

การรจาดวอภษรธรมอีสานด้วยจเนตภอถภอริทม

ISAN DHAMMA CHARACTER RECOGNITION USING  
GENETIC ALGORITHM

สุพิน ไตรแภวเจริญ  
SUPIN TRIKEAWCHAROEN

วิทยานิพนธเนนเป็นส่วนหน่งของการค้ภษตามหลักฐตรปริญญาวิทยาคาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระภอมเกล้าเจ้าภณฑหารจาดภษรธรม

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจีเนติกอัลกอริทึม

ISAN DHAMMA CHARACTER RECOGNITION USING  
GENETIC ALGORITHM

สุพิน ไตรแก้วเจริญ

SUPIN TRIKEAWCHAROEN

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **75110**  
วัน,เดือน,ปี... **19** ต.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**ISAN DHAMMA CHARACTER RECOGNITION USING  
GENETIC ALGORITHM**

**SUPIN TRIKEAWCHAROEN**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2007**

**COPYRIGHT 2007**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตริกอัลกอริทึม
นักศึกษา	นางสาวสุพิน ไตรแก้วเจริญ
รหัสนักศึกษา	45061520
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อาริต ธรรมโน

### บทคัดย่อ

อักษรธรรมอีสานเป็นอักษรโบราณที่ใช้ในภาคอีสานของประเทศไทย ตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 22 - 24 เป็นตัวอักษรที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับพุทธศาสนา วรรณกรรม ประเพณี พิธีกรรม ภูมิปัญญา ตลอดจนตำรายา ต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญ แต่ในปัจจุบันผู้ที่สามารถอ่านอักษรธรรมอีสานและผู้ที่ให้ความสนใจในการอ่านน้อย เพื่อเป็นการอนุรักษ์และถ่ายทอดภูมิปัญญาต่าง ๆ นั้นออกมา จึงได้นำเทคนิคการรู้จำมาประยุกต์ใช้ในการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการที่จะช่วยในการถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ เหล่านั้นออกมา ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำจินตริกอัลกอริทึมมาใช้ในการรู้จำอักษรธรรมอีสานที่เป็นลายมือเขียนบนใบลาน โดยในการรู้จำไม่ได้มีการดึงคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรออกมาแต่จะใช้ค่าของรูปภาพแบบไบนารี (binary image) มาใช้ในการรู้จำ โดยมีการพัฒนาการมิตเวชันจะไม่ใช้วิธีการสุ่มเลือกขึ้นมามิตเวชันแต่จะใช้ค่าความผิดพลาดของการให้คำตอบมาระบุนั้นที่ต้องมิตเวชัน ซึ่งการมิตเวชันจะเป็นการสร้างรูปแบบตัวอักษรให้มีหลากหลายรูปแบบมากขึ้น และการเพิ่มและลดขึ้นในโครโมโซมเพื่อให้การรู้จำมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับ การอ่านของพระภิกษุสามเณร โดยการตอบแบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมและเปรียบเทียบกับ Modified Hausdorff ARTMAP จากผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตริกอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการรู้จำที่สูงกว่าการตอบแบบทดสอบของพระภิกษุสามเณรและ Modified Hausdorff ARTMAP

<b>Thesis Title</b>	Isan Dhamma Character Recognition Using Genetic Algorithm
<b>Student</b>	Ms. Supin Trikeawcharoen
<b>Student ID.</b>	45061520
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Information Technology
<b>Year</b>	2007
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Arit Thammano

### **ABSTRACT**

Isan Dhamm characters are old characters used in northeastern Thailand (Isan) and some regions of its neighboring countries during the 22<sup>nd</sup> – 24<sup>th</sup> Buddhist century. It was written about a local wisdom and knowledge of Isan. At present, this knowledge has received increasing attention; however a few people can read it. The purpose of this research is to apply Genetic Algorithm Technique to recognize Isan Dhamma character in order to preserve useful knowledge. The proposed method does not extract the features of the characters, but used their binary image for recognition. The mutation operation, the gene that cause maximum error will be mutated. Moreover the number of gene in the chromosome can be added and deleted in order to improve the efficiency of the model. The performance of the proposed algorithm is compared to the results of the test done by Buddhist monks and Modified Hausdorff ARTMAP. Experimental results show that the purposed algorithm outperforms Buddhist monks and Modified Hausdorff ARTMAP by a wide margin.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร.อาริต ธรรมโน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ชี้แนะแนวทางและดูแลเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณกิริติวัฒน์ ธนภัทรภูวานันท์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องศูนย์ข้อมูลเอกโบลาน สถาบันวิจัยศิลปะและวัฒนธรรมอีสาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำโครงการอนุรักษ์โบลาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เจ้าหน้าที่หอสมุดแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ และทุกๆ ท่านที่อนุเคราะห์ในการให้ข้อมูล

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสถาบันวิจัยศิลปะและวัฒนธรรมอีสานทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยศิลปะและวัฒนธรรมอีสาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้โอกาสและทุนสนับสนุนในการศึกษา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุพิน ไตรแก้วเจริญ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อักษรธรรมอีสาน .....	4
2.1.1 ประเภทของหนังสือโบราณ .....	4
2.1.2 ลักษณะโครงสร้างของตัวอักษรธรรมอีสาน .....	5
2.2 จินตนิมิตอักษรธรรม .....	7
2.2.1 ฟังก์ชันความเหมาะสม .....	8
2.2.2 ตัวดำเนินการจินตนิมิต .....	8
2.3 ขั้นตอนการทำงานของจินตนิมิตอักษรธรรม .....	12
2.4 ฮาอูสคอร์ดฟิสแทนส์ .....	13
2.5 การหาโครงร่างตัวของภาพ .....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	22
บทที่ 3 การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตนิมิตอักษรธรรม.....	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตภาพอักษรพิมพ์	37
4.1 ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ	37
4.2 การเตรียมข้อมูล	38
4.3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบ	39
4.4 ผลการทดสอบ	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก. แบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสาน	57
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	65
ประวัติผู้เขียน	71

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงพยัญชนะตัวเต็มของอักษรธรรมอีสาน .....	6
2.2 แสดงความน่าจะเป็นของการคัดเลือกค่าความเหมาะสม .....	9
2.3 แสดงค่าฮาอูสคอร์ดฟิสแทนส์ .....	19
2.4 แสดงการวัดระยะทางด้วยค่าเฉลี่ยยูคลีเดียนคิสแทนส์ .....	20
2.5 การวัดระยะทางระหว่างเซตของจุด 24 วิธี .....	25
2.6 แสดงผลการทดลอง .....	25
3.1 ค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดในแต่ละโครโมโซม .....	31
4.1 ตัวอักษรธรรมอีสานที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล .....	38
4.2 แสดงผลการทดสอบการอ่านอักษรธรรมของพระภิกษุ สามเณร .....	41
4.3 ผลการทดลองที่ 1 .....	42
4.4 ผลการทดลองที่ 2 .....	42
4.5 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง .....	42
4.6 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 1 ที่ให้คำตอบที่ผิด .....	44
4.7 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 1 กับผลคำตอบ .....	45
4.8 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 2 ที่ให้คำตอบที่ผิด .....	46
4.9 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 2 กับผลคำตอบ .....	47
4.10 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 3 ที่ให้คำตอบที่ผิด .....	48
4.11 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 3 กับผลคำตอบ .....	49
4.12 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 22 ที่ให้คำตอบที่ผิด .....	49
4.13 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 22 กับผลคำตอบ .....	49
4.14 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 23 ที่ให้คำตอบที่ผิด .....	50
4.15 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 23 กับผลคำตอบ .....	51

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างหนังสือผูกและหนังสือก๊อมนที่เขียนด้วยอักษรธรรมอีสาน .....	5
2.2 แสดงตัวอักษรธรรมอีสานบนเอกสารโบราณ .....	7
2.3 แสดงวงล้อถ่วงน้ำหนัก .....	10
2.4 แสดงการครอสโอเวอร์แบบต่าง ๆ ของข้อมูลแบบไบนารี .....	11
2.5 แสดงการมิวเตชันข้อมูลแบบไบนารี .....	12
2.6 แสดงอัลกอริทึมการทำงานของจีเนติก .....	13
2.7 แสดงตัวอักษร A ในแบบต่าง ๆ .....	14
2.8 แสดงจุด p ที่จะทำการลบในหน้าต่างขนาด 3x3 .....	21
2.9 แสดงการสร้างเส้นเชื่อมและกำหนดมุมในโทนด .....	22
2.10 รูปโครงร่างเส้นขอบของภาพ .....	25
3.1 สถาปัตยกรรมการเรียนรู้ด้วยจีเนติกอัลกอริทึม .....	27
3.2 แสดงรูปก่อนและหลังการผ่านกระบวนการ preprocessing .....	27
3.3 แสดงตัวอย่างโครโมโซมที่สร้างขึ้น .....	28
3.4 แสดงโครโมโซมก่อนและหลังการครอสโอเวอร์ .....	30
3.5 แสดงยีนตัวอักษรก่อนและหลังการมิวเตท .....	32
3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครโมโซมในการเพิ่มยีนตัวอักษร .....	33
3.7 แสดงโครโมโซมก่อนและหลังการลบยีนตัวอักษร .....	34
3.8 ขั้นตอนของการทำงานในการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน .....	35
4.1 รูปแบบตัวอักษรธรรมอีสานที่ใช้ในการทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน .....	37
5.1 ภาพโบราณที่บันทึกด้วยตัวอักษรธรรมอีสานที่มีสัญญาณรบกวน .....	53

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อักษรธรรมอีสานเป็นอักษรโบราณที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลต่างๆ ในภาคอีสานของประเทศไทย ซึ่งในอดีตได้ใช้ตัวอักษรธรรมอีสานในการบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่มีความสำคัญและเป็นองค์ความรู้ของคนในอดีต ตัวอักษรธรรมอีสานมีการบันทึกบนศิลาจารึก และบนใบลาน ซึ่งข้อมูลที่บันทึกบนใบลานจะบันทึกข้อมูลที่มีความสำคัญ เช่น การบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับพระพุทธศาสนา วรรณกรรม พิธีกรรมต่างๆ และคำราชา เป็นต้น ใบลานที่บันทึกข้อมูลเหล่านี้เรียกว่า หนังสือใบลาน ซึ่งหนังสือใบลานเป็นหลักฐานที่มีความสำคัญมาก เพราะมีองค์ความรู้ต่างๆ บันทึกไว้มากมาย แต่ในปัจจุบันผู้ที่สามารถอ่านอักษรธรรมอีสานได้มีอยู่น้อย และนับวันที่จะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งจะทำให้ความรู้และภูมิปัญญาต่างๆ เหล่านี้ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก จะถูกทำลายและสูญหายไป เพราะไม่สามารถอ่านได้ จึงทำให้คนทั่วไปไม่เห็นความสำคัญของหนังสือใบลาน ดังนั้นถ้ามีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ในการถ่ายทอดความรู้ในหนังสือใบลานออกมา ก็จะทำให้ความรู้และภูมิปัญญาต่างๆ นั้น ถูกถ่ายทอดออกมาซึ่งองค์ความรู้นั้นก็จะเป็นประโยชน์ต่อชนรุ่นหลังต่อไป

ในปัจจุบันๆ ได้มีเทคโนโลยีเกิดขึ้นมากมายและก็มีมีการประยุกต์นำเทคโนโลยี มาใช้ในการรู้จำรูปแบบต่างๆ เช่นการรู้จำรูปภาพ [1] การรู้จำตัวอักษร [2, 3, 4, 5] และการรู้จำเสียง โดยมีเทคนิคต่างๆ เช่น เทคนิคการรู้จำโดยโครงข่ายประสาทเทียม [6] ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงในการรู้จำ เป็นต้น หากมีการนำเทคนิคต่างๆ นั้นมาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน ก็จะเป็นการช่วยถ่ายทอดข้อมูลความรู้และภูมิปัญญาต่างๆ ที่อยู่บนหนังสือใบลานออกมาได้

จินตคณิตอรรถวิทย์ เป็นกระบวนการที่มีขั้นตอนการในการหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหา โดยใช้แนวคิดการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของการคัดเลือกสายพันธุ์และการถ่ายทอดทางพันธุกรรม คือสายพันธุ์ที่ดีย่อมมีโอกาสรอดหรือถูกเลือกเป็นสายพันธุ์ของรุ่นต่อไป ส่วนสายพันธุ์ที่ไม่ดีก็จะไม่ได้รับการคัดเลือก

การวิจัยครั้งนี้ได้สังเกตเห็นคุณสมบัติของจินตคณิตอรรถวิทย์ในการหาคำตอบของปัญหาได้ดีวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับมาใช้ในการรู้จำรูปแบบตัวอักษรเพราะในการทำงานของจินตคณิตอรรถวิทย์จะมีการกำหนดฟังก์ชันเพื่อหาค่าความเหมาะสมเพื่อใช้ในการเลือกโครโมโซมในการสร้างประชากรรุ่นต่อไป และมีวิธีการกระทำกับโครโมโซมเพื่อจะได้โครโมโซมที่สมบูรณ์และ

แข็งแรงที่จะเป็นคำตอบที่ดีของปัญหา ซึ่งโครโมโซมใหม่อาจจะเป็นโครโมโซมที่ดีที่ให้ค่าความเหมาะสมสูง และเป็นคำตอบที่ดีของปัญหาได้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษากระบวนการรู้จำรูปแบบ
2. เพื่อศึกษาวิธีการนำจีเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการกระบวนการรู้จำรูปแบบ
3. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน โดยไม่ใช้วิธีการดึงคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) แต่จะทำการรู้จำโดยใช้ค่าของรูปภาพแบบไบนารี (binary image)

## 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนออัลกอริทึมการรู้จำรูปแบบโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการรู้จำโดยไม่มี การดึงคุณลักษณะเด่นของรูปภาพ ใช้ฮิวริสติกฟังก์ชันแทนสในการวัดค่าความเหมือนระหว่างยีน อ้างอิงในโครโมโซมกับอินพุตแพทเทิร์นเพื่อคำนวณค่าความเหมาะสม และเสนอวิธีการในการ มิวเททโครโมโซม โดยในการคำนวณค่าความเหมาะสมจะมีการเก็บค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นว่ายีน ใดในโครโมโซมให้ค่าความผิดพลาดมากยีนนั้นในโครโมโซมจะถูกเลือกขึ้นมามิวเทท ซึ่งการ มิวเททเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนทำให้เกิดยีนใหม่ในโครโมโซมในประชากรรุ่นต่อไป และเกิดรูปแบบใหม่ให้เรียนรู้มากยิ่งขึ้น และถ้าโครโมโซมที่เกิดขึ้นใหม่ให้ค่าความเหมาะสมมากก็ จะถูกเลือกเป็นประชากรรุ่นต่อไปที่ใช้ในการเรียนรู้การรู้จำรูปแบบ หรือโครโมโซมนั้นก็จะไม่ถูก เลือกเมื่อให้ค่าความเหมาะสมน้อยและจะสูญพันธุ์ไปในที่สุด การพิจารณาการมิวเททวิธีนี้จะทำให้ การเข้าถึงคำตอบของปัญหาได้เร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการทำงานแบบ off-line
2. ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นข้อมูลพยัญชนะตัวเต็มของตัวอักษรธรรมอีสานโดยการ สแกนจากเอกสารโบราณ แบบภาพ ขาว – ดำ ด้วยความละเอียด 600 dpi
3. งานวิจัยนี้ไม่ใช้วิธีการดึงคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) แต่จะใช้ค่าของรูปภาพ แบบไบนารี (binary image)

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้
2. ได้เทคนิคและวิธีการในการเรียนรู้การรู้จำรูปแบบตัวอักษรธรรมอีสาน
3. เป็นพื้นฐานในการนำไปวิจัยและพัฒนาเพื่อให้การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาการอ่านและลักษณะตัวอักษรธรรมอีสาน
2. ศึกษากระบวนการแยกตัวอักษรออกจากเอกสารและการหาโครงร่างของตัวอักษร
3. ศึกษาวิธีการวัดค่าความเหมือนระหว่างรูปแบบ
4. ศึกษาเทคนิคและวิธีการการเรียนรู้และการรู้จำรูปแบบ
5. ศึกษาเทคนิควิธีการจินตภาพอักษรที่ม
6. ศึกษาและทดลองปรับแนวความคิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อักษรธรรมอีสาน

อักษรธรรมอีสานเป็นอักษรโบราณที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย บางครั้งจะเรียกว่า “ตัวธรรมอีสาน” หรือหนังสือธรรม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับตัวธรรมภาคเหนือที่เรียกกันว่า “ตัวเมือง” หรือตัวธรรมล้านนา [7] จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์พบว่ามีหลักฐานการใช้ตัวอักษรธรรม ตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 22 โดยพบว่ามีกรบันทึกเรื่องราวและองค์ความรู้ต่างๆ ไว้มากมาย ในการบันทึกข้อมูลต่างๆ นั้นมีการบันทึกลงบนวัสดุต่างๆ เช่น บนศิลาจารึก บนฐานพระพุทธรูปไม้และโลหะ และที่สำคัญบนใบลานหรือที่เรียกกันว่าหนังสือใบลาน

อิทธิพลของอักษรธรรมที่มีต่อประชาชนท้องถิ่นอีสาน ในอดีตชาวอีสานเมื่อต้องการเรียนหนังสือ บิดามารดาต้องส่งบุตรหลานไปเรียนที่วัด ผู้ที่จะไปเรียนได้ต้องเป็นเด็กผู้ชาย เมื่อเด็กผู้ชายถึงวัยศึกษา ก็ให้บวชเรียนที่วัดเพื่อจะได้เรียนหนังสือ ศึกษาหาความรู้ ดังนั้นการไปเรียนที่วัดจะได้ศึกษาถึงพระธรรมคำสอนของพุทธศาสนา หนังสือที่ใช้ในการศึกษาก็จะเป็นหนังสือใบลานซึ่งมีการบันทึกด้วยอักษรธรรมอีสานหรือตัวธรรมอีสาน [8] ดังนั้นคนอีสานที่ได้ศึกษาเล่าเรียนในอดีตจึงมีความรู้ด้านตัวอักษรธรรมอีสานและใช้ตัวอักษรธรรมอีสานในการบันทึกข้อมูล จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่พบว่าองค์ความรู้ต่างๆ เช่น ตำรายาสมุนไพรโบราณ พิธีกรรมต่างๆ คำบาชศรีสู่ขวัญ และข้อมูลต่างๆ ที่บันทึกด้วยอักษรธรรม ชาวอีสานยังมีความเชื่อด้วยว่าหนังสือใบลานนั้นมีความศักดิ์สิทธิ์ เมื่อผู้ใดพบก็จะนำไปเก็บไว้ที่วัด

#### 2.1.1 ประเภทของหนังสือใบลาน

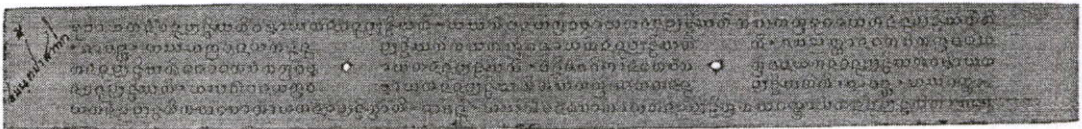
หนังสือใบลานนั้นถ้าพิจารณารูปลักษณะภายนอกจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

2.1.1.1 หนังสือผูก คือหนังสือใบลานที่มีขนาดความยาวประมาณ 50 – 60 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 4 – 6 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.1(a) ในหนังสือผูกยังสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภท

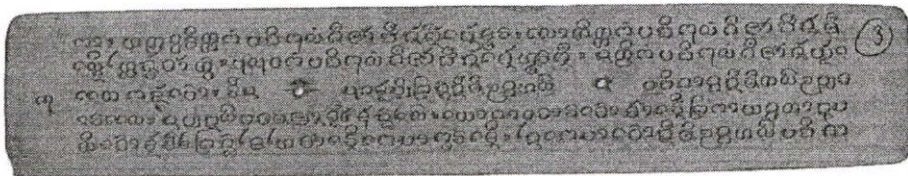
1 หนังสือที่ใช้ในวัดหรือเรียกว่าหนังสือคหิธรรม เนื้อหาจะถูกแบ่งออกเป็นตอนๆ แต่ละตอนจะเรียกว่าผูก ในแต่ละผูก จะมีใบลานจำนวนที่ใบก็ได้แต่โดยมากจะประมาณ 30 ใบ สำหรับการบันทึกนั้น จะบันทึกทั้งด้านหน้าและด้านหลังของใบลาน โดยแต่ละใบก็จะมีการบันทึกเลขลำดับของใบลาน ซึ่งหนังสือใบลานประเภทนี้ได้แก่พระธรรมคำสอนของศาสนา นิทานชาดก เรื่องพระเวสสันดร เป็นต้น

