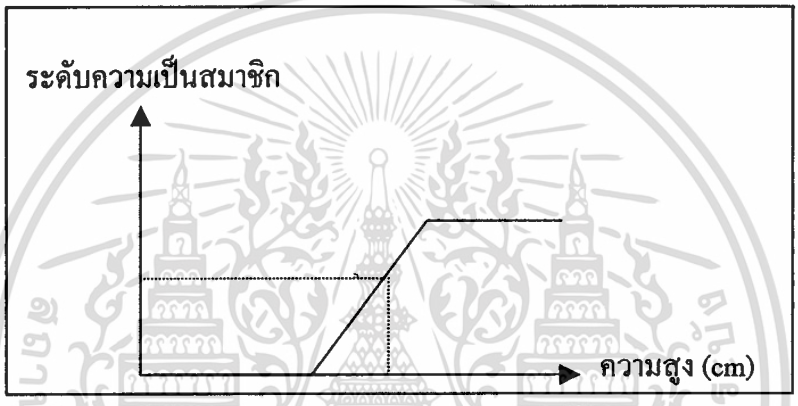
รูปที่ ข.1 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีที่เป็นเซตธรรมดา

โดยที่ X_i คือความสูงของผู้ชายคนที i ในสมการที่ ข.2 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟของความเป็นสมาชิกได้ดังรูปที่ ข.1 ตามรูปที่ ข.1 บนแนวแกนตั้งแทนค่าระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าเป็น 0 (ไม่เป็นสมาชิกของเซต) และ 1 (เป็นสมาชิกของเซต A) และจะเห็นว่าคนที่มีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 180 cm ขึ้นไปเท่านั้นจึงจะถือว่าผู้ชายคนนั้นสูง นอกจากนั้นจะไม่ใช่สมาชิกของเซต A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟัซซี่เซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะมีความยืดหยุ่นกว่า และสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าเซตธรรมดา ดังในสมการที่ ข.3

$$\frac{1}{(180-170)}(X_i - 170); \quad \text{ถ้า } 170 \leq 180$$
$$\mu_A(X_i) = 1; \quad \text{ถ้า } X_i > 170$$
$$\mu_A(X_i) = 0; \quad \text{ในกรณีอื่น ๆ} \qquad (ข.3)$$



รูปที่ ข.2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต A ในกรณีที่เป็นฟัซซี่เซต

จากภาพที่ ข.1 และภาพที่ ข.2 จะเห็นว่ากราฟแสดงความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตจะมีความต่อเนื่องในค่าระดับความเป็นสมาชิกในช่วง [0,1] เช่น คนที่มีความสูง 175cm ก็จะถือว่าเป็นคนสูงเช่นกันแต่เขาจะมีระดับความเป็นสมาชิกของเซตของคนสูงเท่ากับ 0.5 ถ้าเปรียบเทียบกับเซตธรรมดา คนที่มีความสูง 175cm จะไม่เป็นสมาชิกของเซต A ทั้งที่เข้ามีความสูงแตกต่างจากคนสูงไม่กี่เซนติเมตรเท่านั้น หรือแม้แต่คนที่มีความสูง 179cm ซึ่งมีความสูงต่างจากคนที่ สูงต่างจากคนที่ถือว่าสูงเพียง 1cm เท่านั้น แต่ในเซตธรรมดาจะถือว่าเขาไม่ใช่คนสูงซึ่งจะไม่ตรงกับความเป็นจริง แต่สำหรับการแทนข้อมูลโดยฟัซซี่เซตจะถือว่าคนนี้เป็นเซตของคนสูงด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.9 (คือเกือบจะเป็นคนสูงเลยทีเดียว)

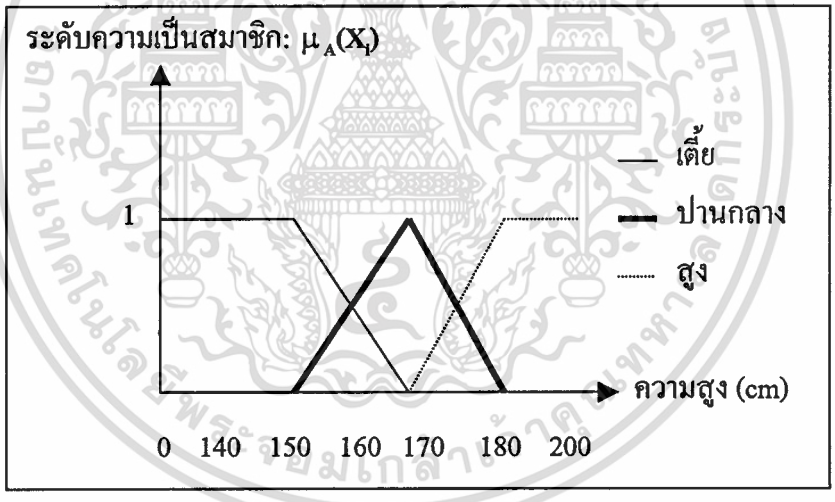
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

เรามาพิจารณา คุณสมบัติบางประการของฟัซซี่เซต ก่อนที่จะพิจารณาถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกชนิดต่าง ๆ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหรือฟังก์ชันคุณลักษณะในกรณีของฟัซซี่เซต เช่น

ข.2.1 เซตเอกภพสัมพัทธ์

เมื่อพิจารณาถึงกราฟรูปที่ ข.2 แกนนอนของกราฟจะแทนโดเมนของฟัซซี่เซต ส่วนแกนตั้งจะแทน ค่าระดับความเป็นสมาชิก แต่ในกราฟรูปที่ ข.1 มีเทอมเซตเพียงเทอมเดียว ซึ่งเป็นเทอมของคนสูงเท่านั้นเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มประชากรที่เราสนใจจึงเพิ่มเทอมเซตอีกสองเทอมคือ เทอมเซตของคน "เตี้ย" และ เทอมเซตของคนที่มีความสูง "ปานกลาง" ดังรูปที่ ข.3 ซึ่งในกรณีที่โดเมนของตัวแปรฟัซซี่เซตที่ครอบคลุมประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษา เราจะเรียกโดเมนของตัวแปรนี้ว่าเซตเอกภพสัมพัทธ์ และในแต่ละเทอม เซตก็จะมีโดเมนของตัวอย่างเช่น เทอมเซตของคนเตี้ยจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 140-170cm เทอมเซตของคนที่มี ความสูงปานกลางจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 150 – 180cm และเทอมเซตของคนที่สูงจะโดเมนอยู่ในช่วง 160 – 200 cm



รูปที่ ข.3 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร "ความสูง" ที่ประกอบไปด้วย 3 เทอมเซต

ข.2.2 ซัพพอร์ตเซต

ในกรณีที่ X_i $(\forall_i)$ ในบางเทอมเซตมีค่าน้อยกว่าโดเมนของมัน เช่นในเทอมของคนเตี้ยซึ่งมีโดเมนอยู่ในช่วง [140-170] เมื่อทำการวัดความสูงของประชากรกลุ่มนี้ปรากฏว่าความสูงที่วัดได้จริง ๆ ของพวกเขาอยู่ในช่วง [145 – 170] ซึ่งช่วงของข้อมูลที่วัดได้จริง ๆ จะเรียกว่าซัพพอร์ตเซต (Support Set) ของเทอมนั้น ๆ สำหรับซัพพอร์ตเซตจะมีประโยชน์ในการปรับขนาดของเทอมเซตโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.3 การเทรชโฮลด์ฟัซซี่เซต

การเทรชโฮลด์หรืออัลฟาคัท (Alpha-Cut หรือ $\propto$ - Cut) ของฟัซซี่เซตจะมีความสัมพันธ์กับซัพพอร์ตเซต คือค่าระดับของ $\propto$ ($0 \leq \propto \leq 1$) จะเป็นค่าเทรชโฮลด์ภายในขอบเขตโดเมนของเทอมเซตที่ค่า $\propto$ เป็นค่าของขอบเขตล่างของซัพพอร์ตเซต หรืออาจจะเป็นค่าใด ๆ ที่เราสนใจในช่วง [0,1] $\propto$ - Cut มีอยู่สองชนิดด้วยกันคือ

ข.2.3.1 Strong $\propto$ - Cut ซึ่งกำหนดได้โดย

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \mu_A(x_i); \text{ถ้า } \mu_A(x_i) \geq \alpha \\ 0; \text{ ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad \text{(ข.4)}$$

ข.2.3.2 Weak $\propto$ - Cut ซึ่งกำหนดได้โดย

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \mu_A(x_i); \text{ถ้า } \mu_A(x_i) > \alpha \\ 0; \text{ ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad \text{(ข.4)}$$

เมื่อ A เป็นเทอมเซตใด ๆ ประโยชน์ของ $\propto$ - Cut มีอยู่สองประการด้วยกัน อย่างแรกคือ Strong $\propto$ - Cut ใช้ในการกำหนดซัพพอร์ต อย่างที่สองคือทำให้มีความยืดหยุ่นสำหรับระบบการควบคุมที่ใช้ฟัซซี่เซตในกรณีที่มีการอินเตอร์เซกชันกันหลายเทอมซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อของกฎฟัซซี่เซตต่อไป ตอนนี้เราจะพิจารณาถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่าง ๆ ที่จะใช้ในการประมาณค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต โดยมีทั้งแบบที่ประมาณค่าเป็นเชิงเส้น เช่น รูปสามเหลี่ยม, รูปที่เหลี่ยมคางหมู และแบบที่ประมาณค่าโดยฟังก์ชันต่อเนื่อง เช่น S, S^{-1} ระฆังคว่ำ เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- สมการเชิงเส้น

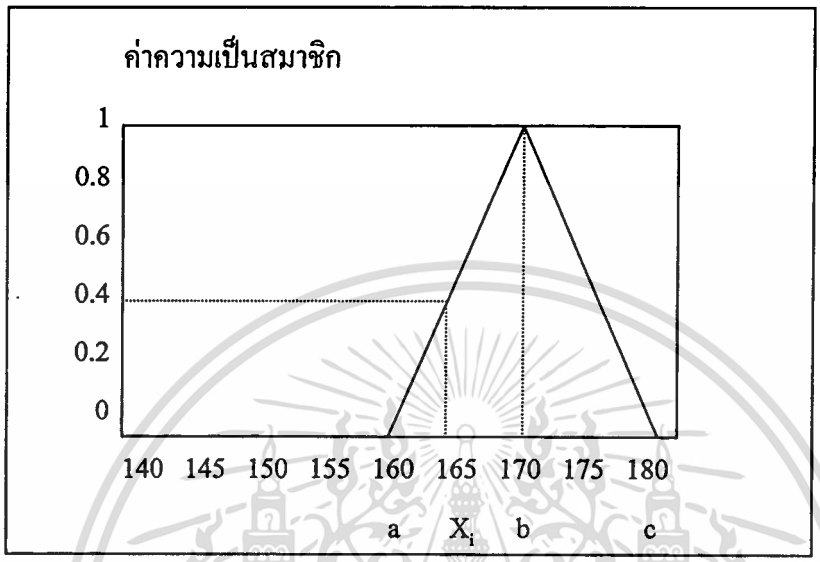
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมการเชิงเส้นที่ใช้ในแปลงค่าความสัมพันธ์ของโดเมนไปยังเรนจ์ สำหรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ ข.3