2 หนังสือผูกที่ใช้นอกวัดหรือหนังสือคคิโลก เป็นหนังสือที่ใช้ตามบ้านของฆราวาส คือเมื่อผู้ที่ได้บวชเรียนแล้วได้ศึกษาการเขียนตัวอักษรธรรมอีสาน จึงนำความรู้นั้นมาใช้บันทึก ข้อมูลส่วนใหญ่เป็นนิทานพื้นบ้าน หรือวรรณกรรมพื้นบ้านของภาคอีสานเช่น เรื่องผาแดงนางไอ่ เรื่องกำกาคำ จำปาสี่ต้น เป็นต้น

2.1.1.2 หนังสือก้อม คือหนังสือใบลาน ขนาดสั้น มีความยาวระหว่าง 20 - 30 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 4 - 6 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นหนังสือที่บันทึกเรื่องราวของฆราวาส ที่เป็นเรื่องของสิ่งศักดิ์สิทธิ์ ซึ่งมีเนื้อหาสั้น ๆ เช่น บทสวดวิญ โหราศาสตร์ กฎหมายโบราณ และตำรายาสมุนไพร ในการเขียนหรือการบันทึกลงในใบลานจะเรียกว่า จาร ในการจารนั้นใบลานแต่ละใบ จะเขียนหรือจารตัวอักษรประมาณ 3-6 บรรทัด



(a) ตัวอย่างภาพหนังสือผูก



(b) ตัวอย่างภาพหนังสือก้อม

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างหนังสือผูกและหนังสือก้อมที่เขียนด้วยอักษรธรรมอีสาน

2.1.2 ลักษณะโครงสร้างของตัวอักษรธรรมอีสาน

ในการศึกษาเพื่อหาเทคนิคและวิธีการในการเรียนรู้การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน ได้ศึกษา ถึงลักษณะโครงสร้างและรูปของตัวอักษรธรรมอีสาน อักษรธรรมอีสานประกอบด้วย พยัญชนะ [9,10] สระ เช่นเดียวกับภาษาไทย แต่ไม่มีรูปวรรณยุกต์ ตัวอักษรธรรมอีสานแบ่งออกได้ดังนี้

2.1.2.1 พยัญชนะ แบ่งออกเป็น

- 1 พยัญชนะตัวเต็ม คือ พยัญชนะทั้งหมดที่มีในอักษรธรรมอีสานมีจำนวน 35 ตัว
- 2 ตัวเพ็ญ บางครั้งเรียกว่าตัวห้อยหรือตัวตีน จะมีการเขียนไว้ได้บรรทัดหรือบางครั้งไว้ข้างบนเพื่อแสดงหน้าที่เป็นตัวสะกด ตัวควบกล้ำ หรือเป็นตัวตามในภาษาบาลี

## 2.1.2.2 สระ แบ่งได้เป็น

1 สระจม หมายถึงสระที่ต้องอาศัยพยัญชนะมาประสมด้วยเพื่อที่จะออกเสียงได้ตามต้องการ

2 สระลอย หมายถึง สระที่ออกเสียงตามสระนั้น ในอักษรธรรมอีสานจะมีรูปของสระนั้นโดยไม่ต้องมีพยัญชนะมาประสมเช่นในอักษรของภาษาไทย

## 2.1.2.3 ตัวเลข ในอักษรธรรมอีสานพบว่ามีลักษณะคล้ายกับตัวเลขไทย มีตั้งแต่เลข 0-9

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการเรียนรู้และการรู้จำของพยัญชนะตัวเต็มของตัวอักษรธรรมอีสาน ดังนั้นพยัญชนะตัวเต็มทั้งหมดของอักษรธรรมอีสานมีรูปแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงพยัญชนะตัวเต็มของอักษรธรรมอีสาน

พยัญชนะไทย	อักษรธรรมอีสาน พยัญชนะตัวเต็ม	พยัญชนะไทย	อักษรธรรมอีสาน พยัญชนะตัวเต็ม
ก	๓	ข	๑
ข	๒	ฃ	๒
ค	๑	ฅ	๖
ฅ	๗	ฉ, จ	๗
ง	๔	ช	๓
จ	๖	ฌ	๕
ฉ	๘	ฎ	๓
ช	๕	ฏ	๕
ฅ	๘	ฐ	๗
จ	๖	ฑ	๑
ฎ	๗	ฒ	๑
ฏ	๕	ณ	๑
ฐ	๕	ด	๑
ฑ	๕	ต	๑
ฒ	๖	ถ	๑
ณ	๓	ท	๑
ด	๑	ธ	๑
ต	๖	น	๑
ถ	๑		



ถูกเลือกนำมาเป็นสายพันธุ์ที่ถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกต่อไป ส่วนสายพันธุ์ที่ไม่ดี ก็จะไม่ได้รับคัดเลือกและสายพันธุ์นั้นก็จะสูญพันธุ์ไปในที่สุด

จีเนติกอัลกอริทึมได้นำการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมาประยุกต์ใช้ในด้านปัญญาประดิษฐ์ เพื่อใช้ค้นหาคำตอบของปัญหา โดยจีเนติกอัลกอริทึมได้ประยุกต์นำปัญหานั้น ๆ มาจัดให้อยู่ในรูปของโครโมโซมเพื่อที่จะถูกคัดเลือกและถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกต่อไป ซึ่งการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ก็จะมีการดำเนินการทางพันธุกรรมเพื่อให้ได้โครโมโซมที่มีความแข็งแรง สมบูรณ์สอดคล้องกับปัญหา เพื่อที่จะได้คำตอบที่เหมาะสมกับปัญหานั้นมากที่สุด ในการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมมีฟังก์ชันและตัวดำเนินการ ต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

2.2.1 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) [12] เป็นฟังก์ชันที่ใช้คำนวณหาค่าความเหมาะสมของปัญหา ซึ่งในการนำจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้เพื่อค้นหาคำตอบของปัญหา หรือความเหมาะสมของปัญหานั้นๆ ถ้าหากมีการกำหนดฟังก์ชันให้ครอบคลุมและเหมาะสมก็จะสามารถค้นหาคำตอบของปัญหาที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดได้

2.2.2 ตัวดำเนินการจีเนติก (genetic operator )

2.2.2.1 การคัดเลือก (selection) เป็นการเลือกประชากรที่มีความเหมาะสมหรือเป็นประชากรที่ดีที่จะถูกเลือกไปเป็นประชากรรุ่นต่อไป การเลือกประชากรของจีเนติกอัลกอริทึม จะพิจารณาจากค่าความเหมาะสม (fitness value) ของโครโมโซม ซึ่งค่าความเหมาะสมจะคำนวณจากฟังก์ชันความเหมาะสม (fitness function) ของแต่ละปัญหา และจะใช้ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมเป็นตัวคัดเลือก ถ้าโครโมโซมใดให้ค่าความเหมาะสมมากก็มีโอกาสที่จะถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่ เพราะถือว่าเป็นประชากรที่ดี เหมาะสมที่จะใช้เพื่อสร้างประชากรรุ่นลูกต่อไป สำหรับโครโมโซมที่ให้ค่าความเหมาะสมต่ำ ก็จะถือว่าเป็นประชากรที่ไม่เหมาะสมและไม่ถูกเลือก วิธีการคัดเลือกมีด้วยกันหลายวิธีดังนี้

1. วงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette wheel selection) [13] เป็นการกำหนดขนาดช่วงความกว้างของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมให้กับวงล้อ โดยขนาดความกว้างนั้นขึ้นกับค่าความเหมาะสมของโครโมโซม ถ้าค่าความเหมาะสมของโครโมโซมมากก็จะมีขนาดช่วงความกว้างในวงล้อมาก ในการสุ่มเลือกโครโมโซม ถ้าโครโมโซมใดมีค่าช่วงความกว้างในวงล้อมากก็มีโอกาสที่ถูกเลือกมาก การกำหนดค่าความกว้างของค่าความเหมาะสมจะคำนวณค่าความน่าจะเป็นในโอกาสที่จะถูกเลือกซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.1

$$p_j = \frac{\text{fit}_j}{\sum_{i=1}^n \text{fit}_i} \quad (2.1)$$

$p$  คือ ความน่าจะเป็น โอกาสที่จะถูกเลือกของแต่ละโครโมโซม

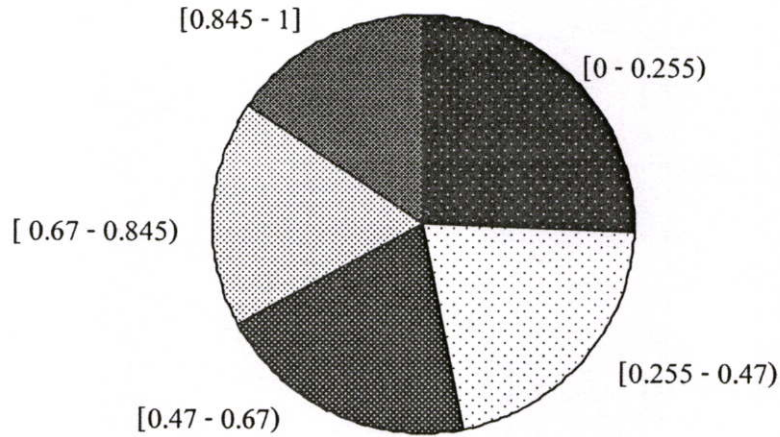
$\text{fit}$  คือ ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

จากค่าความน่าจะเป็น โอกาสที่จะถูกเลือกนำมาคำนวณช่วงความกว้างของค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ซึ่งในการกำหนดช่วงความกว้างจะต้องเรียงค่าความเหมาะสมจากมากไปหาน้อยหรือน้อยไปมากก่อนจึงจะทำการกำหนดช่วงความกว้าง ค่าช่วงความกว้างจะอยู่ในช่วง  $[0,1]$  ซึ่งแสดงได้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงความน่าจะเป็นของการคัดเลือกค่าความเหมาะสม

โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม	ความน่าจะเป็น	ช่วงความกว้าง
C1	51	0.255	[0 - 0.255)
C2	43	0.215	[ 0.255 – 0.47)
C3	40	0.2	[0.47 – 0.67)
C4	35	0.175	[0.67 – 0.845)
C5	31	0.155	[0.845 – 1]

จากตารางที่ 2.2 จะพบว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีค่าความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะถูกเลือกมาก จากนั้นนำค่าความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะถูกเลือกจากตารางมา กำหนดในวงล้อถ่วงน้ำหนักซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงช่วงกว้างของความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะถูกคัดเลือกโดยแสดงเป็นวงล้อถ่วงน้ำหนักได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงวงล้อถ่วงน้ำหนัก

ในการเลือกด้วยวิธีนี้จะทำการสุ่มเลือกค่าจากวงล้อถ่วงน้ำหนัก เมื่อสุ่มเลือกได้ค่าใดก็จะเลือกโครโมโซมที่อยู่ในตำแหน่งค่าตัวเลขนั้นจากวงล้อถ่วงน้ำหนัก เช่น สุ่มเลือกได้ค่า 0.20 , 0.40 โครโมโซมที่ถูกคัดเลือกคือ โครโมโซมที่ 1 และโครโมโซมที่ 2 ในวิธีการเลือกแบบวงล้อถ่วงน้ำหนัก ในการคัดเลือกแต่ละโครโมโซมก็จะทำการสุ่มเลือกทุกๆ ครั้ง

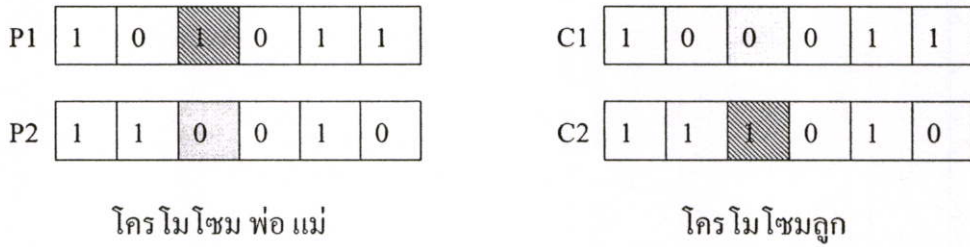
2. Stochastic universal sampling วิธีการนี้ได้ประยุกต์วิธีการวงล้อถ่วงน้ำหนักมาประยุกต์โดยวิธีการนี้จะสุ่มเลือกโครโมโซมเฉพาะโครโมโซมแรกโครโมโซมถัดไปจะใช้ช่วงห่างโดยคำนวณจาก สูตร  $1/N$  ซึ่ง  $N$  คือจำนวนโครโมโซมที่ต้องการเลือก เมื่อสุ่มค่าเพื่อเลือกโครโมโซมแรกมาได้รับการเลือกโครโมโซมถัดไปจะใช้ค่าช่วงห่างที่คำนวณได้ไปเป็นช่วงห่างระหว่างโครโมโซมต่อไปที่จะเลือก เช่น ต้องการคัดเลือกโครโมโซม 3 โครโมโซม จะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมที่ 1 ขึ้นมา ได้ค่าความน่าจะเป็น 0.25 ช่วงห่างระหว่างโครโมโซม 0.333 ค่าความน่าจะเป็นของโครโมโซมถัดไป คือ 0.583 และ 0.833 จากตารางที่ 2.2 โครโมโซมที่ถูกคัดเลือกมี 3 โครโมโซมคือ โครโมโซมที่ 1, 3, 4

2.2.2.2 คrossover (crossover) [13] เป็นวิธีการสร้างโครโมโซมลูกที่เกิดจากโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกคัดเลือกขึ้นมา ซึ่งโครโมโซมลูกที่เกิดขึ้นจะถ่ายทอดคุณสมบัติบางอย่างจากโครโมโซมพ่อแม่คือโครโมโซมลูกที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยยีนของพ่อและยีนของแม่ โดยการ crossover จะเป็นการสุ่มเลือกตำแหน่ง (crossover point) ของยีนในโครโมโซมที่จะทำการสลับกันเท่านั้น โดยสุ่มเลือกค่าขึ้นมาเพื่อเป็นตัวระบุตำแหน่งในโครโมโซมที่จะทำการสลับกันระหว่างโครโมโซม พ่อ และแม่ การ crossover มีทั้งลักษณะของการ crossover เฉพาะจุดที่สุ่ม

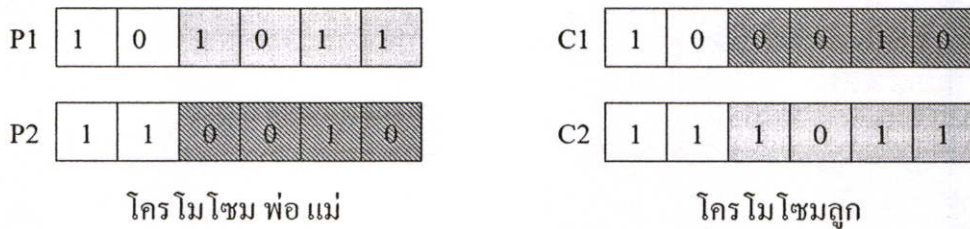
เลือกมาได้ การครอสโอเวอร์เป็นช่วงระหว่างจุดที่เลือกมาได้ในโครโมโซม หรือการครอสจากจุดที่  
 สุ่มเลือกมาได้จนถึงจุดสุดท้ายของโครโมโซม

ในการครอสโอเวอร์จากประชากร พ่อ และแม่ 2 ประชากร เมื่อทำการครอสโอเวอร์ 1 ครั้ง  
 จะทำให้เกิดประชากรรุ่นลูกขึ้น 2 โครโมโซมซึ่งจะแสดงการครอสโอเวอร์ ดังรูปที่ 2.4

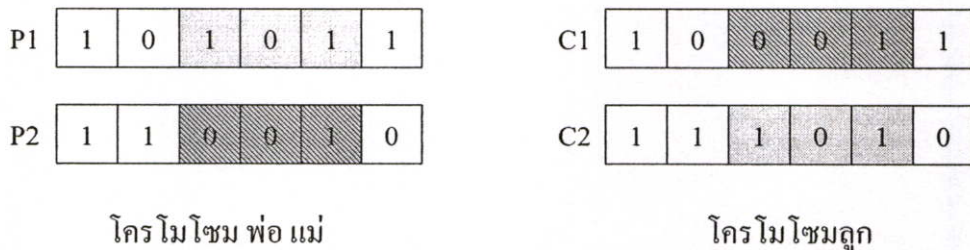
การครอสโอเวอร์เฉพาะจุดที่สุ่มเลือก



การครอสโอเวอร์จากจุดที่สุ่มเลือกจนถึงจุดสุดท้าย



การครอสโอเวอร์เป็นช่วงระหว่างจุดที่สุ่มเลือก



**รูปที่ 2.4** แสดงการครอสโอเวอร์แบบต่างๆ ของข้อมูลแบบไบนารี

2.2.2.3 มิวเตชัน (mutation) เป็นการที่ยีนภายในโครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงและทำ  
 ให้เกิดขึ้นใหม่ขึ้น ซึ่งทางพันธุกรรมเรียกว่าเกิดการผ่าเหล่าขึ้น ในจินเนติกอัลกอริทึมการมิวเตชันเป็น  
 กระบวนการที่มีความสำคัญเพื่อทำให้เกิดโครโมโซมใหม่ ถ้าโครโมโซมใหม่ที่เกิดจากการมิว  
 เตชันให้ค่าความเหมาะสมมากขึ้น โครโมโซมนั้นก็จะเป็ โครโมโซมที่ดีและถูกเลือกในการสร้าง

ประชากรรุ่นต่อไป ในการมิวเตชันจะทำการสุ่มเลือกตำแหน่งที่ต้องการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมพ่อแม่ 1 โครโมโซมเมื่อทำการมิวเตชันแล้วจะเกิดโครโมโซมลูก 1 โครโมโซม ดังรูปที่ 2.5

P1	1	0	0	0	1	1
O1	1	1	1	0	1	1

รูปที่ 2.5 แสดงการมิวเตชันข้อมูลแบบไบนารี

### 2.3 ขั้นตอนการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึม

การทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมแสดงขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (initial population) เป็นการสร้างประชากรเริ่มต้นตามที่กำหนด ซึ่งประชากร 1 ประชากรก็คือการสร้างโครโมโซมขึ้นมา 1 โครโมโซม โดยภายในโครโมโซมจะประกอบด้วยยีน

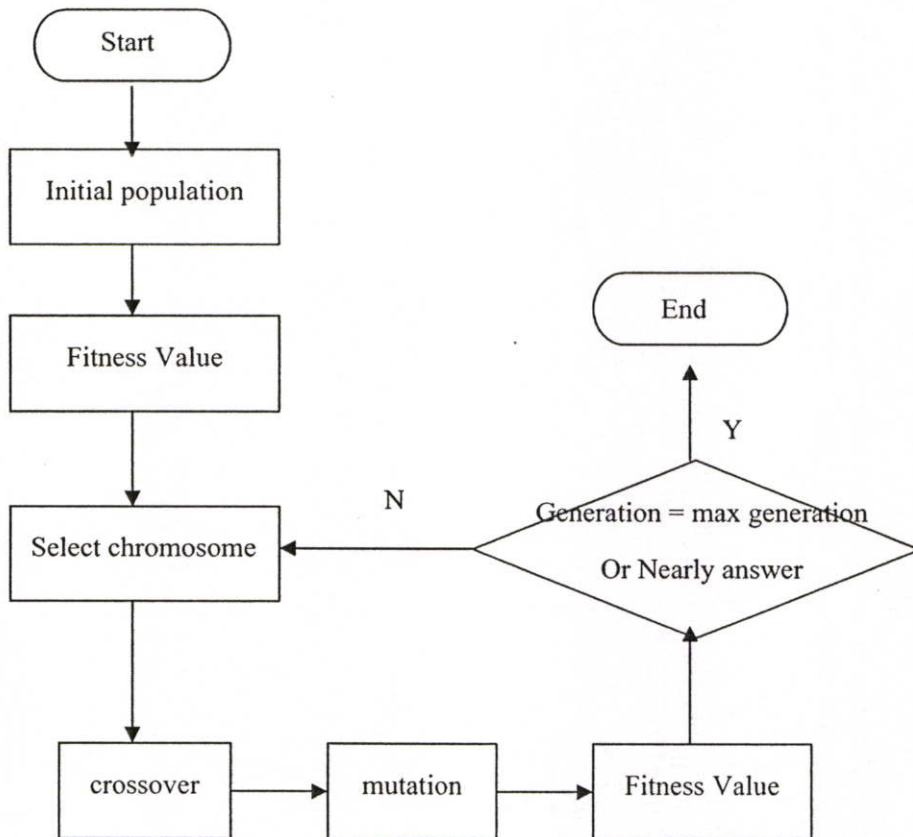
ขั้นตอนที่ 2 การสร้างประชากรรุ่นลูก ในการสร้างประชากรรุ่นลูกจะเกิดจากโครโมโซมพ่อแม่ นำมาผ่านตัวดำเนินการทางจีเนติก

1. คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซม ตามฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้
2. คัดเลือกโครโมโซมด้วยวิธีการคัดเลือก
3. คrossover หรือ มิวเตชัน จะมีการกำหนดพารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการ crossover และความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน เมื่อสุ่มค่าความน่าจะเป็นขึ้นมาได้น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นที่กำหนดไว้ก็จะทำการ crossover หรือมิวเตชัน

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าความเหมาะสม เพื่อที่จะทำการคัดเลือกประชากรที่ให้ค่าความเหมาะสมมากที่สุด โดยการคำนวณค่าความเหมาะสมจากประชากรทั้งหมดคือประชากรพ่อแม่และประชากรรุ่นลูกที่เกิดขึ้น เลือกประชากรที่ให้ค่าความเหมาะสมมากที่สุดเท่ากับจำนวนประชากรที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 การหยุดหรือสิ้นสุดการทำงาน จากขั้นตอนที่ 3 ก็จะวนซ้ำกลับไปทำงานในขั้นตอนที่ 2 จะหยุดหรือสิ้นสุดการทำงานก็ต่อเมื่อได้โครโมโซมที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุดที่สามารถหาคำตอบของปัญหาที่กำหนดขึ้นมาได้ หรือการทำงานวนรอบถึงรุ่นสูงสุด (max generation) ที่กำหนดไว้

ในการกำหนดพารามิเตอร์ เช่น จำนวนประชากร ค่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ ค่าความน่าจะเป็นของการมิวเตชันและฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) ในการหาคำตอบของแต่ละปัญหาหากมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ค่าที่เหมาะสมก็จะมีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาได้ดียิ่งขึ้น ขั้นตอนการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงอัลกอริทึมการทำงานของจินเนติก

## 2.4 ฮาอูสดอร์ฟดิสแทนซ์ (Hausdorff distance)

ฮาอูสดอร์ฟดิสแทนซ์ [14] เป็นการวัดค่าความเหมือนที่มีประสิทธิภาพและได้รับการยอมรับเป็นอย่างมากวิธีหนึ่ง ซึ่งการวัดระยะทางระยะทางของแต่ละจุดในเซตของอินพุท ว่าอยู่ใกล้กับจุดที่เป็นเซตข้อมูลอ้างอิงเป็นระยะทางเท่าใด กำหนดให้  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  และ  $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_m\}$  ทำการวัดระยะทางระหว่างข้อมูลเซต A กับข้อมูลในเซต B ซึ่งเซต A และ เซต B ต้องเป็นเซตจำกัด (finite set) โดยใช้ฮาอูสดอร์ฟดิสแทนซ์ได้ดังนี้

คำนวณค่ายูคลีเดียนดิสแทนส์ระหว่างจุดใดๆ ในเซต A กับทุกๆ จุดในเซต B เมื่อได้ค่ายูคลีเดียนของทุกจุด ในเซต A จากนั้นจะพิจารณาค่ายูคลีเดียนที่น้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณซึ่งเป็นการหาค่าดิสแทนส์แบบจุด ดังสมการที่ 2.2

$$d(a,B) = \min_{b \in B} \{ \| a - b \| \} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 นำมาคำนวณหาค่าไคเร็กเต็ลฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนส์ได้ดังสมการที่ 2.3

$$h(A,B) = \max(d(a,B)) \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 ได้มีการปรับปรุงการคำนวณค่าไคเร็กเต็ลฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนส์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดค่าความเหมือนของรูปแบบที่มีสัญญาณรบกวน ได้ดังสมการที่ 2.4

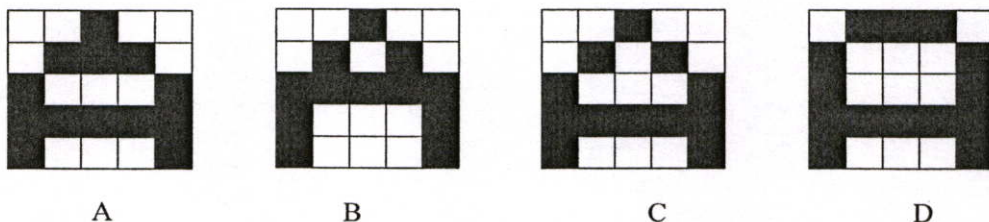
$$h(A,B) = \frac{\sum_{a \in A} d(a,B)}{|A|} \quad (2.4)$$

$|A|$  คือ ผลรวมของจุดในเซต A

ในการคำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนส์จะต้องทำการคำนวณค่าไคเร็กเต็ลฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนส์ของเซต A กับเซต B และไคเร็กเต็ลของเซต B กับเซต A ดังสมการที่ 2.4 แล้วพิจารณาค่ามากที่สุดดังสมการ 2.5

$$H(A,B) = \max \{ h(A,B), h(B,A) \} \quad (2.5)$$

ตัวอย่าง 2.1 การคำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนส์เพื่อวัดค่าความเหมือนระหว่างรูปภาพ A, B, C และ D



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอักษร A ในแบบต่างๆ

จากรูปที่ 2.7 ในการคำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนซ์จะต้องกำหนดเซตของจุดที่ปรากฏบนรูปภาพแต่ละรูป ในตัวอย่างจะแสดงการคำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนซ์ของรูป A และรูป B ได้ดังนี้

$$A = \{a_{13}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, a_{31}, a_{35}, a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}, a_{45}, a_{51}, a_{55}\}$$

$$B = \{b_{13}, b_{22}, b_{24}, b_{31}, b_{32}, b_{33}, b_{34}, b_{35}, b_{41}, b_{45}, b_{51}, b_{55}\}$$

คำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟดิสแทนซ์ แบบจุดของแต่ละจุดในเซต A กับทุก ๆ จุดในเซต B ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} d(a_{13}, B) &= \min(\|a_{13}-b_{13}\|, \|a_{13}-b_{22}\|, \|a_{13}-b_{24}\|, \|a_{13}-b_{31}\|, \|a_{13}-b_{32}\|, \|a_{13}-b_{33}\|, \\ &\quad \|a_{13}-b_{34}\|, \|a_{13}-b_{35}\|, \|a_{13}-b_{41}\|, \|a_{13}-b_{45}\|, \|a_{13}-b_{51}\|, \|a_{13}-b_{55}\|) \\ &= \min(0, 1.41, 1.41, 2.82, 2.24, 2, 2.24, 2.82, 3.61, 3.61, 4.47, 4.47) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(a_{22}, B) &= \min(\|a_{22}-b_{13}\|, \|a_{22}-b_{22}\|, \|a_{22}-b_{24}\|, \|a_{22}-b_{31}\|, \|a_{22}-b_{32}\|, \|a_{22}-b_{33}\|, \\ &\quad \|a_{22}-b_{34}\|, \|a_{22}-b_{35}\|, \|a_{22}-b_{41}\|, \|a_{22}-b_{45}\|, \|a_{22}-b_{51}\|, \|a_{22}-b_{55}\|) \\ &= \min(1.41, 0, 2, 1.41, 1, 1, 2.24, 3.16, 2.24, 3.61, 3.16, 4.24) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(a_{23}, B) &= \min(\|a_{23}-b_{13}\|, \|a_{23}-b_{22}\|, \|a_{23}-b_{24}\|, \|a_{23}-b_{31}\|, \|a_{23}-b_{32}\|, \|a_{23}-b_{33}\|, \\ &\quad \|a_{23}-b_{34}\|, \|a_{23}-b_{35}\|, \|a_{23}-b_{41}\|, \|a_{23}-b_{45}\|, \|a_{23}-b_{51}\|, \|a_{23}-b_{55}\|) \\ &= \min(1, 1, 1, 2.24, 1.41, 1, 1.41, 2.24, 2.82, 2.82, 3.61, 3.61) \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(a_{24}, B) &= \min(\|a_{24}-b_{13}\|, \|a_{24}-b_{22}\|, \|a_{24}-b_{24}\|, \|a_{24}-b_{31}\|, \|a_{24}-b_{32}\|, \|a_{24}-b_{33}\|, \\ &\quad \|a_{24}-b_{34}\|, \|a_{24}-b_{35}\|, \|a_{24}-b_{41}\|, \|a_{24}-b_{45}\|, \|a_{24}-b_{51}\|, \|a_{24}-b_{55}\|) \\ &= \min(1.41, 2, 0, 3.16, 2.24, 1.41, 1, 1.41, 3.61, 2.24, 4.24, 3.16) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(a_{31}, B) &= \min(\|a_{31}-b_{13}\|, \|a_{31}-b_{22}\|, \|a_{31}-b_{24}\|, \|a_{31}-b_{31}\|, \|a_{31}-b_{32}\|, \|a_{31}-b_{33}\|, \\ &\quad \|a_{31}-b_{34}\|, \|a_{31}-b_{35}\|, \|a_{31}-b_{41}\|, \|a_{31}-b_{45}\|, \|a_{31}-b_{51}\|, \|a_{31}-b_{55}\|) \\ &= \min(2.82, 1.41, 3.16, 0, 1, 2, 3, 4, 1, 4.12, 2, 3.61, 2) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(a_{35}, B) &= \min(\|a_{35}-b_{13}\|, \|a_{35}-b_{22}\|, \|a_{35}-b_{24}\|, \|a_{35}-b_{31}\|, \|a_{35}-b_{32}\|, \|a_{35}-b_{33}\|, \\ &\quad \|a_{35}-b_{34}\|, \|a_{35}-b_{35}\|, \|a_{35}-b_{41}\|, \|a_{35}-b_{45}\|, \|a_{35}-b_{51}\|, \|a_{35}-b_{55}\|) \\ &= \min(2.82, 3.16, 1.41, 4, 3, 2, 1, 0, 4.12, 1, 4.47, 2) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(a_{41}, B) &= \min(\|a_{41}-b_{13}\|, \|a_{41}-b_{22}\|, \|a_{41}-b_{24}\|, \|a_{41}-b_{31}\|, \|a_{41}-b_{32}\|, \|a_{41}-b_{33}\|, \\ &\quad \|a_{41}-b_{34}\|, \|a_{41}-b_{35}\|, \|a_{41}-b_{41}\|, \|a_{41}-b_{45}\|, \|a_{41}-b_{51}\|, \|a_{41}-b_{55}\|) \end{aligned}$$

$$= \min(3.61, 2.24, 3.61, 1, 1.41, 2.24, 3.16, 4.12, 0, 4, 1, 4.12)$$

$$= 0$$

$$d(a_{42}, B) = \min(\|a_{42}-b_{13}\|, \|a_{42}-b_{22}\|, \|a_{42}-b_{24}\|, \|a_{42}-b_{31}\|, \|a_{42}-b_{32}\|, \|a_{42}-b_{33}\|, \\ \|a_{42}-b_{34}\|, \|a_{42}-b_{35}\|, \|a_{42}-b_{41}\|, \|a_{42}-b_{45}\|, \|a_{42}-b_{51}\|, \|a_{42}-b_{55}\|)$$

$$= \min(3.16, 2, 2.82, 1.41, 1, 2.41, 2.24, 3.16, 1, 3, 1.41, 3.16)$$

$$= 1$$

$$d(a_{43}, B) = \min(\|a_{43}-b_{13}\|, \|a_{43}-b_{22}\|, \|a_{43}-b_{24}\|, \|a_{43}-b_{31}\|, \|a_{43}-b_{32}\|, \|a_{43}-b_{33}\|, \\ \|a_{43}-b_{34}\|, \|a_{43}-b_{35}\|, \|a_{43}-b_{41}\|, \|a_{43}-b_{45}\|, \|a_{43}-b_{51}\|, \|a_{43}-b_{55}\|)$$

$$= \min(3, 2.24, 2.24, 2.24, 1.41, 1, 1.41, 2.24, 2, 2, 2.24, 2.24)$$

$$= 1$$

$$d(a_{44}, B) = \min(\|a_{44}-b_{13}\|, \|a_{44}-b_{22}\|, \|a_{44}-b_{24}\|, \|a_{44}-b_{31}\|, \|a_{44}-b_{32}\|, \|a_{44}-b_{33}\|, \\ \|a_{44}-b_{34}\|, \|a_{44}-b_{35}\|, \|a_{44}-b_{41}\|, \|a_{44}-b_{45}\|, \|a_{44}-b_{51}\|, \|a_{44}-b_{55}\|)$$

$$= \min(3.16, 2.82, 2, 3.16, 2.24, 1.41, 1, 1.41, 3, 1, 3.16, 1.41)$$

$$= 1$$

$$d(a_{45}, B) = \min(\|a_{45}-b_{13}\|, \|a_{45}-b_{22}\|, \|a_{45}-b_{24}\|, \|a_{45}-b_{31}\|, \|a_{45}-b_{32}\|, \|a_{45}-b_{33}\|, \\ \|a_{45}-b_{34}\|, \|a_{45}-b_{35}\|, \|a_{45}-b_{41}\|, \|a_{45}-b_{45}\|, \|a_{45}-b_{51}\|, \|a_{45}-b_{55}\|)$$

$$= \min(3.61, 2.82, 2.24, 4.12, 3.16, 2.24, 1.41, 1, 4, 0, 4.12, 1)$$

$$= 0$$

$$d(a_{51}, B) = \min(\|a_{51}-b_{13}\|, \|a_{51}-b_{22}\|, \|a_{51}-b_{24}\|, \|a_{51}-b_{31}\|, \|a_{51}-b_{32}\|, \|a_{51}-b_{33}\|, \\ \|a_{51}-b_{34}\|, \|a_{51}-b_{35}\|, \|a_{51}-b_{41}\|, \|a_{51}-b_{45}\|, \|a_{51}-b_{51}\|, \|a_{51}-b_{55}\|)$$

$$= \min(4.47, 3.16, 4.24, 2, 2.24, 2.82, 3.61, 4.42, 1, 4.12, 0, 4)$$

$$= 0$$

$$d(a_{55}, B) = \min(\|a_{55}-b_{13}\|, \|a_{55}-b_{22}\|, \|a_{55}-b_{24}\|, \|a_{55}-b_{31}\|, \|a_{55}-b_{32}\|, \|a_{55}-b_{33}\|, \\ \|a_{55}-b_{34}\|, \|a_{55}-b_{35}\|, \|a_{55}-b_{41}\|, \|a_{55}-b_{45}\|, \|a_{55}-b_{51}\|, \|a_{55}-b_{55}\|)$$

$$= \min(4.47, 4.24, 3.16, 4.47, 3.61, 2.82, 2.24, 2, 4.12, 1, 4, 0)$$

$$= 0$$

คำนวณค่าไดเรกต์เด็คฮาอุสคอร์ทพิคสแทนส์ระหว่างรูป A กับรูป B

$$h(A,B) = (0+0+1+0+0+0+0+1+1+1+0+0+0)/13$$

$$= 0.30$$

คำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟิตสแทนส์ แบบจุดของแต่ละจุดในเซต B กับทุกๆ จุดในเซต A ได้

ดังนี้

$$\begin{aligned} d(b_{13}, A) &= \min ( \| b_{13} - a_{13} \| , \| b_{13} - a_{22} \| , \| b_{13} - a_{23} \| , \| b_{13} - a_{24} \| , \| b_{13} - a_{31} \| , \| b_{13} - a_{35} \| , \\ &\quad \| b_{13} - a_{41} \| , \| b_{13} - a_{42} \| , \| b_{13} - a_{43} \| , \| b_{13} - a_{44} \| , \| b_{13} - a_{45} \| , \| b_{13} - a_{51} \| , \\ &\quad \| b_{13} - a_{55} \| ) \\ &= \min ( 0, 1.41, 1, 1.41, 2.82, 2.82, 3.61, 3.16, 3, 3.16, 3.61, 4.47, 4.47 ) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(b_{22}, A) &= \min ( \| b_{22} - a_{13} \| , \| b_{22} - a_{22} \| , \| b_{22} - a_{23} \| , \| b_{22} - a_{24} \| , \| b_{22} - a_{31} \| , \| b_{22} - a_{35} \| , \\ &\quad \| b_{22} - a_{41} \| , \| b_{22} - a_{42} \| , \| b_{22} - a_{43} \| , \| b_{22} - a_{44} \| , \| b_{22} - a_{45} \| , \| b_{22} - a_{51} \| , \\ &\quad \| b_{22} - a_{55} \| ) \\ &= \min ( 1.41, 0, 1, 2, 1.41, 2.24, 2.24, 2, 2.24, 2.82, 3.61, 3.16, 4.24 ) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(b_{24}, A) &= \min ( \| b_{24} - a_{13} \| , \| b_{24} - a_{22} \| , \| b_{24} - a_{23} \| , \| b_{24} - a_{24} \| , \| b_{24} - a_{31} \| , \| b_{24} - a_{35} \| , \\ &\quad \| b_{24} - a_{41} \| , \| b_{24} - a_{42} \| , \| b_{24} - a_{43} \| , \| b_{24} - a_{44} \| , \| b_{24} - a_{45} \| , \| b_{24} - a_{51} \| , \\ &\quad \| b_{24} - a_{55} \| ) \\ &= \min ( 1.41, 2, 1, 0, 3.16, 1.41, 3.61, 2.82, 2.24, 2, 2.24, 4.24, 3.16 ) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(b_{31}, A) &= \min ( \| b_{31} - a_{13} \| , \| b_{31} - a_{22} \| , \| b_{31} - a_{23} \| , \| b_{31} - a_{24} \| , \| b_{31} - a_{31} \| , \| b_{31} - a_{35} \| , \\ &= \| b_{31} - a_{41} \| , \| b_{31} - a_{42} \| , \| b_{31} - a_{43} \| , \| b_{31} - a_{44} \| , \| b_{31} - a_{45} \| , \| b_{31} - a_{51} \| , \\ &\quad \| b_{31} - a_{55} \| ) \\ &= \min ( 2.82, 1.41, 2.24, 3.16, 0, 4, 1, 1.41, 2.24, 3.16, 4.12, 2, 4.47 ) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(b_{32}, A) &= \min ( \| b_{32} - a_{13} \| , \| b_{32} - a_{22} \| , \| b_{32} - a_{23} \| , \| b_{32} - a_{24} \| , \| b_{32} - a_{31} \| , \| b_{32} - a_{35} \| , \\ &\quad \| b_{32} - a_{41} \| , \| b_{32} - a_{42} \| , \| b_{32} - a_{43} \| , \| b_{32} - a_{44} \| , \| b_{32} - a_{45} \| , \| b_{32} - a_{51} \| , \\ &\quad \| b_{32} - a_{55} \| ) \\ &= \min ( 2.24, 1, 1.41, 2.24, 1, 3, 1.41, 1, 1.41, 2.24, 3.16, 2.24, 3.61 ) \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(b_{33}, A) &= \min ( \| b_{33} - a_{13} \| , \| b_{33} - a_{22} \| , \| b_{33} - a_{23} \| , \| b_{33} - a_{24} \| , \| b_{33} - a_{31} \| , \| b_{33} - a_{35} \| , \\ &\quad \| b_{33} - a_{41} \| , \| b_{33} - a_{42} \| , \| b_{33} - a_{43} \| , \| b_{33} - a_{44} \| , \| b_{33} - a_{45} \| , \| b_{33} - a_{51} \| , \\ &\quad \| b_{33} - a_{55} \| ) \\ &= \min ( 2, 1.41, 1, 1.41, 2, 2, 2.24, 1.41, 1, 1.41, 2.24, 2.82, 2.82 ) \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d(b_{34}, A) &= \min ( \| b_{34} - a_{13} \| , \| b_{34} - a_{22} \| , \| b_{34} - a_{23} \| , \| b_{34} - a_{24} \| , \| b_{34} - a_{31} \| , \| b_{34} - a_{35} \| , \\
&\quad \| b_{34} - a_{41} \| , \| b_{34} - a_{42} \| , \| b_{34} - a_{43} \| , \| b_{34} - a_{44} \| , \| b_{34} - a_{45} \| , \| b_{34} - a_{51} \| , \\
&\quad \| b_{34} - a_{55} \| ) \\
&= \min ( 2.24, 2.24, 1.41, 1, 3, 1, 3.16, 2.24, 1.41, 1, 1.41, 3.61, 2.24 ) \\
&= 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d(b_{35}, A) &= \min ( \| b_{35} - a_{13} \| , \| b_{35} - a_{22} \| , \| b_{35} - a_{23} \| , \| b_{35} - a_{24} \| , \| b_{35} - a_{31} \| , \| b_{35} - a_{35} \| , \\
&\quad \| b_{35} - a_{41} \| , \| b_{35} - a_{42} \| , \| b_{35} - a_{43} \| , \| b_{35} - a_{44} \| , \| b_{35} - a_{45} \| , \| b_{35} - a_{51} \| , \\
&\quad \| b_{35} - a_{55} \| ) \\
&= \min ( 2.82, 3.16, 2.24, 1.41, 4, 0, 4.12, 3.16, 2.24, 1.41, 1, 4.47, 2 ) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d(b_{41}, A) &= \min ( \| b_{41} - a_{13} \| , \| b_{41} - a_{22} \| , \| b_{41} - a_{23} \| , \| b_{41} - a_{24} \| , \| b_{41} - a_{31} \| , \| b_{41} - a_{35} \| , \\
&\quad \| b_{41} - a_{41} \| , \| b_{41} - a_{42} \| , \| b_{41} - a_{43} \| , \| b_{41} - a_{44} \| , \| b_{41} - a_{45} \| , \| b_{41} - a_{51} \| , \\
&\quad \| b_{41} - a_{55} \| ) \\
&= \min ( 3.61, 2.24, 2.82, 3.61, 1, 4.12, 0, 1, 2, 3, 4, 1, 4.12 ) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d(b_{45}, A) &= \min ( \| b_{45} - a_{13} \| , \| b_{45} - a_{22} \| , \| b_{45} - a_{23} \| , \| b_{45} - a_{24} \| , \| b_{45} - a_{31} \| , \| b_{45} - a_{35} \| , \\
&\quad \| b_{45} - a_{41} \| , \| b_{45} - a_{42} \| , \| b_{45} - a_{43} \| , \| b_{45} - a_{44} \| , \| b_{45} - a_{45} \| , \| b_{45} - a_{51} \| , \\
&\quad \| b_{45} - a_{55} \| ) \\
&= \min ( 3.61, 3.61, 2.82, 2.24, 4.12, 1, 4, 3, 2, 1, 0, 4.12, 1 ) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d(b_{51}, A) &= \min ( \| b_{51} - a_{13} \| , \| b_{51} - a_{22} \| , \| b_{51} - a_{23} \| , \| b_{51} - a_{24} \| , \| b_{51} - a_{31} \| , \| b_{51} - a_{35} \| , \\
&\quad \| b_{51} - a_{41} \| , \| b_{51} - a_{42} \| , \| b_{51} - a_{43} \| , \| b_{51} - a_{44} \| , \| b_{51} - a_{45} \| , \| b_{51} - a_{51} \| , \\
&\quad \| b_{51} - a_{55} \| ) \\
&= \min ( 4.47, 4.12, 3.61, 4.24, 2, 4.47, 1, 1.41, 2.24, 3.16, 4.12, 0, 4 ) \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d(b_{55}, A) &= \min ( \| b_{55} - a_{13} \| , \| b_{55} - a_{22} \| , \| b_{55} - a_{23} \| , \| b_{55} - a_{24} \| , \| b_{55} - a_{31} \| , \| b_{55} - a_{35} \| , \\
&\quad \| b_{55} - a_{41} \| , \| b_{55} - a_{42} \| , \| b_{55} - a_{43} \| , \| b_{55} - a_{44} \| , \| b_{55} - a_{45} \| , \| b_{55} - a_{51} \| , \\
&\quad \| b_{55} - a_{55} \| ) \\
&= \min ( 4.47, 4.24, 3.61, 3.16, 4.47, 2, 4.12, 3.16, 2.24, 1.41, 1, 4, 0 ) \\
&= 0
\end{aligned}$$

คำนวณค่าไคเร่คตัดฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์ระหว่างรูป A กับรูป B

$$h(B,A) = (0+0+0+0+1+1+1+0+0+0+0)/12$$

$$= 0.25$$

คำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์จากสมการที่ 2.5 ได้ดังนี้

$$H(A,B) = \max((0.30),(0.25))$$

$$= 0.30$$

จากตัวอย่างการคำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์ระหว่างรูป A กับ รูป B และใช้วิธีการเดียวกันคำนวณหาค่าฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์ ระหว่างรูป A กับรูป C และ รูป A กับรูป D แสดงค่าฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์

รูปแบบ	B	C	D
A	0.30	0.076	0.357

จากตารางที่ 2.3 แสดงค่าฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์ระหว่างรูป A กับรูป B, C, D พบว่ารูป A กับรูป C มีความเหมือนกันมากกว่ารูปอื่น ๆ เพราะค่าฮาอูสเตอร์ฟคิสแทนส์ระหว่างรูป A กับรูป C มีค่าน้อยที่สุด

การวัดความเหมือนโดยใช้การวัดระยะทางด้วย average euclidean distance คือการหาผลรวมของระยะทางระหว่างจุดใดๆ ในเซต A กับ จุดใดๆ ในเซต B ด้วยยูคลิเดียน (euclidean distance) [15] ตำแหน่งที่ตรงกัน และหารด้วยจำนวนของจุดที่คำนวณหาระยะทาง แสดงดังสมการที่ 2.6

$$Ed = \frac{\sum_{k=1}^K (d_{xy})^k}{K} \quad (2.6)$$

$d_{xy}$  คือ ยูคลิเดียนคิสแทนส์ระยะทางระหว่างจุดใดๆ ในเซต A กับจุดใดๆ ในเซต B ณ ตำแหน่งที่ตรงกัน

K คือ จำนวนของจุดที่คำนวณหาระยะทาง

**ตัวอย่าง 2.2** การวัดค่าความเหมือน โดยใช้ average euclidean distance ในการวัดระยะทางของรูปที่ 2.7 กำหนดเป็นเซตของจุดในรูปได้ดังนี้

$$A = \{a_{13}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, a_{31}, a_{35}, a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}, a_{45}, a_{51}, a_{55}\}$$

$$B = \{b_{13}, b_{22}, b_{24}, b_{31}, b_{32}, b_{33}, b_{34}, b_{35}, b_{41}, b_{45}, b_{51}, b_{55}\}$$

$$C = \{c_{13}, c_{22}, c_{24}, c_{31}, c_{35}, c_{41}, c_{42}, c_{43}, c_{44}, c_{45}, c_{51}, c_{55}\}$$

$$D = \{d_{12}, d_{13}, d_{14}, d_{21}, d_{25}, d_{31}, d_{35}, d_{41}, d_{42}, d_{43}, d_{44}, d_{45}, d_{51}, d_{55}\}$$

จากสมการ 2.6 คำนวณระยะทางได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Ed}(A,B) &= (\|a_{13} - b_{13}\| + \|a_{22} - b_{22}\| + \|a_{23} - b_{24}\| + \|a_{24} - b_{31}\| + \|a_{31} - b_{32}\| + \|a_{35} - b_{33}\| + \\ &\quad \|a_{41} - b_{34}\| + \|a_{42} - b_{35}\| + \|a_{43} - b_{41}\| + \|a_{44} - b_{45}\| + \|a_{45} - b_{51}\| + \|a_{51} - b_{55}\|) \\ &= (0+0+1+3.16+1+2+3.16+3.16+2+1+4.12+4)/12 \\ &= 2.05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ed}(A,C) &= (\|a_{13} - c_{13}\| + \|a_{22} - c_{22}\| + \|a_{23} - c_{24}\| + \|a_{24} - c_{31}\| + \|a_{31} - c_{35}\| + \|a_{35} - c_{41}\| + \\ &\quad \|a_{41} - c_{42}\| + \|a_{42} - c_{43}\| + \|a_{43} - c_{44}\| + \|a_{44} - c_{45}\| + \|a_{45} - c_{51}\| + \|a_{51} - c_{55}\|) \\ &= (0+0+1+3.16+4+4.12+1+1+1+1+4.12+4)/12 \\ &= 2.03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ed}(A,D) &= (\|a_{13} - d_{12}\| + \|a_{22} - d_{13}\| + \|a_{23} - d_{14}\| + \|a_{24} - d_{21}\| + \|a_{31} - d_{25}\| + \|a_{35} - d_{31}\| + \\ &\quad \|a_{41} - d_{35}\| + \|a_{42} - d_{41}\| + \|a_{43} - d_{42}\| + \|a_{44} - d_{43}\| + \|a_{45} - d_{44}\| + \|a_{51} - d_{45}\| + \\ &\quad \|a_{55} - d_{51}\|) \\ &= (1+1.41+1.41+3+4.12+4+4.12+1+1+1+1+4.12+4)/13 \\ &= 2.40 \end{aligned}$$

**ตารางที่ 2.4** แสดงการวัดระยะทางด้วยค่าเฉลี่ยยูคลิดีเนียนคิสแทนส์

รูปแบบ	B	C	D
A	2.05	2.03	2.40

จากการคำนวณระยะทางด้วยค่าเฉลี่ยยูคลิดีเนียนคิสแทนส์ (average euclidean distance) ระยะทางระหว่างรูป A กับรูป C ให้ระยะทางน้อยที่สุด คือรูป A มีความเหมือนกับรูป C หากพิจารณาค่าระยะทางจากตารางที่ 2.4 พบว่าระยะทางที่คำนวณได้ไม่สามารถแสดงความแตกต่างกันหรือเหมือนกันระหว่างรูป 2 รูปได้ชัดเจน เช่นรูป A กับ รูป B มีความแตกต่างกัน แต่ค่าระยะทางที่ได้ใกล้เคียงกับค่าระยะทางระหว่างรูป A และ รูป C มาก แต่ในการคำนวณระยะทางด้วยฮายูสเตอร์คิสแทนส์ จากตารางที่ 2.3 ค่าระยะทางของรูปที่เหมือนกันจะแสดง ได้ชัดเจน คือระยะทางระหว่างรูปที่มีความเหมือนกันจะมีระยะทางที่น้อยกว่ารูปที่มีแตกต่างกันมาก

## 2.5 การหาโครงร่างของภาพ

การหาโครงร่างของภาพเป็นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลในการรู้จำรูปแบบ (Pattern Recognition) การประมวลผลภาพ (image processing) [16] เพื่อเป็นการลดขนาดความหนาของเส้น แต่ยังคงคุณลักษณะของภาพไว้ โดยเส้นโครงร่างของภาพจะมีขนาดความหนาเพียง 1 พิกเซล

ในการหาโครงร่างของภาพแบบไบนารี ซึ่งมีค่าเพียง 2 ค่าคือ 0 และ 1 จุดภายในภาพเป็นจุดดำมีค่าเท่ากับ 1 และจุดขาวมีค่าเท่ากับ 0 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ฮิลดิทช์อัลกอริทึม (Hilditch Algorithm) [17] มาใช้ในลบจุดดำของภาพเพื่อให้เกิดโครงร่างของภาพ ซึ่งมีวิธีการในการลบจุดดำของภาพได้ดังนี้

$x_4$	$x_3$	$x_2$
$x_5$	$p$	$x_1$
$x_6$	$x_7$	$x_8$

รูปที่ 2.8 แสดงจุด  $p$  ที่จะทำการลบในหน้าต่างขนาด  $3 \times 3$

จากรูปที่ 2.8 มีการนิยามตัวแปรและฟังก์ชันต่างๆ ดังนี้

$N(p)$  คือจุดรอบๆ จุด  $p$  ในหน้าต่างขนาด  $3 \times 3$

$b(p)$  คือจำนวนจุดดำภายใน  $N(p)$

$H_x(p)$  เป็นฟังก์ชันการนับจำนวนครั้งการเปลี่ยนจากจุดขาวไปเป็นจุดดำใน  $N(p)$

[10] โดยกำหนด

$$H_x(p) = \sum_{i=1}^4 b_i \quad (2.7)$$

โดยที่

$$b_i = \begin{cases} 1 & , x_{2i-1} = 0 \text{ และ } ( x_{2i} = 1 \text{ หรือ } x_{2i+1} = 1 ) \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases}$$

ในการลบจุดดำแต่ละจุดในภาพจะมีการพิจารณากฎในการลบซึ่งกฎในการลบมีดังนี้

$$R1. X_H(p) = 1 \quad (2.8)$$

$$R2. 2 \leq \min\{n_1(p), n_2(p)\} \leq 3 \quad (2.9)$$

โดยที่

$$n_1(p) = \sum_{k=1}^4 x_{2k-1} \vee x_{2k}$$

$$n_2(p) = \sum_{k=1}^4 x_{2k} \vee x_{2k+1}$$

$$R_3. (x_1 \vee x_3 \vee \bar{x}_8) \wedge x_1 = 0 \quad (2.10)$$

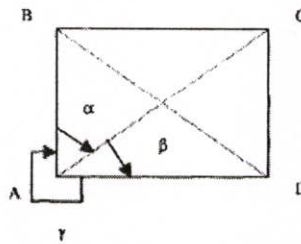
โดยอัลกอริทึมจะทำงานการลบจุดค่าเป็นรอบการทำงานย่อย วนซ้ำตามกฎไปเรื่อยๆ จนไม่มีการลบจุดค่าจึงหยุดการทำงาน

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.5.1 Pattern Recognition using Genetic Algorithm เขียนโดย Surapong Auwatanamongkol [18]

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการรู้จำรูปแบบโดยใช้ จีเนติกอัลกอริทึม เพื่อหาความเหมือนกันระหว่างรูปแบบ 2 รูปแบบ ซึ่งการหาความเหมือนกันจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างมุมที่เกิดขึ้นภายในโหนดที่ต้องการหาความเหมือนกัน

ในการแทนข้อมูลของรูปแบบจะพิจารณาเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างโหนด 2 โหนด ถ้าระหว่างโหนดใด ๆ ไม่มีเส้นเชื่อมจะต้องสร้างเส้นเชื่อมขึ้นมาใหม่โดยเส้นเชื่อมนั้นต้องไม่ทับเส้นเดิมในการสร้างเส้นเชื่อมขึ้นมาใหม่นั้นเพื่อสร้างรายละเอียดของรูปแบบให้มากขึ้น จากนั้นจะกำหนดมุมที่เกิดขึ้นในแต่ละโหนด โดยพิจารณามุมที่เกิดขึ้นกับเส้นเชื่อมแบบตามเข็มนาฬิกาตั้งรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการสร้างเส้นเชื่อมและกำหนดมุมในโหนด

จากรูปที่ 2.9 รูปสี่เหลี่ยม ABCD จะมีการสร้างเส้นเชื่อม AC และ BD ขึ้นมาใหม่แล้วพิจารณามุมที่โหนด A จะมีค่ามุมได้แก่  $\alpha, \beta, \gamma$  ซึ่งการสร้างเส้นเชื่อมขึ้นมาใหม่นี้จะทำให้รูป 2 รูปมีความแตกต่างกันเพราะมุมที่เกิดขึ้นภายในโหนดนั้นจะเปลี่ยนไป

การคำนวณค่าความเหมาะสมจะคำนวณจากค่าความเหมือนกันระหว่าง 2 รูปแบบแสดง  
ได้ดังสมการ

$$\sum \text{ค่าความเหมือนของ original link} / (2 * \text{original link}) + \sum \text{ค่าความเหมือนของ augmented link} / (2 * \text{augmented link}) \quad (2.11)$$

augmented link คือ เส้นเชื่อมแรกของ โหนดทั้งหมดของอินพุทแพทเทิน

original link คือ เส้นเชื่อมที่สร้างขึ้นใหม่ของ โหนดทั้งหมดของอินพุทแพทเทิน

ในการทดลองใช้ตัวอักษร A - Z และ 0 - 9 มีการเตรียมข้อมูลโดยการพล็อตข้อมูลลง  
เมตริกซ์ขนาด 4X8 ซึ่งแต่ละโหนดกำหนดด้วยจุด XY ส่วนเส้นเชื่อมจะประกอบด้วยจุดสิ้นสุด 2  
จุด

ขนาดของประชากรและประชากรเริ่มต้นนั้นมีความสำคัญที่จะทำให้การรู้จำนั้นมี  
ประสิทธิภาพ ในการทดลองการกำหนดประชากรเริ่มต้นได้ดังสมการ

$$\text{Initial population size} = S * N * (M + 1) \quad (2.12)$$

N คือ จำนวน โหนดของอินพุทแพทเทิน

M คือ จำนวน โหนดของ known pattern

S คือ จำนวนที่จุดของโครโมโซม

ในการคัดเลือกประชากรจะมีการคัดเลือก 3 วิธี คือ

1. การคัดเลือกโดยใช้สัดส่วนของค่าความเหมาะสม
2. การคัดเลือกโดยการแข่งขันกับค่าตัวแปร K ที่คงที่ (Tournament Selection)
3. การคัดเลือกโดยการแข่งขันกับค่าตัวแปร K ที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบ  
การทำงาน (Tournament Selection with some modification)

ในการทดลองจะมีรูปแบบตัวอักษรที่เป็นรูปแบบที่กำหนดไว้เพื่อมาใช้ในการรู้จำ จากนั้น  
นำตัวอักษรที่เป็นอินพุทมาทำการรู้จำ ในการรู้จำที่ใช้วิธีการเลือกประชากรด้วยวิธีการ tournament  
selection with some modification ที่มีการกำหนด ค่าตัวแปร และมีการเพิ่มขึ้นของค่าตัวแปรนั้นใน  
แต่ละรอบการทำงานจะให้ผลความถูกต้องมากที่สุด และขนาดของประชากรที่ใช้ในการทดลองมี  
ผลต่อการทดลองถ้ามีจุดของประชากรมากจะทำให้ผลการทดลองดีขึ้น

### 2.5.2 A modified Hausdorff Distance for Object Matching เขียนโดย Marie –Pierre

Dubuisson และ Anil K.Jain [19]

บทความนี้ได้เสนอการหาความเหมือนกันระหว่างรูปแบบ 2 รูปแบบโดยการใช้ฮิวสโตร์ฟคิสแทนส์เพื่อวัดระยะทางระหว่างเซตของจุด

ในการวัดระยะทางโดยใช้โคเร็คเต็คคิสแทนส์ระหว่างเซตของจุด 2 เซต สามารถหาได้หลายวิธี จะพิจารณา 6 วิธีดังต่อไปนี้

$$d_1(A, B) = \min_{a \in A} d(a, B) \quad (2.13)$$

$$d_2(A, B) = {}^{50}K_{a \in A}^{\text{th}} d(a, B) \quad (2.14)$$

$$d_3(A, B) = {}^{75}K_{a \in A}^{\text{th}} d(a, B) \quad (2.15)$$

$$d_4(A, B) = {}^{90}K_{a \in A}^{\text{th}} d(a, B) \quad (2.16)$$

$$d_5(A, B) = \max_{a \in A} d(a, B) \quad (2.17)$$

$$d_6(A, B) = \frac{1}{N_a} \sum_{a \in A} d(a, B) \quad (2.18)$$

จากสมการการหาค่าโคเร็คเต็คคิสแทนส์ทั้งหมดนำมาแทนค่าลงในฟังก์ชันทั้ง 4 ที่กำหนดให้

$$f_1(d(A, B), d(B, A)) = \min(d(A, B), d(B, A)) \quad (2.19)$$

$$f_2(d(A, B), d(B, A)) = \max(d(A, B), d(B, A)) \quad (2.20)$$

$$f_3(d(A, B), d(B, A)) = \frac{d(A, B) + d(B, A)}{2} \quad (2.21)$$

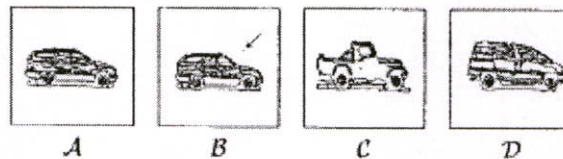
$$f_4(d(A, B), d(B, A)) = \frac{N_a d(A, B) + N_b d(B, A)}{N_a + N_b} \quad (2.22)$$

จากสมการการหาค่าโคเร็คเต็คคิสแทนส์นำมาแทนค่าลงในฟังก์ชันจะได้วิธีการวัดระยะทางระหว่างเซตของจุด 2 เซต ทั้งหมด 24 ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การวัดระยะทางระหว่างเซตของจุด 24 วิธี

directed distance	function			
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
$d_1$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
$d_2$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$
$d_3$	$D_9$	$D_{10}$	$D_{11}$	$D_{12}$
$d_4$	$D_{13}$	$D_{14}$	$D_{15}$	$D_{16}$
$d_5$	$D_{17}$	$D_{18}$	$D_{19}$	$D_{20}$
$d_6$	$D_{21}$	$D_{22}$	$D_{23}$	$D_{24}$