- รูปสามเหลี่ยม

การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยใช้รูปสามเหลี่ยม นิยมใช้กันมากในระบบควบคุมที่ใช้ฟัซซี่เซต เทอมเซตที่กำหนดโดยฟังก์ชันนี้จะต้องมีค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่เพียงค่าเดียวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง ส่วนค่าอื่น ๆ จะมีความเป็นสมาชิกลดลงเรื่อย ๆ เมื่อยิ่งห่างจากค่านี้มากขึ้น ในตัวอย่างของตัวแปรความสูง เทอมเซต "ปานกลาง" มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c$ เมื่อ a, b และ c เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสามเหลี่ยมสามารถกำหนดได้ดังนี้



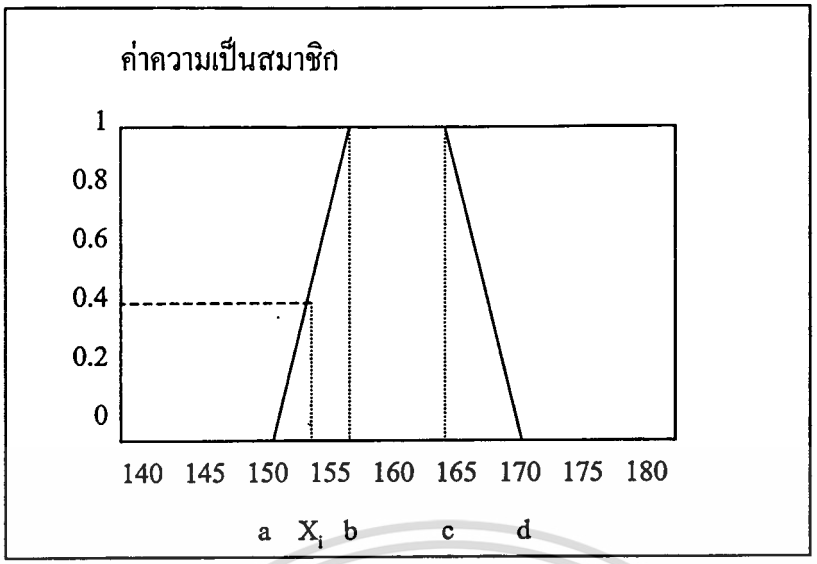
รูปที่ ข.4 แสดงภาพฟัซซี่รูปสามเหลี่ยม

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}(x_i - a); \text{ถ้า } a \leq x_i \leq b \text{และ} a \neq b \\ \frac{1}{c-b}(c - x_i); \text{ถ้า } b \leq x_i \leq c \text{และ} a \neq b \\ 0; \text{ ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad \text{(ข.6)}$$

- รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมู นิยมใช้ในระบบควบคุมที่ใช้ฟัซซี่เซตเช่นกัน แต่จะพบน้อยกว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่จะกำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องมีช่วงของค่าที่เหมาะสมมากที่สุดอยู่ในกลุ่มหนึ่งที่ให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้น ๆ นอกจากนั้นจะมีค่าความเป็นสมาชิกน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อยิ่งห่างจากข้อมูลกลุ่มนี้ ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c$ เมื่อ a, b, c และ d เป็นตัวเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสามารถกำหนดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



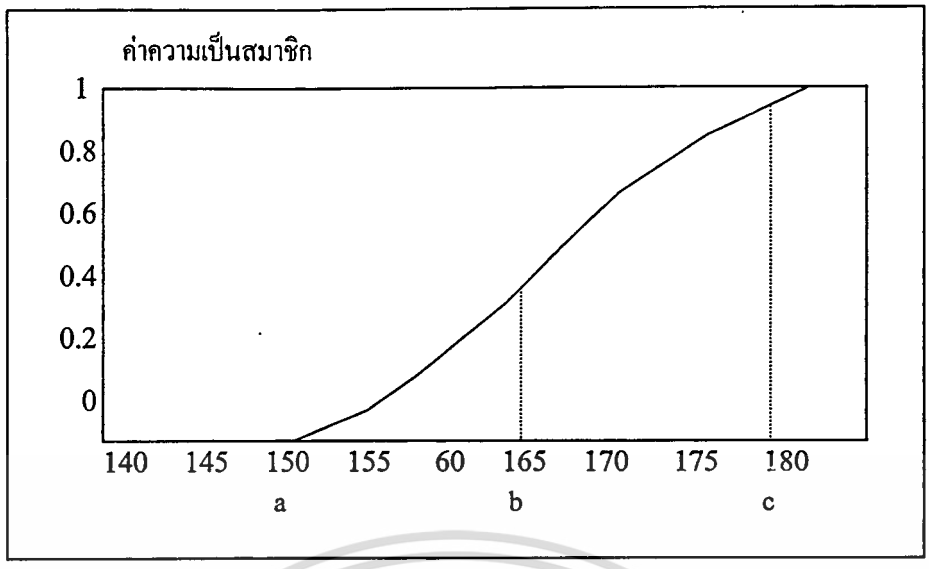
รูปที่ ข.5 แสดงภาพฟัซซีรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} \dfrac{1}{b-a}(x_i - a); \text{ถ้า } a \le x_i \le b \text{และ} a \ne b \\ 1; \text{ ถ้า } b \le x_i \le c \\ \dfrac{1}{c-b}(c - x_i); \text{ถ้า } c \le x_i \le d \text{และ} c \ne b \\ 1; \text{ ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad \text{(ข.7)}$$

- เส้นโค้งรูปตัว S

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยเส้นโค้งรูปตัว S (S-Curve, Sigmoid หรือ Logistic) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนไปยังเรนจ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่เหมาะที่จะใช้ฟังก์ชันนี้คือพวกอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ตัวแปรส่วนใหญ่ที่ใช้ในทางการประมวลผลทางภาพเป็นต้น ซึ่งตัวแปรพวกนี้มักจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นรูปตัว S หรือ S^{-1} ถ้ากำหนดให้ $a \le b \le c$ เมื่อ a, b และ c เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันเป็นสมาชิกของเส้นโค้งรูปตัว S สามารถกำหนดให้ดังสมการที่ ข.8 และ $S^{-1} = 1-\mu_A(X_i)$ โดยที่ $\mu_A(X_i)$ ได้จากสมการที่ ข.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

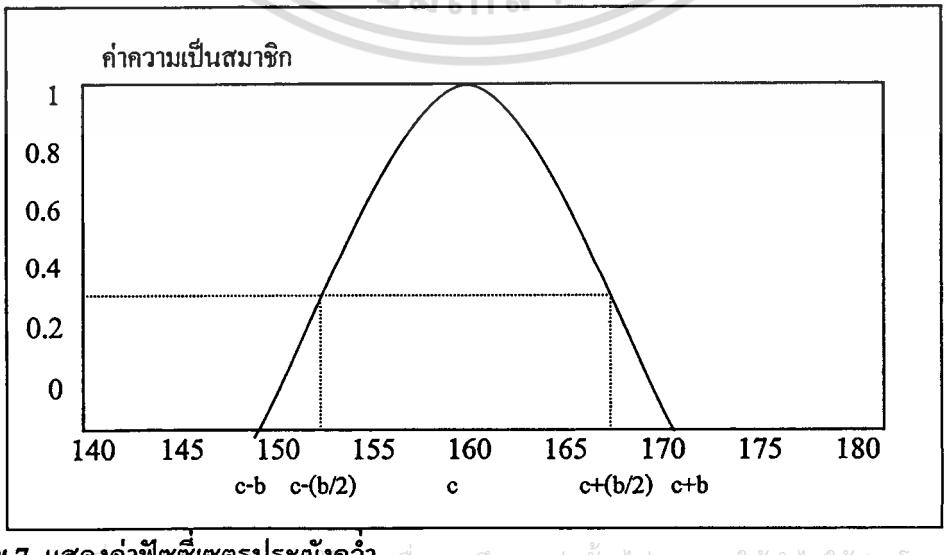


รูปที่ 5.6 แสดงเส้นโค้งรูปตัว S

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 0; & \text{ถ้า } x_i \le a \\ 2((x_i - a)/(c-a))^2; & \text{ถ้า } a \le x_i \le b \\ 1 - 2((x_i - a)/(c-a))^2; & \text{ถ้า } b \le x_i \le c \\ 1; & \text{ถ้า } x_i \le c \end{cases} \qquad (5.8)$$

- รูประฆังคว่ำ

เทอมเซตที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูประฆังคว่ำ จะมีคุณสมบัติของข้อมูลคล้ายกับสมการรูปสามเหลี่ยม แต่ข้อมูลของโดเมนที่แปลงไปยังเรนจ์จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สมการของรูประฆังคว่ำมีด้วยกันหลายสมการแต่ที่ใช้กันมากคือ ฟังก์ชัน π[1,30] ฟังก์ชัน Gaussian และฟังก์ชัน Beta ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้



รูปที่ ข.7 แสดงค่าฟัซซีเซตรูประฆังคว่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน คำนวณได้จากสมการที่ ข.8

$$S(X_i; a, b, c) = \begin{cases} 0; & \text{ถ้า } x_i \le a \\ 2((x_i - a)/(c - a))^2; & \text{ถ้า } a < x_i \le b \\ 1 - 2((x_i - a)/(c - a))^2; & \text{ถ้า } b < x_i \le c \\ 1; & \text{ถ้า } x_i > c \end{cases} \quad \text{(ข.8)}$$

โดยที่ $b = \frac{c - a}{2}$

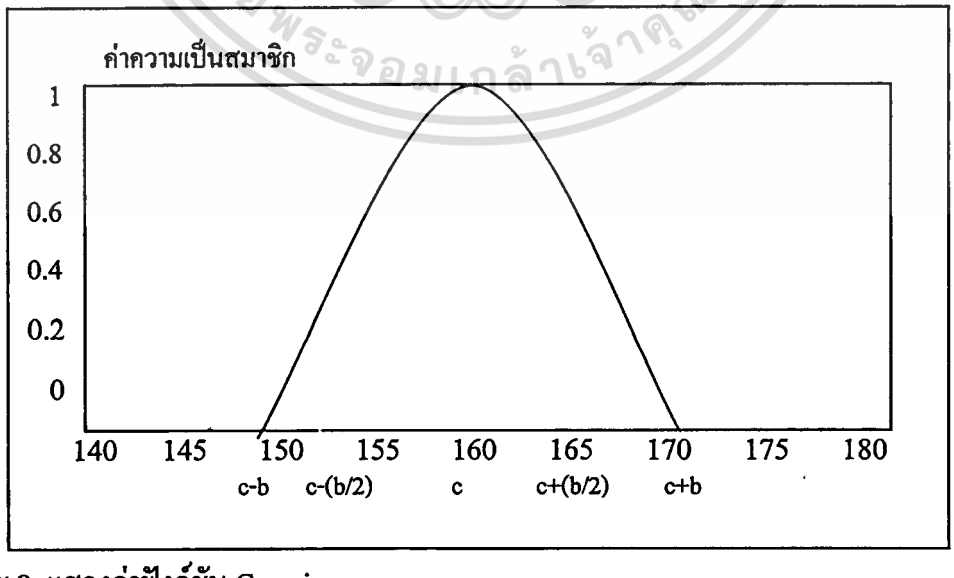
ดังนั้นฟังก์ชัน π สามารถกำหนดได้โดย

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} S(X_i; c - b, c - b/2, c); & \text{ในกรณี } X_i \le c \\ 1 - S(X_i; c - b, c - b/2, c + b); & \text{ในกรณี } X_i > c \end{cases} \quad \text{(ข.9)}$$

ฟังก์ชัน Gaussian

$$\mu_A(X_i) = e^{K(x - x_i)2} \quad \text{(ข.10)}$$

โดยที่ $K = 1/(2\sigma)^2$ ซึ่งเป็นโดเมนของฟัซซี่เซต A ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน σ



รูปที่ ข.8 แสดงค่าฟังก์ชัน Gaussian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน Beta