ในการทดลองโดยใช้ฟังก์ชันการวัดระยะทาง  $D_{10}$ ,  $D_{14}$ ,  $D_{18}$ ,  $D_{22}$  โดยสุ่มข้อมูลรูปแบบขึ้นมาและทำการเพิ่มและลดสัญญาณรบกวนในรูปแบบ ซึ่งวิธีการ  $D_{18}$  คือการวัดระยะทางโดยฮิสโตแกรมของพื้นที่ เมื่อมีสัญญาณรบกวนเล็กน้อยก็จะทำให้ระยะทางมากขึ้นแต่เมื่อมีสัญญาณรบกวนมากขึ้นระยะทางที่วัดได้ก็จะไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อพิจารณาวิธีการ  $D_{24}$  หรือที่เรียกว่า โมดิฟายด์ฮิสโตแกรม เมื่อมีสัญญาณรบกวนน้อยก็จะทำให้ระยะทางที่วัดได้มีค่าน้อยหากเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไประยะทางก็จะมีค่ามากขึ้น และได้ทำทดลองวัดค่าความเหมือนกันระหว่างรูปภาพ 4 รูป รูป A, B, C และ D ดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 รูปโครงร่างเส้นขอบของภาพ

จากการมองจะเห็นว่ารูป A และ B มีความเหมือนกันแต่รูป B มีสัญญาณรบกวน เมื่อทำการทดลองโดยใช้การวัดระยะทาง  $D_{10}$ ,  $D_{14}$ ,  $D_{18}$ ,  $D_{22}$  จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.6 ซึ่งพบว่าวิธีการวัดระยะทางโดยฮิสโตแกรมของพื้นที่จะให้ผลดีกว่าวิธีการอื่น

ตารางที่ 2.6 แสดงผลการทดลอง

$D_{10}$					$D_{14}$					$D_{18}$					$D_{22}$ (MHD)				
	A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D
A	0	2	5	3	A	0	3	10	6	A	0	32	22	32	A	0	1	6	4
B	2	0	7	2	B	3	0	10	7	B	32	0	107	25	B	1	0	6	4
C	5	7	0	6	C	10	10	0	12	C	22	107	0	36	C	6	6	0	6
D	3	2	6	0	D	6	7	12	0	D	32	25	36	0	D	4	4	6	0

### บทที่ 3

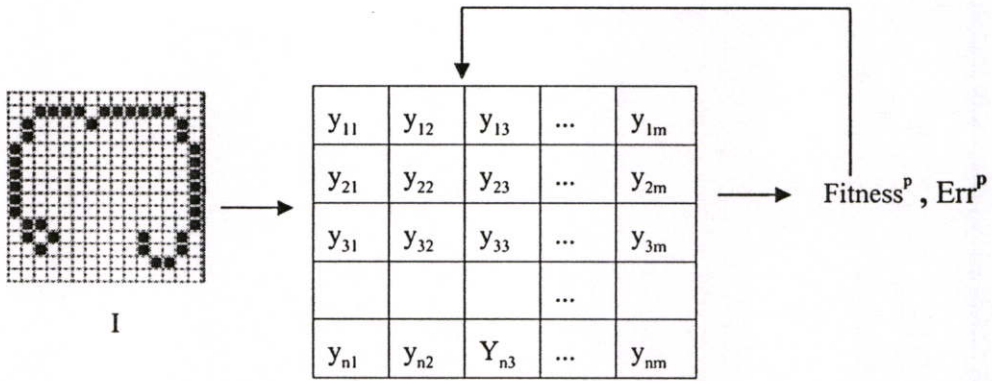
## การเรียนรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจีเนติกอัลกอริทึม

### 3.1 บทนำ

ในกระบวนการเรียนรู้การเรียนรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานได้นำจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้เพื่อที่จะหาโครโมโซมที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดของการเรียนรู้ โดยนำเอาแนวคิดของฮาลาดอร์ฟดิสแทนซ์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการวัดค่าความเหมือนมาคำนวณเพื่อหาค่าของฟังก์ชันความเหมาะสม (fitness function) ซึ่งฟังก์ชันความเหมาะสมในการทดลองคือผลรวมของค่าคำตอบที่ถูกต้องระหว่างอินพุตแพทเทินทั้งหมดกับยีนแต่ละตัวในโครโมโซม จากฟังก์ชันความเหมาะสมจะคำนวณหาค่าความเหมาะสม (fitness value) เพื่อไปใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด ในการทดลองนี้จะไม่มีการดึงคุณลักษณะเด่นของภาพออกมาแต่จะใช้ค่าข้อมูลของรูปภาพทั้งรูปภาพที่เป็นภาพแบบไบนารี (binary image) มาคำนวณเพื่อหาค่าความเหมาะสม และมีการเก็บค่าความผิดพลาดของคำตอบในประชากรรุ่นปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างโครโมโซมใหม่และได้เสนอการทำมิวเตชัน โดยการเลือกยีนตัวอักษรที่มีความผิดพลาดสูง มาทำการมิวเตชันซึ่งไม่ใช่วิธีการสุ่ม

การมิวเตชันคือการปรับเปลี่ยนลักษณะของยีนภายในโครโมโซมหรือเรียกว่าเกิดการผ่าเหล่า ในการทดลองจึงนำการมิวเตชันมาประยุกต์ใช้ในการปรับเปลี่ยนตัวอักษรให้มีความแตกต่างหลากหลายลักษณะเพื่อใช้ในการเรียนรู้ เพราะตัวอักษรแต่ละตัวที่เกิดจากลายมือเขียนของคนหลายคนจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับเทคนิคการเขียนของแต่ละบุคคล ซึ่งทำให้ตัวอักษรตัวเดียวเกิดขึ้นหลากหลายลักษณะ ดังนั้นเมื่อทำการมิวเตชันกับยีนตัวอักษรจึงทำให้เกิดยีนตัวอักษรใหม่หรือลักษณะรูปแบบของตัวอักษรใหม่ขึ้นมาจึงเป็นการเพิ่มรูปแบบตัวอักษรให้มีมากขึ้นในกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งจะทำให้กระบวนการเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในการเรียนรู้ด้วยจีเนติกอัลกอริทึมจะสร้างประชากรเริ่มต้นหรือโครโมโซมเริ่มต้นของการเรียนรู้โดยสุ่มจากอินพุตแพทเทินแต่ละตัวมาเป็นยีนในโครโมโซม จากนั้นนำอินพุตแพทเทินที่ต้องการเรียนรู้ไปคำนวณหาค่าความเหมาะสมกับทุกยีนในโครโมโซม จากการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจะมีการคำนวณค่าความผิดพลาด (error) ที่เกิดขึ้นในแต่ละยีนของแต่ละโครโมโซม ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำไปพิจารณาในการคัดเลือกโครโมโซมที่เหมาะสมในการเรียนรู้และค่าความผิดพลาดจะถูกนำไปใช้ในปรับปรุงยีนของประชากรรุ่นลูกเพื่อที่จะทำให้ได้คำตอบของปัญหาได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งแสดงสถาปัตยกรรมการเรียนรู้ได้ดังรูปที่ 3.1



Fitness คือ ค่าความเหมาะสมของโครโมโซม

Err คือ ค่า error ของยีนในโครโมโซม

I คือ อินพุตแพทเทิน

รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมการเรียนรู้ด้วยจีนติกอัลกอริทึม

### 3.2 กระบวนการเรียนรู้

ในกระบวนการเรียนรู้อินพุตของระบบจะเป็นรูปภาพแบบไบนารีที่มีขนาด 15 X 15 พิกเซล ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล (preprocessing) [17, 20] รูปภาพจะเหลือเพียงลักษณะของเส้นโครงร่างของรูปภาพ ดังรูปที่ 3.2 และนำเข้าสู่ระบบการเรียนรู้การรู้จำดังสมการที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แสดงรูปก่อนและหลังการผ่านกระบวนการ preprocessing

$$I = [X]_{m \times n}, X: 0, 1 \quad (3.1)$$

$m, n$  คือ ขนาดของรูปภาพ

### 3.2.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น

จากอินพุตแพทเทินที่นำเข้ามาให้ระบบทำการเรียนรู้ ระบบจะสร้างประชากรเริ่มต้น โดย สุ่มข้อมูลจากอินพุตแพทเทินมาสร้างเป็นโครโมโซมพ่อแม่ (parent chromosome) โดย 1 อินพุตแพทเทินจะหมายถึง 1 ยีนในโครโมโซม โดยในแต่ละโครโมโซมจะประกอบไปด้วยยีนตัวอักษรครบทุกกลุ่ม (class) ตัวอักษร การสร้างประชากรเริ่มต้นจะมีกำหนดจำนวนและขนาดของประชากรหรือโครโมโซม ซึ่งโครโมโซมเริ่มต้นจะมีขนาดเท่ากัน ในการทดลองมีกลุ่มของตัวอักษรทั้งหมด 35 กลุ่ม และกำหนดให้ประชากรเริ่มต้นมีจำนวน 10 ประชากร ดังนั้นประชากรหรือโครโมโซมเริ่มต้นจะมีขนาดความยาว 35 ยีนตัวอักษร และมีจำนวน 10 โครโมโซม โดยมีเงื่อนไขในการสร้างโครโมโซมคือ โครโมโซมที่สร้างขึ้นต้องไม่ซ้ำกันหมายถึงว่าในแต่ละโครโมโซมจะต้องมียีนตัวอักษรที่แตกต่างกันไม่จำเป็นต้องแตกต่างกันทั้งหมดแตกต่างกันเพียง 1 ยีนตัวอักษรก็ได้ การสร้างโครโมโซมเริ่มต้นแสดงได้ดังสมการ 3.2 และตัวอย่างโครโมโซมแสดงดังรูปที่ 3.3

$$C_p = \{ [Y_j] \}, p: 1, 2, \dots, P; j: 1, 2, \dots, J; \quad (3.2)$$

C คือ โครโมโซม

Y คือ ยีนตัวอักษร

P คือ ขนาดของประชากร

J คือ จำนวนยีนตัวอักษร

1	2	3	4	5	6	...	35
ก	อ	น	พ	ค	ด	...	ธ
ก	ว	ด	พ	ธ	ด	...	ธ

รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างโครโมโซมที่สร้างขึ้น

### 3.2.2 ฟังก์ชันความเหมาะสม (fitness function)

ในการเรียนรู้การรู้จำจะต้องมีการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสมเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมว่าโครโมโซมนั้นเป็นโครโมโซมที่ดี เหมาะสมที่จะเป็นคำตอบของปัญหาได้หรือไม่ และใช้ค่าความเหมาะสมในการคัดเลือกโครโมโซมที่จะนำไปเป็นโครโมโซมพ่อแม่ในการสร้างประชากรรุ่นต่อไป ในการทดลองนี้ใช้ฮาดสอร์ฟดิสแทนซ์ (hausdorff distance) ซึ่งเป็นตัววัดค่าความเหมือนกันที่มีประสิทธิภาพและได้รับการยอมรับมาคำนวณเพื่อหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของการทดลอง

เมื่อมีอินพุตเข้ามาสู่ระบบการเรียนรู้ระบบจะทำการคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมด้วยการคำนวณค่าฮาอูสเตอร์ฟิตเนสระหว่างอินพุตแพทเทินกับยีนตัวอักษรทุกยีนในโครโมโซม แล้วพิจารณาค่าฮาอูสเตอร์ฟิตเนส น้อยที่สุดในแต่ละโครโมโซมว่าให้อยู่ที่ยีนใดในโครโมโซม แล้วหาค่าของกลุ่ม (class) ของยีนตัวอักษรนั้น ถ้าค่าของกลุ่มตรงกับค่ากลุ่มของอินพุต จะให้ค่าเป็น 1 หากค่าของกลุ่มไม่ตรงกับค่ากลุ่มของอินพุตจะให้ค่าเป็น 0 ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมคือผลรวมของค่าคำตอบที่ถูกต้องหรือค่าคำตอบตรงกับค่าคำตอบของอินพุต

$$O^p(I_i) = \min_{j=1}^J [H^p(I_i, Y_j)] \quad (3.3)$$

P คือ โครโมโซม

I คือ อินพุตแพทเทิน

Y คือ ยีนตัวอักษรในโครโมโซม

O คือ ค่าของกลุ่ม (class) ยีน

H คือ ค่าฮาอูสเตอร์ฟิตเนส

J คือ จำนวนยีนในโครโมโซม

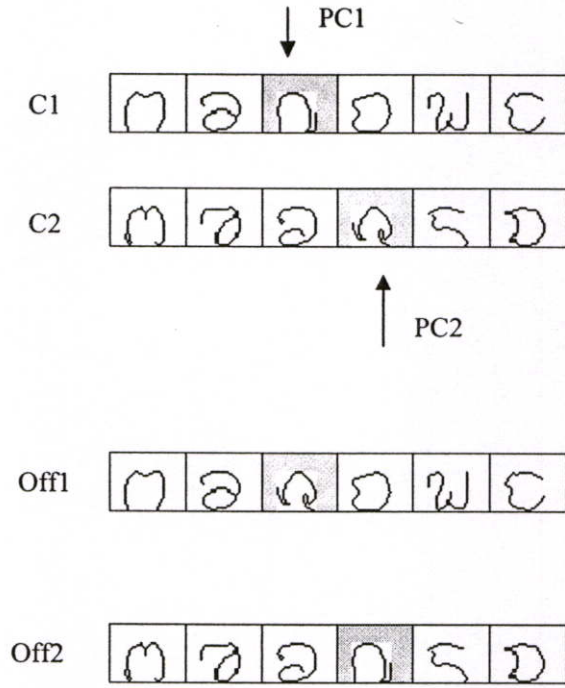
$$Ans = \begin{cases} 1 & ,if O = A \\ 0 & ,otherwise \end{cases} \quad (3.4)$$

A คือ ค่าของกลุ่มของอินพุต

$$Fitness^p = \sum_{i=1}^T (Ans) \quad (3.5)$$

T คือ จำนวนอินพุตแพทเทิน

เมื่อคำนวณค่าความเหมาะสมของทุกๆ โครโมโซมเรียบร้อยแล้ว จะนำค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม มาทำการคัดเลือกโครโมโซมโดยวงล้อถ่วงน้ำหนัก(Roulette - wheel selection) เพื่อเลือกโครโมโซมพ่อแม่ที่จะไปสร้างโครโมโซมลูกโดยการครอสโอเวอร์ระหว่างโครโมโซม การเลือกโครโมโซมแบบวงล้อถ่วงน้ำหนัก โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสที่ถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่ในรุ่นต่อไป



รูปที่ 3.4 แสดงโครโมโซมก่อนและหลังการครอสโอเวอร์

จากรูปที่ 3.4 เมื่อเลือกโครโมโซมพ่อแม่ที่จะทำการครอสโอเวอร์ขึ้นมา 2 โครโมโซม คือ C1 และ C2 แล้วทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในโครโมโซม C1 ที่จะทำการครอสโอเวอร์ จากการสุ่มเลือกตำแหน่งได้ตำแหน่งที่จะทำครอสโอเวอร์ คือตำแหน่ง PC1 ทำการตรวจสอบค่ากลุ่มของยีนในตำแหน่ง PC1 จากนั้นทำการตรวจสอบโครโมโซม C2 ว่ามียีนที่มีค่ากลุ่มของยีนเป็นค่ากับค่ากลุ่มของยีนในตำแหน่ง PC1 ในการตรวจสอบครั้งแรกของการครอสโอเวอร์แต่ละครั้งจะกำหนดให้ตำแหน่ง PC2 มีตำแหน่งเดียวกับ PC1 แล้วตรวจสอบค่ากลุ่มของยีนในตำแหน่ง PC2 ว่ามีค่ากลุ่มยีนเป็นกลุ่มเดียวกันกับยีนในตำแหน่ง PC1 หรือไม่ถ้าไม่เป็นกลุ่มเดียวกันจะต้องสุ่มเลือกตำแหน่ง PC2 ในโครโมโซม C2 ใหม่ จนกระทั่งค่าที่ได้เป็นกลุ่มเดียวกันกับยีนในตำแหน่ง PC1 เพราะในการทดลองได้กำหนดเงื่อนไขของการครอสโอเวอร์ว่าจะทำการครอสโอเวอร์แบบจุด และจุดที่จะทำการครอสโอเวอร์จะต้องมีค่ากลุ่มเดียวกัน จากนั้นทำการสลับยีนระหว่างยีนในตำแหน่ง PC1 กับ PC2 เมื่อครอสโอเวอร์แล้วจะเกิดโครโมโซมลูกขึ้นมา 2 โครโมโซมคือ Off1 และ Off2

ในการทดลองจะทำการครอสโอเวอร์ทั้งหมด  $N/2$  ครั้ง โดยที่  $N$  คือจำนวนโครโมโซมเริ่มต้น เมื่อทำการครอสโอเวอร์ จะมีจำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้น  $N$  โครโมโซม หลังจากการครอสโอเวอร์แล้วจะทำให้ประชากรมีขนาด  $2N$  ซึ่งขนาดของประชากรมีขนาดใหญ่ขึ้นจะใช้เวลาในการคำนวณค่าความเหมาะสมมากขึ้น เพื่อลดเวลาการทำงานจึงนำเฉพาะประชากรที่เกิดขึ้นจากการครอสโอเวอร์ไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป แต่จะเก็บประชากรและค่าความเหมาะสมก่อน

ทำการครอสโอเวอร์ไว้แล้วนำไปรวมประชากรใหม่ที่เกิดขึ้น แล้วนำประชากรทั้งหมดมาพิจารณาเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดและเหมาะสมเพื่อเป็นประชากรในรุ่นต่อไปของการทำงานวนรอบ

หลังจากการทำครอสโอเวอร์แล้วจะเกิดประชากรเพิ่มขึ้นจำนวน  $N$  ประชากร นำประชากรที่เกิดใหม่มาทำการมิวเตชัน ในการพิจารณาเลือกยีนตัวอักษรที่จะทำการมิวเตชันจะพิจารณาจากยีนว่ายีนใดที่ไม่สามารถเป็นตัวแทนในโครโมโซม คือเป็นยีนให้ค่าตอบผิดมากที่สุดในการเรียนรู้ของแต่ละโครโมโซมซึ่งจะเป็นค่าความผิดพลาด (error) คำนวณได้จากสมการที่ 3.6 และ 3.7

$$\text{Err}^p = \max_{j=1}^J \left\{ \sum_{i=1}^T \text{wrong}^j \right\} \quad (3.6)$$

$$\text{wrong} = \begin{cases} 1 & , \text{if } O \neq A \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.7)$$

$O$  คือ ค่าของกลุ่มยีนในโครโมโซม

$A$  คือ ค่าของกลุ่มอินพุต

$T$  คือ จำนวนอินพุต

$J$  คือ จำนวนยีนในแต่ละโครโมโซม

$p$  คือ โครโมโซม

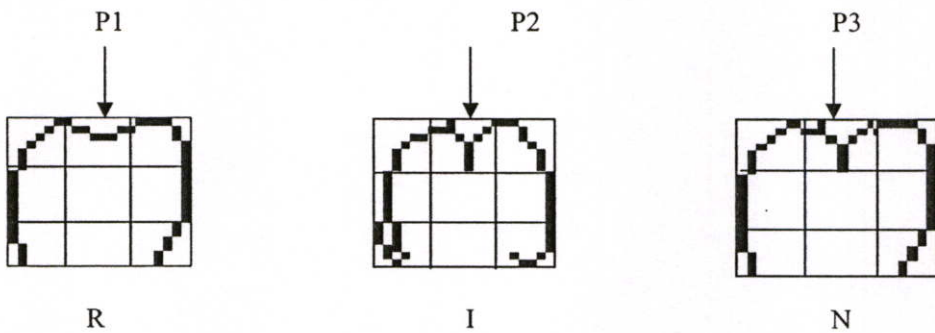
จากค่า  $\text{Err}^p$  ที่คำนวณได้สามารถแสดงรายละเอียดว่ายีนใดในแต่ละโครโมโซมที่ให้ค่าความผิดพลาดมาก และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับเท่าใด ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดในแต่ละโครโมโซม

Index gene	Error
52	10
100	9
350	10
999	20
...	...
106	13

จากสมการที่ 3.6 ค่า  $\text{Err}^p$  แสดงถึงยีนที่ให้ค่าผิดพลาดมากที่สุด จึงต้องทำการมิวเตชันเพื่อเปลี่ยนรูปแบบตัวอักษร โดยทำการตรวจสอบในแต่ละโครโมโซมว่ามียีนที่ให้ค่าผิดพลาดมาก

ปรากฏในโครโมโซมหรือไม่ ถ้ามีจะทำการมิวเตชันนั้น ในการทดลองเมื่อพบยีนที่ให้ค่าความผิดพลาดจะทำการตรวจสอบค่าของกลุ่ม (class) ตัวอักษร จากนั้นทำการสุ่มเลือกยีนตัวอักษรที่จะมามิวเตทกับยีนที่อ้างอิงในโครโมโซมจากอินพุตทุกแพทเทินทั้งหมด โดยยีนที่สุ่มได้จะต้องเป็นกลุ่มเดียวกับยีนที่อ้างอิงในโครโมโซม จากนั้นแบ่งยีนตัวอักษรออกเป็น 9 บล็อกดังรูปที่ 3.4 แล้วทำการสุ่มเลือกค่าบล็อกที่จะทำการมิวเตท ทำการมิวเตทโดยการนำค่าข้อมูลภายในบล็อกที่สุ่มเลือกได้สลับกันระหว่างบล็อกของตัวอักษร R และ I เมื่อทำการมิวเตชัน จะเกิดตัวอักษรลักษณะใหม่ขึ้นมาดังตัวอักษร N ดังรูปที่ 3.5 ยีนตัวอักษรเกิดจากการมิวเตทจะมีรูปแบบที่เปลี่ยนไปคือเกิดจากการผสมกันกันระหว่างยีนตัวอักษร 2 ตัว ซึ่งจะมีรูปแบบตัวอักษรสำหรับการเรียนรู้มากขึ้นในการมิวเตทแต่ละโครโมโซมจะเกิดโครโมโซมขึ้นมาใหม่ 1 โครโมโซมในกลุ่มประชากร



- P1 คือ ตำแหน่งบล็อกที่สุ่มได้  
 P2 คือ ตำแหน่งบล็อกที่สลับกับ P1  
 P3 คือ ตำแหน่งบล็อกที่ทำการมิวเตท

รูปที่ 3.5 แสดงยีนตัวอักษรก่อนและหลังการมิวเตท

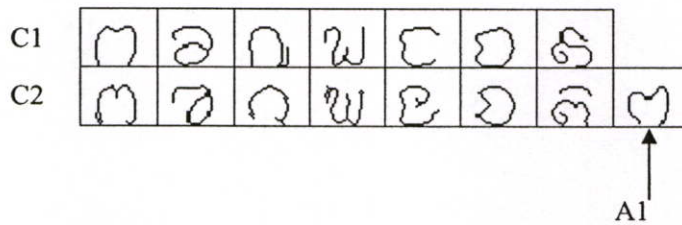
หากยีนในโครโมโซมที่ใช้ในการเรียนรู้มีจำนวนน้อยก็จะทำให้ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาได้จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มยีนเข้าไปในโครโมโซมเพื่อให้มียีนที่อ้างอิงในการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มยีนอ้างอิงเข้าไปในโครโมโซมเพียงอย่างเดียวอาจจะทำให้โครโมโซมนั้นมีความยาวมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น บางครั้งยีนที่เพิ่มเข้าไปไม่สามารถเป็นยีนอ้างอิงที่ดีในโครโมโซมได้จึงต้องมีการลบยีนนั้นออกไปจากโครโมโซม

$$\text{If } P_{ad} \geq 0.25 \text{ then add else delete} \quad (3.7)$$

$P_{ad}$  คือ ความน่าจะเป็น โอกาสที่จะเพิ่มหรือลดยีน

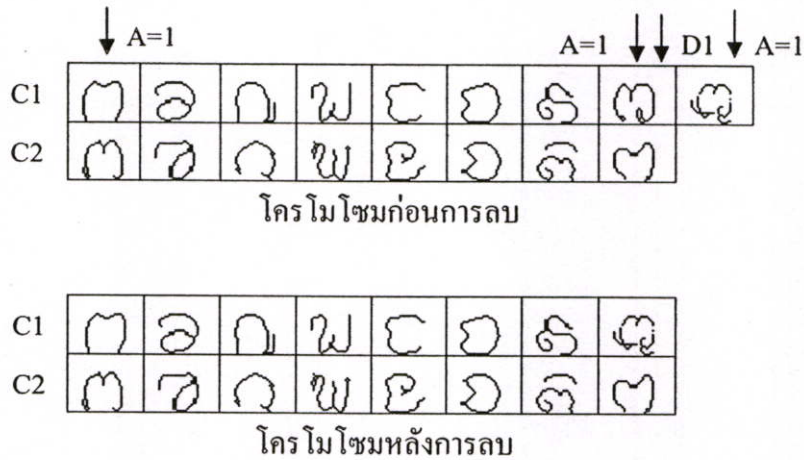
ในการทดลองจึงมีการเพิ่มขึ้นและลบขึ้นในโครโมโซม เมื่อทำการมีเวทแล้วจะสุ่มค่าขึ้นมาเพื่อที่จะทำการลบหรือเพิ่มขึ้นในโครโมโซม ดังสมการที่ 3.7 ซึ่งมีวิธีการเพิ่มหรือลบขึ้นดังต่อไปนี้

เมื่อค่า  $P_{ad}$  มีค่ามากกว่า 0.25 จะทำการเพิ่มขึ้นอ้างอิงในโครโมโซม โดยจะทำการสุ่มค่ากลุ่ม (class) ตัวอักษรที่ต้องการเพิ่ม และสุ่มเลือกโครโมโซมที่จะทำการเพิ่ม เมื่อได้โครโมโซมและกลุ่มตัวอักษรแล้ว จะสุ่มเลือกตัวอักษรจากอินพุตแพทเทินที่มีค่ากลุ่ม (class) ตัวอักษรเดียวกับค่ากลุ่มที่สุ่มเลือกขึ้นมาได้ เมื่อได้ขึ้นตัวอักษรที่ต้องการแล้วก็ทำการเพิ่มเข้าไปในโครโมโซมที่ได้จากการสุ่มเลือก การเพิ่มจำนวนขึ้นตัวอักษรแต่ละครั้งจะเพิ่มเฉพาะโครโมโซมที่ถูกเลือกเท่านั้น จึงทำให้แต่ละโครโมโซมในการเรียนรู้มีขนาดความยาวไม่เท่ากันและไม่มีการสร้างโครโมโซมขึ้นใหม่ ดังรูปที่ 3.6 โครโมโซม C2 เป็นโครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อทำการเพิ่มขึ้นอ้างอิงเข้าไปและสุ่มเลือกได้ขึ้น A1 จากนั้นก็ทำการเพิ่มขึ้น A1 เข้าไปยังโครโมโซม C2



รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครโมโซมในการเพิ่มขึ้นตัวอักษร

ถ้าค่า  $P_{ad}$  มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.25 จะทำการลบขึ้นตัวอักษรในโครโมโซม ในการลบขึ้นจะพิจารณา จากค่าความผิดพลาด (error) จากสมการที่ 3.6 ค่า  $Err^p$  จะแสดงถึงขั้นที่ให้ค่าความผิดพลาดมาก เพราะขึ้นตัวอักษรที่มีค่าความผิดพลาดมาก ไม่สามารถที่จะใช้เป็นขึ้นอ้างอิงในโครโมโซมที่จะถูกถ่ายทอดไปยังประชากรรุ่นต่อไป ในการทดลองจะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมและตรวจสอบโครโมโซมนั้นว่ามีขึ้นที่ตรงกับค่า  $Err$  หรือไม่ ถ้ามีต้องตรวจสอบต่อว่าในโครโมโซมนั้นมีขึ้นตัวอักษรที่เป็น class เดียวกับ  $Err$  ขึ้นมากกว่า 2 ขึ้นหรือไม่ ถ้ามีมากกว่า 2 ขึ้น ก็ทำการลบขึ้นนั้นออกจากโครโมโซม ถ้ามีน้อยกว่าจะไม่ลบขึ้นตัวอักษรนั้นออกจากโครโมโซม เพราะถ้าลบจะทำให้ไม่มีหรือมีขึ้นตัวอักษรที่เป็นตัวแทนของ class นั้นอ้างอิงในโครโมโซมน้อยเกินไปซึ่งจะทำให้การหาคำตอบของปัญหาได้ไม่ดี การลบโครโมโซมจะไม่เกิดโครโมโซมใหม่ขึ้น แต่ขนาดของโครโมโซมจะสั้นลงแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

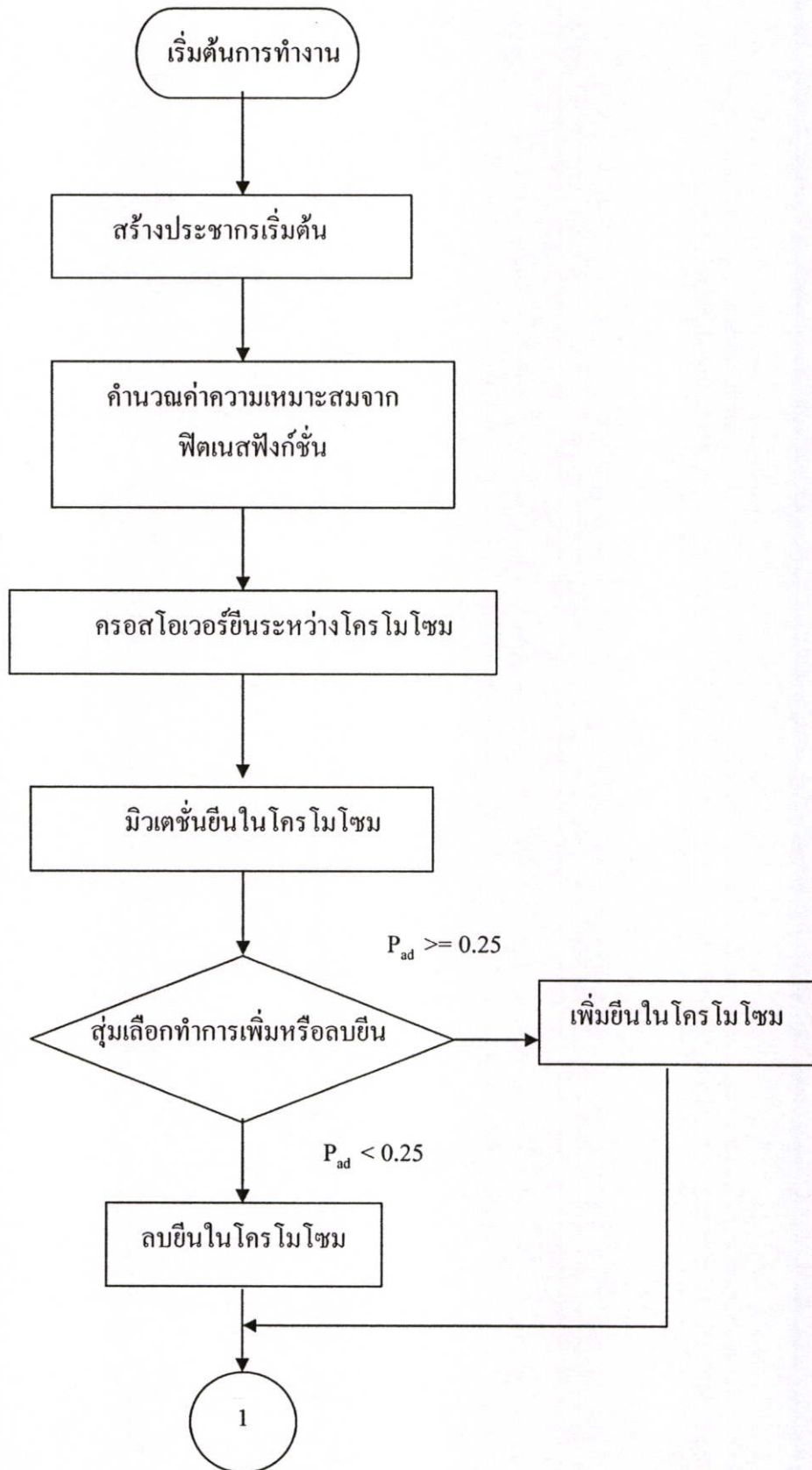


รูปที่ 3.7 แสดงโครโมโซมก่อนและหลังการลบยีนตัวอักษร

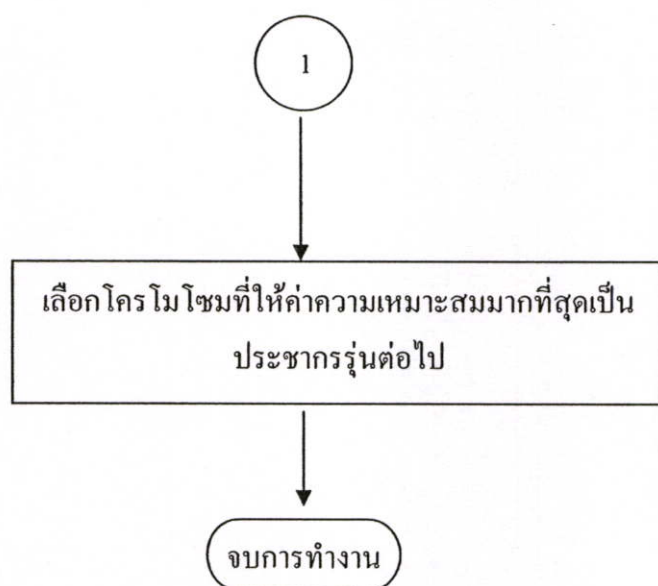
จากรูปที่ 3.7 ในตำแหน่ง D1 ในโครโมโซม C1 เป็นยีนที่ต้องการลบและตรวจสอบจำนวนยีนที่มี class เดียวกันกับยีนในตำแหน่ง D1 ยีนในตำแหน่ง D1 มีค่า class = 1 คือ A = 1 จากการตรวจสอบในโครโมโซม C1 แล้วพบว่ามีจำนวน 3 ยีนที่มีค่า A = 1 จึงสามารถลบยีนในตำแหน่ง D1 ได้

เมื่อทำการเพิ่มหรือลบยีนในโครโมโซมแล้วจะทำการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมทั้งหมดที่เกิดขึ้นหลังการครอสโอเวอร์ จากนั้นจะนำโครโมโซมที่เหมาะสมก่อนทำการครอสโอเวอร์ มารวมกัน แล้วพิจารณาเลือกโครโมโซมที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุด 10 โครโมโซมเพื่อใช้ เป็นกลุ่มประชากรรุ่นต่อไปในการเรียนรู้

ขั้นตอนการเรียนรู้การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานแสดงการทำงานดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนของการทำงานในการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน



รูปที่ 3.8 (ต่อ)



## 4.2 การเตรียมข้อมูล

ตัวอักษรธรรมอีสานที่ได้เก็บรวบรวมมาเพื่อใช้ในการรู้จำนั้นตัวอักษรแต่ละตัวจะมีขนาดและความเข้มของน้ำหนักในการเขียนตัวอักษรที่แตกต่างกัน ก่อนนำไปใช้ในการทดลองจึงต้องผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีขนาดเท่ากัน โดยการปรับขนาดของตัวอักษรทุกตัวให้มีขนาด 15x15 พิกเซล และทำการหาโครงร่างของตัวอักษร ตัวอักษรธรรมอีสานที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.1 (a) และ(b)

ตารางที่ 4.1 ตัวอักษรธรรมอีสานที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล

๓	๖	๗	๘	๙	๑๐	๑๑
๑๒	๑๓	๑๔	๑๕	๑๖	๑๗	๑๘
๑๙	๒๐	๒๑	๒๒	๒๓	๒๔	๒๕
๒๖	๒๗	๒๘	๒๙	๓๐	๓๑	๓๒
๓๓	๓๔	๓๕	๓๖	๓๗	๓๘	๓๙

(a)

๓	๖	๗	๘	๙	๑๐	๑๑
๑๒	๑๓	๑๔	๑๕	๑๖	๑๗	๑๘
๑๙	๒๐	๒๑	๒๒	๒๓	๒๔	๒๕
๒๖	๒๗	๒๘	๒๙	๓๐	๓๑	๓๒
๓๓	๓๔	๓๕	๓๖	๓๗	๓๘	๓๙

(b)

ในการทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานได้จัดข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้และการรู้จำ โดยแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลได้ดังนี้

1. ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นตัวอักษรธรรมอีสานที่เก็บรวบรวมจากเอกสารโบราณ 25 เอกสาร มีจำนวนทั้งสิ้น 458 ตัวอักษร ใช้เป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการเรียนรู้และแบบทดสอบให้คนอ่าน
2. ข้อมูลชุดที่ 2 เป็นตัวอักษรธรรมอีสานที่เก็บรวบรวมจากโบราณจำนวน 89 เอกสาร มีตัวอักษรธรรมอีสานจำนวน 1418 ตัวอักษร

3. ข้อมูลชุดที่ 3 เป็นตัวอักษรธรรมอีสาน จำนวน 3955 ตัวอักษร โดยเก็บรวบรวมจากเอกสารโบราณ 250 เอกสาร และจากลายมือเขียนของคน 10 คน สามารถแบ่งได้เป็นข้อมูลจากลายมือเขียนของคน 444 ตัว และจากโบราณ 3511 ตัว เป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการเรียนรู้และการทดสอบ

#### 4.3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบ

ในการทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ในการทดสอบดังต่อไปนี้

- ขนาดของประชากรหรือจำนวนโครโมโซมเริ่มต้น  $P = 10$  โดยที่ประชากรเริ่มต้นนั้นในแต่ละโครโมโซมจะต้องประกอบด้วยยีนตัวอักษรทั้งหมด 35 กลุ่ม จะทำโดยการสุ่มจากชุดข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ = 1 การครอสโอเวอร์จะครอสโอเวอร์ทั้งหมด 10 จุดในแต่ละครั้งของการครอสโอเวอร์
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน = 1
- ความน่าจะเป็นในการเพิ่มยีนเข้าไปในโครโมโซม  $P_{add} = 0.75$  ในการเพิ่มยีนเข้าไปในโครโมโซมแต่ละครั้งจะเพิ่มครั้งละ 3 ยีน
- ความน่าจะเป็นในการลบยีนออกจากโครโมโซม  $P_{delete} = 0.25$
- จำนวนรอบที่ใช้ในการเรียนรู้ = 500 รอบ

#### 4.4 ผลการทดสอบ

การทดลองการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน จะแบ่งทำการทดลองออกเป็น 2 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 ทำการทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจีเนติกอัลกอริทึม เพื่อเปรียบเทียบกับกรอบแบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสาน ของพระภิกษุสามเณร ในจังหวัดมหาสารคาม และพระนิสิตของมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น หน่วยวิทยบริการจังหวัดมหาสารคาม ในการเก็บข้อมูลแบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสาน ได้ให้ความสนใจเก็บข้อมูลจากกลุ่มของพระภิกษุสามเณร เพราะตัวอักษรธรรมอีสานมีความสำคัญและมีความจำเป็นต่อพระภิกษุสามเณร เพราะเอกสารโบราณต่าง ๆ ส่วนมากจะพบที่วัด ซึ่งโบราณเหล่านั้นจะบันทึกข้อมูลทางพุทธศาสนาและองค์ความรู้ต่าง ๆ จึงถือได้ว่ากลุ่มคนที่พบโบราณและได้ใช้ประโยชน์จากโบราณมากที่สุดคือพระภิกษุสามเณร

ในการเก็บข้อมูลแบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสานของกลุ่มพระภิกษุ สามเณร จำนวน 23 ชุด รายละเอียดผลการทดสอบการอ่านแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 และในการทดสอบ อัลกอริทึมการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตริกอัลกอริทึม เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการอ่าน อักษรธรรมอีสานของพระภิกษุ สามเณร ได้กำหนดให้ข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ การรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตริกอัลกอริทึม และกำหนดให้ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นข้อมูลที่ใช้ใน การทดสอบ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

**การทดลองที่ 2** ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับ Modified Hausdorff ARTMAP [21] โดย ใช้ข้อมูลชุดที่ 3 ซึ่งจะแบ่งข้อมูลชุดที่ 3 ออกเป็น 2 ส่วนๆละ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการแบ่งข้อมูล จะได้ข้อมูลตัวอักษรธรรมอีสานที่ในการเรียนรู้ 1986 ตัวอักษร และข้อมูลตัวอักษรธรรมอีสานที่ใน การทดสอบ 1969 ตัวอักษร จากนั้นทำการทดสอบการรู้จำอักษรธรรมอีสานด้วยจินตริกอัลกอริทึม ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และนำข้อมูลชุดเดียวกันไปทำการทดลองกับ Modified Hausdorff ARTMAP เพื่อทำการเปรียบเทียบได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบการอ่านอักษรธรรมของพระภิกษุ สามเณร

ลำดับ	ความถูกต้อง (%)
พระรูปที่ 1	52.8384
พระรูปที่ 2	69.4323
พระรูปที่ 3	58.7336
พระรูปที่ 4	38.4279
พระรูปที่ 5	73.1441
พระรูปที่ 6	9.3886
พระรูปที่ 7	70.0873
พระรูปที่ 8	59.8253
พระรูปที่ 9	26.8559
พระรูปที่ 10	15.5022
พระรูปที่ 11	54.1485
พระรูปที่ 12	25.1092
พระรูปที่ 13	14.8472
พระรูปที่ 14	14.1921
พระรูปที่ 15	39.7380
พระรูปที่ 16	26.4192
พระรูปที่ 17	73.5808
พระรูปที่ 18	25.1092
พระรูปที่ 19	25.7642
พระรูปที่ 20	43.6681
พระรูปที่ 21	14.8472
พระรูปที่ 22	63.7555
พระรูปที่ 23	49.7817
ค่าเฉลี่ย	<b>41.0955</b>