ฟังก์ชันนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมู คือจะมีช่วงของข้อมูลที่เหมาะสมกับเทอมเซตนั้น ๆ อยู่กลุ่มหนึ่งที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งข้อมูลกลุ่มนี้จะมีความกว้างของช่วงเท่ากับค่า β ซึ่งถ้า $\sigma \to \infty$ จะทำให้ข้อมูลในช่วง β มีค่าเข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้นโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ $\bar{x}$ ดังแสดงในสมการที่ 5.11

$$\mu_A(X_i) = 1/(1 + (X_i - \bar{x})/\beta)^{\rho} \qquad \text{(ข.11)}$$

ข.3 ตัวดำเนินการของฟัซซี่เซต

ตัวเนินการของฟัซซี่เซตส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวดำเนินการคล้ายกับเซตธรรมดา เช่น อินเตอร์-เซกชัน ยูเนี่ยน คอมพลีเมนต์เป็นต้น ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้จะใช้ในการอนุมานฟัซซี่เซตเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจโดยการประมาณค่าของตัวแปร ในที่นี้เราจะเสนอตัวดำเนินการของฟัซซี่เซตบางส่วนเฉพาะที่ใช้ในแบบจำลองการตัดสินใจของระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซี่เซตเท่านั้น ส่วนตัวดำเนินการอื่นของฟัซซี่เซต

กำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพันธ์ A, B เป็นเทอมใด ๆ ที่อยู่ใน U และตัวดำเนินการพื้นฐานต่าง ๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

- เซตย่อย

  A เป็นเซตย่อยของ B ($A \subseteq B$) ก็ต่อเมื่อ

  $$\mu_A(X_i) \leq \mu_B(X_i); \qquad \forall X_i \in U \qquad \text{(ข.12)}$$

- คอมพลีเมนต์

  A เป็นเซตย่อยของ B ($A \subseteq B$) ก็ต่อเมื่อ

  $$\mu_A(X_i) \leq \mu_{B'}(X_i) = 1 - \mu_B(X_i); \qquad \forall X_i \in U \qquad \text{(ข.13)}$$

- อินเตอร์เซกชันของ A และ B ($A \cap B$) กำหนดได้โดย

  $$\mu_{A \cap B}(X_i) = \min(\mu_A(X_i), \mu_B(X_i)); \qquad \forall X_i \in U \qquad \text{(ข.14)}$$

- ยูเนียน A กับ B ($A \cup B$) กำหนดได้โดย

  $$\mu_{A \cup B}(X_i) = \max(\mu_A(X_i), \mu_B(X_i)). \qquad \forall X_i \in U \qquad \text{(ข.15)}$$

- A ยกกำลังด้วยค่า $\propto (A^{\propto})$ กำหนดได้โดย

  $$\mu_A(X_i)^{\alpha} \leq \mu_B(X_i)^{\alpha}; \qquad \forall X_i \in U \qquad \text{(ข.16)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Concentration ของเซต A กำหนดได้โดย

$$CON(A) \Rightarrow \mu_{CON(A)}(X_i) = \mu_A(X_i)^2; \qquad \forall X_i \in U \qquad (ข.17)$$

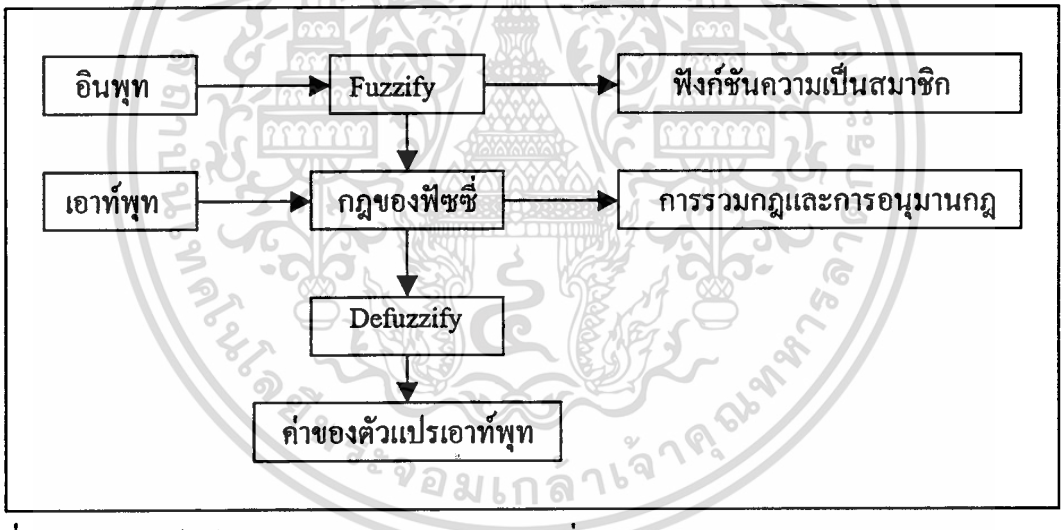
- Dilation ของเซต A กำหนดได้โดย

$$DIL(A) \Rightarrow \mu_{DIL(A)}(X_i) = \mu_A(X_i)^2; \qquad \forall X_i \in U \qquad (ข.18)$$

- Contrast Intensification ของเซต A กำหนดได้โดย

$$INT(A) \Rightarrow \mu_{INT(A)}(X_i) = \begin{cases} 2\mu_A(X_i)^2; \text{ถ้า } 0 \le \mu_A(X_i) \le 0.5 \\ 1-2(1-\mu_A(X_i))^2; \text{ถ้า } 0.5 \le \mu_A(X_i) \le 1 \end{cases} \qquad (ข.19)$$

ข.4 การเรียนรู้ของฟัซซี่เซต



รูปที่ ข.9 แสดงบล๊อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก

ข.4.1 อินพุทและเอาท์พุท

แบบจำลองฟัซซี่ลอจิกก็คือ ตัวแปรของฟัซซี่เซต ซึ่งตัวแปรแต่ละตัวอาจจะมีเทอมเซตได้หลายเทอม อินพุทซึ่งเป็นตัวแปรของระบบ (State Variable) อาจจะมีกี่ตัวก็ได้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระบบ สำหรับตัวแปรของเอาท์พุทหรือที่เรียกว่า (Action Variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ถูกประมาณค่าโดยแบบจำลองของฟัซซี่ลอจิกเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบกฎฟัซซี่เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป ปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ก็คือ การกำหนดจำนวนเทอมเซตของแต่ละตัวแปรว่าควรจะมีสักกี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอม จึงจะทำให้การอนุมานค่าของตัวแปรเอาท์พุทมีความใกล้เคียงค่าของตัวแปรที่แท้จริงมากที่สุดซึ่งจุดนี้ผู้ออกแบบ ๆ จำลองฟัซซี่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบที่กำลังออกแบบอยู่พอสมควร

ข.4.2 Fuzzification

การแปลงค่าของตัวแปรของอินพุทไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก การเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เราต้องเลือกให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของตัวแปร เช่นถ้าตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น จะต้องเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เป็นเชิงเส้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นสมการรูปสามเหลี่ยม หรือรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนตัวแปรที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นก็ต้องให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยเช่น ฟังก์ชันรูป S, π, Bata และ Guassian

ข.4.3 Fuzzy Rules

กฎของฟัซซี่จะประกอบด้วยประพจน์ของฟัซซี่ โดยกฎฟัซซี่จะอยู่ในรูปของ IF-THEN เช่น

IF X is small THEN Y is positive

ที่ X และ Y เป็นตัวแปรฟัซซี่ส่วน Small และ Positive เป็นเทอมเซตที่สอดคล้องกับตัวแปร X, Y และประพจน์ของฟัซซี่เซตคือ X is small และ Y is positive ประพจน์ที่ตามหลัง IF จะเป็นส่วนของเงื่อนไขที่เรียกว่า Antecedent ซึ่งก็คือส่วนของอินพุทของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกนั่นเองและประพจน์ที่ตามหลัง THEN จะเรียกว่า Consequent หรือส่วนของเอาท์พุทของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก Antecedent อาจประกอบด้วยหลายประพจน์ ซึ่งจำนวนของประพจน์จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรอินพุทและจำนวนของเทอมเซตตัวแปรแต่ละตัว เช่นถ้าอินพุทมีสองตัวแปรในส่วนของ Antecedent จะมีสองประพจน์เชื่อมต่อกันในกฎหนึ่งกฎ และในการเชื่อมต่อกันของประพจน์จะต้องมีตัวเชื่อมซึ่งในแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกจะมีตัวเชื่อมอยู่สองตัวด้วยกันคือ ยูเนียน, และอินเตอร์เซกชัน เช่น ในกรณีที่เชื่อมด้วยยูเนี่ยน

IF X is small OR T is cool THEN Y is positive

และในกรณีที่เชื่อมด้วยอินเตอร์เซกชัน

IF X is small AND T is cool THEN Y is positive

นอกจากนี้ในกฎของฟัซซี่เทอมเซตอาจจะมี Hedge มาขยายเช่น very และ large

IF X is very small THEN Y is large positive

สำหรับจำนวนกฎในแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกของระบบหนึ่ง ๆ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวแปรอินพุทและจำนวนเทอมของแต่ละตัวแปร

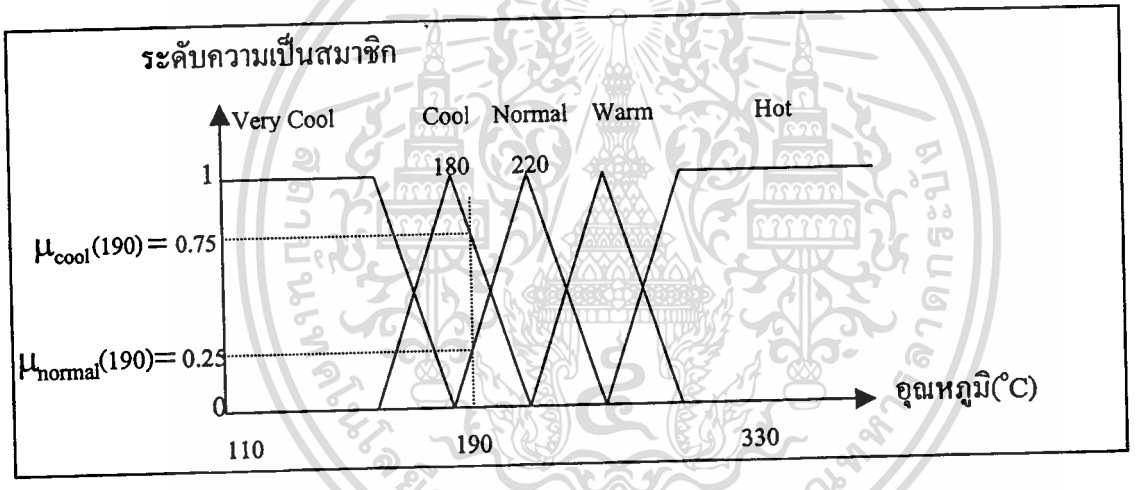
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4.4 Defuzzification

Defuzzification เป็นกระบวนการประมาณค่าของตัวแปรเอาท์พุท โดยการอนุมานจากค่าความจริงในส่วนของ Antecedent ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก โดยค่าที่ได้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่อยู่ในโดเมนของตัวแปรเอาท์พุท และค่านี้จะเป็นค่าคาดหวัง (Expected Value) ของตัวแปรฟัซซี่เซต ที่จะนำไปใช้ในการควบคุมระบบต่อไป สำหรับการหาค่าคาดหวังของฟัซซี่เซตโดยการ Defuzzification นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกันคือ

กำหนดจากค่าวความจริงที่มีค่าต่ำสุด (เฉพาะเทอมเซตที่เป็นสมาชิกเท่านั้น $\mu_A(X_i) > 0$ เมื่อ A เป็นเทอมเซตใด ๆ) ของ Antecedent จากตัวอย่างแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกที่ใช้กับระบบ Stream Turbine ในขั้นตอนของกฎฟัซซี่สามารถประมาณค่า i ที่เวลา t ใด ๆ ได้ดังนี้

สมมุติอุณหภูมิที่วัดได้ที่เวลา t เท่ากับ 190° C และความดันที่เวลาเดียวกันกับที่วัดอุณหภูมิเท่ากับ 100 KgmM-2 จากกฎฟัซซี่เทอม COOL และ NORMAL ที่ถูกนำมาพิจารณา ดังนั้นเราสามารถประมาณค่าระดับการเปิดปิดวาวล์ ดังรูปที่ ข.10



รูปที่ ข.10 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต COOL และ NORMAL

ที่อุณหภูมิ 190° C ไม่ได้เป็นสมาชิกของเทอมเซต Cool, Warm และ Hot สำหรับความดันที่ 100 Kgm M-2 นั้นจากกฎของฟัซซี่จะมีเทอมเซต LOW และ OK ที่ถูกนำมาพิจารณา

กำหนดจากค่าความเป็นจริงที่มีค่าสูงสุดของ Antecedent จากขั้นตอนการประมาณค่าตัวแปรเอาท์พุท จะมีความแตกต่างจากการ Defuzzification ขั้นตอนการคำนวณค่า $\mu_{Inferance}$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mu_{Inferance} = \max(0.4, 0.6, 0.25, 0.25) = 0.6$$

กฎที่ใช้ในการประมาณค่า i[t] ในกรณีการ Defuzzification โดยวิธีนี้คือ

IF T[t] is cool And P[t] is ok Then i[t] is approximately zero

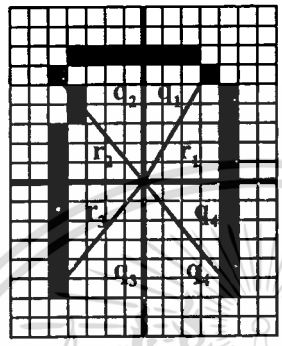
เนื่องจากกฎข้อนี้ให้ค่าความจริงที่มีค่าสูงสุด $\mu_{Inference} = 0.6$ ดังนั้นสามารถคำนวณค่าประมาณของi[t]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5 การประยุกต์ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกมาใช้ในการรู้จำตัวอักษรภาษาไทย

ข.5.1 ฟัซซี่จีโอเมทริก [30]

นำภาพตัวอักษรพิมพ์ไทยที่รับเข้ามาจากเครื่องตรวจกวาภาพมาทำการนอล์มอลไลซ์ให้มีขนาด 32 x 32 พิกเซล แล้วทำการหาจุดศูนย์กลางมวลของภาพเพื่อหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรพิมพ์ไทย แล้ววัดค่าด้วยฟัซซี่ลอจิกเพื่อหาค่าความเป็นสมาชิกดังต่อไปนี้



รูปที่ ข.11 รูปแบบตัวอักษร "ก"

ข.5.1.1 การหาความสมมาตร (Origin Symmetry) ของรูปแบบการวัดโดยการหารัศมีที่ความยาวที่สุดในแต่ละควอทแดรนท์ (Quadrants) และค่าความเป็นสมาชิกหาได้จาก

$$\mu_s(p) = 1 - \frac{1}{\pi}(|\ \theta_1 - \theta_2\ | + |\ \theta_3 - \theta_4\ |) \qquad \text{(ข.20)}$$

ข.5.1.2 การหาจุดตัดบนแกน X หาได้จากระยะทางระหว่างจุดเซ็นทรอยด์ (Centroid) ของภาพตัวอักษรพิมพ์ไทย กับจุดแกน X ที่ขอบภาพตัวอักษรพิมพ์ไทย ทั้งแกนบวก และแกนลบ จากนั้นนำไปหาค่าความเป็นสมาชิกดังสมการ

$$\mu_x(p) = 1 - \frac{|\ x_1\ | - |\ x_2\ |}{|\ x_1\ | + |\ x_2\ |} \qquad \text{(ข.21)}$$

ข.5.1.3 การหาจุดตัดบนแกน Y เป็นการหาในทำนองเดียวกับ การหาจุดตัดบนแทน X โดยค่าความน่าจะเป็นสมาชิกได้จากสมการ

$$\mu_y(p) = 1 - \frac{|\ y_1\ | - |\ y_2\ |}{|\ y_1\ | + |\ y_2\ |} \qquad \text{(ข.22)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5.1.4 การหาจุดตัดบนแกน X-Y เป็นการหาจุดตัดบนแกน X และ Y ทั้งแกนบวกและแกนลบ โดยค่าความเป็นสมาชิกหาได้จากสมการ

$$\mu_{xy}(p) = 1 - \frac{|\,|x_1| - |x_2|\,| + |\,|x_1| - |y_1|\,| + \ldots + |\,|y_1| - |y_2|\,|}{|x_1| + |x_2| + |y_1| + |y_2|} \qquad \text{(ข.23)}$$

ข.5.1.5 การหาค่ารัศมีขอบภาพตัวอักษรพิมพ์ไทย ที่ยาวที่สุดในแต่ละควอทแดรนท์โดยค่าความเป็นสมาชิกหาได้จากสมการ

$$\mu_r(p) = 1 - \frac{|r_1 - r_2| + |r_1 - r_3| + \ldots + |r_3 - r_4|}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4} \qquad \text{(ข.24)}$$

ข.5.1.6 ลักษณะรูปร่างของตัวอักษรพิมพ์ไทยวัดจาก ความกว้างและความสูงของตัวอักษรพิมพ์ไทย โดยหาค่าความเป็นสมาชิกได้จากสมการ

$$\mu_a(p) = 1 - \frac{|x_1| + |x_2|}{|y_1| + |y_2|} \qquad \text{(ข.25)}$$

ข.5.1.7 การหาค่าเฉลี่ยของรัศมีสูงสุดในแต่ละครอทแดรน์ของตัวอักษรพิมพ์ไทยต้นแบบกับอินพุทที่ต้องการทราบ เพื่อหาค่าความคล้ายระหว่างรูปแบบจริง กับรูปแบบที่ต้องการวัดค่าความเป็นสมาชิกได้จากสมการ

$$\mu_r(p) = 1 - \frac{|r - r_p|}{k} \qquad \text{(ข.26)}$$

เมื่อ k คือค่าคงที่ ขึ้นกับความคาดหมายของค่าเฉลี่ยสูงสุดที่วัดได้

ข.5.1.8 ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน การวัดจะคล้ายคลึงกับการวัดค่าเฉลี่ยของรัศมี ค่าความเป็นสมาชิกหาได้จากสมการ

$$\mu_\sigma(p) = 1 - \frac{|\sigma - \sigma_p|}{k} \qquad \text{(ข.27)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพลีเมนต์ของค่าสูงสุดของรัศมี และลักษณะรูปร่างหาได้จากสมการ

$$\mu_R(p) = 1 - \mu_r(p)$$
$$\mu_A(p) = 1 - \mu_a(p) \qquad \text{(ข.28)}$$

การหาค่าความเป็นสมาชิกของรูปแบบ ของค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ ข.20 ถึง ข.28

$$\mu(p) = \frac{A_1\mu_s + A_2\mu_x + ... + A_{10}\mu_\sigma}{A_1 + A_2 + A_3 + ... + A_{10}} \qquad \text{(ข.29)}$$

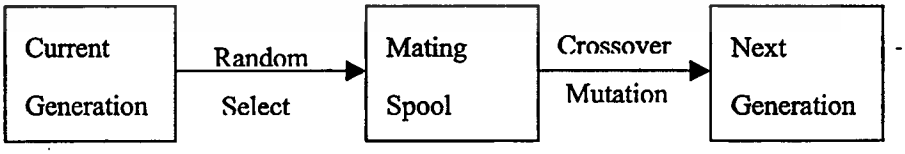
เมื่อ A_i คือสหสัมประสิทธิ์เชิงเส้นซึ่งจะให้ในการรู้จำ

จากสมการที่ ข.29 จะใช้เจนเนติกอัลกอริธึมเรียนรู้เพื่อหาค่าของ A_i ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่า $\mu(P)$ มีค่าสูงสุด ขั้นตอนการเรียนรู้ของเจนเนติกอัลกอริธึมเพื่อการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ไทยแสดงดังในรูป ข.12

ข.5.2 เจนเนติกอัลกอริธึม [31]

เจนเนติกอัลกอริธึมที่ใช้ในการค้นหาซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนการเลือกแบบธรรมชาติของพันธุกรรม วิธีการนี้ได้มาจากหลักการทางธรรมชาติที่ว่า สิ่งมีชีวิตจะมีชีวิตต่อไปได้ต้องเป็นสิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงที่สุดในกลุ่ม โดยการพิจารณาจากโครโมโซม (Chromosome) และยีน (Gene) ในแต่ละรุ่น (Generation) เจนเนติกอัลกอริธึมจะมีการทำงานประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

- การผลิตประชากรรุ่นต่อไป (Reproduction)
- การข้ามฟาก (Crossover)
- การสลับตำแหน่งหรือการเปลี่ยนแปลงค่า (Mutation)

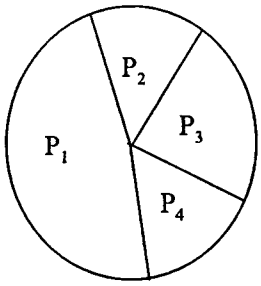


รูปที่ ข.12 ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริธึม

ข.5.2.1 การผลิตประชากรรุ่นต่อไป

เป็นขบวนการที่ทำการผลิตโครโมโซมรุ่นต่อไปโดยการคัดลอกโครโมโซมโดไปจำนวนเท่าใดนั้น ทำได้โดยการสร้างวงล้อล็อตเตอรี่ โดยแบ่งวงล้อออกเป็นสัดส่วนความน่าจะเป็นดังแสดงดังรูปที่ 3

เอกสารนี้จัดเตรียมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 แสดงวงล้อล็อตเตอรี่

จากรูปที่ ข.13 เป็นตัวอย่างการสร้างวงล้อล็อตเตอรี่ที่เกิดจากโครโมโซม 4 ตัว ซึ่งมีความน่าจะเป็นในการให้กำเนิดในรุ่นต่อไปเท่ากับ P_1, P_2, P_3 และ P_4 ในการผลิตโครโมโซมรุ่นต่อไปนั้นทำได้โดยการหมุนวงล้อล็อตเตอรี่ โครโมโซมที่ได้รับการคัดเลือกก็จะถูกคัดลอกออกไปเก็บไว้ใน Mating spool

ข.5.2.2 การข้ามฟาก

เป็นขบวนการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซม 2 ตัว เพื่อให้ได้มาซึ่งโครโมโซมใหม่ซึ่งมีคุณลักษณะแตกต่างไปจากโครโมโซมของพ่อแม่ทั้งสอง ในการทำงานการข้ามฟากนั้นจะประกอบไปด้วย สองขั้นตอนคือ จับคู่ของโครโมโซมที่จะทำการข้ามฟากโดยวิธีสุ่ม ระหว่าง 1 ถึงความยาวโครโมโซม-1