จากผลการอ่านอักษรธรรมอีสานจากแบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสานของพระภิกษุ สามเณร ได้อัตราความถูกต้องเฉลี่ย 41.096 % และได้ทำการทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน ด้วยจินตนิมิตอักษรธรรมเพื่อนำผลมาทำการเปรียบเทียบได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3 ซึ่งในการ

ทดลอง ใช้ข้อมูลที่เป็นตัวทดสอบเป็นข้อมูลชุดเดียวกันกับข้อมูลที่ใช้ทดสอบการอ่านอักษรธรรมของพระภิกษุสามเณร พบว่าการทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตอักษรณ์ให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าคือให้ผลความถูกต้อง 64.85% ส่วนการทดสอบการอ่านอักษรธรรมจากแบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมของพระภิกษุสงฆ์ให้ผลความถูกต้อง 41.096%

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ 1

ชุดข้อมูลเรียนรู้/ชุดข้อมูลทดสอบ (จำนวน)	อัตราความถูกต้อง (%)	ความยาวของ โครโมโซม
ชุดข้อมูลที่ 2 / ชุดข้อมูลที่ 1 (1418/458)	64.85	130

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ 2

ชุดข้อมูลเรียนรู้/ชุดข้อมูลทดสอบ (จำนวน)	อัตราความถูกต้อง (%)	ความยาวของ โครโมโซม
ชุดข้อมูลที่ 3 / ชุดข้อมูลที่ 3 (1986/1969)	67.60	219

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง

ชุดข้อมูลเรียนรู้/ชุดข้อมูล ทดสอบ(จำนวน)	การรู้จำตัวอักษรธรรม อีสานด้วยจินต อักษรณ์	Modified Hausdorff ARTMAP
	อัตราความถูกต้อง (%)	อัตราความถูกต้อง (%)
ชุดข้อมูลที่ 3 / ชุดข้อมูลที่ 3 (1986/1969)	67.60	64.35

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง การทดสอบการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตอักษรณ์ กับ Modified Hausdorff ARTMAP ในผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานด้วยจินตอักษรณ์ จะให้อัตราความถูกต้อง 67.60 % โดยมีความยาวของโครโมโซมเท่ากับ 219 ชิ้น คือมีตัวอย่างของรูปแบบตัวอักษรธรรมอีสานในแบบจำลองที่จะนำมา ใช้ทดสอบการรู้จำเท่ากับ 219 รูปแบบ ส่วนผลการทดสอบด้วย Modified Hausdorff ARTMAP ให้อัตราความ

ถูกต้อง 64.35% มีโหนดที่เกิดขึ้น 1975 โหนด คือในแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบการรู้จำจะมีจำนวนรูปแบบตัวอักษรเท่ากับ 1975 รูปแบบ จากผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรธรรมชาติด้วยจินตคณิตให้อัตราความถูกต้องที่สูงกว่า ในขณะที่แบบจำลองในการทดสอบการรู้จำมีจำนวนรูปแบบที่น้อยกว่า

จากผลการทดลองที่ 2 ได้ทำการตรวจสอบผลของคำตอบ พบว่าผลของคำตอบที่ให้คำตอบที่ผิดนั้นส่วนมากคำตอบจะให้คำตอบเป็นกลุ่มของตัวอักษรที่มีลักษณะตัวอักษรที่คล้ายคลึงกันเช่น จากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวอักษรกลุ่มที่ 1 จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับตัวอักษรกลุ่มที่ 3, 15, 16 และ 23 กลุ่มตัวอักษรกลุ่มที่ 6 มีความคล้ายคลึงกับตัวอักษรกลุ่มที่ 19 และ 29 เป็นต้น ซึ่งจะแสดงผลของคำตอบจากการทดลองของการทดสอบการรู้จำของตัวอักษรกลุ่มที่ 1 ได้ในตารางที่ 4.6 โดยผลคำตอบที่ตอบผิดเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ กลุ่มที่ 3 จำนวน 17 ตัว กลุ่มที่ 6 จำนวน 3 ตัว กลุ่มที่ 16 จำนวน 3 ตัว กลุ่มที่ 17, 19, 23, 24 และ 29 อย่างละ 1 ตัว จากจำนวนคำตอบที่ตอบผิดทั้งหมด 28 ตัว ซึ่งจะพบว่าคำตอบที่ตอบผิดส่วนมากให้คำตอบในกลุ่มของตัวอักษรที่มีลักษณะของตัวอักษรที่คล้ายคลึงกัน แต่มีบางคำตอบที่เป็นส่วนน้อยที่ให้คำตอบในกลุ่มของตัวอักษรที่แตกต่างออกไปเมื่อพิจารณาคำตอบที่ผิดโดยการเปรียบเทียบรูปแบบของตัวอักษรในตารางที่ 4.7 แล้วพบว่ารูปแบบตัวอักษรที่ใช้ทดสอบกับรูปแบบของตัวอักษรที่เป็นคำตอบนั้นมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน และผลจากการวัดค่าความเหมือนระหว่างตัวอักษรก็เป็นระยะทางที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.6 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 1 ที่ให้คำตอบที่ผิด

ลำดับ ตัวอักษร	กลุ่มของ ตัวอักษร	กลุ่มของ คำตอบ	ระยะทางของ คำตอบ	ระยะทางที่น้อยที่สุดของ กลุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง
3	1	6	0.4978	0.66375
11	1	3	0.60075	0.63796
15	1	3	0.6688	0.69229
17	1	19	0.66832	0.80251
21	1	3	0.5617	0.60064
22	1	3	0.76348	0.80079
27	1	16	0.72594	0.74525
30	1	3	0.67104	0.69217
33	1	16	0.66771	0.89304
40	1	3	0.49208	0.65688
46	1	3	0.74806	0.77689
49	1	3	0.67341	0.69624
51	1	3	0.53897	0.6105
52	1	17	0.98534	1.1955
53	1	3	0.80098	0.88729
55	1	3	0.67837	0.70803
63	1	23	0.72073	0.72313
64	1	3	0.69618	0.85319
67	1	3	0.70915	0.7216
68	1	3	0.51408	0.66592
69	1	24	0.75936	0.86956
77	1	16	0.74958	0.83732
80	1	6	0.59154	0.62058

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ลำดับตัวอักษร	กลุ่มของตัวอักษร	กลุ่มของคำตอบ	ระยะทางของคำตอบ	ระยะทางที่น้อยที่สุดของกลุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูก
81	1	3	0.64425	0.79653
84	1	29	0.55263	0.72934
87	1	6	0.60102	0.61088
88	1	3	0.49113	0.67188
90	1	3	0.66622	0.70612

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 1 กับผลคำตอบ

ตัวอักษรทดสอบ		ผลคำตอบ		คำตอบที่ถูก	
ลำดับ	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ
3	๓	6	๐	1	๐
11	๑	3	๑	1	๑
15	๑	3	๑	1	๑
17	๑	19	๑	1	๑
27	๓	16	๓	1	๓
33	๓	16	๓	1	๓
52	๕	17	๕	1	๕
63	๑	23	๑	1	๑
69	๑	24	๑	1	๑
84	๑	29	๐	1	๑

จากตารางที่ 4.7 ตัวอักษรทดสอบลำดับที่ 3 ให้ผลคำตอบกลุ่มที่ 6 ตัวอักษรทดสอบลำดับที่ 17 ให้ผลคำตอบกลุ่มที่ 19 ตัวอักษรทดสอบลำดับที่ 52 ให้ผลคำตอบกลุ่มที่ 17 ตัวอักษรทดสอบลำดับที่ 69 ให้ผลคำตอบกลุ่มที่ 24 และตัวทดสอบที่ 84 ให้ผลคำตอบกลุ่มที่ 29 ซึ่งผลคำตอบนั้นตอบในกลุ่มของตัวอักษรที่มีลักษณะแตกต่างจากตัวอักษรทดสอบ เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้คำตอบนั้นผิดพลาดไปโดยการพิจารณารูปแบบตัวอักษร พบว่าตัวอักษรนั้นมีการขาดหายไปคือตัวอักษรไม่มีจุดการเชื่อมกันตลอดตัวอักษร มีการขาดหายไปเป็นช่วง ๆ ซึ่งการขาดไปในบางตำแหน่งทำให้คุณลักษณะสำคัญของตัวอักษรหายไป จึงทำให้ผลการทดสอบนั้นให้คำตอบ นั้นผิดพลาดไป

ตารางที่ 4.8 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 2 ที่ให้คำตอบที่ผิด

ลำดับ ตัวอักษร	กลุ่มของ ตัวอักษร	กลุ่มของ คำตอบ	ระยะทางของ คำตอบ	ระยะทางที่น้อยที่สุดของ กลุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง
94	2	20	0.74905	1.6318
96	2	27	0.64031	0.85907
101	2	6	0.84019	0.90407
109	2	25	0.75845	0.86254
111	2	18	0.7035	0.75714
112	2	27	0.95044	1.0234
113	2	35	0.93471	0.98065
114	2	10	0.83105	0.88877
118	2	24	0.80245	0.94821
119	2	27	0.66602	0.81205
120	2	12	0.79859	0.91863
123	2	8	0.75538	1.0388
126	2	18	0.72204	0.78507
127	2	8	0.93835	1.0441
129	2	35	0.77104	0.86135
133	2	25	0.80224	0.85877
134	2	20	0.86853	1.2445
137	2	27	0.83981	0.93898
139	2	7	0.96569	1.1391
140	2	17	0.61164	0.75783
142	2	17	0.73755	0.75994
146	2	8	0.69953	0.80648
148	2	13	0.82387	1.5502
152	2	18	0.67478	0.68432
153	2	8	0.86853	0.90437

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ลำดับตัวอักษร	กลุ่มของตัวอักษร	กลุ่มของคำตอบ	ระยะทางของคำตอบ	ระยะทางที่น้อยที่สุดของกลุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง
159	2	17	0.57721	0.72174
161	2	7	0.90548	0.90716
165	2	16	0.75125	0.84936
166	2	27	0.68753	0.74619
167	2	34	0.81502	1.0794

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 2 กับผลคำตอบ

ตัวอักษรทดสอบ		ผลคำตอบ		คำตอบที่ถูกต้อง	
ลำดับ	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ
94	๙	20	๙	2	๙
96	๖	27	๖	2	๖
101	๑	6	๑	2	๑
109	๙	25	๙	2	๙
111	๑	18	๑	2	๑
113	๓	35	๓	2	๓
114	๑	10	๑	2	๑
118	๘	24	๘	2	๘
120	๑	12	๑	2	๑
127	๗	8	๗	2	๗
139	๖	7	๖	2	๖
140	๐	17	๐	2	๐
148	๙	13	๙	2	๙
167	๖	34	๖	2	๖

ตารางที่ 4.10 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 3 ที่ให้คำตอบที่ผิด

ลำดับ ตัวอักษร	กลุ่มของ ตัวอักษร	กลุ่มของ คำตอบ	ระยะทางของ คำตอบ	ระยะทางที่น้อยที่สุดของ กลุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง
224	3	1	0.61088	0.79653
225	3	19	0.43755	0.65592
229	3	23	0.82807	0.87544
230	3	19	0.56284	0.59286
232	3	19	0.57963	0.69571
233	3	19	0.62766	0.67661
234	3	1	0.63832	0.77475
237	3	1	0.60817	0.64582
243	3	1	0.73555	0.7392
245	3	29	0.70778	0.72691
246	3	19	0.63429	0.74338
249	3	32	0.93264	1.14
251	3	19	0.72807	0.72823
255	3	24	0.74233	0.78856
256	3	19	0.54617	0.55402
257	3	1	0.61861	0.68032
258	3	19	0.86465	0.95002
260	3	19	0.59597	0.69895

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 3 กับผลคำตอบ

ตัวอักษรทดสอบ		ผลคำตอบ		คำตอบที่ถูกต้อง	
ลำดับ	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ
168	๑	1	๑	3	๑
174	๑	19	๑	3	๑
182	๑	24	๑	3	๑
208	๑	23	๑	3	๑
209	๑	20	๑	3	๑
214	๑	6	๑	3	๑
249	๑	32	๑	3	๑

ตารางที่ 4.12 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 22 ที่ให้คำตอบที่ผิด

ลำดับ ตัวอักษร	กลุ่มของ ตัวอักษร	กลุ่มของ คำตอบ	ระยะทางของ คำตอบ	ระยะทางที่น้อยที่สุดของ กลุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง
1174	22	30	0.94479	1.3707
1190	22	1	1.1349	1.5477
1196	22	11	0.83094	0.94822
1202	22	11	0.85284	0.89526

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 22 กับผลคำตอบ

ตัวอักษรทดสอบ		ผลคำตอบ		คำตอบที่ถูกต้อง	
ลำดับ	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ
1174	๑	30	๑	22	๑
1190	๑	1	๑	22	๑
1196	๑	11	๑	22	๑
1202	๑	11	๑	22	๑

ตารางที่ 4. 14 ผลคำตอบในการทดสอบตัวอักษรกลุ่มที่ 23 ที่ให้คำตอบที่ผิด

ลำดับ ตัวอักษร	กลุ่มของ ตัวอักษร	กลุ่มของ คำตอบ	ระยะทางของ คำตอบ	ระยะทางที่น้อยที่สุดของ กลุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง
1203	23	28	0.67349	0.7061
1206	23	1	0.79287	1.0226
1207	23	8	0.61725	0.65001
1209	23	1	0.68794	0.83177
1212	23	26	0.63237	0.65592
1213	23	18	0.70631	0.8423
1218	23	31	0.69026	0.76082
1219	23	24	0.61657	0.64485
1224	23	16	0.64985	0.69895
1226	23	1	0.55902	0.83674
1229	23	12	0.76631	0.82719
1231	23	16	0.65523	0.87493
1232	23	16	0.71965	0.87291
1233	23	3	1.0149	1.2443
1234	23	24	0.78741	1.1756
1235	23	1	0.62724	1.1523
1238	23	8	0.68607	0.6946
1240	23	16	0.75238	0.86077
1242	23	24	0.66429	0.6939
1243	23	31	0.7851	0.93128
1246	23	30	0.80182	0.98557
1248	23	4	0.73845	0.90769
1250	23	16	0.60651	0.64305
1255	23	35	0.63786	0.75997
1256	23	2	0.70714	0.77022
1258	23	16	0.6772	0.73185

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบรูปแบบตัวอักษรตัวทดสอบกลุ่มที่ 23 กับผลคำตอบ

ตัวอักษรทดสอบ		ผลคำตอบ		คำตอบที่ถูกต้อง	
ลำดับ	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ	กลุ่ม	รูปแบบ
1203	๒	28	๗	23	๒
1206	๘	1	๗	23	๒
1207	๑	8	๘	23	๑
1212	๖	26	๗	23	๑
1213	๑	18	๑	23	๒
1218	๙	31	๖	23	๑
1219	๖	24	๖	23	๖
1224	๓	16	๓	23	๑
1229	๑	12	๖	23	๒
1233	๖	3	๑	23	๑
1246	๓	30	๙	23	๒
1248	๓	4	๗	23	๒
1255	๙	35	๑	23	๖
1256	๑	2	๖	23	๒

ตารางที่ 4.8 – ตารางที่ 4.15 แสดงผลคำตอบที่ผิดและตัวอย่างการเปรียบเทียบรูปแบบของตัวอักษร ของตัวอักษรกลุ่มที่ 2, 3, 22 และ 23

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำจินตคณิตอักษรรูทิมมาประยุกต์ใช้ในการรู้จำตัวอักษรเพื่อที่จะใช้ในการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานบนโบราณ ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ในการทดลองไม่ได้ใช้การดึงคุณลักษณะของตัวอักษรแต่ใช้ค่าของรูปภาพแบบโบราณมาใช้ในการวัดค่าความเหมือนกันระหว่างรูปแบบตัวอักษรและใช้ฮาดูสคอร์พดิสแทนส์ในการวัดค่าความเหมือน ซึ่งในการวัดค่าความเหมือนนั้นจะทำการเปรียบเทียบทั้งรูปภาพ ซึ่งจะได้ความถูกต้องสูง และได้้นำการมิวเตชันหรือการผ่าเหล่าในจินตคณิตอักษรรูทิมมาทำการมิวเตทตัวอักษรให้เกิดรูปแบบตัวอักษรมากขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนรู้โดยในการมิวเตชันจะทำการมิวเตชันกับยีนที่ให้ค่าความผิดพลาดเพราะยีนนั้นเป็นยีนที่ไม่มีความเหมาะสมที่จะเป็นตัวแทนในการเรียนรู้ที่ดีได้ ซึ่งในการมิวเตทจะแบ่งตัวอักษรออกเป็น 9 บล็อกเพราะ โครงสร้างของลักษณะตัวอักษรจะมีความแตกต่างในช่วงบริเวณ 9 บล็อกซึ่งจะทำให้การเรียนรู้การรู้จำมีประสิทธิภาพ

การเพิ่มหรือลดยีนในโครโมโซมเป็นการเพิ่มยีนรูปแบบตัวอักษรเข้าไปในโครโมโซมเพื่อที่จะให้โครโมโซมนั้นมีตัวแทนรูปแบบตัวอักษรแต่ละกลุ่มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็จะมีการลดจำนวนยีนในโครโมโซมลงซึ่งในการลดยีนนั้นจะใช้ค่าความผิดพลาดของยีนในโครโมโซมมาพิจารณาในการลบยีนออกจากโครโมโซม เพื่อที่จะไม่ให้โครโมโซมมีขนาดยาวเกินไป จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้การรู้จำ

### 5.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยนี้ตัวอักษรธรรมอีสานที่นำมาใช้ทดสอบเป็นตัวอักษรที่บันทึกบนโบราณ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีเส้นใยและสภาพของโบราณเก่าและผุพังจึงมีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมากจึงทำให้คุณลักษณะที่สำคัญของตัวอักษรแต่ละตัวและขาดหายไป ในขณะที่เดียวกันตัวอักษรธรรมบางตัวมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากจนบางครั้งไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เช่น ก(ก) ก(ณ), ก(ก) ก(ค), ก(ค) ก(พ) เป็นต้น และจำนวนรูปแบบของตัวอักษรตัวอักษรธรรมอีสานเป็นตัวอักษรที่ใช้กันในอดีตและทำการเก็บข้อมูลจากโบราณซึ่งอักษรบางตัวมีจำนวนน้อย เมื่อนำมาใช้ในการเรียนรู้จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเรียนรู้การรู้จำน้อยลง

๑. ๒. ๓. ๔. ๕. ๖. ๗. ๘. ๙. ๑๐. ๑๑. ๑๒. ๑๓. ๑๔. ๑๕. ๑๖. ๑๗. ๑๘. ๑๙. ๒๐. ๒๑. ๒๒. ๒๓. ๒๔. ๒๕. ๒๖. ๒๗. ๒๘. ๒๙. ๓๐. ๓๑. ๓๒. ๓๓. ๓๔. ๓๕. ๓๖. ๓๗. ๓๘. ๓๙. ๔๐. ๔๑. ๔๒. ๔๓. ๔๔. ๔๕. ๔๖. ๔๗. ๔๘. ๔๙. ๕๐. ๕๑. ๕๒. ๕๓. ๕๔. ๕๕. ๕๖. ๕๗. ๕๘. ๕๙. ๖๐. ๖๑. ๖๒. ๖๓. ๖๔. ๖๕. ๖๖. ๖๗. ๖๘. ๖๙. ๗๐. ๗๑. ๗๒. ๗๓. ๗๔. ๗๕. ๗๖. ๗๗. ๗๘. ๗๙. ๘๐. ๘๑. ๘๒. ๘๓. ๘๔. ๘๕. ๘๖. ๘๗. ๘๘. ๘๙. ๙๐. ๙๑. ๙๒. ๙๓. ๙๔. ๙๕. ๙๖. ๙๗. ๙๘. ๙๙. ๑๐๐.