ข.5.2.3 การสลับตำแหน่งหรือเปลี่ยนแปลงค่า

ถึงแม้ว่าในการทำการผลิตโครโมโซมรุ่นต่อไปและการข้ามฟากนั้นจะมีแนวโน้มว่าจะได้โครโมโซมรุ่นต่อไปที่มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น แต่ในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้อาจทำให้แนวโน้มที่ดีขึ้นสูญเสียไป จึงต้องมีการสลับตำแหน่งหรือเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อป้องกันการสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นได้

ในการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยได้นั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า A_i ที่เหมาะสมซึ่งมันเป็นไปได้ยากที่จะหาค่าเหมาะสมที่สุดมาแทน ดังนั้นจึงใช้เจนเนติกอัลกอริธึมมาหาค่า A_i ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

$$\begin{bmatrix} a_0 a_1 a_2 \cdots a_n \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} b_0 b_1 b_2 \cdots b_n \end{bmatrix} \\ \vdots \\ \begin{bmatrix} c_0 c_1 c_2 \cdots c_n \end{bmatrix} \qquad \text{(ข.30)}$$

ค่าของ a, b และ c คือค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ ข.29 จะใช้เจนเนติกอัลกอริธึมเรียนรู้เพื่อหาค่าของ A_i ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ μ_p มีค่าสูงสุด ขั้นตอนการเรียนรู้ของเจนเนติกอัลกอริธึมเพื่อการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยแสดงในรูปที่

รูปที่ ข.14 ระบบการรู้จำของตัวอักษรพิมพ์ไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. อุกฤษณ์ มารังค์, พิศิษฎ์ โภคารัตรน์กุล และชม กิ้มปาน, "การรู้จำตัวเลขโดยใช้ฟัซซี่จีโอเมทริกและเจนเนติกอัลกอริธึม", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธุนบุรี กรุงเทพมหานคร 12-13 พฤศจิกายน 2541 หน้า 569-572.
2. M. Ukrit, P. Phokharatkrul and C. Kimpan, "Recognition of Printed Thai Characters Using Boundary Normalization and Fuzzy Neural Networks", The Fourth Symposium on Natural Language Processing 2000 Chaing Mai Plaza Hotel Thailand, May 10-12, 2000, pp.155-164.
3. P. Phokharatkrul, M. Ukrit and C. Kimpan, "Recognition of Printed Thai Characters Using Elliptic Fourier Descriptors and Genetic Neural Networks", 2000 Asia-Pacific Symposium on Broadcasting and Communications, Bangkok, Thailand, December 21-23, pp. 406-411.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวก ง.
ตัวโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

<u>โปรแกรมหลักการรู้จำตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค GANN</u>

```
function GANN(action) % action คือส่วนของการสั่งให้ทำ Load ข้อมูล, Recognition, Stop, Close
    global  Imreaded; %ตัวแปรที่ใช้ในการเก็บภาพ
    global  hndlList; %ตัวแปรที่ใช้ในการ Handle ของ Graphic
    global  xW1; % เก็บค่าถ่วงน้ำหนักกลาง
    global  xW2;
    global  xb1;
    global  xb2;
    global  AW1;
    global  AW2;
    global  Ab1;
    global  Ab2;
    global  wkImResult; % เก็บภาพผลลัพธ์ภาพระดับกลาง
    global  wkImSCIIAbove; % เก็บภาพผลลัพธ์ภาพระดับบน
    global  wkASCII; %ข้อมูลแสดงผลระดับกลาง
    global  wkShowASCII; %ข้อมูลแสดงผล
    global  wkASCIIAbove; %ข้อมูลแสดงผลระดับบน
    global  wkImASCIIAbove; %ข้อมูลภาพแสดงผลระดับบน
    global  FlagNextChar;
    FlagNextChar = 0;

    % ดึงค่าถ่วงน้ำหนักกลางของนิวรอลเน็ตเวิร์คตัวอักษรระดับกลาง
    load weightangonly18;
    xW1 = W1; xW2 = W2;
    xb1 = b1; xb2 = b2;

    % ดึงค่าถ่วงน้ำหนักกลางของนิวรอลเน็ตเวิร์คตัวอักษรระดับบน
    load WeighAbove;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
AW1 = W1; AW2 = W2;
Ab1 = b1; Ab2 = b2;
% ========== Load Image ดึงข้อมูลภาพเพื่อเตรียมแสดงผล ==========
load ImResult;
wkImResult = ResultChar; % Base

% ========== Load Image ดึงข้อมูลภาพระดับเพื่อเตรียมแสดงผล ==========
load ImASCIIAbove;
wkImASCIIAbove = ImASCIIAbove;

% ดึงข้อมูลในรหัส ASCII ในระดับกลาง
load ASCII;
wkASCII = ASCII;

% ดึงข้อมูลในรหัส ASCII ในระดับบน
load ASCIIAbove;
wkASCIIAbove = ASCIIAbove;

if nargin<1,
    action='initialize';
end;

% ส่วนการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโปรแกรม
if strcmp(action,'initialize'),
    figNumber=figure(...
    'Name','Printed Thai Character Recognition Using Genetic-Neural network', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Visible','off', ...
    'BackingStore','off');

    oldFigNumber=watchon;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
% ==== This is Lable of showing Unkow Character
    labelPos=[0.01 0.93 0.8 0.05];
    uicontrol( ...
        'Style','text', ...
        'String','Original Image', ...
        'ForegroundColor','k', ...
        'BackgroundColor','g', ...
        'FontWeight','bold',...
        'Units','normalized', ...
        'Position',labelPos);

 %==== This is Area of showing Original Image
    axPos=[0.01 0.25 0.8 0.68];
    axHndl1=axes( ...
        'Units','normalized', ...
        'Position',axPos, ...
        'XTick',[],'YTick',[], ...
        'Box','on');

% ==== This is Lable of showing Unkow Character
    labelPos=[0.83 0.90-0.02 0.15 0.05];
        TxtUnknowHndl=uicontrol( ...
        'Style','text', ...
        'String','Unknow Letter', ...
        'ForegroundColor','k', ...
        'FontWeight','bold',...
        'Units','normalized', ...
        'Position',labelPos);

%===== This is Area of Showing Unknow Character
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    axPos=[0.85 0.75-0.02 0.10 0.14];
    axHndl2=axes( ...
        'Units','normalized', ...
        'Position',axPos, ...
        'XTick',[],'YTick',[], ...
        'Box','on');

% ==== This is Lable of showing Recognized
    labelPos=[0.83 0.65-0.02 0.15 0.05];
    uicontrol( ...
        'Style','text', ...
        'String','Recog Letter', ...
        'ForegroundColor','k', ...
        'FontWeight','bold',...
        'Units','normalized', ...
        'Position',labelPos);

%===== This is Area of Showing Recognize Character
    axPos=[0.85 0.5-0.02 0.10 0.14];
    axHndl3=axes( ...
        'Units','normalized', ...
        'Position',axPos, ...
        'XTick',[],'YTick',[], ...
        'Box','on');

%==== This is Area of Showing Recognize Sentence of Character
  txtPos = [0.01 0.155 0.8 0.05];
  uicontrol( ...
      'Style','text', ...
      'Units','normalized', ...
      'BackgroundColor','g', ...
      'FontWeight','bold',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'FontSize',10,...
    'String','ผลการรู้จำประโยคตัวอักษรไทย',...
    'Position',txtPos);


txtPos = [0.01 0.05 0.8 0.1];
txtHndl = uicontrol( ...
    'Style','text', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'FontSize',20,...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',txtPos);



%====== This is part of button
    la  belStr = 'Load';
    callbackStr  = 'GANN("Load");';

    LoadPos  = [0.827 0.4-0.05 0.15 0.07];
    LoadHndl = uicontrol( ...
        'Style','push', ...
        'Units','normalized', ...
        'Position',LoadPos, ...
        'String',labelStr, ...
        'Callback',callbackStr);


    labelStr = 'Recognition';
    callbackStr = 'GANN("Recognition")';
    RecogPos = [0.827 0.3-0.05 0.15 0.07];
    RecogHndl = uicontrol( ...
        'Style','push', ...
        'Units','normalized', ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'Enable','off',...
    'Position',RecogPos, ...
    'String',labelStr, ...
    'Callback',callbackStr);

labelStr='Stop';
callbackStr='pause;';
StopPos = [0.827 0.2-0.05 0.15 0.07];
StopHndl=uicontrol( ...
    'Style','push', ...
    'Units','normalized', ...
    'Enable','off',...
    'Position',StopPos, ...
    'String',labelStr, ...
    'Callback',callbackStr);

labelStr='Close';
callbackStr='clear; close(gcf);';
closeHndl=uicontrol( ...
    'Style','push', ...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.827 0.02 0.15 0.07], ...
    'String',labelStr, ...
    'Callback',callbackStr);

hndlList=[axHndl1 axHndl2 axHndl3 LoadHndl RecogHndl StopHndl closeHndl txtHndl
TxtUnknowHndl];
% hndList have 9 element
set(figNumber,'Visible','on','UserData',hndlList);

watchoff(oldFigNumber);
figure(figNumber);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
elseif strcmp(action,'Load'),
        figNumber=watchon;
        axHndl1=hndlList(1);
        axHndl2=hndlList(2);
        axHndl3=hndlList(3);
        LoadHandl=hndlList(4);
        RecogHndl=hndlList(5);
        StopHndl= hndlList(6);
        CloseHndl=hndlList(7);
        wkShowASCII = [];
        axes(axHndl1);
        [datafile,datapath] = uigetfile('*.bmp','Choose a data file');
        map = [0 0 0;1 1 1];
        colormap(map);
    if datafile
        Imreaded = imread(datafile);
        imagesc(Imreaded);
        set(gca,'XTick',[],'YTick',[]);
        set(RecogHndl,'Enable','on');
        set(StopHndl,'Enable','on');
        [MaxR,MaxC]=size(Imreaded);
   if (Imreaded(1,1)==1)&(Imreaded(MaxR,MaxC)==1)
        Imreaded = ~Imreaded;
   end;
end;
        watchoff(figNumber);
elseif strcmp(action,'Recognition'),
        wkShowASCII = [];
        LineS = SegProjection(Imreaded,15);
        %3. Segment Sentance from the Grammar
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    [MaxLineR,MaxLineC]=size(LineS);
    [MaxDR,MaxDC]=size(Imreaded);

    StartS = 1;
    EndS   = 2;
  for IdLine  =  1:MaxLineR
    StartL   =  LineS(IdLine,StartS);
    EndL     =  LineS(IdLine,EndS);
    Sentance =  Imreaded(StartL:EndL,1:MaxDC);
    %3.1 Segment Char From the Sentance
    SegFromSentance(Sentance);
  End; %for IdLine = 1:MaxLineR
 % End of Program
end;

%***********************************
%===== Sub function in this program =====
%***********************************
```

Function ใช้ในการแยกประโยคออกจากภาพโดยวิธีการโปรเจคชั่นตามแนวแกนนอน

```
function SegFromSentance(Sentance)
  global wkShowASCII;
  [MaxR,MaxC]=size(Sentance);
  MatrixC = SegCFSProj(Sentance);
  [MaxRM,MaxCM] = size(MatrixC);
  StartC = 1;
  EndC   = 2;
  SMemberShip = [];
  wkShowASCII = [];
  for IdRM = 1:MaxRM
    OnceChar = Sentance(1:MaxR,MatrixC(IdRM,StartC):MatrixC(IdRM,EndC));
    SegFromOnce(OnceChar);
  end; %for IdCM = 1:MaxCM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function ใช้ในการแยกตัวอักษรออกประโยคภาพโดยวิธีการโปรเจคชั่นตามแนวแกนตั้งและกรณีพิเศษโดยใช้วิธีการ Contour

```
function SegFromOnce(Indata)
 % Level are part of Sentence
 LevelSizeRecord = [0 0; 0 0; 0 0; 0 0];
 Level1 = []; % Top
 Level2 = []; % Above
 Level3 = []; % Base
 Level4 = []; % Below
 LevelIndex = 1;

   [MaxDR,MaxDC] = size(Indata);
   Frame = 2;
   for IdRow = 1:MaxDR
       for IdCol = 1:MaxDC
           if Indata(IdRow,IdCol) == 1
               [MinX MinY MaxX MaxY]=SegChar(Indata,IdRow,IdCol,1);
               if ((MaxX-MinX)>=3)&((MaxY-MinY)>=3)
                Char=Indata(MinX:MaxX,MinY:MaxY);
                [MaxRowChar,MaxColumeChar]=size(Char);
                TmpChar = zeros(MaxRowChar+(Frame*2),MaxColumeChar+(Frame*2));
                TmpChar(Frame+1:MaxRowChar+Frame,Frame+1:MaxColumeChar+Frame)=
                Char;
                if LevelIndex == 1
                  Level1 = TmpChar;
                  LevelSizeRecord(1,:) = size(Level1);
                  LevelIndex = 2;
                elseif LevelIndex == 2
                  Level2 = TmpChar;
                  LevelSizeRecord(2,:) = size(Level2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LevelIndex = 3;
              elseif LevelIndex == 3
                Level13 = TmpChar;
                LevelSizeRecord(3,:) = size(Level3);
                LevelIndex = 4;
              elseif LevelIndex == 4
                Level14 = TmpChar;
                LevelSizeRecord(4,:) = size(Level4);
              end;
            end;
            Indata(MinX:MaxX,MinY:MaxY) = 0;
        end;
    end;
end;

SizeLevelR1C1 = LevelSizeRecord(1,1);
SizeLevelR2C1 = LevelSizeRecord(2,1);
SizeLevelR3C1 = LevelSizeRecord(3,1);
SizeLevelR4C1 = LevelSizeRecord(4,1);

BaseLevel = [SizeLevelR1C1 SizeLevelR2C1 SizeLevelR3C1 SizeLevelR4C1];
[DataBase IndexBase] = max(BaseLevel);

switch IndexBase
    case 1,
        if ~isempty(Level1)
            NormalC(Level1,'Base');
        end; % Check case empty
        if ~isempty(Level2)
            NormalC(Level2,'Below');
        end; % Check case empty
    case 2,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if ~isempty(Level2)
                NormalC(Level2,'Base');
            end; % Check case empty
            if ~isempty(Level1)
                NormalC(Level1,'Above');
            end; % Check case empty
            if ~isempty(Level3)
                NormalC(Level3,'Below');
            end; % Check case empty
        case 3,
            if ~isempty(Level3)
                NormalC(Level3,'Below');
            end; % Check case empty
            if ~isempty(Level1)
                NormalC(Level1,'Top');
            end; % Check case empty
            if ~isempty(Level2)
                NormalC(Level2,'Above');
            end; % Check case empty
end;
```

Function ใช้ในการปรับตัวอักษรให้อยู่ในขนาด 32 x 32 pixel

```
function NormalC(Indata,Level)
    global    hndlList;
    global    wkImResult;
    global    xW1;
    global    xW2;
    global    xb1;
    global    xb2;
    global    AW1;
    global    AW2;
    global    Ab1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    global      Ab2;
    global      wkASCII;
    global      wkShowASCII;
    global      wkASCIIAbove;
    global      wkImASCIIAbove;
    global      FlagNextChar;
  if  FlagNextChar == 1
    FlagNextChar = 0;
  else
    figNumber=watchon;
    hndlTxT = hndlList(8);
    TxtUnknowHndl = hndlList(9);
    normal = imresize(Indata,[32,32],'nearest');
    [MaxDR,MaxDC] = size(normal);
    axHndl2=hndlList(2);
    axes(axHndl2);
    map = [0 0 0;1 1 1];
    colormap(map);
    imagesc(~normal);
    set(gca,'XTick',[],'YTick',[]);
    normal = NC4(normal);
    normal = (normal > 0);
    [MaxDR,MaxDC] = size(normal);
    Code = zeros(MaxDR,MaxDC);
    for IdCol = 1:MaxDC
        for IdRow = 1:MaxDR
            if  (normal(IdRow,IdCol) == 1)&(Code(IdRow,IdCol)==0)
                    Code = NC8Code(Code,normal,IdRow,IdCol,1);
                    normal = DelNC8Code(normal,IdRow,IdCol,1);
             end;
        end;
     end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 IPNN = GetCode(Code);
if strcmp(Level,'Top')
   [GetIP Id] = Classify(IPNN,xW1,xb1,xW2,xb2);
  set(TxtUnknowHndl,'String','Top');
end;

if strcmp(Level,'Above')
   [GetIP Id] = ClassifyAbove(IPNN,AW1,Ab1,AW2,Ab2);
  set(TxtUnknowHndl,'String','Above');
  wkShowASCII = [wkShowASCII wkASCIIAbove(1,Id)];
  ImShow = wkImASCIIAbove(:,Id);
  ImShow = reshape(ImShow,32,32);
  if Id == 12
      FlagNextChar = 1; %True
  end;
end;

if strcmp(Level,'Base')
      [GetIP Id] = Classify(IPNN,xW1,xb1,xW2,xb2);
      set(TxtUnknowHndl,'String','Base');
      wkShowASCII = [wkShowASCII wkASCII(1,Id)];
      ImShow = wkImResult(:,Id);
      ImShow = reshape(ImShow,32,32);
 end;
if strcmp(Level,'Below')
   [GetIP Id] = Classify(IPNN,xW1,xb1,xW2,xb2);
  set(TxtUnknowHndl,'String','Below');
end;
axHndl3 = hndlList(3);
axes(axHndl3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
set(hndlTxT,'String',wkShowASCII);
imagesc(ImShow);
set(gca,'XTick',[],'YTick',[]);
pause(1);
watchoff(figNumber);
end; % end if FlagNextChar == 1

function OutSeg=SegCFSProj(data)
%This Program use for Segment Char From Sentance
%function OutSeg=SegCFSProj(data)
%You have to sent Data that you want  do
%define data
Bkground = 0;
Forground = 1;
StartC = 1; % Index indicate Start Character
EndC   = 2; % Index indicate End   Character
NumberC  = 1; % Index indicate Number of Character

ProjectCol = sum(data,1);
[MaxRow,MaxCol]=size(ProjectCol);

%initial Program start at zero
for Id=1:MaxCol

  if ProjectCol(1,Id) >= Forground
    IdMean = round(Id/2);
    OutSeg(NumberC,StartC) = Id-IdMean;
    break;
  end;

end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%This start Program at For Ground
Counter = 0;
EndCharacter = 0; % 0 isn't End Character and 1 is End Character
IdCol = Id;
while IdCol~=MaxCol
    %1. Start at Forground
    for IdCol1=IdCol:MaxCol
      if ProjectCol(1,IdCol1)== Bkground
        break;
      end; %if ProjectCol(1,IdCol1)== Bkground
    end;%for IdCol1=IdCol:MaxCol
    %2. Start at Bkground after break
    for IdCol0=IdCol1:MaxCol
      if IdCol0 == MaxCol % Found Forground
        EndCharacter = 1;  break;
      elseif ProjectCol(1,IdCol0)== Bkground
        Counter = Counter+1;
      elseif ProjectCol(1,IdCol0) >= Forground
        EndCharacter = 0;  break;
      end; %if ProjectCol(IdCol0,1) == Forground

    end;%for IdCol0=IdCol1:MaxCol
    %3. Start after found Forground or EndSentance
    if EndCharacter == 0
      IdMean = round(Counter/2);
      OutSeg(NumberC,EndC)=IdCol0-IdMean;
      NumberC = NumberC + 1;
      OutSeg(NumberC,StartC)=IdCol0-IdMean;
      Counter = 0;
      IdCol = IdCol0; % change Index
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else % EndCharacter == 1
      IdMean  = round(Counter/2);
      OutSeg(NumberC,EndC) = IdCol0-IdMean; break;
    end; % EndCharacter == 0
end;
```

Function Contour ใช้กรณีแยกตัวอักษรไม่ได้จากวิธีการ Projection

```
function [MinX,MinY,MaxX,MaxY]=SegChar(data,X,Y,ChkC)
% Program use for Segment Character from the palagraph
% function [MinX,MinY,MaxX,MaxY]=SegChar(data,X,Y,ChkC)
% We have to receive data of Image and Point start X,Y and Check for convert
if nargin <= 3
  ChkC = 1; %Bkground is 0
end;

ix=X;   iy=Y;
jx=ix-1; jy=iy;
d=1;
bx=jx-ix; by=jy-iy;
round=1;
jx=ix;  jy=iy;
MinX=X; MaxX=X;
MinY=Y; MaxY=Y;
while d<=8
  dx=bx+by; dy=by-bx;
  if(dx~=0)
    dx=dx/abs(dx);
  end;
  if(dy~=0)
    dy=dy/abs(dy);
  end;
  ix=jx+dx; iy=jy+dy;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 if (data(ix,iy)==uint8(logical(ChkC)))
    if (MinX>ix) MinX=ix;   end;
    if (MinY>iy) MinY=iy;   end;
    if (MaxX<ix) MaxX=ix;   end;
    if (MaxY<iy) MaxY=iy;   end;
    if (ix==X)&(iy==Y)&(round==2)
      break;
    else
      if (ix==X)&(iy==Y)&(round==1) round=2; end;
      bx=jx-ix; by=jy-iy;
      jx=ix;   jy=iy;
      d=1;
    end;
 else
    bx=dx; by=dy; d=d+1;
  end;
end;
```

Function ใช้ในการแยกประโยคออกจากภาพโดยวิธีการโปรเจคชั่นตามแนวแกนนอนเพื่อให้ได้ประโยคหนึ่งประโยคออกจากภาพ

```
function OutSeg=SegProjection(data,Inthreshold)
%This Program use for Segment a sentance in grammar
%function OutSeg=SegProjection(data,Inthreshold)
%You have to sent Data and Threshold that you want
%OutSeg is OutPut Segment consis Array MaxRow,MinRow follow sentances
%define data
Bkground = 0;
Forground = 1;
StartS = 1; % Index indicate Start Sentance
EndS   = 2; % Index indicate End   Sentance
LineS  = 1; % Index indicate Line  Sentance
if nargin <= 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Inthreshold = 15;
end;
ProjectRow = sum(data,2);
[MaxRow,MaxCol]=size(ProjectRow);
%initial Program start at zero
for Id=1:MaxRow
  if ProjectRow(Id,1) >= Forground
    IdMean = round(Id/2);
    OutSeg(LineS,StartS) = Id-IdMean;
    break;
  end;
end;

%This start Program at For Ground
Counter = 0;
EndGrammar = 0; % 0 isn't End Sentance and 1 is End Sentance
IdRow = Id;
while IdRow~=MaxRow
    %1. Start at Forground
    for IdRow1=IdRow:MaxRow

      if ProjectRow(IdRow1,1)== Bkground
        break;
      end; %if ProjectRow(IdRow0,1)== Bkground

    end;%for IdRow1=IdRow:MaxRow

    %2. Start at Bkground after break
    for IdRow0=IdRow1:MaxRow

      if IdRow0 == MaxRow % Found Forground
        EndGrammar = 1; break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    elseif ProjectRow(IdRow0,1)== Bkground
      Counter = Counter+1;
    elseif ProjectRow(IdRow0,1) >= Forground
      EndGrammar = 0;  break;
    end; %if ProjectRow(IdRow0,1) == Forground

  end;%for IdRow0=IdRow1:MaxRow

  %3. Start after found Forground or EndSentance
  if EndGrammar == 0
    if Counter >= Inthreshold %Case after that sentance
      IdMean = round(Counter/2);
      OutSeg(LineS,EndS) = IdRow0-IdMean;
      LineS = LineS+1;
      OutSeg(LineS,StartS) = IdRow0-IdMean;
      Counter = 0;
     else %Case after that It is vowel
      Counter = 0;
    end; % if Counter >= threshold
    IdRow = IdRow0; % change Index
    else % EndGrammar == 1
    IdMean  = round(Counter/2);
    OutSeg(LineS,EndS) = IdRow0-IdMean; break;
    end; % EndGrammar == 0
end; %end for IdRow = Id:MaxRow

function PrepareToNN(InFileName)
  global count;
  global InToNN;
  count = 0;
  if nargin <= 0
     InFileName = input('File Name BMP => ','s');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end;
    TmpStr=strcat(InFileName,'.bmp');
    Img = imread(TmpStr);
    [MaxR,MaxC]=size(Img);
    if (Img(1,1)==1)&(Img(MaxR,MaxC)==1)
            Img = ~Img;
    end;


  %2. Find Line of the Grammar
  LineS = SegProjection(Img,15);

  %3. Segment Sentance from the Grammar
  [MaxLineR,MaxLineC]=size(LineS);
  [MaxDR,MaxDC]=size(Img);

  StartS = 1;
  EndS   = 2;
  for IdLine = 1:MaxLineR
    StartL = LineS(IdLine,StartS);
    EndL   = LineS(IdLine,EndS);
    Sentance =  Img(StartL:EndL,1:MaxDC);
    %3.1 Segment Char From the Sentance
    SegFromSentance(Sentance);
  end; %for IdLine = 1:MaxLineR

% <<<<<<<<<<<<<<<<<< Save to File mat >>>>>>>>>>>>>>>>>>>
% save c:\GANNDataMat\Consonent  InToNN;
% save c:\GANNDataMat\Ang18  InToNN;
% save c:\GANNDataMat\Bow18  InToNN;
% save c:\GANNDataMat\Cor18  InToNN;
 save c:\GANNDataMat\Free18  InToNN;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
close all;

%================ This Part is part of sub function ========================
function SegFromSentance(Sentance)
    [MaxR,MaxC]=size(Sentance);
    MatrixC = SegCFSProj(Sentance);
    [MaxRM,MaxCM] = size(MatrixC);
    StartC = 1;
    EndC   = 2;
    SMemberShip = [];
    for IdRM = 1:MaxRM
        OnceChar = Sentance(1:MaxR,MatrixC(IdRM,StartC):MatrixC(IdRM,EndC));
        SegFromOnce(OnceChar);
    end; %for IdCM = 1:MaxCM

%============================ Sub Function ================================
function SegFromOnce(Indata)
 [MaxDR,MaxDC] = size(Indata);
 Frame = 2;

for IdCol = 1:MaxDC
  for IdRow = 1:MaxDR
    if Indata(IdRow,IdCol) == 1
      [MinX MinY MaxX MaxY]=SegChar(Indata,IdRow,IdCol,1);
        if ((MaxX-MinX)>=1)&((MaxY-MinY)>=1)

            Char=Indata(MinX:MaxX,MinY:MaxY);
            [MaxRowChar,MaxColumeChar]=size(Char);

            TmpChar = zeros(MaxRowChar+(Frame*2),MaxColumeChar+(Frame*2));
            TmpChar(Frame+1:MaxRowChar+Frame,Frame+1:MaxColumeChar+Frame)=Char;
            NormalC(TmpChar);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        end;
        Indata(MinX:MaxX,MinY:MaxY) = 0;
      end;
    end;
  end;

%========================== Sub Function ==========================
function NormalC(Indata)
%normal = bwmorph(Indata,'thin',Inf);
    global     count;
    global   InToNN;
    count = count + 1;
    fprintf('\n %d',count);
    normal = imresize(Indata,[33,33],'nearest');
     normal = NC4(normal);
     normal = (normal>0);

     [MaxDR,MaxDC] = size(normal);
    figure(1);
    imshow(normal);
    Flg = 0;     Code = zeros(MaxDR,MaxDC);

    for IdCol = 1:MaxDC
       for IdRow = 1:MaxDR
           if  (normal(IdRow,IdCol) == 1)&(Code(IdRow,IdCol)==0)
                 Code = NC8Code(Code,normal,IdRow,IdCol,1);
                 normal = DelNC8Code(normal,IdRow,IdCol,1);
           end;
           end;
      end;

     IPNN = GetCode(Code);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if count == 1
        InToNN = IPNN;
      else
        InToNN = [InToNN,IPNN];
    end;
```

Function การหาของขอบภาพโดยใช้ NC_4

```
function CODE = NC4(Pattern)
[mr mc] = size(Pattern);
CODE = zeros(mr,mc);

for Ir = 2:(mr-1)
  for Ic = 2:(mc-1)
    if Pattern(Ir,Ic) == 1
        x1 = Pattern(Ir  ,Ic+1);
          x2 = Pattern(Ir-1,Ic+1);
          x3 = Pattern(Ir-1,Ic);
          x4 = Pattern(Ir-1,Ic-1);
          x5 = Pattern(Ir  ,Ic-1);
          x6 = Pattern(Ir+1,Ic-1);
          x7 = Pattern(Ir+1,Ic);
        x8 = Pattern(Ir+1,Ic+1);
        CODE(Ir,Ic) = (x1+x3+x5+x7)-(x1*x2*x3)-(x3*x4*x5)-(x5*x6*x7)-(x7*x8*x1);
      end;
  end;
end;
```

Function การหาของขอบภาพโดยใช้ NC_8

```
function Code = NC8Code(Code,data,X,Y,ChkC)
% Program use for Segment Character from the palagraph
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
% function [MinX,MinY,MaxX,MaxY]=SegChar(data,X,Y,ChkC)
% We have to receive data of Image and Point start X,Y and Check for convert
[r,c] = size(data);
ix=X;   iy=Y;
LastIx = X; LastIy = Y;
jx=ix-1; jy=iy;
d=1;
bx=jx-ix; by=jy-iy;
jx=ix;  jy=iy;
MinX=X; MaxX=X;
MinY=Y; MaxY=Y;
while d<=8
  dx=bx+by; dy=by-bx;
  if(dx~=0)
    dx=dx/abs(dx);
  end;
  if(dy~=0)
    dy=dy/abs(dy);
  end;
  ix=jx+dx; iy=jy+dy;
  if (data(ix,iy)==1) % Case found
    Code(LastIx,LastIy) =  GetCode(LastIx,LastIy,ix,iy,data);
    if (ix==X)&(iy==Y)
      break;
    else
      bx=jx-ix; by=jy-iy;
      jx=ix;   jy=iy;
      d=1;
      LastIx = ix; LastIy = iy;
    end;
  else
    bx=dx; by=dy; d=d+1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  end;
end;
```

Function การหารหัส Chain Code

```
function xCode = GetCode(LastIx,LastIy,NewIx,NewIy,data)
    if (LastIx==NewIx)&((LastIy-1)==NewIy)
     xCode = 1;
  elseif ((LastIx-1)==NewIx)&((LastIy-1)==NewIy)% Zone #2
     xCode = 2;
      elseif ((LastIx-1)==NewIx)&(LastIy==NewIy) %Zone #3
            xCode = 3;
     elseif ((LastIx-1)==NewIx)&((LastIy+1)==NewIy) % Zone #4
     xCode = 4;
        elseif (LastIx==NewIx)&((LastIy+1)==NewIy) % Zone #5
         xCode = 5;
       elseif ((LastIx+1)==NewIx)&((LastIy+1)==NewIy) % Zone #6
            xCode = 6;
       elseif ((LastIx+1)==NewIx)&(LastIy==NewIy) % Zone #7
            xCode = 7;
        elseif ((LastIx+1)==NewIx)&((LastIy-1)==NewIy) % Zone #8
            xCode = 8;
    end
```

Function ใช้ในการพื้นที่ ๆ ทำการเข้ารหัสไปแล้ว

```
function Code = DelNC8Code(data,X,Y,ChkC)
% Program use for Segment Character from the palagraph
% function [MinX,MinY,MaxX,MaxY]=SegChar(data,X,Y,ChkC)
% We have to receive data of Image and Point start X,Y and Check for convert
Code = data;
[r,c] = size(data);
ix=X;   iy=Y;
LastIx = X; LastIy = Y;
jx=ix-1; jy=iy;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
d=1;
bx=jx-ix; by=jy-iy;
jx=ix;  jy=iy;
MinX=X; MaxX=X;
MinY=Y; MaxY=Y;
while d<=8
  dx=bx+by; dy=by-bx;
  if(dx~=0)
    dx=dx/abs(dx);
  end;
  if(dy~=0)
    dy=dy/abs(dy);
  end;
  ix=jx+dx; iy=jy+dy;

  if (data(ix,iy)==1) % Case found
  Code(ix,iy) = 0;
    if (ix==X)&(iy==Y)
      break;
    else
      bx=jx-ix; by=jy-iy;
      jx=ix;   jy=iy;
      d=1;
      LastIx = ix; LastIy = iy;
    end;
  else
    bx=dx; by=dy; d=d+1;
  end;
end;
```

Function ใช้การนับจำนวนรหัส Chain Code ในพื้นที่ๆ กำหนด

```
function xOut = GetCode(Code)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%[mr,mc] = zise(Code);
 C11=0; C12=0; C13=0; C14=0;
 C21=0; C22=0; C23=0; C24=0;
 C31=0; C32=0; C33=0; C34=0;
 C41=0; C42=0; C43=0; C44=0;
 C51=0; C52=0; C53=0; C54=0;
 C61=0; C62=0; C63=0; C64=0;
 C71=0; C72=0; C73=0; C74=0;
 C81=0; C82=0; C83=0; C84=0;
 C91=0; C92=0; C93=0; C94=0;

 Flg = 1;
 % Fix Area
   Zone1 = Code(1:11,1:11);
   Zone2 = Code(1:11,12:21);
   Zone3 = Code(1:11,22:32);
   Zone4 = Code(12:21,1:11);
   Zone5 = Code(12:21,12:21);
    Zone6 = Code(12:21,22:32);
    Zone7 = Code(22:32,1:11);
    Zone8 = Code(22:32,12:21);
    Zone9 = Code(22:32,22:32);
    [mr,mc] = size(Zone1);
     for Ir = 1:mr
       for Ic = 1:mc
         switch Zone1(Ir,Ic)
           case {1,5}, C11 = C11+1;
           case {2,6}, C12 = C12+1;
           case {3,7}, C13 = C13+1;
           case {4,8}, C14 = C14+1;
           end;
      end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end;

  [mr,mc] = size(Zone2);
  for Ir = 1:mr
    for Ic = 1:mc
      switch Zone2(Ir,Ic)
          case {1,5}, C21 = C21+1;
          case {2,6}, C22 = C22+1;
          case {3,7}, C23 = C23+1;
          case {4,8}, C24 = C24+1;
       end;
    end;
end;
  [mr,mc] = size(Zone3);
  for Ir = 1:mr
    for Ic = 1:mc
     switch Zone3(Ir,Ic)
        case {1,5}, C31 = C31+1;
        case {2,6}, C32 = C32+1;
        case {3,7}, C33 = C33+1;
        case {4,8}, C34 = C34+1;
     end;
    end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
[mr,mc] = size(Zone4);
for Ir = 1:mr
 for Ic = 1:mc
  switch Zone4(Ir,Ic)
      case {1,5}, C41 = C41+1;
      case {2,6}, C42 = C42+1;
      case {3,7}, C43 = C43+1;
      case {4,8}, C44 = C44+1;
      end;
  end;
end;
[mr,mc] = size(Zone5);
 for Ir = 1:mr
  for Ic = 1:mc
   switch Zone5(Ir,Ic)
      case {1,5}, C51 = C51+1;
      case {2,6}, C52 = C52+1;
      case {3,7}, C53 = C53+1;
      case {4,8}, C54 = C54+1;
   end;
 end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
[mr,mc] = size(Zone6);
 for Ir = 1:mr
  for Ic = 1:mc
   switch Zone6(Ir,Ic)
      case {1,5}, C61 = C61+1;
      case {2,6}, C62 = C62+1;
      case {3,7}, C63 = C63+1;
      case {4,8}, C64 = C64+1;
    end;
  end;
end;

[mr,mc] = size(Zone7);
 for Ir = 1:mr
  for Ic = 1:mc
   switch Zone7(Ir,Ic)
      case {1,5}, C71 = C71+1;
      case {2,6}, C72 = C72+1;
      case {3,7}, C73 = C73+1;
      case {4,8}, C74 = C74+1;
    end;
  end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 [mr,mc] = size(Zone8);
 for Ir = 1:mr
  for Ic = 1:mc
    switch Zone8(Ir,Ic)
        case {1,5}, C81 = C81+1;
        case {2,6}, C82 = C82+1;
        case {3,7}, C83 = C83+1;
        case {4,8}, C84 = C84+1;
    end;
   end;
end;

 [mr,mc] = size(Zone9);
 for Ir = 1:mr
  for Ic = 1:mc
    switch Zone9(Ir,Ic)
    case {1,5}, C91 = C91+1;
        case {2,6}, C92 = C92+1;
        case {3,7}, C93 = C93+1;
        case {4,8}, C94 = C94+1;
    end;
   end;
end;
xOut = [C11;C12;C13;C14;...
            C21;C22;C23;C24;...
            C31;C32;C33;C34;...
            C41;C42;C43;C44;...
            C51;C52;C53;C54;...
            C61;C62;C63;C64;...
            C71;C72;C73;C74;...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
C81;C82;C83;C84;...
C91;C92;C93;C94];
```

Function เจนเนติกอัลกอริธึมที่ใช้ในการหาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น

```
function [xval,maxf]=ACGANN(gens)
% A Hybrid neural network learning algorithm consis First State and Second State
% This is First State....
% Infomation I definite Population size 250
% Lengh of decision varible : 10 bits
% Chromosome lengh : 96 is 16 x 6. That 6 is weight
% Crossover rate : 0.8
% Mutation reat : 0.08
% Range of decision variable -5 to 5
% Mutation proportion number = 0.6
% I used the function criteria in Genetic is FNNeural
% ================== Part of Argument ==================
range = [-2 2];     %evaluate between -5 to 5
bits  = ((36*73)+73+(73*7)+7)*11;        %bits is once chromosome combinition
(Input*Hidden)+bias Hidden + (Hidden*Output) + bias Output
pop   = 150;
%gens  = 500;    %Generation
mu    = 0.09;   %Mutation
matenum = 0.8;   %Mation proportion number
criteria = 'FF2Neural';
% ================== End of Part of Argument ==========
newpop = [ ]; a=range(1); b=range(2);
%newpop=genbit(bits,pop);
load wgenxxx;
% Initial about neural mse = mean squre error
ave = 1;
for i=1:gens
    [Maxtot,selpop]=selectga(criteria,newpop,a,b);
    newgen=matesome(selpop,matenum);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    newgen1=mutate(newgen,mu);
    newpop=newgen1;
    fprintf('Generation = %d Max This gen = %3.4f \n ',i,Maxtot);
end;
[s1 s2]=size(newpop);
[fit,fitot] = fitness(criteria,newpop,a,b);
[maxf,mostfit]=max(fit)
%xval=binvreal(newpop(mostfit,:),a,b);
CreateW(newpop(mostfit,:),a,b);
save c:\GANNDatamat\wgenxxx newpop;
```

Function เจนเนติกอัลกอริธึมที่ใช้ในการเปลี่ยนเลขไบนารีเป็นค่าตัวเลขซึ่งอยู่ในช่วง –2 ถึง 2

```
function rval=binvreal(chrom,a,b)
%converts chromosome to real value in range a to b
wkChrom = double(chrom);
[pop bitlength]=size(chrom);
maxchrom=(2^bitlength)-1;
realel = wkChrom.*((2*ones(1,bitlength)).^fliplr([0:bitlength-1]));
tot=sum(realel);
rval=a+(tot*(b-a)/maxchrom);

function [fit,fitot]=fitness(criteria,chrom,a,b)
%Calculates fitness of set of chromosomes in range a to b
%Length of Chromosomes
Lenbit      = 11;
IPNode   = 36;
HDNode  = 73;
OPNode  = 7;
Bias1      = 73;
Bias2      = 7;
NumOfW1 = IPNode*HDNode;
NumOfW2 = HDNode*OPNode;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
NumOfToT = NumOfW1+Bias1+NumOfW2+Bias2;
[pop bitl]=size(chrom);
W1 = []; b1 = []; W2 = []; b2 = [];
for k=1:pop % each pop
    wkWeight(1,1) = binvreal(chrom(k,1:Lenbit),a,b);
    for Id = 2:NumOfToT
        wkWeight(1,Id) = binvreal(chrom(k,(((Id-1)*Lenbit)+1):(Id*Lenbit)),a,b);
    end

   W1(1,:) = wkWeight(1,1:IPNode);
    for Id = 2:HDNode
        W1(Id,:) = wkWeight(1,(((Id-1)*IPNode)+1):(Id*IPNode));
    end;
    Startb1 = (Id*IPNode)+1;
    b1 = wkWeight(1,Startb1:(Startb1+Bias1-1))';
    CalW2 = NumOfW1+Bias1;
    W2(1,:) = wkWeight(1,(CalW2+1):(CalW2+HDNode));
    for Id = 2:OPNode
        W2(Id,:) = wkWeight(1,(((Id-1)*HDNode)+1+CalW2):((Id*HDNode)+CalW2));
    end;
   Startb2 = (Id*HDNode)+CalW2+1;
   b2 = wkWeight(1,Startb2:(Startb2+Bias2-1))';
   fit(k)=1./feval(criteria,W1,W2,b1,b2);
end;
fitot = sum(fit);
```

Function เจนเนติกที่ใช้ในการสุ่มประชากรเริ่มต้น

```
function chromosome=genbit(bitl,numchrom)
maxchros=2^bitl;
if numchrom>=maxchros
  numchrom = maxchros;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
chromosome = uint8(round(rand(numchrom,bitl)));
```

Function เจนเนติกที่ใช้ในการเลือกจับคู่โครโมโซมพ่อกับแม่

```
function chrom1=matesome(chrom,matenum)
mateind=[]; chrom1=chrom;
[pop bitlength]=size(chrom); ind=1:pop;
u=floor(pop*matenum);
if floor(u/2)~=u/2,u=u-1; end;
%select percentage to mate randomly
while length(mateind)~=u
  i=round(rand*pop);
  if i==0, i=1; end;
  if ind(i)~=-1
    mateind=[mateind i]; ind(i)=-1;
  end;
end;
%perform single point crossover
for i=1:2:u-1
  splitpos=floor(rand*bitlength);
  if splitpos==0, splitpos=1; end;
  i1=mateind(i); i2=mateind(i+1);
  tempgene=chrom(i1,splitpos+1:bitlength);
  chrom1(i1,splitpos+1:bitlength)=chrom(i2,splitpos+1:bitlength);
  chrom1(i2,splitpos+1:bitlength)=tempgene;
end;
```

Function เจนเนติกที่ใช้ในการมูเตชัน

```
function chrom=nutate(chrom,mu)
%mutate small portion of chromosomes
[pop bitlength]=size(chrom);
for i=1:pop
  for j=1:bitlength
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if rand<=mu
      if chrom(i,j)==1
        chrom(i,j)=0;
      else
        chrom(i,j)=1;
      end;
    end;
  end;
end;
```

Function เจนเนติกที่ใช้ในการเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด

```
function [fitot,newchrom]=selectga(criteria,chrom,a,b)
%Selects best chromosomes for next generation using criteria
[pop bitlength]=size(chrom);
fit=[];
%calculate fitness
[fit,fitot]=fitness(criteria,chrom,a,b);
for chromnum=1:pop
  sval(chromnum)=sum(fit(1,1:chromnum));
end;
%select according to fitness
parname=[ ];
for chromnum=1:pop
  rval=floor(fitot*rand);
  if rval<sval(1)
    parname=[parname 1];
  else
    for j=1:pop-1
      sl=sval(j); su=sval(j)+fit(j+1);
      if (rval>=sl)&(rval<=su)
        parname=[parname j+1];
      end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end;
  end;
end;
newchrom(1:pop,:) = chrom(parname,:);
function ave = FF2Neural(W1,W2,b1,b2)
load ang18;

in =  InToNN;
[mr mc] = size(in);

OP = [0 0 0 0 0 0 1;
      0 0 0 0 0 1 0;
      0 0 0 0 0 1 1;
      0 0 0 0 1 0 0;
      0 0 0 0 1 0 1;
      0 0 0 0 1 1 0;
      0 0 0 0 1 1 1;
      0 0 0 1 0 0 0;
      0 0 0 1 0 0 1;
      0 0 0 1 0 1 0;
      0 0 0 1 0 1 1;
      0 0 0 1 1 0 0;
      0 0 0 1 1 0 1;
      0 0 0 1 1 1 0;
      0 0 0 1 1 1 1;
      0 0 1 0 0 0 0;
      0 0 1 0 0 0 1;
      0 0 1 0 0 1 0;
      0 0 1 0 0 1 1;
      0 0 1 0 1 0 0;
      0 0 1 0 1 0 1;
      0 0 1 0 1 1 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0010111;
0011000;
0011001;
0011010;
0011011;
0011100;
0011101;
0011110;
0011111;
0100000;
0100001;
0100010;
0100011;
0100100;
0100101;
0100110;
0100111;
0101000;
0101001;
0101010;
0101011;
0101100;
0101101;
0101110;
0101111;
0110000;
0110001;
0110010;
0110011;
0110100;
0110101;
0110110;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0 1 1 0 1 1 1;
0 1 1 1 0 0 0;
0 1 1 1 0 0 1;
0 1 1 1 0 1 0;
0 1 1 1 0 1 1;
0 1 1 1 1 0 0;
0 1 1 1 1 0 1;
0 1 1 1 1 1 0;
0 1 1 1 1 1 1;
1 0 0 0 0 0 0;
1 0 0 0 0 0 1;
1 0 0 0 0 1 0;
1 0 0 0 0 1 1;
1 0 0 0 1 0 0;
1 0 0 0 1 0 1;
1 0 0 0 1 1 0;
1 0 0 0 1 1 1];

target = OP';
for i = 1:mc
  P = in(:,i);
  [A1 A2] = SIMUFF(P,W1,b1,'logsig',W2,b2,'logsig');
  Serror(i) = sum(target(:,i)-A2);
end;
ave = 0.5*(sum(Serror.^2));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายอุกฤษณ์ มารังค์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีครุศาสตร์คอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2539 ระดับ ป.ว.ส สาขาเทคนิคคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ ปีการศึกษา 2537 ทำงานเป็นโปรแกรมเมอร์บริษัทดาต้าแม๊ทจำกัด 1252 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพ 1 ตุลาคม 2539 ถึง 1 มกราคม 2541.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้