กิ่งไม้ มดแดง แมงป่อง  
 กิ่งไม้ มดแดง แมงป่อง  
 กิ่งไม้ มดแดง แมงป่อง  
 กิ่งไม้ มดแดง แมงป่อง

รูปที่ 5.1 ภาพใบลานที่บันทึกด้วยตัวอักษรธรรมอีสานที่มีสัญญาณรบกวน

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบในการวิจัยนี้ควรมีการเก็บรวบรวมรูปแบบตัวอักษรธรรมอีสานไว้เป็น  
 ฐานข้อมูลเพื่อที่จะใช้ในการเรียนรู้การรู้จำ และพัฒนาการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ทำให้คุณลักษณะ  
 ของตัวอักษรขาดหายไป เพื่อจะให้การรู้จำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และการพัฒนาการรู้จำของ  
 สระ ตัวเลขของอักษรธรรมต่อไป เพื่อที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- [1] Murshed, N. A., Bortolozzi, F. and Sabourin, R. 1995. "Offline Signature Verification Using Fuzzy ARTMAP Neural Network" pp. 2179-2184. in **Proceedings IEEE International Conference on Neural Network**. Vol. 4 Nov 27 – Dec 1.
- [2] Vel, O., Wangsuya, S. and Coomans, D. 1995. "On Thai Character Recognition" pp. 2908. in **Proceedings IEEE International Conference on Neural Network**. Vol. 4 Nov 27 – Dec 1.
- [3] Pornchaikajornsak, A. and Thammano, A. 2003. "Handwritten Thai Character Recognition Using Fuzzy Membership Function And Fuzzy ARTMAP" pp. 40-44. in **Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computation Intelligence in Robotics and Automation**. Kobe, Japan. July 16-20.
- [4] Phokharatkul, P. and Kimpan, C. 1998. "Recogniton of Handprinted Thai Characters Using Cavity Features of Character Based on Neural Network" pp. 149-152 in **The 1998 IEEE Asia-pacific Conference**. Nov 24-27.
- [5] Flores, E. L. 1998. "A recognition Algorithm of Handwritten Digits of the ZIP code" pp.671-675.
- [6] Xuejing, Wu, Pengfei Shi. "Unconstrained Handwritten Numeral Recognition Using Hausdorff Distance and Muti-Layer Neural Network Classifier." pp.249-252. in **Proceedings of the Fifth International Conference . ICDAR'99**. Sept 20-22.
- [7] เกษม คุณไฉ. 2545. "อักษรธรรมอีสาน: ภูมิปัญญาที่รอการถ่ายทอด." **วารสารวัฒนธรรมไทย**. 39(4) : 60-64.
- [8] เพ็ญพักตร์ ลิ้มสัมพันธ์. 2525. "อักษรธรรมอีสาน" วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [9] ธวัช ปุณโณทก. 2540. **อักษรโบราณอีสาน อักษรวิธีอักษรธรรมตัวธรรมและไทยน้อย: ที่ระลึกเกษียณอายุราชการศาสตราจารย์ธวัช ปุณโณทก** กรุงเทพฯ: สยามเพรส แมเนจเม้นท์ .
- [10] หอสมุดแห่งชาติ, กอง กรมศิลปากร. 2543. **หนังสือแบบอักษรโบราณ เอกสารวิชาการหอสมุดแห่งชาติ ลำดับที่ 6/2543** กรุงเทพฯ : รุ่งแสงการพิมพ์(1997).
- [11] Holland J.H. 1992. **Genetic Algorithms**. n.p. : Scientific American.
- [12] David E.Goldberg. 1998. **Genetic Algorithms in search, Optimization and Machine Learning** . USA: Addison Wesley, Inc.

- [13] Zbigniew, Michalewicz. 1996. **Genetic Algorithms + Data structures = Evolution Programs**. USA: Springer.
- [14] Thammano, A. and Rungruang, C. 2004. "Hausdorff ARTMAP For Human Face Recognition" in **Proceeding of the 3<sup>rd</sup> WSEAS International Conference on Artificial Intelligence Knowledge Engineering, Database**.
- [15] Teknomo, K. 2006 **Similarity Measurement** . [online]. Available : <http://people.Revol.edu.com/kardi/tutorial/Similarity/EuclideanDistance.html>.
- [16] Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. 2003. **Digital Image Processing**. Englewood Cliffs NJ :Prentice-Hall.
- [17] Louisa, L., Seong-Whan, L. and Ching Y, S. 1992. "Thinning Methodologies – A Comprehensive Survey." pp.869-885. **IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence**. Vol. 9.
- [18] Auwatanamongkol S. 2000. "Pattern Recognition using Genetic Algorithm." pp. 822-826. in **Proceeding of the 2000 congress** . Vol. 1. Jul 16-19.
- [19] Dubuisson, M-P. and Jain, A K. 1994 "A modified Hausdorff Distance for Object Matching." pp 566-568. in **Proceeding of 12 th IAPR international Conference** . Vol. 1 Oct 9-13.
- [20] Chinnasarn, K., Rangsanseri, Y. and Thitimajshima, P. 1998. "Removing Salt-and-Pepper Noise in Text/Graphics Images " pp.459-462. in **The 1998 IEEE Asia-Pacific Conference**. Nov 24-27.
- [21] Thammano, A. and Ruensuk, S. 2005. "Human Face Reconition Using Modified Hausdorff ARTMAP." pp. 248-256 in **Proceeding of International Conference on Intelligent Computing(ICIC 2005)**. Chaina, Aug 23-26.

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวก ก**  
**แบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสาน**

## แบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสาน

แบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสาน นี้เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

### 1. ข้อมูลส่วนตัว

ชื่อ - สกุล \_\_\_\_\_

ที่อยู่ \_\_\_\_\_

โทรศัพท์ \_\_\_\_\_

สถานที่ทำงาน/สถานศึกษา \_\_\_\_\_

### 2. ความรู้เกี่ยวกับอักษรธรรมอีสาน

- สามารถอ่านได้
- สามารถอ่านและเขียนได้
- สามารถเผยแพร่ความรู้แก่ผู้อื่นได้

ระยะเวลาในการศึกษาการอ่านอักษรธรรมอีสาน

- 1-6 เดือน
- มากกว่า 6 เดือนน้อยกว่า 1 ปี
- มากกว่า 1ปี

### 3. แบบทดสอบตัวอักษรธรรมอีสาน

กรุณาระบุพยัญชนะไทยที่ตรงกับตัวอักษรธรรมอีสานที่กำหนดให้ในช่องว่างข้างล่างตัวอักษรธรรมแต่ละตัว ในแบบทดสอบนี้มีตัวอักษรธรรมทั้งหมด 902 ตัวอักษร

ขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ตอบแบบทดสอบการอ่านอักษรธรรมอีสาน

นางสาวสุพิน ไตรแก้วเจริญ

นักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง













## ภาคผนวก ข

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. A. Thammano and S. Trikeawcharoen, “Old Southeast Asian Recognition Using Evolutionary Algorithm,” the proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Natural computation (ICNC’07), Haikou,China, 2007.

## Old Southeast Asian Script Recognition Using Evolutionary Algorithm

Arit Thammano\* and Supin Trikeawcharoen\*\*  
 Computational Intelligence Laboratory  
 Faculty of Information Technology  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
 Bangkok, 10520 Thailand  
 E-mail: arit@it.kmitl.ac.th\* and supin.t@msu.ac.th\*\*

### Abstract

*This paper proposes an approach to off-line handwritten Isan Dhamma character recognition by using the concept of evolutionary algorithm. The objective of this paper is to recognize Isan Dhamma characters straight from the character images without any feature extraction process. The performance of the proposed approach is compared to the results of the test done by 23 educated Buddhist monks. The experimental results demonstrate a very promising performance of the proposed approach.*

### 1. Introduction

Isan Dhamma characters are old characters used in northeastern Thailand and some regions of its neighboring countries during the 22<sup>nd</sup> - 24<sup>th</sup> Buddhist century (approximately during the mid-16<sup>th</sup> - mid-19<sup>th</sup> century AD). Isan Dhamma manuscripts were

generally inscribed on the surface of a stone or on a palm leaf (Figure 1). In Thailand, the oldest Isan Dhamma manuscript was found at Srikhunmuang temple in Nongkhai province [1]. It was written in the Buddhist year 2103 (1560 AD). Isan Dhamma manuscripts were typically written about Buddha's teaching, Jataka (stories of the former incarnations of the Lord Buddha), stories related to Buddhism, folklore, and other general knowledge. Unfortunately, at present most people do not even know of the existence of these characters. Many manuscripts have been left unattended without an attempt to preserve them for the next generation. Termites, insects, and general decay have left these old manuscripts in poor condition (Figure 2). Therefore, some valuable historical information inscribed in these documents has been regrettably lost. In order to preserve the information, computerized systems must be put to use in order to translate the inscribed script into the current Thai script.



Figure 1. Palm leaf manuscripts

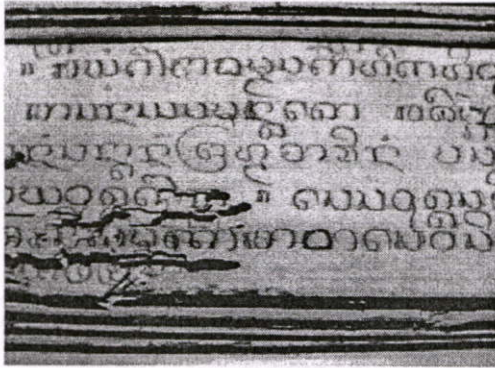


Figure 2. Example of Isan Dhamma script

This study focuses on the off-line Isan Dhamma character recognition. There have been substantial researches undertaken to solve the off-line handwritten character recognition problem, mostly for English script. The techniques which are widely used for the handwritten character recognition are statistical approaches [2, 3, 4, 5], structural matching [6], neural networks [7, 8, 9, 10, 11], and the hybrid approaches [12, 13]. These researches require an effective feature extraction process in order to get good results. In this paper, however, the new evolutionary algorithm is proposed to recognize Isan Dhamma characters straight from the character images without any feature extraction process. The performance of the proposed algorithm is compared to the results of the test done by 23 educated Buddhist monks. The reason that Buddhist monks are used for comparison is that at present humans are the only available translator of this language, and monks are the main users of Isan Dhamma script which was mostly used to record Buddha's teaching. In addition, the researchers intend to develop this system to help replace human translators of which there are only a small number at present.

Following this introduction, section 2 briefly describes the general process of the proposed Isan Dhamma character recognition. Section 3 explains the proposed evolutionary algorithm. In section 4, the experimental results are presented and discussed. Finally, section 5 is the conclusion.

### 2. Methodology

The process of this Isan Dhamma character recognition has been divided into four steps:

- (1) Scan a palm leaf manuscript and convert it into a binary image.
- (2) Segment the entire manuscript image into individual character images. The segmented character images have various sizes as shown in Figure 3. Therefore, they must be normalized before being used. In this research, the original images of the characters are normalized to the size of 15x15 pixels.
- (3) Use the thinning algorithm to reduce the thickness of the character image to its skeleton, which is then sent to the recognition engine.
- (4) Recognize the characters using the proposed evolutionary algorithm.

### 3. The Proposed Evolutionary Algorithm

A description of the proposed evolutionary algorithm is given below.

- A. Generate an initial population of S chromosomes. For each chromosome s, randomly select one input pattern from the training data set of each character, and assign them to be genes. Initially, the length of each chromosome is 35 genes, which is equal to the number of Isan Dhamma characters. Each gene in the chromosome represents a reference pattern of each character.
- B. Evaluate the fitness of each chromosome s in the population. The fitness function used in this research is as follows:

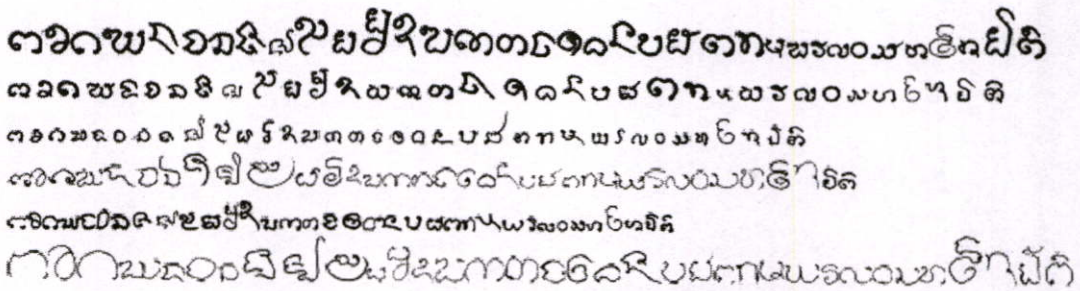


Figure 3. Examples of the Isan Dhamma characters used in this research

$$f(s) = \sum_{i=1}^p A_i \quad (1)$$

$$A_i = \begin{cases} 1, & \text{if } J \in Y_i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$J = \arg \min_j (T_j(X_i)) \quad (3)$$

$$T_j(X_i) = H(X_i, w_j) \quad (4)$$

$$H(B, C) = \max\{h(B, C), h(C, B)\} \quad (5)$$

$$h(B, C) = \frac{\sum_{b \in B} h(b, C)}{|B|} \quad (6)$$

$$h(b, C) = \min_{c \in C} (\|b - c\|) \quad (7)$$

where  $P$  is the total number of patterns in the training data set.

$J$  is the index of a gene whose reference pattern is the closest match to the incoming input pattern  $X_i$ .

$Y_i$  is the target output of the  $i^{\text{th}}$  input pattern.

$H(X_i, w_j)$  is the Hausdorff distance between the input pattern  $X_i$  and the reference pattern of the  $j^{\text{th}}$  gene.

$h(B, C)$  is the directed Hausdorff distance from set  $B$  to set  $C$ .

$h(b, C)$  is the pointwise Hausdorff distance for point  $b$ .

$|B|$  is the number of points in set  $B$ .

$\|b - c\|$  is the Euclidean distance between point  $b$  and point  $c$ .

- C. Perform the crossover operation by repeating the following steps  $S/2$  times:

C.1. Select two parent chromosomes from a current population using the roulette wheel technique.

C.2. With a crossover probability, cross over the parent chromosomes to form two new offspring. The crossover operation includes selecting crossover points and swapping the selected parts between the parent chromosomes. Before swapping the selected parts, the selected parts of both chromosomes are checked whether they belong to the same class of character. If so, the swapping process continues. If not, the crossover points are reselected until the two selected parts belong to the same class.

- D. Perform the mutation on the new offspring as follows:

D.1. Select a gene to be mutated, which in this research is the gene that causes maximum error. The pseudo-code of the algorithm is as follows:

```
begin algorithm
errorj = 0
FOR i = 1 TO P
    Find the jth gene that best matches the
    input xi.
    IF the jth gene does not belong to the
    correct class THEN increase errorj by 1.
end FOR
Select the j* gene that has maximum error
(j* = arg maxj (errorj)).
end algorithm
```

D.2. Divide the selected gene into 9 segments as shown in Figure 4(a). Only one out of nine segments will be mutated.

D.3. Randomly select a segment to be mutated. Then the selected segment is deleted and replaced with the same segment of the randomly selected input pattern from the training data set of the same character.

E. Randomly pick a real number in the range of 0 to 1. If the picked number is less than or equal to 0.25, delete a gene that causes maximum error from the new offspring. However, if the picked number is greater than 0.25, add a new gene to the end of the new offspring. The added gene is chosen at random from the training data set.

F. Combine the new offspring with the current population. Then select  $S$  chromosomes from the combined list according to their fitness value to form the next generation.

G. If a predetermined number of iterations is reached or the end condition is satisfied, stop the loop and return the best chromosome in the current population. If not, go to step C.

Selected Segment

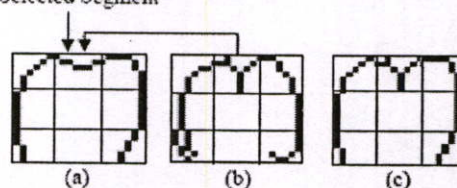


Figure 4. Example of the mutation operation: (a) the gene before mutation; (b) randomly selected input pattern; (c) the gene after mutation.

#### 4. Experimental Results

In this study, the performance of the proposed algorithm is compared to the results of the test done by 2 groups of educated Buddhist monks, altogether 23

participants, who were asked to identify the Isan Dhamma characters. The first group consists of local monks in Mahasarakram province, northeastern Thailand. The second group consists of monks who study at Mahachulalongkornrajavidyalaya University, which is a major institute of Buddhist higher education for Buddhist monks, novices, and laypeople with emphasis on Buddhist studies as its main subjects.

The images of the Isan Dhamma characters used in this study were obtained from old palm leaf manuscripts. One hundred and fourteen old palm leaf manuscripts were scanned and preprocessed into individual character images. The character images of randomly chosen 89 old palm leaf manuscripts were used to train the model, while those of the remaining 25 manuscripts were used as the testing data.

Results of the experiments are shown in Table 1. The test results of 23 monks vary from 9.39% to 73.58%, while the average is 41.10%. For the proposed algorithm, the recognition rate is 64.85%. It was obtained when the algorithm was trained for 500 iterations and the size of initial population was set at 10 chromosomes. By looking deeply into the experimental results, it can be seen that only 4 out of 23 monks outperform the proposed algorithm, while 13 monks get the test results much lower than 50%.

## 5. Conclusion

The experiments show that the proposed approach can be used successfully to recognize the Isan Dhamma characters straight from the character images without any feature extraction process. With the use of Hausdorff distance as the similarity measure and the new mutation operator, the proposed evolutionary algorithm can achieve much higher performance on the experimental data in comparison to the average performance of human being.

## 6. References

- [1] K. Khonwai, "Isan Dhamma Characters," Thai Culture Magazine, Vol. 39, Issue 4, April - May 2002, pp. 60-64.
- [2] B. Gosselin and A. Paggiaro, "A Study of Hidden Markov Models for Off-line Recognition of Handwritten Characters," *Proceedings of the Program for Research on Integrated Systems and Circuits (PRORISC 99)*, November 1999, pp. 177-184.
- [3] J. Doménech et al., "An Off-line HTK-based OCR System for Isolated Handwritten Lowercase Letters," *Proceedings of the IX Spanish Symposium on Pattern Recognition and Image Analysis*, Vol. 2, May 2001, pp. 49-54.
- [4] R. Nopsuwanchai and D. Povey, "Discriminative Training for HMM-based Offline Handwritten Character

Table 1. Experimental results

	Recognition Rate (%)
Monk # 1	52.84
Monk # 2	69.43
Monk # 3	58.73
Monk # 4	38.43
Monk # 5	73.14
Monk # 6	9.39
Monk # 7	70.09
Monk # 8	59.83
Monk # 9	26.86
Monk # 10	15.50
Monk # 11	54.15
Monk # 12	25.11
Monk # 13	14.85
Monk # 14	14.19
Monk # 15	39.74
Monk # 16	26.42
Monk # 17	73.58
Monk # 18	25.11
Monk # 19	25.76
Monk # 20	43.67
Monk # 21	14.85
Monk # 22	63.76
Monk # 23	49.78
Average	41.10
Proposed Algorithm	64.85

Recognition," *Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition*, Vol. 1, August 2003, pp. 114-118.

[5] T. Theerannukong and C. Wongtapan, "Off-line Isolated Handwritten Thai OCR Using Island-based Projection with N-gram Model and Hidden Markov Models," *Information Processing and Management*, Vol. 41, Issue 1, January 2005, pp. 139-160.

[6] A. Malaviya and L. Peters, "Handwriting Recognition with Fuzzy Linguistic Rules," *Proceedings of the Third European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT 95)*, 1995, pp. 1430-1434.

[7] Y. H. Tay and M. Khalid, "Comparison of Fuzzy ARTMAP and MLP Neural Networks for Hand-written Character Recognition," *Proceedings of International Federation of Automatic Control (IFAC) Symposium on Artificial Intelligence in Real-Time Control*, September 1997, pp. 363-371.

[8] Y. H. Tay et al., "Hand-written Postcode Recognition by Fuzzy ARTMAP Neural Network," *COSTAM National Science Congress*, 1997.

[9] A. Missicourev, "Hand-printed Character Recognition by Neural Networks," *Proceedings of the 5th German-Russian Workshop on Pattern Recognition and Image Understanding*, September 1998.

[10] C. Koutsougeras and A. Jameel, "Experiments with Various Neural Architectures for Handwritten Character

- Recognition." *Proceedings of the 37<sup>th</sup> IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 1995, pp. 573-576.
- [11] P. Phokharatkul and C. Kimpan, "Recognition of Handprinted Thai Characters Using the Cavity Features of Character Based on Neural Network." *Proceedings of the 1998 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems*, 1998, pp. 149-152.
- [12] P. Phokharatkul and C. Kimpan, "Handwritten Thai Character Recognition Using Fourier Descriptors and Genetic Neural Networks," *Proceedings of the Fourth Symposium on Natural Language Processing*, May 2000, pp. 108-123.
- [13] A. Pornchaikajornsak and A. Thammano, "Handwritten Thai Character Recognition Using Fuzzy Membership Function and Fuzzy ARTMAP," *Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, July 2003, pp. 40-44.

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุพิน ไตรแก้วเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2510 สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีการศึกษา 2537 จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ปัจจุบันเป็นนักวิชาการคอมพิวเตอร์ ประจำสถาบันวิจัยศิลปะและวัฒนธรรมอีสาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม