



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การรู้จำอักขระอักษรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ
THE E-SARN DHARMA CHARACTER RECOGNITION BY USING
HIDDEN MARKOV MODELS

โดย

นายนิรันดร์ เลิศวีรพล

นายสุรศักดิ์ ตั้งสกุล

สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

พ.ศ. 2549

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

MCU RS 610649025



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การรู้จำอักขระอักษรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ
THE E-SARN DHARMA CHARACTER RECOGNITION BY USING
HIDDEN MARKOV MODELS

โดย

นายนิรันดร์ เลิศวีรพล

นายสุรศักดิ์ ตั้งสกุล

สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

พ.ศ. 2549

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

MCU RS 610649025

(ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย)



Research Report

THE E-SARN DHARMA CHARACTER RECOGNITION BY USING HIDDEN MARKOV MODELS

By

Mr. Nirandorn Lerdwiraphol

Mr. Surasak Tangsakul

Buddhist Research Institute

Mahachulalongkornrajavidyalaya University

B.E. 2549

Research Project Funded by Mahachulalongkornrajavidyalaya University

MCU RS 610649025

(Copyright Mahachulalongkornrajavidyalaya University)

ชื่อรายงานการวิจัย	การรู้จำอักขระอักษรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ
ผู้วิจัย	นายนิรันดร์ เลิศวีรพล, นายสุรศักดิ์ ตั้งสกุล
หน่วยงาน	มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น
ปีงบประมาณ	2549
ทุนอุดหนุนการวิจัย	มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

บทคัดย่อ

อักขระอักษรธรรมอีสาน เป็นอักขระที่ไม่ใช่มาตรฐานการพิมพ์ทั่วไปบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงยากที่จะนำมาเข้าสู่กระบวนการรู้จำ เนื่องจากรูปแบบการเขียนไม่แน่นอน ซับซ้อน และยืดหยุ่นตามลักษณะของภูมิภาคที่ผู้เขียนนั้นอยู่ ในการรู้จำจึงต้องอาศัยการสกัดลักษณะเฉพาะจากลักษณะเด่นหลาย ๆ อย่าง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถอธิบายเอกลักษณ์ที่สำคัญของอักขระแต่ละตัวได้อย่างครบถ้วนมากที่สุด งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการรู้จำอักขระตัวอักษรธรรมอีสานจำนวน 91 ตัวๆ ละ 6 แบบ โดยใช้วิธีการปรับการกระจายของพิกเซลของตัวอักขระแบบไม่เชิงเส้นและคุณลักษณะเด่นของอักขระหลายวิธีร่วมกันโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิดต่าง ๆ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยมีการกำหนดจำนวนสถานะของตัวแบบในลักษณะที่แน่นอนและไม่แน่นอน ผลที่ได้จากการวิจัยพบว่าจำนวนสถานะที่เหมาะสมและน้อยที่สุดที่ให้ผลอัตราการรู้จำเฉลี่ยสูงสุดสำหรับตัวแบบชนิด Left-Right มีจำนวนสถานะอยู่ระหว่าง 20 - 40 สถานะ โดยมีอัตราการรู้จำเท่ากับ 98.9%

Research Title: The E-Sarn Dharma Character Recognition by Using
Hidden Markov Models

Researcher: Nirandorn Lerdwiraphol and Surasak Tangsakul

Department: Buddhist Research Institute,
Mahachulalongkornrajavidyalaya University

Fiscal Year: 2549 / 2006

Research Scholarship Sponsor: Mahachulalongkornrajavidyalaya University

ABSTRACT

The E-Sarn Dharma Characters are not the standards printing of computer. So, it is very difficult to build up an acceptable algorithm for recognizing them. Because of this, it is of several formalities and flexibilities for writing in other regions. And in the region in which the writer is living. So, in recognition and rememorize it must depend on the prevention of special characteristic from the distinguished characteristics. Thus, in order to be able to explain the importantly special characteristics of each alphabet mostly completely. In this research, we are specific to study and remember the 91 Dhamma Alphabets in each of which is of six forms E-Sarn (Northeastern Provinces).

This study is of the usage of the method to adjust the size of the pixel of the alphabets in the form of non-linear in corporation with a number of the distinctive pattern of E-Sarn Damma Characters to determine the features for the recognition of algorism which utilizes the Hidden Markove Models (HMM), From the comparative study of the effectiveness of the E-Sarn Dhamma Alphabets with the numbers of the statistics of the patterns of the E-Sarn Dhamma Alphabets in the a definite and non-definite characteristics, it is found that the statistical numbers of E-Sarn Dhamma Alphabets are divided into two parts; the proper part and the least one which give the result at the rate of knowing and recognizing at the overate point of 98.9 percent which can be divided at the highest level for the patterns of E-Sarn Dhamma Alphabets of the left-right types, and of the numbers of the E-Sarn Dhamma Alphabets of between 20-40.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สวช.) ประจำปีงบประมาณ 2549 ภายใต้แผนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย ซึ่งได้ดำเนินการวิจัยโดยหัวหน้าฝ่ายห้องสมุดและเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาการวิทยาเขตขอนแก่น

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้บริหารและเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยพุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยเองก็ได้ทุ่มเททั้งกำลังกายและกำลังใจเพื่อให้ผลงานวิจัยนี้ออกมาดีและมีคุณภาพ สมดังปณิธานของมหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัยขอโน้มก้มกราบพระรัตนตรัยด้วยจิตศรัทธาถึงต่อพระพุทธศาสนา ที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติและศาสนาในการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมในลำดับสืบไป

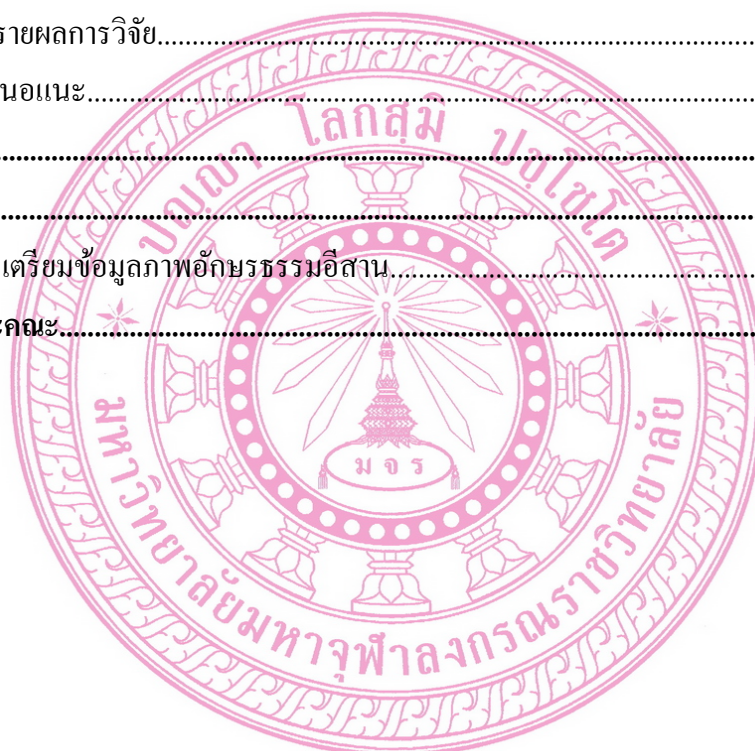
นายนิรันดร์ เลิศวิมล และคณะ

20 มีนาคม 2552

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
1.5 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....	9
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ความเป็นมาของอักษรธรรมอีสาน.....	10
2.2 รูปแบบของตัวอักษรธรรมอีสาน.....	11
2.3 การรู้จำรูปแบบ.....	16
2.4 ชนิดและคุณสมบัติของการรู้จำ.....	16
2.5 กระบวนการรู้จำทางคอมพิวเตอร์.....	18
2.6 ขั้นตอนวิธีลดความหนาของตัวอักษร.....	19
2.7 ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ.....	20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 ข้อมูลแบบตัวอักษรธรรมอีสานที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.2 การแปลงข้อมูล.....	37
3.3 การประมวลผลเบื้องต้น.....	39
3.4 การสกัดลักษณะเฉพาะของตัวอักษรธรรมอีสาน.....	49
3.5 การสร้างตัวแบบ.....	56
3.6 การทดลองและผลการทดลอง.....	61

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	61
4.1 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	61
4.2 ผลการทดลอง.....	70
4.3 ปัญหาต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการรู้จำ.....	105
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	108
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	108
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	112
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	113
บรรณานุกรม.....	115
ภาคผนวก.....	117
ผนวก ก การเตรียมข้อมูลภาพอักษรธรรมอีสาน.....	118
ประวัติผู้วิจัยและคณะ.....	128



สารบัญตาราง

ตารางที่

1.1 แสดงตัวอักษรอักษรธรรมอีสานที่ใช้ในการวิจัย.....	4
3.1 ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของตัวแบบชนิด Left-Right.....	57
4.1 ผลการรู้จำของตัวอักษรธรรมอีสาน.....	65
5.1 แสดงตัวอย่างค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตของตัวอักษร สระอำ.....	74
5.2 แสดงตัวอย่างค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตของตัวอักษร ก.....	74



สารบัญภาพ

ภาพที่

1.1 แสดงอักขระอักษรธรรมอีสานตัวอักษร ช.....	2
1.2 ตัวอย่างลายมือเขียนอักษรธรรมอีสานของพระพุทฺธิสารมุนี.....	3
1.3 ตัวอย่างลายมือเขียนอักษรธรรมอีสานของพระพุทฺธิสารมุนี.....	3
2.1 แสดงการกำเนิดตัวอักษรตามแนวของ ก่องแก้ว วีระประจักษ์.....	12
2.2 แสดงระดับของอักษรธรรมอีสาน.....	17
2.3 กระบวนการรู้จำ.....	20
2.4 Neighborhood ของ $N(p)$	22
2.5 แสดงขั้นตอนการสอนตัวแบบ.....	24
2.6 Block Diagram การรู้จำอักขระโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ.....	26
2.7 ก จำนวนสถานะที่เหมาะสมของตัวแบบชนิด Left-Right ของอักขระกลุ่มที่ 1.....	27
2.7 ข จำนวนสถานะที่เหมาะสมของตัวแบบชนิด Left-Right ของอักขระกลุ่มที่ 2.....	28
3.1 แสดงตัวอย่างเว็บไซต์โรงเรียนสว่างวีรวงศ์ในส่วนของการเรียนอักษรธรรมอีสาน.....	29
3.2 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ Tham2004.....	30
3.3 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ Thamawatra.....	31
3.4 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ UbWManut.....	32
3.5 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ UbWThawat.....	33
3.6 แสดงตัวอย่างเว็บไซต์เรียนอักษรโบราณอีสานของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.....	34
3.7 แสดงตัวอย่างหน้าเว็บโครงการอนุรักษ์โบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	35
3.8 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ Agsorntham. Tang.....	36
3.9 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ AksornDharm2.....	37
3.10 แสดงขั้นตอนการแปลงข้อมูล.....	38
3.11 แสดงตัวอย่างการพิมพ์อักขระด้วยโปรแกรม Paint.....	38
3.12 แสดงภาพอักขระอักษรธรรมอีสาน (ก) ก่อนแปลง และ (ข) หลังแปลง.....	39
3.13 ขั้นตอนกระบวนการเตรียมข้อมูล.....	40
3.14 แสดงกฎการตรวจหาขอบภาพ.....	41
3.15 แสดงกฎการกำจัดส่วนเกิน.....	41
3.16 แสดงทิศทางของการพิจารณากำหนดกฎ.....	42
3.17 ผลลัพธ์จากกฎการตรวจหาขอบภาพ.....	43

3.18 แสดงส่วนเกินที่ต้องถูกกำจัด.....	44
3.19 แสดงภาพต้นฉบับ(ก) และผลลัพธ์ที่ได้(ข) เมื่อผ่านกระบวนการลดความหนา.....	44
3.20 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม Tham2004.....	45
3.21 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม Thamawatra.....	45
3.22 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม UbWManut.....	46
3.23 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม UbWThawat.....	46
3.24 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม Agsorntham.Tang.....	47
3.25 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม AksornDharm2.....	48
3.26 ตัวอย่างการปรับการกระจายความหนาแน่นของจุดของอักขระ “ ๗ ”.....	49
3.27 การแบ่งโซนของภาพ.....	50
3.28 3×3 neighborhoods.....	53
3.29 ลักษณะการวัดความสูงและความยาวของอักขระ.....	55
3.30 ลักษณะของตัวแบบชนิด Left-Right.....	57
3.31 ลักษณะของสัญลักษณ์ในแต่ละสถานะของตัวแบบ.....	58
3.32 ขั้นตอนการสอนและประมาณค่าตัวแปรใหม่ให้กับตัวแบบ.....	60
3.33 ขั้นตอนการสร้างตัวแบบของการทดลองที่ 2.....	62
4.1 ผลลัพธ์ของการสอนตัวแบบของตัวอักขระ “ ๗ ”.....	63
4.2 ค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตต่อตัวแบบของตัวอักขระ “ ๗ ”.....	64
4.3 จำนวนสถานะที่เหมาะสมของตัวแบบตัวอักษรธรรมอีสาน.....	65
4.4 แสดงตัวอักขระสระอาที่แตกต่างกัน โดยภาพ (ก) มีหัว และภาพ (ข) ไม่มีหัว.....	71
4.5 แสดงตัวอักขระสระอาที่ทำ Thinning.....	71
4.6 แสดงตัวอักขระสระอาที่ปรับการกระจายของจุด.....	71
4.7 แสดงค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตตัวอักขระ “ ๖ ”.....	72
5.1 แสดงขั้นตอนการสกัดลักษณะเฉพาะของอักษรธรรมอีสาน.....	73

บทที่ 1

บทนำ

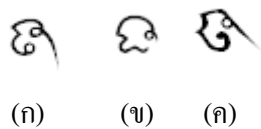
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น ได้เปิดดำเนินการเรียนการสอนมา ตั้งแต่ปีการศึกษา 2529 เป็นต้นมา โดยในช่วงแผนพัฒนาวิทยาเขตขอนแก่นระยะที่ 9 (พ.ศ. 2545-2549) วิทยาเขตขอนแก่นได้กำหนดวิสัยทัศน์ไว้ว่า “ในปีพุทธศักราช 2549 วิทยาเขตขอนแก่นจะเป็นศูนย์กลาง การศึกษาสำหรับพระภิกษุ สามเณร และคฤหัสถ์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและประเทศเพื่อนบ้านที่มี ทั้งคุณภาพของบุคลากรและประสิทธิภาพในการให้บริการวิชาการด้านพระพุทธศาสนา” และวิทยาเขต ขอนแก่นก็ได้ดำเนินการพันธกิจของมหาวิทยาลัย ดังนี้

- 1) ผลิตบัณฑิต
- 2) วิจัยและพัฒนา
- 3) ส่งเสริมพระพุทธศาสนาและบริการวิชาการแก่สังคม
- 4) ทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม

จากรายงานการวิจัย เรื่อง 20 ปี : ภาพลักษณ์วิทยาเขตขอนแก่นในทัศนะของคณะสงฆ์ภาค 9 [1] สรุปว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนมากให้คะแนนที่สะท้อนต่อภาพลักษณ์วิทยาเขตขอนแก่นเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมในการ ส่งเสริมวัฒนธรรมในท้องถิ่น คิดเป็นร้อยละ 88.1 และวิทยาเขตขอนแก่นสามารถเป็นศูนย์กลางของการ เผยแผ่พระพุทธศาสนาได้ คิดเป็นร้อยละ 85.1 ซึ่งทำให้วิทยาเขตขอนแก่นมีภาพลักษณ์ที่โดดเด่นในด้าน ของการส่งเสริมวัฒนธรรมท้องถิ่นและศูนย์กลางของการเผยแผ่พระพุทธศาสนา

ในการวิจัย เรื่อง การรู้จำอักขรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ (E-Sarn Dharma Character Recognition using Hidden Markov models) เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบตัวอักษร(Font) ของอักขระอักขรธรรมอีสานที่มีหน่วยงานต่างๆ ได้คิดค้นและพัฒนาสำหรับการพิมพ์บนเครื่อง คอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดผลดีในด้านการอนุรักษ์มรดกและรักษาภูมิปัญญาของบรรพบุรุษให้คงอยู่คู่ แผ่นดินต่อไป สนองต่อพันธกิจของมหาวิทยาลัยและตรงตามภาพลักษณ์ที่สังคมได้ให้มุมมอง นอกจากนี้ แล้วยังทำให้เทคโนโลยีของการพิมพ์หนังสือที่เป็นตัวอักขรธรรมอีสานมีความสะดวกมากยิ่งขึ้นกว่าเดิม ที่เดิมที่จะเป็นลักษณะของการเขียนด้วยลายมือ และได้มีการพิมพ์เป็นหนังสือออกเผยแพร่มากมายแล้ว แต่ ปัญหาที่มีอยู่ว่า แต่ละหน่วยงานที่พัฒนาแบบตัวอักขรธรรมนั้น อาจจะมีรูปแบบของอักขระที่แตกต่างกัน ไป ตามท้องถิ่น หรือตามที่ได้รู้เรียนมา ตัวอย่างเช่น ตัว ข ซึ่งมีแบบอักขระที่ไม่เหมือนกัน ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แสดงอักขระอักษรธรรมอีสานตัวอักษร ข โดย

ภาพ (ก) จาก มจร.ขอนแก่น ภาพ (ข) จาก ม.ราชภัฏอุบลฯ และภาพ (ค) จาก ม.มหาสารคาม

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีการศึกษาคุณลักษณะสำคัญของอักขระ(Character)อักษรธรรมอีสานโดยใช้กระบวนการรู้จำในระบบคอมพิวเตอร์ โดยการเรียนรู้อักขระธรรมอีสานนั้น เป็นการนำเอาลักษณะของตัวอักขระอักษรธรรมอีสานแต่ละตัวมาใส่ในระบบการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าตัวอักษรที่ input เข้าไปนี้ เป็นตัวอะไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อไปในการนำไปจัดทำโปรแกรมแปลงไฟล์ภาพเอกสารไปเป็นไฟล์ข้อความ หรือที่รู้จักกันในนามของ OCR (Optical Character Recognition) ระบบการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์เป็นที่รู้จักกันในนามของ การรู้จำ (Recognition) ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ในวิชา ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) โดยทั่วไประบบการรู้จำสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท เช่น การรู้จำลายนิ้วมือ การรู้จำภาพใบหน้า การรู้จำเสียง เป็นต้น ซึ่งก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการรู้จำนั้นจะต้องผ่านการประมวลผลหลายขั้นตอนเพื่อลดความซับซ้อนของระบบและเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงาน เช่น กระบวนการ Noise Remove, Image Enhancement, Edge Detection และ Thinning เป็นต้น [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในระบบการรู้จำอักขระอักษรธรรมอีสาน โดยสามารถทำให้ระบบจดจำภาพอักขระและสามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าภาพอักขระนั้นเป็นอักขระอักษรธรรมอีสานตัวใด ซึ่งจะทำให้สามารถจัดเก็บอักขระนั้นลงในระบบคอมพิวเตอร์ได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถรู้จำตัวอักขระในภาษาต่างๆ เช่น ภาษาอังกฤษ, ภาษาจีน และอื่นๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลรูปภาพตัวอักขระและแปลงข้อมูลภาพไปเป็นข้อความได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังไม่มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถรู้จำตัวอักขระอักษรธรรมอีสานได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการในการรู้จำ โดยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการรู้จำโดยอาศัยการวัดและปรับสัดส่วนของค่าการกระจายความหนาแน่นของจุดเพื่อใช้เป็นลักษณะเฉพาะของตัวอักขระที่ผ่านการปรับมาตรฐานของอักขระแบบไม่เชิงเส้น จากนั้นจึงใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟเป็นกลไกหลักในกระบวนการรู้จำ

พยัญชนะวรรค ก.	ก	ข	ค	ฌ	ง
	ฅ	ฉ	ง	จ	ฉ
พยัญชนะวรรค จ.	จ	ฉ	ช,ช	ฌ	ญ
	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	บ
พยัญชนะวรรค ฎ.	ฎ	ฏ	ฑ	ฒ	ณ
	ด	ด	ด	ด	ด
พยัญชนะวรรค ต.	ต	ด	ถ	ท	ธ
	ด	ด	ด	ด	ด
พยัญชนะวรรค ป.	ป,ป	ผ	ฝ	พ,พ	ภ
	บ	ผ	ผ	ผ	ผ

ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างลายมือเขียนอักษรธรรมอีสานของพระพุทฺธิสารมุนี

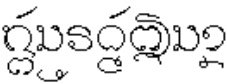
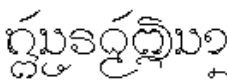
เฮว ฆิตขุฬา เหวหา:หะลาบ:ตัสเฮว
 มาษัธ: ๑๐๘๐ มุค:๑๐๐ อิมุค:๑๐๐
 ๑๐๐๐: ๑๐๐๐ อิมุค:๑๐๐๐
 ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐
 ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐
 ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐
 ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐
 ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐ ๑๐๐๐

ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างลายมือเขียนอักษรธรรมอีสานของพระพุทฺธิสารมุนี

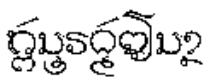
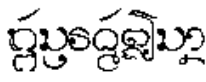
ในงานวิจัยนี้ ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษารูปแบบของตัวอักษรธรรมอีสานทั้งที่เป็นลายมือเขียนของเจ้า
 คุณ พระพุทฺธิสารมุนี (สุนันท์ สุภาจาโร) ดังในภาพที่ 1.2 – 1.3 และแบบที่เป็นตัวพิมพ์จากหน่วยงาน

สถานศึกษาต่างๆ 5 แบบ รวมทั้งที่สร้างขึ้นเอง 1 แบบ รวมทั้งสิ้นมีตัวพิมพ์อักษรธรรมอีสาน 6 แบบ แยกเป็นดังนี้

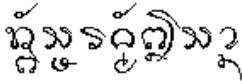
- 1) โรงเรียนสว่างวีระวงศ์ จ.อุบลราชธานี 2 แบบ พัฒนาโดย อาจารย์วัฒน์ ศรีสว่าง

ตัวอย่าง  

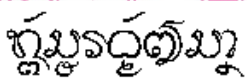
- 2) มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี 2 แบบ พัฒนาโดย ผศ.สันติย์ โกคาพันธ์

ตัวอย่าง  

- 3) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 1 แบบ พัฒนาโดย นายสัญญา วุฒิสาร

ตัวอย่าง 

- 4) มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น 1 แบบ พัฒนาโดย นายนิรันดร์ เลิศวีรพล (ผู้วิจัย)

ตัวอย่าง 

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างแบบตัวอักษรธรรมอีสานบนคอมพิวเตอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน โดยใช้ตัวแบบฮิตเดนมาร์คอฟ
- 1.2.3 เพื่อหาวิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของตัวอักษรธรรมอีสานที่มีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาลักษณะของตัวอักษรธรรมอีสานไว้ 91

ตัว จากแบบตัวอักษร 6 แบบ ดังรายละเอียดปรากฏในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงตัวอักษรธรรมอีสานที่ใช้ในการวิจัย

ที่	ตัวอักษร	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 1	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 2	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบที่ 1	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบ ที่ 2	ม.มหาสารคาม	มจร. วิทยาเขต ขอนแก่น
1	ก	๓	๓	๓	๓	๓	๓
2	ข	๔	๔	๔	๔	๔	๔
3	ค	๕	๕	๕	๕	๕	๕

ที่	ตัวอักษร	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 1	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 2	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบที่ 1	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบ ที่ 2	ม.มหาสารคาม	มจร. วิทยาเขต ขอนแก่น
4	ฅ	ฅ	ฅ	ฅ	ฅ	ฅ	ฅ
5	ง	ง	ง	ง	ง	ง	ง
6	จ	จ	จ	จ	จ	จ	จ
7	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ
8	ช	ช	ช	ช	ช	ช	ช
9	ฌ	ฌ	ฌ	ฌ	ฌ	ฌ	ฌ
10	ญ	ญ	ญ	ญ	ญ	ญ	ญ
11	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ
12	ฏ	ฏ	ฏ	ฏ	ฏ	ฏ	ฏ
13	ฑ	ฑ	ฑ	ฑ	ฑ	ฑ	ฑ
14	ฒ	ฒ	ฒ	ฒ	ฒ	ฒ	ฒ
15	ณ	ณ	ณ	ณ	ณ	ณ	ณ
16	ด	ด	ด	ด	ด	ด	ด
17	ต	ต	ต	ต	ต	ต	ต
18	ถ	ถ	ถ	ถ	ถ	ถ	ถ
19	ท	ท	ท	ท	ท	ท	ท
20	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ
21	น	น	น	น	น	น	น
22	บ	บ	บ	บ	บ	บ	บ
23	ป	ป	ป	ป	ป	ป	ป
24	ผ	ผ	ผ	ผ	ผ	ผ	ผ
25	ฝ	ฝ	ฝ	ฝ	ฝ	ฝ	ฝ

ที่	ตัวอักษร	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 1	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 2	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบที่ 1	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบ ที่ 2	ม.มหาสารคาม	มจร. วิทยาเขต ขอนแก่น
26	พ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
27	ฟ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
28	ภ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
29	ม	๓	๓	๓	๓	๓	๓
30	ย	๓	๓	๓	๓	๓	๓
31	ร	๓	๓	๓	๓	๓	๓
32	ล	๓	๓	๓	๓	๓	๓
33	ว	๓	๓	๓	๓	๓	๓
34	ศ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
35	ห	๓	๓	๓	๓	๓	๓
36	ฬ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
37	อ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
38	ฮ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
39	ฤา	๓	๓	๓	๓	๓	๓
40	๑	๑	๑	๑	๑	๑	๑
41	๒	๒	๒	๒	๒	๒	๒
42	๓	๓	๓	๓	๓	๓	๓
43	๔	๔	๔	๔	๔	๔	๔
44	๕	๕	๕	๕	๕	๕	๕
45	๖	๖	๖	๖	๖	๖	๖
46	๗	๗	๗	๗	๗	๗	๗
47	๘	๘	๘	๘	๘	๘	๘

ที่	ตัวอักษร	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 1	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 2	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบที่ 1	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบ ที่ 2	ม.มหาสารคาม	มจร. วิทยาเขต ขอนแก่น
48	๕	๕	๕	๕	๕	๕	๕
49	๐	๐	๐	๐	๐	๐	๐
50	อิ	๖	๖	๖	๖	๖	๖
51	อี	๗	๗	๗	๗	๗	๗
52	อุ	๘	๘	๘	๘	๘	๘
53	อู	๙	๙	๙	๙	๙	๙
54	เอ	๐	๐	๐	๐	๐	๐
55	สส	๑	๑	๑	๑	๑	๑
56	สระ อะ	๒	๒	๒	๒	๒	๒
57	สระ อา	๓	๓	๓	๓	๓	๓
58	สระ อิ	๔	๔	๔	๔	๔	๔
59	สระ อี	๕	๕	๕	๕	๕	๕
60	สระ อื	๖	๖	๖	๖	๖	๖
61	สระ อือ	๗	๗	๗	๗	๗	๗
62	สระ อุ	๘	๘	๘	๘	๘	๘
63	สระ อู	๙	๙	๙	๙	๙	๙
64	เ	๐	๐	๐	๐	๐	๐
65	แ	๑	๑	๑	๑	๑	๑
66	โ	๒	๒	๒	๒	๒	๒
67	สระ อำ	๓	๓	๓	๓	๓	๓
68	ไม้ก	๔	๔	๔	๔	๔	๔
69	นา	๕	๕	๕	๕	๕	๕

ที่	ตัวอักษร	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 1	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 2	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบที่ 1	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบ ที่ 2	ม.มหาสารคาม	มจร. วิทยาเขต ขอนแก่น
70	หยอ	ᨠ	ᨠ	ᨠ	ᨠ	ᨠ	ᨠ
71	ไ	ᨡ	ᨡ	ᨡ	ᨡ	ᨡ	ᨡ
72	ใ	ᨢ	ᨢ	ᨢ	ᨢ	ᨢ	ᨢ
73	ยเพื่อง	ᨣ	ᨣ	ᨣ	ᨣ	ᨣ	ᨣ
74	ย	ᨤ	ᨤ	ᨤ	ᨤ	ᨤ	ᨤ
75	นิคหิต	ᨦ	ᨦ	ᨦ	ᨦ	ᨦ	ᨦ
76	นเพื่อง	ᨧ	ᨧ	ᨧ	ᨧ	ᨧ	ᨧ
77	มเพื่อง	ᨨ	ᨨ	ᨨ	ᨨ	ᨨ	ᨨ
78	งเพื่อง	ᨩ	ᨩ	ᨩ	ᨩ	ᨩ	ᨩ
79	ลเพื่อง	ᨪ	ᨪ	ᨪ	ᨪ	ᨪ	ᨪ
80	ไม้อัง แตน	ᨫ	ᨫ	ᨫ	ᨫ	ᨫ	ᨫ
81	รเพื่อง	ᨬ	ᨬ	ᨬ	ᨬ	ᨬ	ᨬ
82	หเพื่อง	ᨭ	ᨭ	ᨭ	ᨭ	ᨭ	ᨭ
83	กเพื่อง	ᨮ	ᨮ	ᨮ	ᨮ	ᨮ	ᨮ
84	ฐเพื่อง	ᨯ	ᨯ	ᨯ	ᨯ	ᨯ	ᨯ
85	จเพื่อง	ᨰ	ᨰ	ᨰ	ᨰ	ᨰ	ᨰ
86	อเพื่อง	ᨱ	ᨱ	ᨱ	ᨱ	ᨱ	ᨱ
87	ธเพื่อง	ᨲ	ᨲ	ᨲ	ᨲ	ᨲ	ᨲ
88	วเพื่อง	ᨳ	ᨳ	ᨳ	ᨳ	ᨳ	ᨳ
89	คเพื่อง	ᨴ	ᨴ	ᨴ	ᨴ	ᨴ	ᨴ
90	ไม้ซัด	ᨵ	ᨵ	ᨵ	ᨵ	ᨵ	ᨵ

ที่	ตัวอักษร	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 1	ร.ร.สว่างวีระวงศ์ แบบที่ 2	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบที่ 1	ม.ราชภัฏ อุบลราชธานี แบบ ที่ 2	ม.มหาสารคาม	มจร. วิทยาเขต ขอนแก่น
91	สระอา ยาว	๑	๑	ว	๑	๑	๑

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีรูปแบบการพิมพ์ตัวอักษรธรรมอีสานบนคอมพิวเตอร์ที่ได้มาตรฐาน
- 1.4.2 ได้วิธีการในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของตัวอักษรที่มีประสิทธิภาพ
- 1.4.3 มีระบบและกระบวนการวิธีในการรู้จำอักษรอักษรธรรมอีสานที่มีประสิทธิภาพ
- 1.4.4 เพื่อเป็นแนวทางสู่กระบวนการพัฒนาโปรแกรมอ่านภาพอักษรอักษรธรรมอีสานที่ปรากฏบนใบลาน หรือสื่ออื่นๆ ต่อไป
- 1.4.5 เป็นหนทางสู่การอนุรักษ์มรดกของชาวอีสาน

1.5 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีคำนิยามศัพท์หรือคำจำกัดความที่กำหนดไว้เป็นการเฉพาะประกอบด้วย
อักษรอักษรธรรมอีสาน หมายถึง ตัวอักษรใด ๆ ที่เป็นอักษรโบราณซึ่งมักจารึกบนใบลาน
เรียกว่า ตัวธรรม หรือ อักษรธรรมอีสาน

รูปแบบตัวอักษรธรรมอีสาน หมายถึง รูปแบบตัวอักษร หรือ Font ของตัวอักษรธรรมอีสานที่มี
ผู้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการพิมพ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

รูปภาพอักษร หมายถึง รูปภาพของตัวอักษรของอักษรใด ๆ ที่พิมพ์ขึ้นมาแล้วจัดเก็บเป็นไฟล์
รูปภาพ

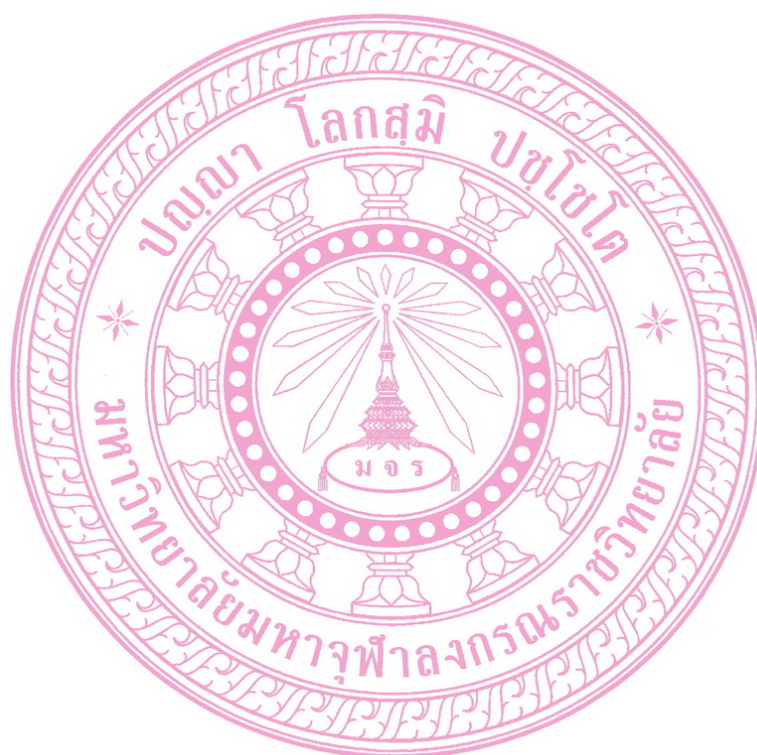
การรู้จำตัวอักษร หมายถึง กระบวนการที่ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการทำงาน
ใกล้เคียงกับมนุษย์ในด้านการรับรู้ภาพอักษรที่ป้อนเข้าไบนั้น เป็นอักษรตัวใด

การลดความหนาอักษร หมายถึง กระบวนการหนึ่งในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลก่อนที่จะ
นำไปใช้ในระบบการรู้จำตัวอักษร โดยจะทำให้ภาพอักษรมีความหนาลดลงเหลือเพียง 1 จุด (pixel)
เท่านั้น แต่ยังคงสัดส่วนและโครงสร้างเดิมไว้

การกระจายความหนาแน่นของจุด หมายถึง การสกัดเอาลักษณะเด่นๆ ของภาพที่ศึกษา โดย
กำหนดพื้นที่เป็นสัดส่วนต่างๆ กัน แล้วดูความหนาแน่นของจุดภาพที่กระจายในพื้นที่ที่กำหนด

การกระจายพิกเซลของตัวอักษรแบบไม่เชิงเส้น หมายถึง การปรับความหนาแน่นจุดภาพของตัว
อักษรในกรอบพื้นที่ที่กำหนด โดยมีความสัมพันธ์เชิงสมการแบบไม่เชิงเส้น

ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ หมายถึง เทคนิคการเรียนรู้ทางสถิติ (Statistical machine learning) ที่มี
ประสิทธิภาพสูง คิดค้นขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Andrei Andreevich Markov โดยใช้จำแนก
รูปแบบของลำดับเหตุการณ์หนึ่งๆ ซึ่งลำดับของเหตุการณ์จะถูกจำลองให้อยู่ในรูปของลำดับการ
เปลี่ยนแปลงของสถานะ

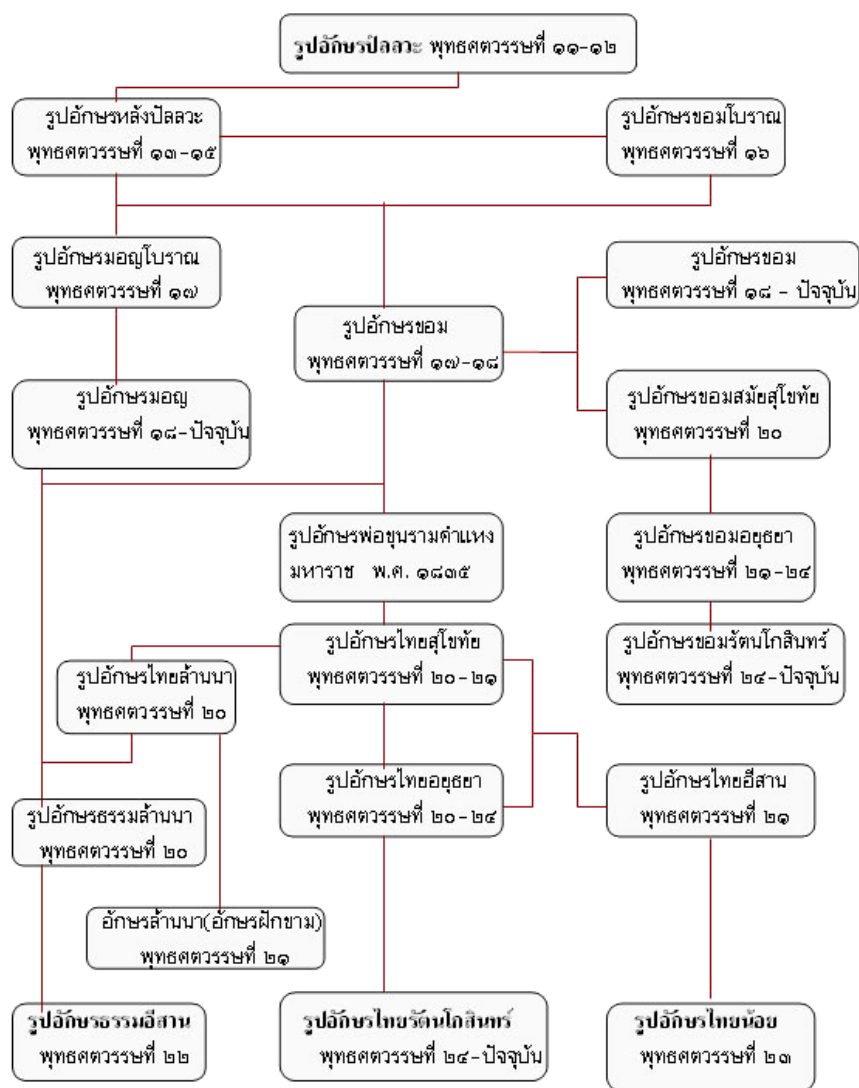


บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาของอักษรธรรมอีสาน

ตัวอักษรธรรมอีสานเป็นตัวอักษรที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรล้านนาทางภาคเหนือ จะแตกต่างกันเป็นบางตัวเท่านั้น ซึ่งมีพัฒนาการมาจากอักษรมอญโบราณ โดยศาสตราจารย์รัช ปุ่นโมทก [3] กล่าวว่า อักษรธรรมอีสานและอักษรล้านนาหรืออักษรยวนนั้น ได้สืบทอดมาจากอักษรมอญโบราณที่ศรีสุโขทัยราวพุทธศตวรรษที่ 18



ภาพที่ 2.1 แสดงการกำเนิดตัวอักษรตามแนวของ ก่องแก้ว วีระประจักษ์¹

¹ <http://www.esansawang.in.th/tham/thamhome.htm>

จากภาพที่ 2.1 จะเห็นการกำเนิดตัวอักษรอีกแนวหนึ่ง เห็นที่มาของอักษรธรรมและอักษรไทยน้อยได้อย่างชัดเจน

มีการพบหลักฐานการใช้อักษรธรรมอีสานเก่าแก่ที่สุดในพุทธศตวรรษที่ 22 เป็นอักษรร่วมสมัยอยุธยา คือ จารึกวัดศรีคุณเมือง อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย เป็นศิลาทรายแดงสลักเป็นรูปใบเสมา สร้างเมื่อ พ.ศ. 2103 ส่วนหลักฐานที่เป็นใบลานนั้น เชื่อว่า คัมภีร์วิสุทธิมรรค ซึ่งจารเป็นภาษาบาลีล้วน เมื่อ พ.ศ. 2143 ตรงกับสมัยสมเด็จพระนเรศวรมหาราช จัดเป็นเอกสารที่เก่าแก่ที่สุดพบที่จังหวัดหนองคาย ปัจจุบันเก็บไว้ที่หอสมุดแห่งชาติ (เพ็ญพักตร์ ลิ้มสัมพันธ์, 2527:1) ส่วนหลักฐานที่พบที่ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวที่เก่าแก่ที่สุด ได้แก่จารึกบนฐานพระพุทธรูปวัดสีสะเกด ในนครเวียงจันทน์ (พ.ศ. 2033) ตรงกับสมัยพระราชนาแสนไทย รองลงมาได้แก่จารึกบนฐานพระพุทธรูปวัดพันหลวง ที่หลวงพระบาง (พ.ศ. 2067) ตรงกับสมัยพระเจ้าโพธิสารราช และสาเหตุที่เชื่อว่าตัวอักษรธรรมนั้นก็เพราะว่าตัวอักษรนี้ใช้เขียนบันทึกเรื่องราวเกี่ยวกับพระพุทธศาสนา เช่น พระไตรปิฎก พระธรรมคัมภีร์ต่างๆ เป็นต้น เพราะถือว่าเป็นอักษรชั้นสูง และมีความศักดิ์สิทธิ์

2.2 รูปแบบของตัวอักษรธรรมอีสาน [4]

อักษรธรรมอีสานมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับอักษรล้านนา แต่อักษรวิธีอักษรธรรมอีสานเป็นแบบผสมระหว่างอักษรวิธีล้านนาผสมกับอักษรวิธีอักษรไทยน้อย ซึ่งรูปลักษณะของอักษรธรรมอีสานเท่าที่พบมีดังนี้

2.2.1 รูปพยัญชนะ ประกอบด้วย

1) รูปพยัญชนะเต็ม คือ พยัญชนะที่เขียนเต็มตามรูปแบบปกติ มี 37 ตัว ทำหน้าที่เป็นพยัญชนะต้น โดยจะแบ่งตามวรรคแบบภาษาบาลี ดังนี้

พยัญชนะวรรค ก

อักษรไทย	ก	ข	ค	ฅ	ง
อักษรธรรม	๓	๖	๑	๗	๕

พยัญชนะวรรค จ

อักษรไทย	จ	ฉ	ช,ช	ฌ	ญ
อักษรธรรม	๐	๖	๙	๘	๒

พยัญชนะวรรค ฎ

อักษรไทย	ฎ	ฏ	ฑ	ฒ	ณ
อักษรธรรม	๘	๙	๔	๗	๓

อักษร	รูปตัวเพื่อง	การใช้
		๕๒ ๖๒ ๗๒ (รัศมี)
บ,ป	๘๒ ๙๒	เรียกว่า ห้อย บ หรือดิน บ ใช้เขียนหลังพยัญชนะ เช่น ๐๒ ๑๒ (กับ), ๒๒ ๓๒ (นับ), ๔๒ ๕๒ (สับ)
ย	๖๒ ๗๒	เรียกว่า ห้อย ย หรือดิน ย ใช้เขียนหลังพยัญชนะ เช่น ๘๒ ๙๒ (ด้วย), ๐๒ ๑๒ (ควาย)
ร	๒๒ ๓๒	เรียกว่า ห้อย ร หรือดิน ร ใช้เขียนหน้าพยัญชนะ เช่น ๒๒ ๓๒ (พระ), ๔๒ ๕๒ (สระ), ๖๒ ๗๒ ๘๒ (ประมาณ)
ล	๙๒ ๐๒	เรียกว่า ห้อย ล หรือดิน ล ใช้เขียนใต้บรรทัด เช่น ๑๒ ๒๒ ๓๒ (หลาน)
ว	๑๒ ๒๒	เรียกว่า ห้อย ว หรือ ดิน ว ใช้เขียนใต้บรรทัด เช่น ๓๒ ๔๒ (แล้ว), ๕๒ ๖๒ (แนว)
ส	๓๒ ๔๒	เรียกว่า ห้อย ส หรือดิน ส ใช้เขียนใต้บรรทัด อย่างเช่นคำว่า ราช เขียนคำภาษาถิ่น แสดงเป็นตัวสะกดเฉพาะแม่กดเท่านั้น เช่น ๕๒ ๖๒ ๗๒ ๘๒ (มหาราช), ๙๒ ๐๒ ๑๒ (อากาศ)
	๕๒ ๖๒	เรียกว่า ส สองห้อง (สฺส) ใช้เขียนบนบรรทัด เช่น ๗๒ ๘๒ (ตัสสะ), ๙๒ ๐๒ (รัสสะ)
อ	๑๒ ๒๒	เรียกว่า ห้อย อ หรือดิน อ ใช้เขียนใต้บรรทัดแสดงหน้าที่เป็น สระ อ เช่น ๓๒ ๔๒ อี (สอง), ๕๒ ๖๒ อี (น้อง), ๗๒ ๘๒ อี (จอง)
จ	๓๒ ๔๒	เรียกว่า ห้อย จ หรือดิน จ ใช้เขียนใต้บรรทัด เช่น ๕๒ ๖๒ ๗๒ (สัจจะ)
ฐ	๓๒ ๔๒	เรียกว่า ห้อย ฐ หรือดิน ฐ ใช้เขียนใต้บรรทัด เช่น ๕๒ ๖๒ ๗๒ (รัฏฐะ)
ถ	๓๒ ๔๒	เรียกว่า ห้อย ถ หรือดิน ถ ใช้เขียนใต้บรรทัด เช่น ๕๒ ๖๒ ๗๒ (วัตถุ)
พ	๓๒ ๔๒	เรียกว่า ห้อย พ หรือดิน พ ใช้เขียนใต้บรรทัด เช่น

อักษร	รูปตัวเพื่อง	การใช้
		    (บุพพะ)
ธ	 	เรียกว่า ห้อย ธ หรือดิน ธ ใช้เขียนได้บรรทัด เช่น     (พุทชะ)
ญ		ไม่มีรูปการเขียนได้บรรทัด จะเขียนบนบรรทัดโดยมีความหมายเท่ากับ ญญ เช่น    (สัญญา),    (ปัญญา) ซึ่งหากเขียน     หรือ     จะผิด
ก	 	เรียกว่า ห้อย ก หรือดิน ก ใช้เขียนได้บรรทัด มี ๒ แบบ เช่น       (กกแนน)   (นก)

2.2.2 รูปสระ ประกอบด้วย

1) สระลอย คือ สระที่สามารถเขียนและออกเสียงเองได้เลย ไม่ต้องอาศัยพยัญชนะอื่นใดมาประกอบ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวอ และสระ มีอยู่ 8 ตัวดังนี้

       
 อะ อา อิ อี อุ อู เอ เอา
 ตัวอย่างการใช้สระลอย
 (อีสาน)  (อุดม)

2) สระจม คือ สระที่ใช้เขียนผสมกับตัวพยัญชนะเท่านั้นถึงจะออกเสียงและใช้ได้ โดยสามารถเขียนได้รอบตัวพยัญชนะตัวเต็ม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สระไทย	-ะ	-า	อิ	อี	ือ	ือ	อุ	ู
สระกรรม								
สระไทย	เ-ะ	เ-า	แ-ะ	แ-	โ-ะ	โ-	อำ	
สระกรรม								

	๘							
สระไทย	ไ/เ	เ-า	เอีย	เอือ	เ-อ	อัว		
สระกรรม		→	→	→	→	—		
	↖	↖	↖	↖	↖	→		
		→	↖	↖	↖	→		
		๘	□	๘	๘			
สระไทย	เ-าะ	ออ	ออย					
สระกรรม		↖						
	→	๘	□					
	↖	↖						
	๘	↖						

3) สระพิเศษ มี 5 ตัว ดังนี้

ตัวที่	รูปอักขระ	การใช้
1	↖	นิคหิต ใช้เป็นตัว ง สะกดเมื่อเขียนเป็นคำภาษาบาลี และใช้แทนเสียง ออ เช่น ๘ (อิทั้ง) อ (ขอ)
2	↖	ไม้กง หรือไม้ก้ม ใช้เป็นสระโอะลดรูป เช่น ๘ (คน) ๘ (หัว)
3	-□	ตัว หยอหยาดน้ำ ใช้เขียนเมื่อเป็นสระออ ที่มีตัวสะกดเป็น ย เช่น ๘ (น้อย) ๘ (คอย) ๘ (ช้อย, ช่วย)

ตัวที่	รูปอักขระ	การใช้
4	↖	สระอายา ใช้เขียนกับตัว ว (๘) เพื่อไม่ให้ปนกับตัว ต (๘) เช่น ๘ ๘

		คล้ายๆ กัน ท่านจึงใช้  (วา หรือ ว่า) เพื่อให้ดูง่ายขึ้น
5	ฏ	สระ ฤา ใช้เขียนเหมือน ฤ ในภาษาไทย เช่น ฤาชา ก็จะเขียนเป็น 

2.2.3 เลขอักษรธรรม ตัวเลขของอักษรธรรมอีสานมี 10 รูปเหมือนเลขไทย ดังนี้

เลขไทย	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙	๐
เลขธรรม										

เมื่อนำพยัญชนะและสระมาเขียนรวมกันเป็นคำหรือข้อความ จะมีลักษณะการเขียนเป็น 3 ระดับ (ดังภาพที่ 2.2) ดังนี้

- 1) ระดับสระบน (Upper vowel level)
- 2) ระดับพยัญชนะ (Consonant line level)
- 3) ระดับสระล่าง (Lower vowel line level)



ภาพที่ 2.2 แสดงระดับของอักษรธรรมอีสาน

2.3 การรู้จำรูปแบบ (Pattern Recognition)

การรู้จำรูปแบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ [5]

2.3.1 การรู้จำในสิ่งที่เป็นรูปธรรม (The Recognition of Concrete Items)

คือ การรู้จำในสิ่งที่มีรูปร่าง สามารถสัมผัสหรือมองเห็นได้ด้วยตา การรู้จำประเภทนี้สามารถจำแนกย่อยเป็น 2 แบบคือ

- 1) การรู้จำในสิ่งที่มีรูปแบบอยู่อย่างถาวร เช่น วัตถุต่าง ๆ หรือตัวอักษร เป็นต้น
- 2) การรู้จำในสิ่งที่มีรูปแบบอยู่ชั่วขณะหนึ่ง เช่น คลื่นเสียง อนุกรมเวลา เป็นต้น

2.3.2 การรู้จำในสิ่งที่เป็นนามธรรม (The Recognition of Abstract Items)

คือ การรู้จำในสิ่งที่ไม่มีรูปร่าง หรือเป็นการรู้จำในสิ่งที่ได้จากความคิด (Conceptual -Recognition) เช่น ความสามารถในการรู้จำเหตุผลเก่า ๆ หรือการหาคำตอบของปัญหาได้โดยไม่ต้องนำความสามารถทางตา หู ลิ้น หรือจมูกมาใช้งาน

2.4 ชนิดและคุณสมบัติของการรู้จำ

2.4.1 ชนิดของการรู้จำ จำแนกตามลักษณะการนำเข้าสู่ข้อมูลเข้าสู่ระบบ ชนิดของการรู้จำสามารถจำแนกตามลักษณะของการนำเข้าสู่ข้อมูลเข้าสู่ระบบได้ดังนี้

1) **แบบ Off-line** กระบวนการรู้จำจะกระทำหลังจากการเขียนอักขระหรือข้อความเสร็จสิ้น โดยผู้เขียนทำการเขียนตัวอักขระลงบนกระดาษจากนั้นจึงทำการสแกนเพื่อแปลงข้อมูลจากแผ่นกระดาษให้เป็นข้อมูลดิจิทัลที่มีลักษณะรูปภาพ 2 มิติ เรียกว่าไม่มีการประมวลผลในขณะที่เขียนและระบบจะมีการตอบสนองต่อผู้ใช้น้อยมาก จากนั้นจึงส่งข้อมูลดิจิทัลไปยัง input ของระบบรู้จำ

จุดเด่น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลนำเข้าที่มีขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี จึงเหมาะกับงานที่มี ข้อมูลนำเข้าจำนวนมาก

2) **แบบ On-line** กระบวนการรู้จำจะกระทำในขณะที่กำลังเขียนอักขระหรือข้อความ จนกระทั่งการเขียนเสร็จสิ้น บางครั้งเรียกว่า แบบ Real time หรือแบบ Dynamic โดยขณะที่มีการใช้งานระบบจะมีการตอบสนองกับ Strokes² ของการเขียนตัวอักขระของผู้ใช้ในช่วงที่มีการเขียน

จุดเด่น ใช้กับข้อมูลนำเข้าที่มีขนาดเล็กโดยมีการประมวลผลแบบทันทีทันใด (Real Time) เหมาะกับงานที่ต้องการความรวดเร็ว

2.4.2 ชนิดของการรู้จำ จำแนกตามวิธีการรู้จำ ชนิดของการรู้จำสามารถจำแนกตามวิธีการรู้จำได้ 4 ชนิดดังนี้

1) วิธีการเทียบรูปร่าง

วิธีการนี้เป็นวิธีแรก ๆ ที่ใช้ในการรู้จำตัวอักขระ หลักการโดยทั่วไปคือสร้างต้นแบบขึ้นมาจากข้อมูลอักขระต่าง ๆ ปกติจะเป็นข้อมูล 2 มิติ โดยมีการกำหนดตำแหน่งที่สำคัญที่สามารถใช้แยกแยะความแตกต่างระหว่างตัวอักขระแต่ละตัว การทำงานของระบบจะนำรูปภาพที่ต้องการไปเปรียบเทียบกับต้นแบบเพื่อวัดความคล้ายคลึงกับข้อมูลต้นแบบ จากนั้นจึงระบุว่าเป็นรหัสของตัวอักขระใด วิธีการนี้ค่อนข้างอ่อนไหวต่อข้อมูลแทรกซ้อน ขนาดของภาพและการเอียงของตัวอักขระ

2) วิธีการทางสถิติ

วิธีนี้เป็นการใช้ค่าความน่าจะเป็น มาใช้ในการตัดสินใจรูปภาพนำเข้า ที่ได้มาจากขั้นตอนการสกัดลักษณะเฉพาะ และจะส่งเข้าไปในส่วนการรู้จำเฉพาะของตัวอักขระแต่ละตัว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนของการรู้จำทุกตัวจะเป็นค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบและตัดสินใจว่าข้อมูลที่เข้ามาเป็นตัวอักขระใด วิธีการนี้แต่ละต้นแบบจะถูกแทนด้วยจำนวนข้อมูลที่เป็นค่าตัวแทนจากการสกัดลักษณะสำคัญ ซึ่งจะเป็นชุดตัวเลขที่มีค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ กันตามที่ผู้กำหนด

3) วิธีการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง

วิธีการนี้เป็นการนำภาพตัวอักขระแต่ละตัวมาวิเคราะห์โครงสร้าง โดยถือว่าตัวอักขระทุกตัวประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่ได้มาจากการสกัดลักษณะเฉพาะโดยการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง

² Strokes หมายถึง ช่วงเวลาที่วางปลายปากกาลงจนกระทั่งยกปลายปากกาขึ้น

ซึ่งมักจะใช้ชื่อหรือคำที่บอกว่าลักษณะโครงสร้างสำคัญนั้นเป็นอะไร เช่น เส้นตรง วงกลม เป็นต้น แทนที่จะเป็นค่าจำนวนจริง และในขั้นตอนการรู้จำลักษณะเฉพาะทั้งหลายที่ประกอบกันขึ้นเป็นตัวอักขระนั้น จะถูกส่งเข้าไปให้ส่วนตรวจวิเคราะห์กฎการเขียนตัวอักขระนั้น เช่น Formal Grammar Machine โครงสร้างกราฟ หรือโครงสร้างต้นไม้ เป็นต้น เพื่อระบุว่าเป็นตัวอักขระใด ซึ่งการตัดสินใจจะพิจารณาจากรูปแบบการเชื่อมต่อขององค์ประกอบต่าง ๆ ของตัวอักขระนั้น ๆ วิธีการนี้มีข้อดีคือความยืดหยุ่นต่อความหลากหลายของตัวอักขระค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามอัตราความถูกต้องของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับ การสร้างกฎ และการวิเคราะห์กฎที่มีประสิทธิภาพ

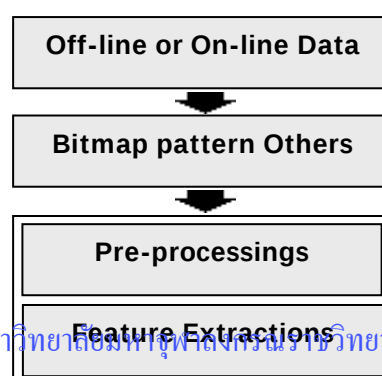
4) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

วิธีการนี้เป็นเทคนิคที่พยายามเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ที่มีโครงข่ายเชื่อมต่อกันของหน่วยความจำย่อยจำนวนมากที่สะสมความรู้เอาไว้ ความรู้เหล่านี้จะได้จากการฝึกสอนไว้ก่อน เช่น การสอนให้รู้จักตัวอักขระ โดยส่งภาพของอักขระเข้าไปให้ระบบเรียนรู้พร้อมทั้งบอกว่ามีค่าเป็นรหัสของตัวอักขระใด โครงข่ายประสาทเทียมจะเรียนรู้ถึงรูปแบบตัวอักขระที่หลากหลายเพื่อความสามารถในการรู้จำภาพตัวอักขระหลาย ๆ รูปแบบ สิ่งที่สอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมไม่จำเป็นต้องเป็นรูปของตัวอักขระเสมอไป โดยข้อมูลอาจได้จากขั้นตอนการสกัดลักษณะเฉพาะและกระบวนการประมวลผลเบื้องต้นอื่น ๆ ก็ได้

2.5 กระบวนการรู้จำทางคอมพิวเตอร์

กระบวนการรู้จำอักขระมีขั้นตอนที่สำคัญคือ การประมวลผลเบื้องต้น (Pre-processing) การวิเคราะห์เพื่อสกัดลักษณะเฉพาะของตัวอักขระ (Feature extractions) และการจำแนกตัวอักขระ (Classifications) ดังภาพที่ 2.3 โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 Data เป็นข้อมูลตัวอักขระสำหรับนำไปประมวลผล ซึ่งมีหลายรูปแบบตามความต้องการของระบบ เช่น ในระบบที่ใช้ข้อมูลแบบออฟไลน์การเก็บข้อมูลจะทำได้โดยให้ผู้เขียนทำการเขียนตัวอักขระลงบนกระดาษจากนั้นจึงทำการสแกนเพื่อแปลงข้อมูลจากแผ่นกระดาษให้เป็นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่มีลักษณะรูปภาพ 2 มิติ เรียกว่าไม่มีการประมวลผลในขณะเขียน (Airphaiboon et al., 1994) หรือในระบบที่ใช้ข้อมูลแบบออนไลน์ตัวข้อมูลจะไดจากการเก็บข้อมูลในตำแหน่งที่ปากกาเคลื่อนที่ไปบนแผ่นกระดาษอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ที่รับข้อมูล เช่น Tablet หรือ PDA (Tappert et al., 2004)



ภาพที่ 2.3 กระบวนการรู้จำ

2.5.2 Pre-processing เป็นการประมวลผลเบื้องต้นเพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะรูปแบบบางประการของข้อมูลนำเข้า ทั้งนี้เพื่อปรับข้อมูลนำเข้าให้มีความเหมาะสมและตรงตามที่ต้องการ เช่น การปรับขนาดของข้อมูลเป็น 32x32 หรือ 64x64 จุด การลดความหนาของเส้น (Thinning) ให้มีความหนา 1 จุด การกำจัดเส้นส่วนเกิน การปรับการกระจายความหนาแน่นของจุด (Dot density equalization)

2.5.3 Feature Extractions เป็นขั้นตอนการสกัดเอาลักษณะเฉพาะของตัวอักษรแต่ละตัวที่นำเข้าไปออกมาเป็นข้อมูลเวกเตอร์เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการฝึกฝนและทดสอบระบบ ซึ่งการสกัดลักษณะเฉพาะของอักขระได้นั้นกวีชัยเสนอธิบายวิธีการหลายวิธีการ เช่น การแบ่งอักขระออกเป็นบล็อกจำนวน 9 บล็อกแล้วคำนวณหาจำนวนจุดที่เป็นสีดำในแต่ละบล็อก (Pornchaikajornsak and Thammano, 2003) การใช้วิธีแปลงฟูรีเยร์จากขอบของตัวอักษรเพื่อนำตัวบรรยายลักษณะฟูรีเยร์ไปทำการเรียนรู้ในกระบวนการรู้จำ (โอพาริก, 2546) การใช้วิธี Stroke Segmentation เพื่อแบ่งเส้นของอักขระออกเป็นส่วนย่อย (Sub-Stroke) จากนั้นจึงสกัดเอาลักษณะเฉพาะออกมา เช่น จุดศูนย์กลางของ Sub-Stroke, มุมจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดของ Sub-Stroke หรือความยาวของ Sub-Stroke เป็นต้น (Budsayaplakorn et al., 2003) การพิจารณาถึงคุณลักษณะเด่น (Distinctive Feature) ของอักขระแต่ละตัวเช่น จำนวนของ Sub-Stroke จำนวนหัวอักขระ ระดับความสูงของหัวอักขระ สัดส่วนของความกว้างและความสูงของอักขระ (Choruengwiwat et al., 1998) เป็นต้น

2.5.4 Recognition เป็นขั้นตอนในการจำแนกและตัดสินใจว่าข้อมูลที่นำเข้ามาเป็นอักขระตัวใด ในขั้นตอนนี้มีนักวิจัยเสนอวิธีการหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการเปรียบเทียบชุด Feature Vector ของอักขระที่ต้องการทดสอบกับชุด Feature Vector ในฐานข้อมูลเพื่อค้นหาชุดของ Feature Vector ที่มีค่าใกล้เคียงมากที่สุดเรียกว่า Pattern Matching (Yamada et al., 1988) การใช้วิธี Rule-Base สร้างกฎต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบ (Thongkamwitoon et al., 2002) หรือการใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟซึ่งเป็นตัวแบบทางสถิติแบบหนึ่งที่ถูกนำไปใช้ในการรู้จำเสียงและยังสามารถนำมาใช้ในการรู้จำอักขระได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Rabiner, 1989)

2.6 ขั้นตอนวิธีลดความหนาของตัวอักษร (Thinning Algorithm)

การลดความหนาของตัวอักษร คือ การเปลี่ยนรูปร่างของภาพตัวอักษร โดยการลดจำนวนเซตของจุดสีดำที่ติดกัน ทั้งนี้เพื่อให้ผลลัพธ์เป็นเส้นที่มีความหนา 1 จุด และผลลัพธ์ที่ได้จะเรียกว่า Skeleton โดยต้องรักษาโครงร่างพื้นฐานของภาพต้นฉบับที่เป็นข้อมูลนำเข้าไว้ให้ได้มากที่สุด ซึ่งการลดความหนาของเส้นจะช่วยลดความซับซ้อนของระบบ และลดขนาดของการใช้หน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บโครงสร้างของรูปภาพที่จะนำมาประมวลผล ทำให้ในขั้นตอน Feature Extract ทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

2.6.1 ประเภทของขั้นตอนวิธีการลดความหนา

ขั้นตอนวิธีการลดความหนาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) **แบบอนุกรม (Sequential or Serial Thinning Algorithm)** ในการประมวลผลแบบอนุกรม ผลลัพธ์ของจุดใด ๆ ในการประมวลผลรอบที่ n จะขึ้นอยู่กับ neighbors ของจุดนั้นที่บางค่าอาจจะเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการประมวลผลในรอบที่ n หรือ $n-1$ และวิธีการประมวลผลจะกระทำกับจุดทีละจุดจนครบ

(2) **แบบขนาน (Parallel Thinning Algorithm)** ในการประมวลผลแบบขนาน ผลลัพธ์ของจุดใด ๆ ในการประมวลผลรอบที่ n จะขึ้นอยู่กับ neighbors ของจุดนั้นที่เกิดจากรอบที่ $n-1$ เท่านั้น และการประมวลผลจะกระทำกับทุก ๆ จุดในแต่ละรอบ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้และเป็นวิธีที่ประมวลได้รวดเร็วกว่าการลดความหนาแบบอนุกรม

2.6.2 นิยามและข้อกำหนด

นิยาม รูปภาพ คือ เซตของจุดทุกจุดที่จะถูกพิจารณาและเป็นเซตที่มีขอบเขต (Finite set) โดยเซตจะประกอบด้วยจำนวนสมาชิกที่จำกัด

กำหนดให้ S เป็นรูปภาพที่มีขอบเขตจำกัดและ $B = \{0,1\}$ โดยให้ Binary Image เป็นฟังก์ชัน V ที่ใช้ในการกำหนด ค่า B ให้กับ S

กำหนดให้ ส่วนหน้า (Foreground) ของ Binary Image ประกอบด้วยจุดสีดำ คือ เซต P และส่วนของพื้นหลังประกอบด้วยจุดสีขาว คือ เซต P' ดังนั้นสามารถนิยาม P ได้ดังสมการที่ 1

$$P = \{p \mid p \in S \wedge V(p) = 1\} \quad (1)$$

เมื่อ p คือ จุดใด ๆ

ทุกสมาชิกรอบจุด p จะเรียกว่า neighbors pixel และทั้งหมดจะอยู่ในขอบเขตของ 3×3 neighbor-hood ของจุด p คือ $N(p)$ ดังภาพที่ 2.4

$p[3]$	$p[2]$	$p[1]$
$p[4]$	p	$p[0]$

p[5]	p[6]	p[7]
------	------	------

ภาพที่ 2.4 Neighborhood ของ $N(p)$

โดยภายใน 3×3 neighborhood จุด p คือ Break point (Connected point) ถ้าลบจุด p ออกไปจะทำให้ neighbors ของจุด p มีลักษณะเป็น disconnected

2.7 ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ (Hidden Markov -Models : HMMs)

ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟเป็นเทคนิคการเรียนรู้ทางสถิติ (Statistical machine learning) ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยได้พัฒนามาจากตัวแบบมาร์คอฟ (Markov Models) ซึ่งคิดค้นขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Andrei Andreevich Markov โดยใช้จำแนกรูปแบบของลำดับเหตุการณ์ต่างๆ ซึ่งลำดับของเหตุการณ์จะถูกจำลองให้อยู่ในรูปของลำดับการเปลี่ยนแปลงของสถานะ วิธีการนี้จะอาศัยค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ และค่าความน่าจะเป็นของชนิดข้อมูล (Observation Symbol) ของตัวแบบเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น และผลลัพธ์จะถูกนำไปใช้ในการตัดสินใจว่าข้อมูลที่นำเข้ามาคืออะไร

2.7.1 องค์ประกอบของตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ

องค์ประกอบที่สำคัญของตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟมีดังนี้ (Rabiner, 1989)

2.7.1.1 N คือ จำนวนของสถานะในตัวแบบ โดยที่เซตของสถานะเป็น $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$

(1) ให้ q_t เป็นสถานะที่เวลา t

(2) (Hidden) State sequence $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_N\}$

โดยที่ $q_n \in S$

2.7.1.2 M คือ จำนวนชนิดของข้อมูลในสถานะและแทนชนิดของข้อมูล เป็น $V = \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$ ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับอินพุตที่ป้อนให้กับตัวแบบ

2.7.1.3 ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ $A = \{a_{ij}\}$ โดยที่

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

2.7.1.4 การกระจายความน่าจะเป็นของข้อมูลที่สถานะ j คือ $B = \{b_j(k)\}$

$$\text{โดยที่ } b_j(k) = P[V_k | q_t = S_j]$$

เมื่อ $1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq M$

2.7.1.5 ความน่าจะเป็นของสถานะเริ่มต้น $\pi = \{\pi_i\}$ โดยที่ $\pi_i = P[q_1 = S_i], 1 \leq i \leq N$

จากค่า N, M, A, B และ π ในตัวแบบ ทำให้มีลำดับการสังเกต (Observation Sequence : O) เป็น $O = O_1, \dots, O_T$ โดยที่ $O_i \in V$ และ T เป็นจำนวนของการสังเกตและสามารถบอกได้ว่าค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นลักษณะเฉพาะของตัวแบบ ซึ่งตัวแบบสามารถแสดงได้เป็น $\lambda = (A, B, \pi)$

2.7.2 การสอนตัวแบบเพื่อการรู้จำตัวอักษร

เนื่องจากตัวอักษรแต่ละตัวมีลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงต้องสร้างตัวแบบฮิดเดน มาร์คอฟ ให้กับตัวอักษรแต่ละตัว ซึ่งต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับตัวแบบแต่ละตัวแบบ แล้วคำนวณหาความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O) ต่อตัวแบบ หลังจากนั้นจึงทำการประมาณค่าตัวแปร เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ใหม่ให้กับตัวแบบ ซึ่งจะเป็นการปรับค่าต่าง ๆ ของตัวแบบนั่นเอง ขั้นตอนทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 2.5 และมีรายละเอียดของการคำนวณดังต่อไปนี้

2.7.2.1 การคำนวณหาความน่าจะเป็นของอินพุตหรือลำดับการสังเกตต่อตัวแบบ ใช้ หลักการ Forward-Backward Algorithm (Rabiner, 1989) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Forward Algorithm: กำหนดให้

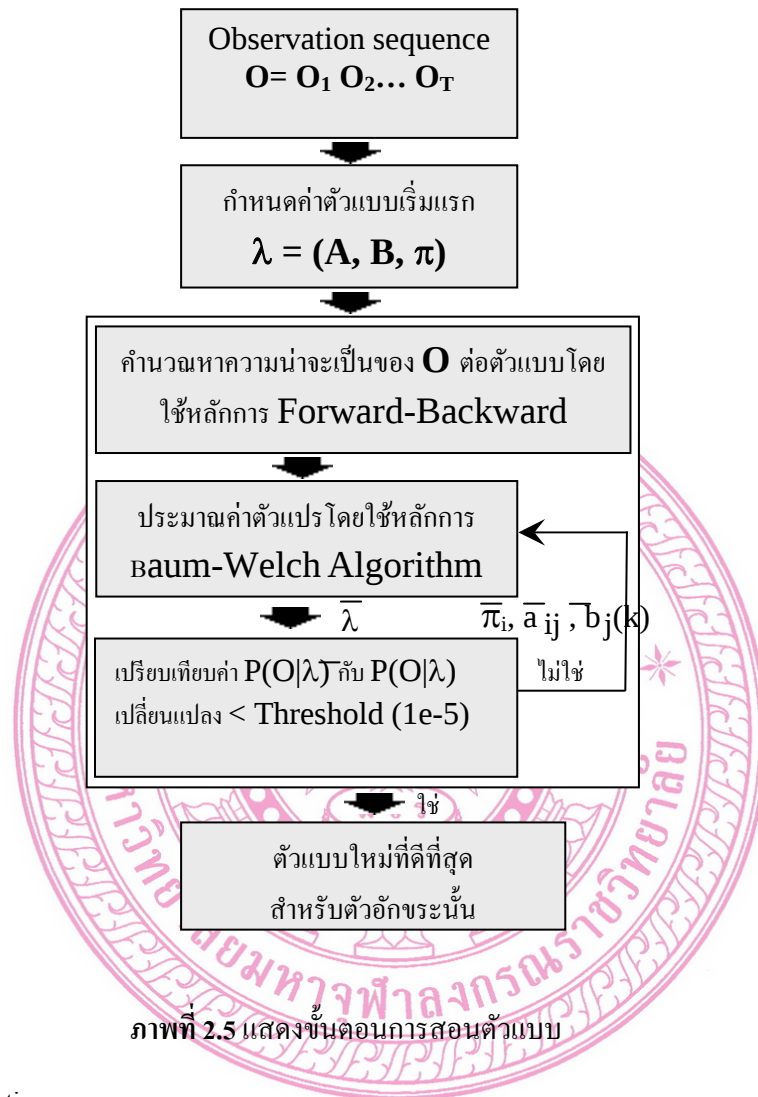
$\alpha_t(i)$ เป็นตัวแปร Forward ณ เวลา t ที่สถานะ i และกำหนดให้
 $\alpha_t(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_t, q_t = S_i | \lambda)$

π_i เป็นค่าความน่าจะเป็น ณ เวลา $t=1$ ที่สถานะ i

$b_j(O_t)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของข้อมูล O ณ เวลา t ที่สถานะ j

(1). Initialization

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(o_1) ; 1 \leq i \leq N \quad (1)$$



(2). Induction

$$\alpha_{t+1}(j) = \left[\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(o_{t+1}), \quad (2)$$

$$1 \leq t \leq T-1, \quad 1 \leq j \leq N$$

(3). Termination

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) \quad (3)$$

Backward Algorithm: กำหนดให้

$\beta_t(i)$ เป็นตัวแปร Backward ณ เวลา t ที่สถานะ i และกำหนดให้

$$\beta_t(i) = P(O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T | q_t = S_i, \lambda)$$

π_i เป็นค่าความน่าจะเป็น ณ เวลา $t=1$ ที่สถานะ i

$b_j(O_t)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของข้อมูล O ณ เวลา t ที่สถานะ j

(1). Initialization

$$\beta_T(i) = 1, \quad 1 \leq i \leq N \quad (4)$$

(2). Induction

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j), \quad (5)$$

$$T-1 \leq t \leq 1, \quad 1 \leq i \leq N$$

(3). Termination

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \pi_i b_i(O_1) \beta_1(i) \quad (6)$$

2.7.2.2 การประมาณค่าตัวแปร (Parameter estimation) ใช้หลักการของ Baum-Welch (Rabiner, 1989) โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จาก Forward-Backward Algorithm มาใช้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1). กำหนดให้ $\xi_t(i, j)$ คือความน่าจะเป็นของการอยู่ในสถานะ i ที่เวลา t และสถานะ j ที่เวลา $t+1$

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)} \quad (7)$$

(2). กำหนดให้ $\gamma_t(i)$ เป็นความน่าจะเป็นของการอยู่ในสถานะ i ที่เวลา t ซึ่งเกิดจากลำดับการสังเกตและตัวแบบ

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i, j) \quad (8)$$

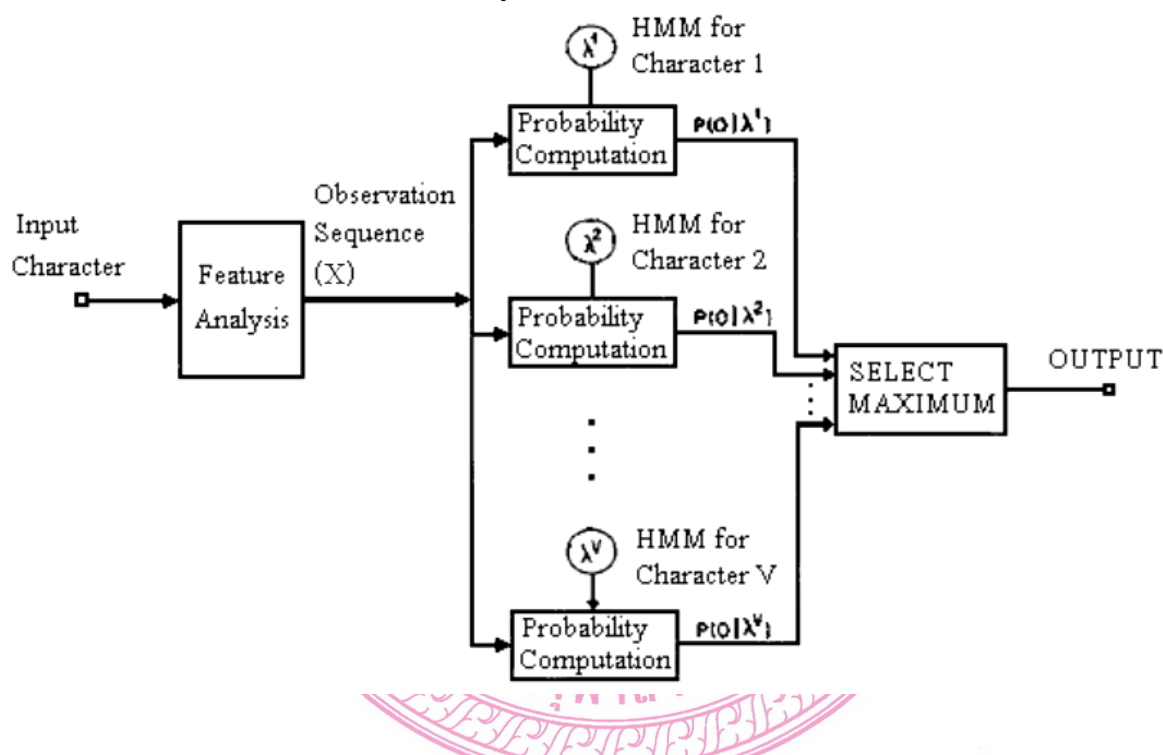
(3). การประมาณตัวแปรใหม่ (Reestimation) ของ A, B และ π คือ

$$\bar{\pi}_i = \gamma_1(i) \quad (9)$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad (10)$$

$$\bar{b}_j(k) = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)} \quad (11)$$

2.7.3 การนำตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟไปใช้ในการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสาน ในการรู้จำโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ ทำได้โดยการคำนวณหาความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตต่อตัวแบบด้วยหลักการ Forward-Backward Algorithm โดยเมื่อตัวแบบได้รับค่าลำดับการสังเกตที่ถูกต้องแล้ว จะคำนวณได้ค่าความน่าจะเป็นสูงสุด โดยข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบจะถูกวิเคราะห์เพื่อสกัดเอาลักษณะเฉพาะแล้วนำมาคำนวณหาความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละตัวแบบ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นสูงสุดที่คำนวณได้จากตัวแบบนั้นๆ จะเป็นค่าที่นำมาใช้ในการตัดสินใจว่าข้อมูลที่นำเข้านั้นเป็นตัวอักษรตัวใด ดังแสดงในภาพที่ 2.6

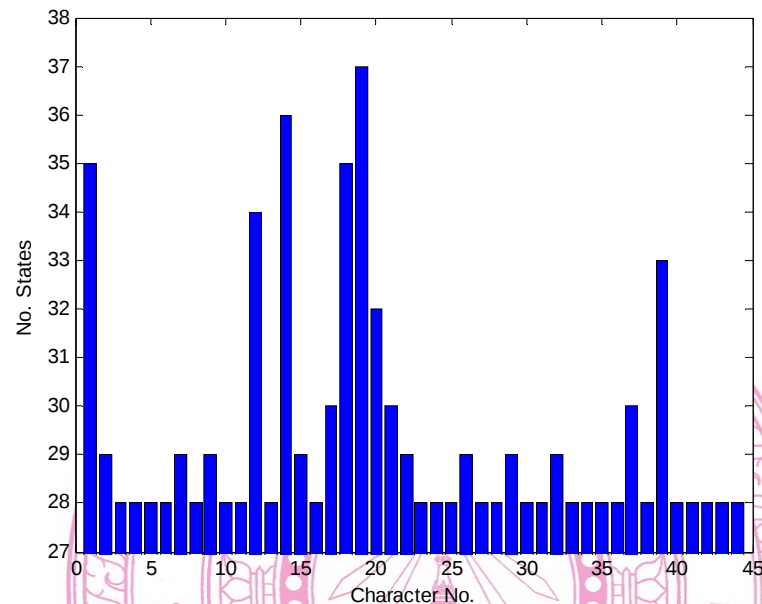


ภาพที่ 2.6 Block Diagram การรู้จำอักขระโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ

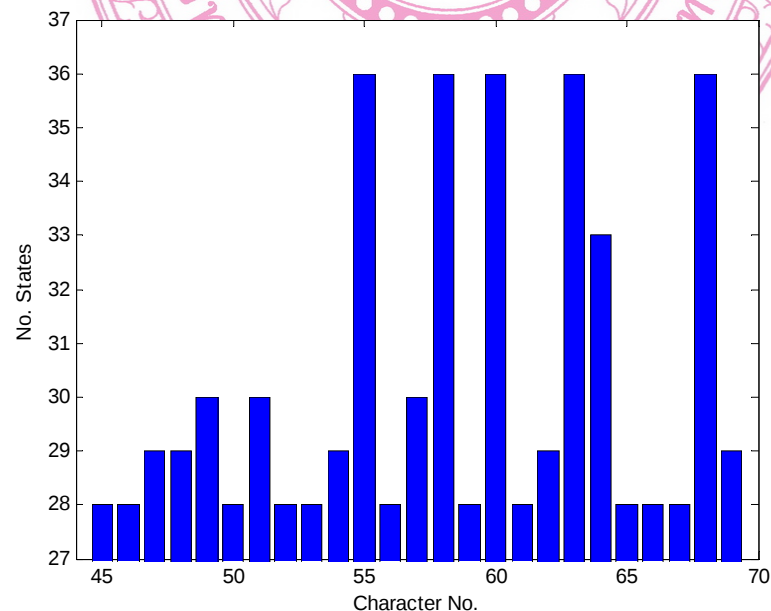
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 สุรศักดิ์ ตั้งสกุล (2548) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การรู้จำอักขระตัวเขียนภาษาไทยโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ โดยการสกัดลักษณะเฉพาะที่สำคัญด้วยวิธีการปรับการกระจายของจุดของตัวอักขระแบบไม่เชิงเส้นและคุณลักษณะเด่นของอักขระหลายวิธีร่วมกันโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยมีการกำหนดจำนวนสถานะของตัวแบบในลักษณะที่แน่นอนและไม่แน่นอน ผลการวิจัยพบว่าจำนวนสถานะที่เหมาะสมและน้อยที่สุดที่ให้ผลอัตราการรู้จำเฉลี่ยสูงสุดสำหรับตัวแบบชนิด Left-Right มีจำนวนสถานะแน่นอน 35 สถานะ โดยมีอัตราการรู้จำอักขระในกลุ่มพยัญชนะเท่ากับ 90.07% และอักขระในกลุ่มสระ วรรณยุกต์ และอักขระพิเศษเท่ากับ 94.09% ในขณะที่ผลการทดสอบกับตัวแบบ 5 ชนิด ที่มีจำนวนสถานะไม่แน่นอน ให้ผลลัพธ์ในการรู้จำตัวอักขระกลุ่มพยัญชนะเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ 91.67% โดยใช้ตัวแบบ Left-Right Allow Skip State แบบที่ 2 (แสดงใน

ภาพที่ 2.7 ข.) ขณะที่ในกลุ่มตัวอักษร สระ วรรณยุกต์ และอักษรพิเศษ ให้ผลลัพธ์โดยเฉลี่ยที่สุด คือ 96 % โดยใช้ตัวแบบชนิด Left-Right-Left Allow Skip State



ภาพที่ 2.7 ก จำนวนสถานะที่เหมาะสมของตัวแบบชนิด Left-Right ของตัวอักษรกลุ่มที่ 1

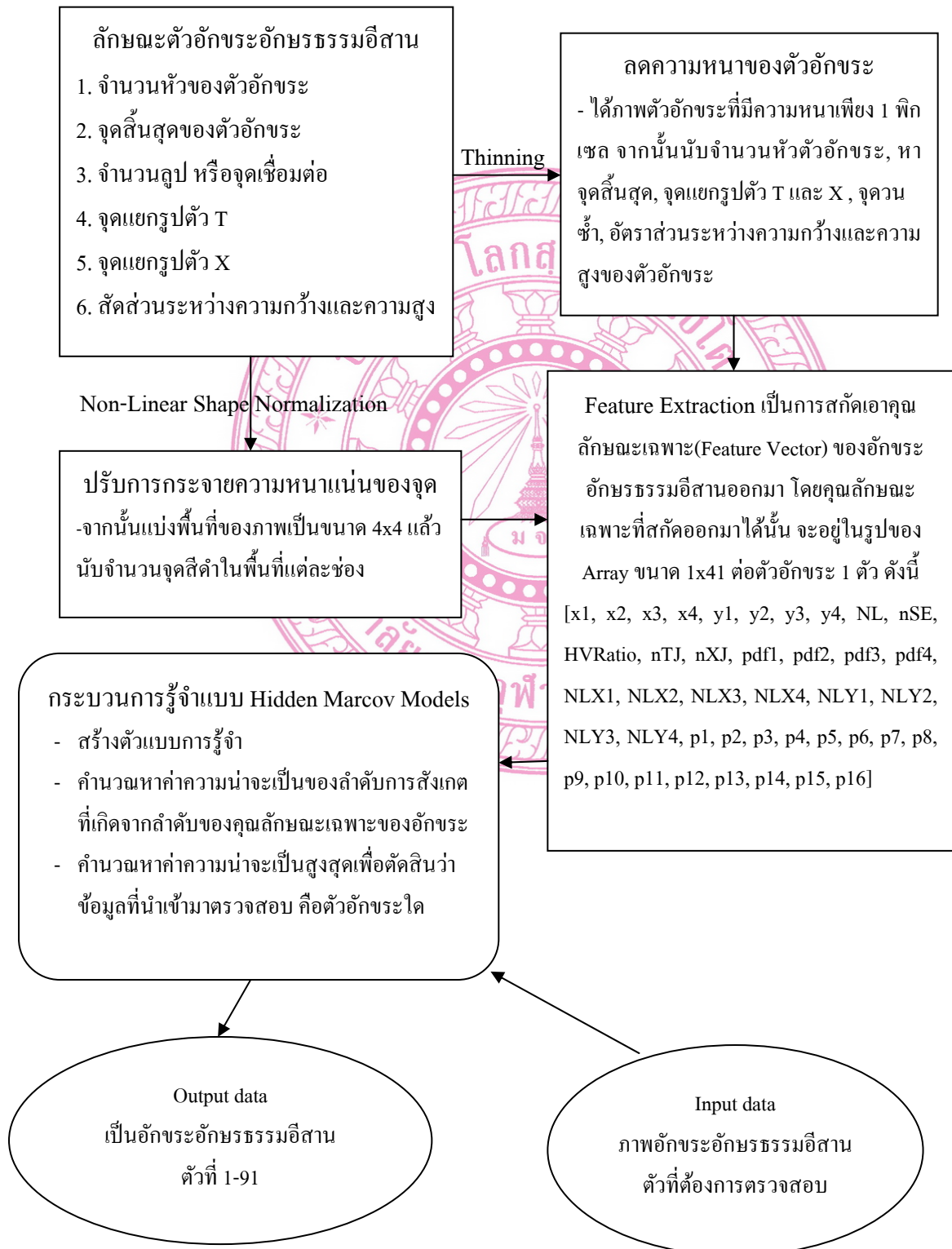


ภาพที่ 2.7 ข จำนวนสถานะที่เหมาะสมของตัวแบบชนิด Left-Right ของตัวอักษรกลุ่มที่ 2

ส่วนการสอนตัวแบบในลักษณะที่ไม่กำหนดจำนวนสถานะที่แน่นอน โดยจะเลือกตัวแบบที่เหมาะสมจากการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากตัวแบบที่มีค่าสูงที่สุดเป็นตัวแบบของอักษรนั้น ผลลัพธ์ของจำนวนสถานะของตัวแบบชนิด Left-Right ที่ถูกเลือกให้เป็นตัวแบบของตัวอักษรกลุ่มที่ 1 แสดงดังภาพที่ 2.7 ก.

2.9 กรอบแนวคิดการทำวิจัย

ในการทำวิจัย ได้วางกรอบแนวคิดการทำวิจัยไว้ดังนี้



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

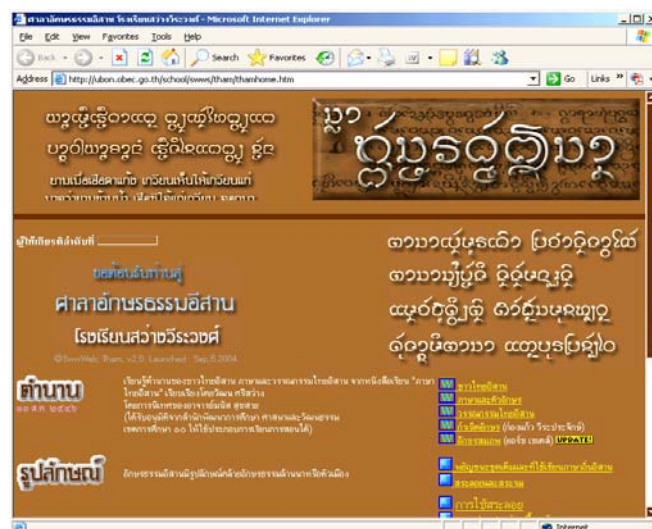
งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงวิธีการเลือกสรรเอาคุณลักษณะเฉพาะของอักขระตัวอักษรธรรมอีสาน ที่คอมพิวเตอร์จะสามารถรู้จำได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟเป็นกลไกหลักในการรู้จำ สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลรูปแบบตัวอักษรธรรมอีสานสำหรับงานพิมพ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้มีผู้เชี่ยวชาญจัดทำสำเร็จไว้แล้ว และสามารถดาวน์โหลดมาใช้งานบนอินเทอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ที่นำมาใช้ในการวิจัย จากนั้นนำแบบตัวอักษรแต่ละแบบมาจัดทำเป็นรูปภาพตัวอักษรเพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการประมวลผลเบื้องต้น กระบวนการเลือกสรรลักษณะเฉพาะของตัวอักขระ รวมไปถึงกระบวนการสร้างตัวแบบสำหรับตัวอักขระ

3.1 ข้อมูลแบบตัวอักษรธรรมอีสานที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลแบบตัวอักษรธรรมอีสานที่ใช้ในการการวิจัยนั้น เป็นแบบตัวอักษรธรรมที่ได้จากโรงเรียนสว่างวีระวงศ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น รวม 6 แบบ โดยแยกข้อมูลออกเป็น 1 ตัวอักษร ต่อ 1 ข้อมูล ซึ่งข้อมูลหนึ่งๆ จะมีลักษณะเป็นภาพใบนารีบีตแมปที่มีขนาด 150x200 pixel และในแบบตัวอักษรหนึ่งแบบจะมี 91 ข้อมูล รวมทั้งสิ้น 546 ข้อมูล

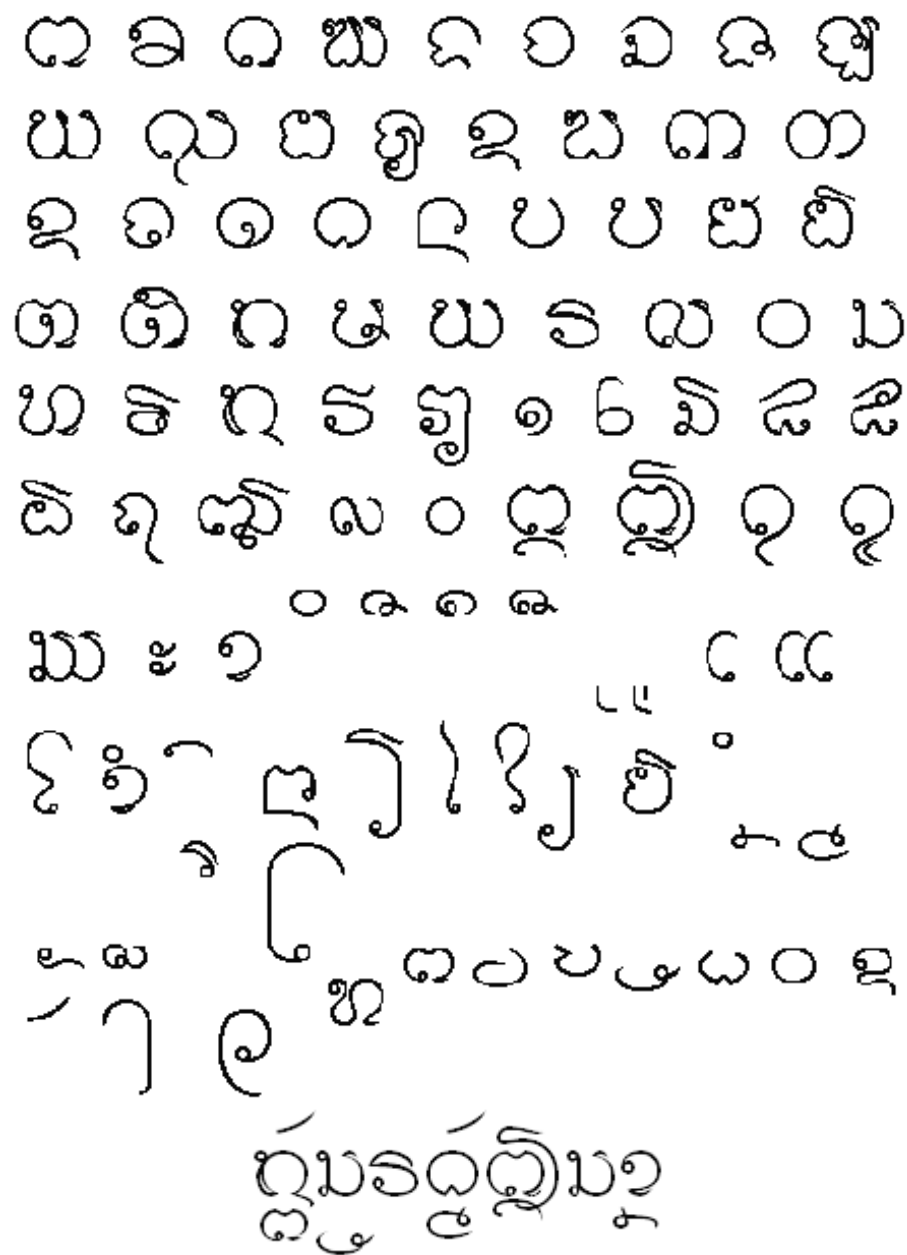
3.1.1 แบบอักษรธรรมจากโรงเรียนสว่างวีระวงศ์

โรงเรียนสว่างวีระวงศ์ ตั้งอยู่ที่ ตำบลสว่าง อำเภอสว่างวีระวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี มุ่งเน้นการเผยแพร่ความรู้ด้านอักษรธรรมอีสาน, อักษรไทน้อย และภาษาลาว ดังตัวอย่างหน้าเว็บในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงตัวอย่างเว็บไซต์โรงเรียนสว่างวีระวงศ์ในส่วนของการเรียนอักษรธรรมอีสาน

(2) แบบอักษร Thamawatra



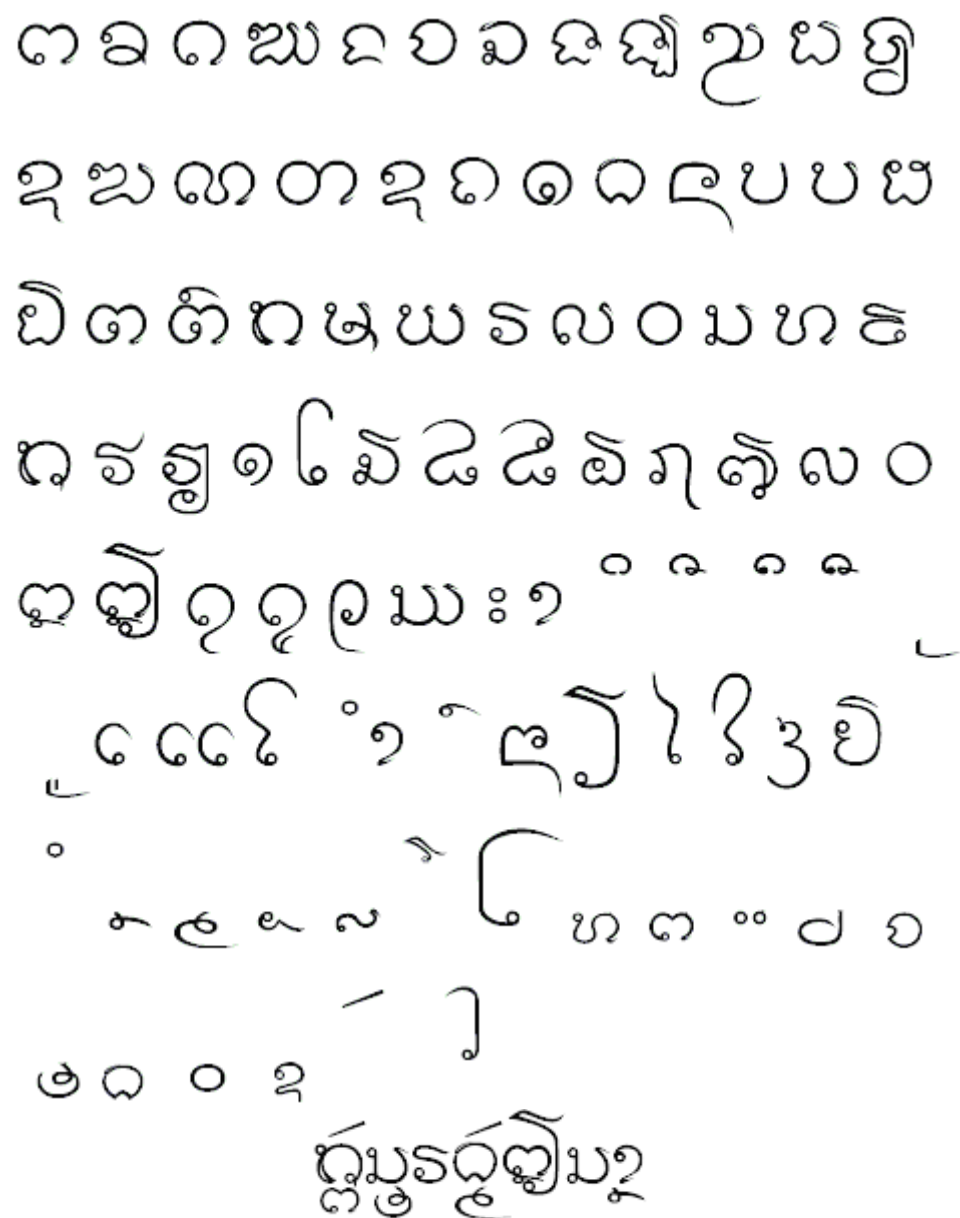
ภาพที่ 3.3 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ Thamawatra

แบบอักษรทั้ง 2 แบบนี้พัฒนาโดย อาจารย์วัฒน์ ศรีสว่าง อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนสว่างวีระวงศ์ สอนวิชาภาษาไทย ภาษาไทยอีสาน และปฏิบัติงานศูนย์วิชาการ มีความสนใจในภาษาโบราณอีสาน ได้พยายามออกแบบตัวอักษร(ดังภาพที่ 3.2 - 3.3) เพื่อเผยแพร่ภาษาโบราณอีสานให้เป็นมรดกของลูกหลานอีสานสืบต่อ

3.1.2 แบบอักษรธรรมจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

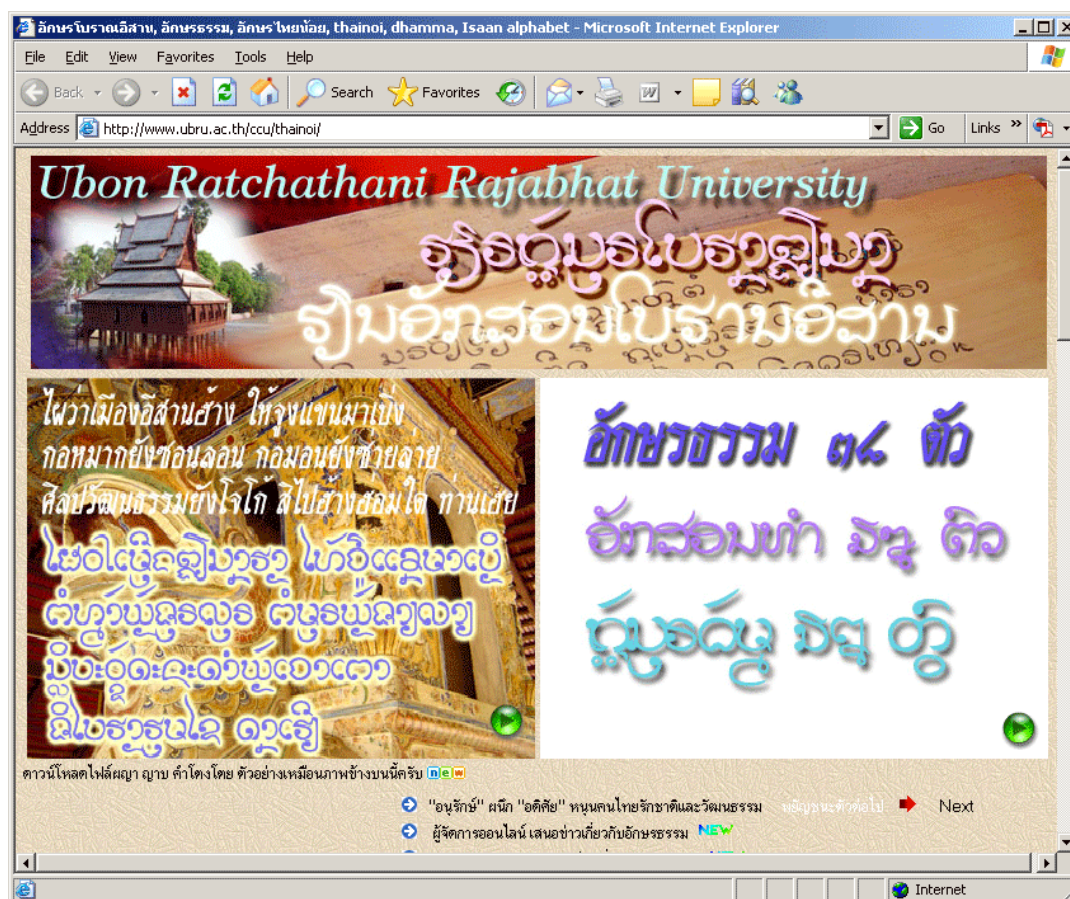
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี มีเว็บไซต์ที่สอนและให้ความรู้เกี่ยวกับอักษรโบราณอีสาน สามารถเข้าถึงได้ที่ <http://www.ubru.ac.th/ccu/thainoi/> ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.6 ซึ่งในเว็บไซต์นี้ก็มีแบบตัวอักษรธรรมอีสานให้ดาวน์โหลดด้วยกัน 2 แบบ คือ

(1) แบบอักษรUbWManut



ภาพที่ 3.4 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ UbWManut

UbWThawat (ดังภาพที่ 3.5) นั้นก็ได้ตั้งชื่อตาม ศ.รวัช ปุณโณทก เพื่อเป็นเกียรติแก่ท่านในฐานะผู้เชี่ยวชาญอักษรโบราณ

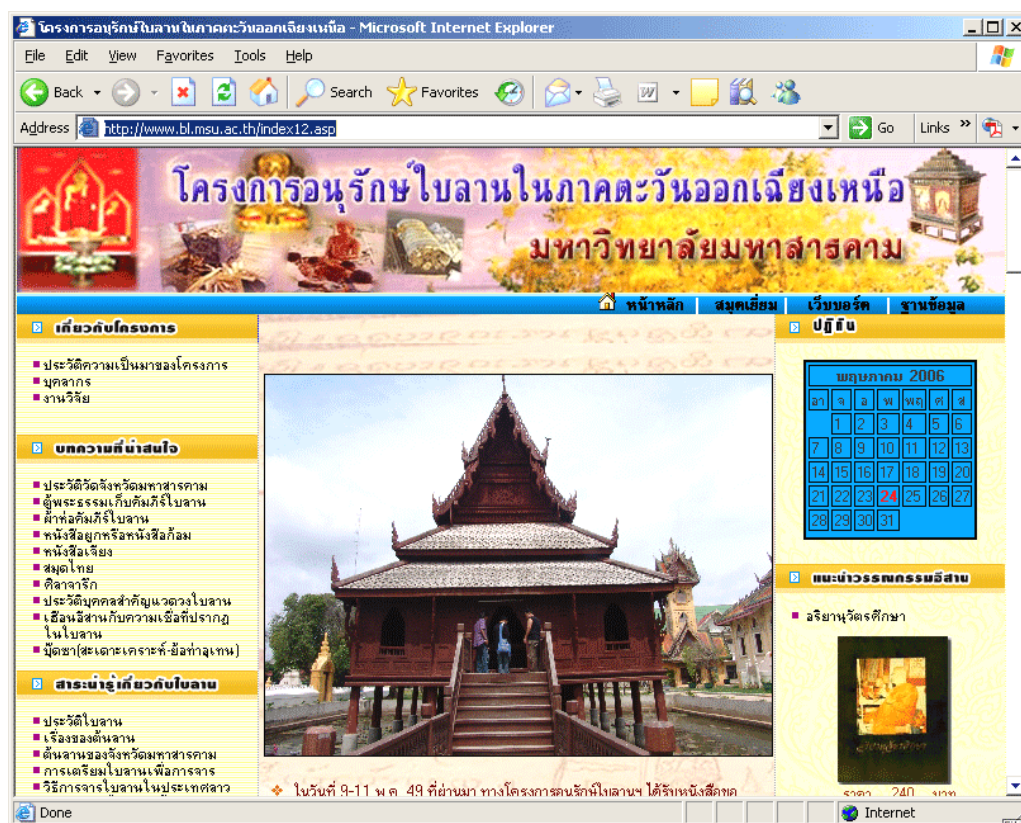


ภาพที่ 3.6 แสดงตัวอย่างเว็บไซต์เรียนอักษรโบราณอีสานของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

3.1.3 แบบอักษรธรรมจากศูนย์อนุรักษ์โบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ศูนย์อนุรักษ์โบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นศูนย์ที่ รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวิช ทองโรจน์ อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคามในขณะนั้น ให้จัดตั้งขึ้น ด้วยเล็งเห็นว่าควรมีการดำเนินการด้านการสำรวจ อนุรักษ์ และพัฒนาด้านเอกสารโบราณอย่างจริงจังก่อนที่จะข้อมูลทั้งหลายที่บันทึกไว้ในเอกสารโบราณจะเสื่อมสูญไปตามกาลเวลา เพราะเอกสารโบราณเป็นเอกสารชั้นต้นที่มีความสำคัญต่อวงวิชาการเป็นอย่างมาก เนื่องจากในอดีต การบันทึกสรรพวิชาการ คติความเชื่อ ขนบธรรมเนียม ประเพณี วิถีชีวิต และการสร้างสรรค์ของผู้คนในท้องถิ่น จะบันทึกไว้ในโบราณโดยใช้ตัวอักษรโบราณที่ใช้ในชุมชนนั้นเขียนบันทึกไว้ ซึ่งบรรดาข้อมูลที่อยู่ในเอกสารโบราณเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงภูมิปัญญา วิถีชีวิตชุมชน ความศรัทธาความเชื่อของชุมชนท้องถิ่นซึ่งมีคุณค่าต่อการศึกษาย่างยิ่ง จึงเห็นว่าการจัดตั้งเป็นโครงการเฉพาะเพื่อดำเนินการด้านนี้อย่างเจาะลึก จึงได้ตั้งคณะกรรมการ โครงการขึ้น เมื่อวันที่ 28

พฤษภาคม 2546 โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิสา เพ็ญ เป็นประธานโครงการ และได้รับความร่วมมือเป็นเบื้องต้นจากอาจารย์ภาควิชาภาษาไทยและภาษาตะวันออก คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็นผู้ร่วมดำเนินงานในเบื้องต้น¹



ภาพที่ 3.7 แสดงตัวอย่างหน้าเว็บโครงการอนุรักษ์เอกสารโบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ในภาพที่ 3.7 แสดงหน้าเว็บของโครงการฯ (<http://www.bl.msu.ac.th/bailan/bailan.html>) ซึ่งเนื้อหาส่วนใหญ่ภายในเว็บจะเป็นการเก็บรวบรวมโบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และได้มีการปริวรรต(แปลจากอักษรธรรมมาเป็นอักษรภาษาไทย)เนื้อหาที่อยู่บนโบราณที่ได้รวบรวมมาไว้ ซึ่งได้แบ่งไว้เป็นหมวดหมู่ เช่น พุทธศาสนา, ลัทธิพิธีกรรม, วรรณกรรมและนิทานพื้นบ้าน, ฃญาสูภายิต, โหราศาสตร์ และยาสมุนไพร นอกจากนี้จะมีส่วนให้ความรู้เกี่ยวกับอักษรธรรม และให้ผู้เข้าชมสามารถดาวน์โหลดแบบอักษรธรรมอีสาน ชื่อว่า Agsorntham.Tang โดยแบบอักษรธรรมอีสานนี้พัฒนาโดย นายสัญญา วุฒิสารนักวิชาการศึกษา ประจำโครงการ ฯ ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.8

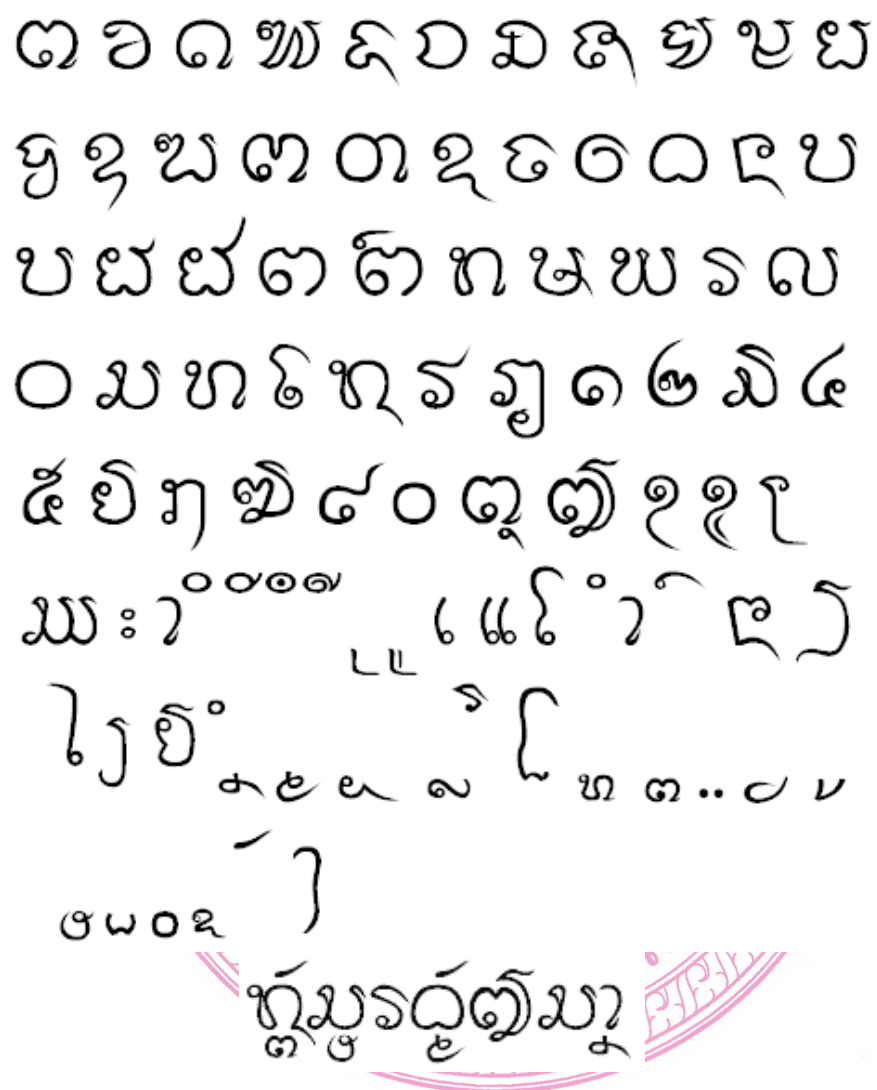
¹ <http://www.bl.msu.ac.th/pag2.asp>



ภาพที่ 3.8 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรมอีสานชื่อ Agsorntham.Tang

3.1.4 แบบอักษรธรรมอีสานที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาเอง

แบบอักษรธรรมอีสานชุดนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมาเมื่อปลายปี พ.ศ. 2546 โดยได้รับคำแนะนำถึงรูปแบบการเขียนจาก พระพุทธิสารมุนี (สุนันท์ สุภาจโร) รองเจ้าคณะจังหวัดขอนแก่น อดีตรองอธิการบดีวิทยาเขตขอนแก่น และเป็นที่ปรึกษาอธิการบดีวิทยาเขตขอนแก่นรูปปัจจุบัน ซึ่งแบบอักษรชุดนี้มีชื่อว่า AksornDharm2 ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.9

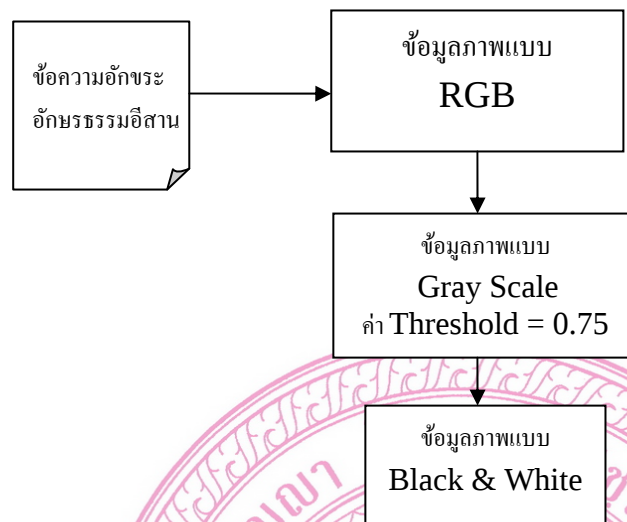


ภาพที่ 3.9 แสดงตัวอย่างแบบอักษรธรรม AksornDharm2

3.2 แปลงข้อมูล

ในกระบวนการประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการรู้จำตัวอักษรต่อไปนั้น ข้อมูลตัวอักษรจะต้องผ่านการแปลงข้อมูลเสียก่อน ซึ่งขั้นตอนการแปลงข้อมูลนั้นจะมีดังนี้ (ดูภาพที่ 3.10 ประกอบ)

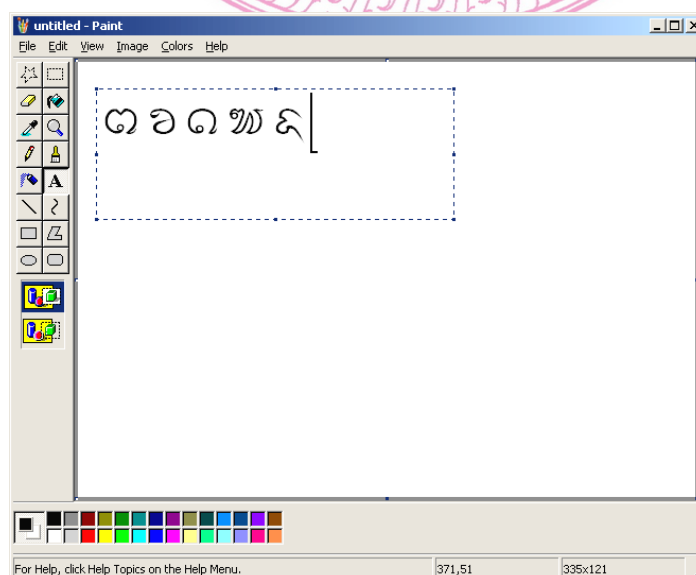
- แปลงข้อมูลข้อความ เป็น ข้อมูลรูปภาพ
- แปลงข้อมูลรูปภาพ RGB เป็น ข้อมูลภาพ Black and White
- เข้าสู่กระบวนการลดความหนาของตัวอักษร



ภาพที่ 3.10 แสดงขั้นตอนการแปลงข้อมูล

3.2.1 แปลงข้อมูล Text เป็นข้อมูล Image

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงกระบวนการรู้จำแบบอักษรธรรมอีสานของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยแบบอักษรธรรมอีสานจะอยู่ในรูปแบบของรูปภาพ แล้วส่งให้คอมพิวเตอร์อ่านและจดจำ ดังนั้น ข้อมูลแบบอักษรต่างๆ ที่รวบรวมมาได้นั้น จะต้องถูกแปลงข้อมูลจากข้อความ(Text) มาเป็นรูปภาพ(Image) โดยวิธีการแปลงนั้นจะใช้โปรแกรม Paint ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวาดภาพ ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.11 พิมพ์อักขระอักษรธรรมอีสานลงไปแล้วทำการบันทึกเป็นแฟ้มข้อมูล Image ที่มีนามสกุลเป็น .bmp

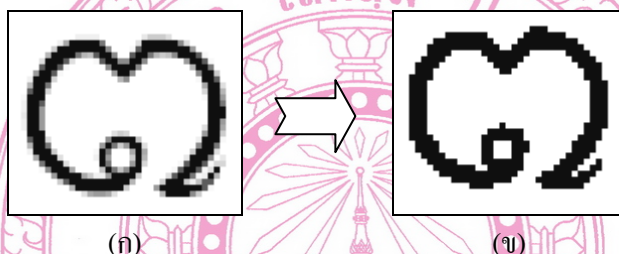


ภาพที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการพิมพ์อักขระด้วยโปรแกรม Paint

ในภาพที่ 3.11 เป็นการพิมพ์ข้อความอักขระของอักษรธรรมอีสาน แล้วบันทึกเป็นแฟ้มรูปภาพ โดยแฟ้มรูปภาพที่ได้นี้จะมีความละเอียดเป็น Gray Scale ที่มีความละเอียดของสีเป็น 256 ระดับ ซึ่งถ้าหากจะนำไปเข้าสู่กระบวนการลดความหนาของตัวอักษรต้องเปลี่ยนเป็นแฟ้มรูปภาพแบบ ขาวและดำ (Black and White) ดังนั้น เมื่อแปลงข้อมูลข้อความเป็นข้อมูลรูปภาพเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะนำเอาข้อมูลรูปภาพเหล่านั้นแปลงไปเป็นข้อมูลภาพขาวและดำ

3.2.2 แปลงข้อมูลรูปภาพเป็นภาพขาวดำ

เมื่อได้ข้อมูลรูปภาพอักขระอักษรธรรมอีสานแล้ว ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการลดความหนาของตัวอักษร จะต้องแปลงข้อมูลรูปภาพให้เป็นข้อมูลภาพแบบขาวดำเสียก่อนด้วยโปรแกรม MatLab² โดยกำหนดค่า Threshold เท่ากับ 0.75 จะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 3.11



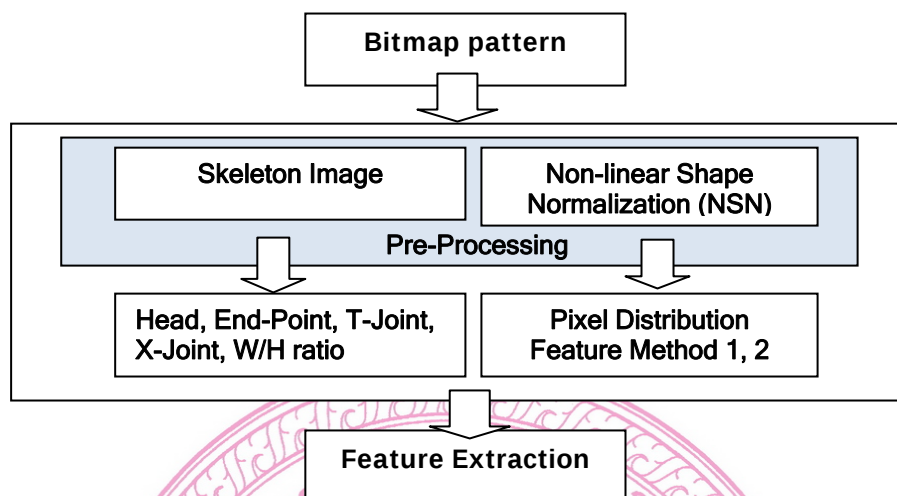
ภาพที่ 3.12 แสดงภาพอักขระอักษรธรรมอีสาน (ก) ก่อนแปลง และ (ข) หลังแปลง

จากภาพที่ 3.12 จะเห็นความแตกต่างระหว่างข้อมูลภาพอักขระอักษรธรรมอีสานแบบ Gray Scale (ภาพ ก) และภาพอักขระอักษรธรรมอีสานแบบ Black & White (ภาพ ข) ซึ่งขอบของภาพนั้นจะมีความชัดเจนต่างกัน จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลภาพนั้นเป็น Bitmap ที่ความละเอียด 16 bit เพื่อเข้าสู่กระบวนการลดความหนาของตัวอักษรต่อไป

3.3 การประมวลผลเบื้องต้น (Pre-processing)

ก่อนที่จะทำการสกัดลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) ของตัวอักขระอักษรธรรมอีสาน แต่ละตัว จะต้องนำตัวอักษรธรรมอีสานมาผ่านกระบวนการประมวลผลเบื้องต้นก่อน เพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมกับกระบวนการในการสกัดลักษณะเฉพาะ ซึ่งมี 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่ต้องทำการลดความหนาของเส้น และกลุ่มที่ต้องผ่านการปรับมาตรฐานรูปร่างแบบไม่เชิงเส้นโดยวิธีปรับการกระจายความหนาแน่นของจุด (ดูภาพที่ 3.13) ซึ่งการประมวลผลเบื้องต้น มีดังนี้

1 <http://www.mathworks.com/>



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนกระบวนการเตรียมข้อมูล

3.3.1 การลดความหนาของตัวอักษร

การลดความหนาของตัวอักษรอักษรธรรมอีสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนามาจากการใช้กฎและตัวแบบเปรียบเทียบ (Template) โดยอาศัยเทคนิคการค้นหาขอบภาพ (Edge detection) เพื่อค้นหาและกำจัดจุดที่ไม่ต้องการออกไป ดังนี้

(1) กฎการตรวจหาขอบภาพ (Edge detection rules)

ในการตรวจหาขอบภาพ จะใช้กฎทั้งหมด 14 กฎ โดยกฎที่ 1-8 จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.14 ใช้ในการตรวจหาขอบของภาพ และกฎที่ 9-14 จะมีลักษณะดังภาพที่ 3.15 ใช้ในการกำจัดส่วนเกินที่ไม่ต้องการที่ระบุไว้ตามข้อกำหนด ในการประมวลผลจะใช้ภาพในการพิจารณา 2 ชุด นั่นคือภาพต้นฉบับ (Original image) และภาพที่กำลังประมวลผล (Current image) ซึ่งภาพที่กำลังประมวลผลจะเป็นภาพที่มีการอัปเดตเมื่อส่วนของ neighborhood สามารถเปรียบเทียบได้ตรงกับกฎในแต่ละรอบของการพิจารณา โดยจุดแต่ละจุดที่ตรงกับกฎจะเป็นจุดที่เป็นขอบของอักขระ (Edge Point) หรือเป็นจุดที่ถูกพิจารณาว่าเป็นส่วนเกินซึ่งจะต้องถูกกำจัดออกไป

0	0	X
0	1	1
X	1	X

กฎที่ 1

X	0	0
1	1	0
X	1	X

กฎที่ 2

X	1	X
1	1	0
X	0	0

กฎที่ 3

X	1	X
0	1	1
0	0	X

กฎที่ 4

0	0	0
X	1	X
1	1	X

กฎที่ 5

1	X	0
1	1	0
X	X	0

กฎที่ 6

X	1	1
X	1	X
0	0	0

กฎที่ 7

0	X	X
0	1	1
0	X	1

กฎที่ 8

ภาพที่ 3.14 แสดงกฎการตรวจหาขอบภาพ

ในแต่ละกฎจะมีข้อมูลอยู่ 4 ชนิด คือ

‘0’ หมายถึงจุดที่เป็นสีขาว

‘1’ หมายถึงจุดที่เป็นสีดำ

‘X’ หมายถึงจุดที่เป็นสีขาวหรือสีดำ (Don’t care)

‘E’ หมายถึงจุดที่ถูกพิจารณาว่าเป็นขอบภาพ (Edge Point) และเป็นจุดที่จะต้องถูกลบออกในรอบถัดไป

1	1	E
E	1	0
0	0	0

กฎที่ 9

1	1	E
E	1	E
0	0	0

กฎที่ 10

E	E	0
1	1	0
1	E	0

กฎที่ 11

1	1	0
E	1	0
0	0	0

กฎที่ 12

0	E	1
0	1	E
0	0	0

กฎที่ 13

0	E	1
0	1	1
0	0	0

กฎที่ 14

ภาพที่ 3.15 แสดงกฎการจัดส่วนเกิน

(2) ขั้นตอนวิธีการประมวลผล

การประมวลผลจะกระทำเป็นรอบ (Iteration) โดยแต่ละรอบจะทำการเปรียบเทียบ neighborhood ของจุดที่เป็น สีดำกับกฎ 14 กฎ โดยกระทำกับทุก ๆ จุดของภาพ จากนั้นจึงจะทำการลบ

ขอบภาพเฉพาะเมื่อประมวลผลที่รอบคู่เท่านั้น จนกระทั่งไม่มี neighborhood ของจุดใดตรงกับกฎทั้งหมดที่กำหนดได้ไว้ ซึ่งมีกระบวนการในการประมวลผลดังนี้

Algorithms EdgeDetection (BinaryImage)

Input : An $m \times n$ element array of binary image

Output : An $m \times n$ element array of skeletons image

```

for all black pixels
  if neighborhood is according to 14 rules
  then mark pixel is 'E' (edge)
  end
  if loop mod 2 = 0 then
    for all 'E' pixel
      remove 'E' pixel
    end
  end
end
return BinaryImage
  
```

(3) คำอธิบายกฎ

พิจารณาภาพที่ 3.16 ซึ่งใช้เป็นทิศทางและหลักการในการกำหนดกฎการตรวจหาขอบภาพ โดยที่ทุกกฎจะพิจารณาว่าจุดที่เป็นขอบภาพจะต้องไม่ใช่ส่วนที่มีความหนาเพียง 1 จุด จากนั้นจึงพิจารณาทิศทางในการตรวจหาขอบดังนี้

กฎที่ 1 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ 135 องศา ดังภาพที่ 3.17 (ก)

กฎที่ 2 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ตำแหน่งทิศทาง 45 องศา ดังภาพที่ 3.17 (ข)

กฎที่ 3 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ตำแหน่งทิศทาง 315 องศา ดังภาพที่ 3.17 (ค)

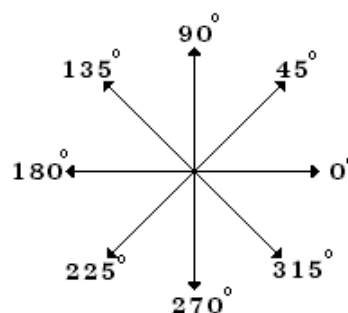
กฎที่ 4 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ตำแหน่งทิศทาง 225 องศา ดังภาพที่ 3.17 (ง)

กฎที่ 5 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ตำแหน่งทิศทาง 90 องศา ดังภาพที่ 3.17 (จ)

กฎที่ 6 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ตำแหน่งทิศทาง 0 องศา ดังภาพที่ 3.17 (ฉ)

กฎที่ 7 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ตำแหน่งทิศทาง 270 องศา ดังภาพที่ 3.17 (ซ)

กฎที่ 8 ใช้ในการตรวจหาขอบที่ตำแหน่งทิศทาง 180 องศา ดังภาพที่ 3.17 (ช)



ภาพที่ 3.16 แสดงทิศทางของการพิจารณากำหนดกฎ

โดยในภาพที่ 3.17 และภาพที่ใช้แสดงผลจากการใช้กฎอื่นๆ จะแสดงตัวอย่างในลักษณะของภาพ Gray Scale ทั้งนี้ เนื่องจากต้องการแสดงให้เห็นว่ากฎแต่ละกฎมีผลกับภาพต้นฉบับอย่างไร เพราะถ้าใช้ลักษณะของ Binary image จะไม่สามารถสังเกตได้เนื่องจากส่วนที่ตรงกับกฎจะกลายเป็นจุดสีขาว



ภาพที่ 3.17 ผลลัพธ์จากการตรวจสอบภาพ

นอกจากนี้ ยังมีกฎที่ใช้ในการกำจัดส่วนเกินในบริเวณที่กฎการตรวจหาขอบไม่สามารถตรวจหาได้ ซึ่งจะต้องถูกใช้หลังจากใช้กฎการตรวจหาขอบแล้วเท่านั้น โดยกฎการกำจัดส่วนเกินมีทั้งหมด 6 กฎดังภาพที่ 3.18 แต่ละกฎจะใช้ในการกำจัดจุดที่จะทำให้เกิดส่วนเกินในทิศทางดังนี้

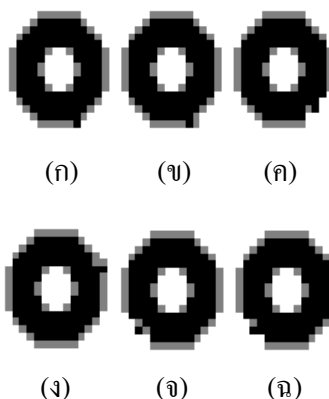
กฎที่ 9, 10 และ 11 ใช้กำจัดจุดที่ทำให้เกิดเส้นส่วนเกินที่ตำแหน่งทิศทาง 270 องศา ดังภาพที่ 3.18 (ก-ค)

กฎที่ 12 ใช้กำจัดจุดที่จะทำให้เกิดเส้นส่วนเกินที่ตำแหน่งทิศทาง 0 องศา ดังภาพที่ 3.18 (ง)

กฎที่ 13 ใช้กำจัดจุดที่จะทำให้เกิดเส้นส่วนเกินที่ตำแหน่งทิศทาง 225 องศา ดังภาพที่ 3.18 (จ)

กฎที่ 14 ใช้กำจัดจุดที่จะทำให้เกิดเส้นส่วนเกินที่ตำแหน่งทิศทาง 180 องศา ดังภาพที่ 3.18 (ฉ)

กฎที่ 9, 10 และ 11 เป็นบริเวณจุดที่จะทำให้เกิดส่วนเกินซึ่งอยู่ระหว่างจุดที่ถูกกำหนดว่าเป็นขอบ และกฎที่ 12, 13 และ 14 เป็นบริเวณจุดที่จะทำให้เกิดส่วนเกินซึ่งอยู่ระหว่างจุดที่ถูกกำหนดว่าเป็นขอบกับพื้นหลังของภาพ



ภาพที่ 3.18 แสดงส่วนเกินที่ต้องถูกกำจัด

ในขั้นตอนการลดความหนาของตัวอักษรโดยใช้กฎนี้ มีจุดเด่นของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ คือ

- ผลลัพธ์เป็นเส้นที่ต่อเนื่องกันและอยู่กึ่งกลางเส้นของอักขระ โดยมีความหนาของเส้นเท่ากับ 1 จุด เท่านั้น
- สามารถกำจัดส่วนเกินและเส้นที่ไม่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- สามารถคงสัดส่วนโครงสร้างเดิมของอักขระตัวเขียนไว้ได้ ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 แสดงภาพต้นฉบับ(ก) และผลลัพธ์ที่ได้ (ข)

เมื่อผ่านกระบวนการลดความหนา

(4) ผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรมอีสาน

4.1) แบบอักษรธรรมจากโรงเรียนสว่างวีระวงศ์

กลุ่มตัวอย่างแรกที่ได้นำศึกษาวิจัยนี้ได้แก่ แบบอักษรธรรมจากโรงเรียนสว่างวีระวงศ์ ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบอักษร Tham2004 กับ Thamawatra ซึ่งผลที่ได้จากการนำเข้าสู่กระบวนการลดความหนา สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.20 และภาพที่ 3.21



(ก) ก่อนลดความหนา

(ข) หลังจากลดความหนา

ภาพที่ 3.20 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม Tham2004



(ก) ก่อนลดความหนา

(ข) หลังจากลดความหนา

ภาพที่ 3.21 แสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม Thamawatra

4.2) แบบอักษรธรรมจากเว็บเรียนอักษรโบราณอีสานของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

กลุ่มตัวอย่างชุดที่สองนี้ เป็นแบบอักษรธรรมจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ซึ่งมี 2 แบบ เช่นเดียวกันคือ แบบอักษร UbWManut กับ UbWThawat และผลที่ได้จากการนำเข้าสู่กระบวนการลดความหนาสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.22 และภาพที่ 3.23



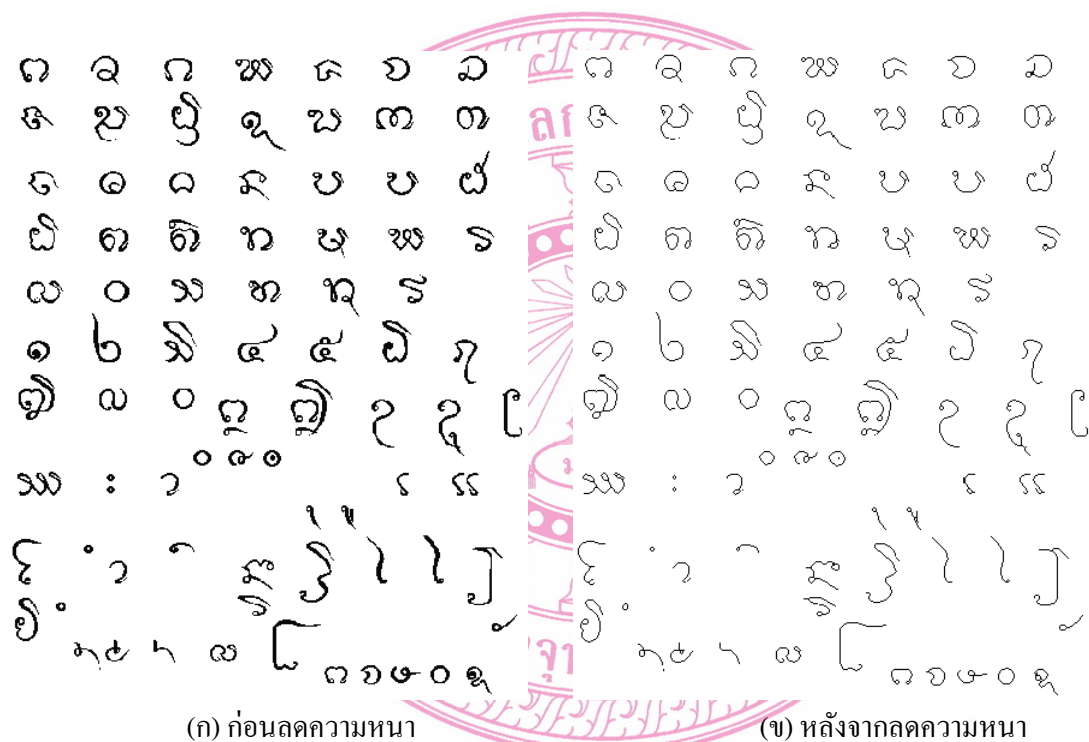
ภาพที่ 3.22 แสดงแสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม UbWManut



ภาพที่ 3.23 แสดงแสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม UbWThawat

4.3) แบบอักษรธรรมจากโครงการอนุรักษ์โบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กลุ่มตัวอย่างชุดที่สองนี้ เป็นแบบอักษรธรรมจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม มี 1 แบบ คือ แบบอักษร Agsorntham.Tang และผลที่ได้จากการนำเข้าสู่กระบวนการลดความหนาสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 แสดงแสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม Agsorntham.Tang

4.3) แบบอักษรธรรมจากมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น

กลุ่มตัวอย่างชุดที่สองนี้ เป็นแบบอักษรธรรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาเอง ฉะนั้น จึงขอกล่าวว่า เป็นแบบอักษรธรรมจากมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น มี 1 แบบ คือ แบบอักษร AksornDharm2 และผลที่ได้จากการนำเข้าสู่กระบวนการลดความหนาสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.25



ภาพที่ 3.25 แสดงแสดงผลการลดความหนาของอักขระแบบอักษรธรรม AksornDharm2

3.3.2 การปรับมาตรฐานรูปร่างแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Shape Normalization : NSN)

ในกระบวนการเตรียมข้อมูลกลุ่มที่สองนี้ เป็นวิธีที่ใช้ในการปรับมาตรฐานของขนาดภาพ โดยจะใช้ลักษณะเด่นที่เป็น Pixel Distribution Features หากไม่มีกระบวนการในการเตรียมข้อมูลที่ดีแล้วจะทำให้ข้อมูลลักษณะเด่นของภาพที่ได้ในแต่ละโซนไม่มีคุณภาพ ซึ่งจะส่งผลกับประสิทธิภาพของการรู้จำด้วย ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะใช้เทคนิคของการปรับการกระจายความหนาแน่นของจุด (Dot density equalization) (Lee et al., 1993) โดยขั้นตอนดังนี้

(1) **Feature Projection** : กำหนดให้ $f(i, j)$ เป็นภาพไบนารีบิตแมป ที่ $i = 1, 2, \dots, I$ และ $j = 1, 2, \dots, J$ โดย $H(i)$ และ $V(j)$ เป็น Projection ของจุดสีดำในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ

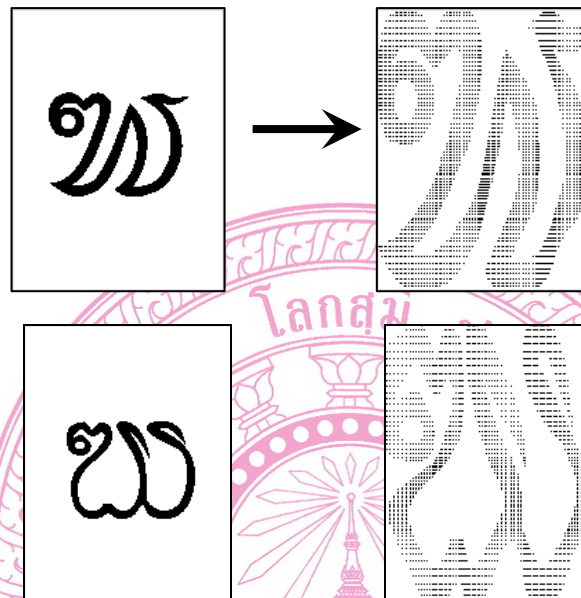
$$H(i) = \sum_{j'=1}^J f(i', j) \quad (12)$$

$$V(j) = \sum_{i'=1}^I f(i, j') \quad (13)$$

(2) **Feature density equalization** กำหนดให้ $G(m, n)$ เป็นภาพที่ถูกปรับขนาดแล้ว ที่ $m = 1, 2, \dots, M$ และ $n = 1, 2, \dots, N$ โดย m และ n เป็นตำแหน่งทางแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างในการปรับขนาดแสดงดังภาพที่ 3.26

$$m = \left\lceil \sum_{k=1}^i H(k) \times \frac{M}{\sum_{k=1}^I H(k)} \right\rceil \quad (14)$$

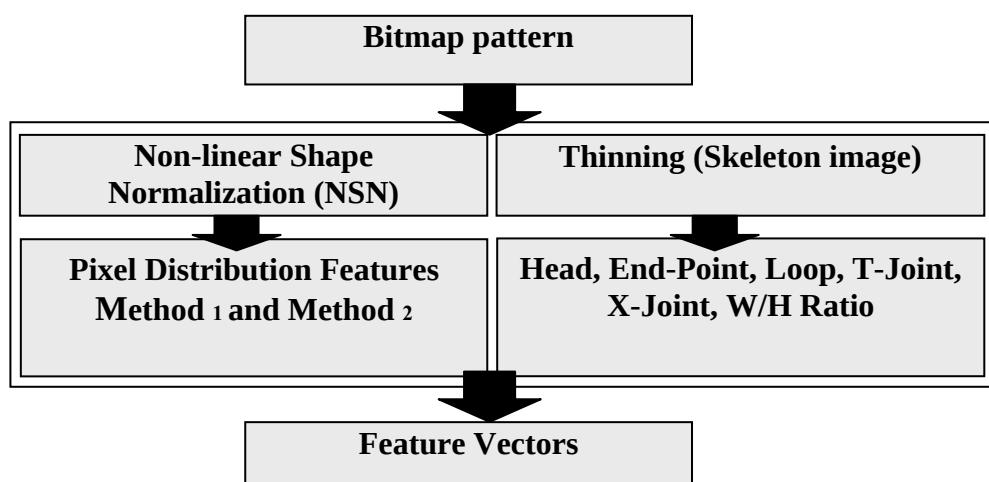
$$n = \left\lceil \sum_{l=1}^j V(l) \times \frac{N}{\sum_{l=1}^J V(l)} \right\rceil \quad (15)$$



ภาพที่ 3.26 ตัวอย่างการปรับการกระจายความหนาแน่นของจุดของอักขระ ‘จ’

3.4 การสกัดลักษณะเฉพาะของอักขรธรรมอีสาน

การสกัดเอาลักษณะเฉพาะของแต่ละอักขระอินพุตออกมาเป็นเวกเตอร์เพื่อนำไปใช้เป็นอินพุตในการฝึกฝนและทดสอบระบบมีเทคนิคและขั้นตอนในการสกัดลักษณะเฉพาะดังภาพที่ 3.26 โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่ใช้วิธีการปรับการกระจายความหนาแน่นของจุดและส่วนที่ต้องทำการลดความหนาของเส้น

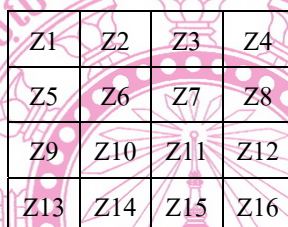


ภาพที่ 3.26 ขั้นตอนการสกัดลักษณะเฉพาะ

ส่วนที่ 1 เป็นการสกัดลักษณะเฉพาะที่ใช้กับข้อมูลที่ผ่านการปรับมาตรฐานรูปร่างแบบไม่เชิงเส้น โดยวิธีปรับการกระจายความหนาแน่นของจุด ซึ่งประกอบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

3.4.1 Pixel Distribution Features วิธีที่ 1 โดยการแบ่งพื้นที่ของตัวอักษรออกเป็น 4×4 ส่วนเท่าๆ กันดังภาพที่ 3.27 แล้วหาจำนวนของจุดที่เป็นสีดำจากพื้นที่ย่อยนั้น ๆ และคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } z(n) &= \text{จำนวน black pixel ที่โซน } Z_n \\ fz(n) &= \text{Pixel Distribution Features ที่โซน } Z_n \\ &= z(n)/z_{\max} \\ z_{\max} &= \max[z(1), \dots, z(16)] \end{aligned}$$



Z1	Z2	Z3	Z4
Z5	Z6	Z7	Z8
Z9	Z10	Z11	Z12
Z13	Z14	Z15	Z16

ภาพที่ 3.27 การแบ่งโซนของภาพ

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่า $fz(n)$ เมื่อนำมาแบ่งส่วนค่าของผลลัพธ์ออกเป็น 40 ค่า และทำการกำหนดค่าลักษณะเฉพาะในแต่ละส่วนจะได้ดังนี้

```

if fz(n) <= 0.025 feature = 32;
else if fz(n) <= 0.05 feature = 33;
else if fz(n) <= 0.075 feature = 34;
else if fz(n) <= 0.1 feature = 35;
else if fz(n) <= 0.125 feature = 36;
else if fz(n) <= 0.15 feature = 37;
else if fz(n) <= 0.175 feature = 38;
else if fz(n) <= 0.2 feature = 39;
else if fz(n) <= 0.225 feature = 40;
else if fz(n) <= 0.25 feature = 41;
else if fz(n) <= 0.275 feature = 42;
else if fz(n) <= 0.3 feature = 43;
else if fz(n) <= 0.325 feature = 44;
else if fz(n) <= 0.35 feature = 45;

```

```

else if fz(n)<=0.375 feature=46;
else if fz(n)<=0.4 feature=47;
else if fz(n)<=0.425 feature=48;
else if fz(n)<=0.45 feature=49;
else if fz(n)<=0.475 feature=50;
else if fz(n)<=0.5 feature=51;
else if fz(n)<=0.525 feature=52;
else if fz(n)<=0.55 feature=53;
else if fz(n)<=0.575 feature=54;
else if fz(n)<=0.6 feature=55;
else if fz(n)<=0.625 feature=56;
else if fz(n)<=0.65 feature=57;
else if fz(n)<=0.675 feature=58;
else if fz(n)<=0.7 feature=59;
else if fz(n)<=0.725 feature=60;
else if fz(n)<=0.75 feature=61;
else if fz(n)<=0.775 feature=62;
else if fz(n)<=0.8 feature=63;
else if fz(n)<=0.825 feature=64;
else if fz(n)<=0.85 feature=65;
else if fz(n)<=0.875 feature=66;
else if fz(n)<=0.9 feature=67;
else if fz(n)<=0.925 feature=68;
else if fz(n)<=0.95 feature=69;
else if fz(n)<=0.975 feature=70;
else feature=71; end

```

3.4.2 Pixel Distribution Features วิธีที่ 2

กำหนดให้ $z(n)$ = จำนวน black pixel ที่โซน Zn

$$f1' = z(1) + z(2) + z(5) + z(6)$$

$$f2' = z(3) + z(4) + z(7) + z(8)$$

$$f3' = z(9) + z(10) + z(13) + z(14)$$

$$f4' = z(11) + z(12) + z(15) + z(16)$$

$f_{\max} = \max(f_1', f_2', f_3', f_4')$

$f_1 = f_1'/f_{\max}, f_2 = f_2'/f_{\max}$

$f_3 = f_3'/f_{\max}, f_4 = f_4'/f_{\max}$

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณได้ทำการกำหนดค่าลักษณะเฉพาะดังนี้

if $f_n \leq 0.25$ then $feature = 26$;

else if $f_n \leq 0.5$ then $feature = 27$;

else if $f_n \leq 0.75$ then $feature = 28$;

else $feature = 29$;

end

ส่วนที่ 2 คือ การสกัดลักษณะเฉพาะที่ใช้กับข้อมูลที่ผ่านการลดความหนาของเส้นเพื่อให้มีความหนาเพียง 1 จุดแล้ว ประกอบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

3.4.3 หัวของอักขระ คือ ส่วนที่มีลักษณะเป็นรูปปิด ซึ่งพิจารณาจากจำนวนของหัวอักขระที่ทำการตรวจ สอบได้โดยการประมวลผลในลักษณะการเดินท่องตามเส้นของอักขระ (Line-Tracking) โดยในขั้นตอนแรกจะต้องทำการค้นหาจุดเริ่มต้นซึ่งเป็นจุดที่เป็นสีดำ (โดยไม่จำเป็นต้องเป็นจุดที่ผู้เขียนเริ่มเขียนจริง) จากนั้นจึงทำการเดินทางไปยังจุดต่อไปซึ่งเป็นจุดสีดำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเจอทางแยกหรือหมดความยาวของเส้นของอักขระ เมื่อเจอทางแยกให้เก็บตำแหน่งต่าง ๆ ของทางแยกเอาไว้เพื่อตรวจสอบว่าเป็นจุดร่วมของหัวอักขระหรือไม่และใช้เป็นเส้นทางในการเดินทางต่อไป และถ้าการเดินทางจากจุดใดจุดหนึ่งหรือจุดที่เป็นทางแยกมาบรรจบกับจุดที่ได้เก็บค่าไว้นั้นหมายความว่า ณ จุดนั้นสามารถพิจารณาว่าเป็นรูปปิดหรือหัวของอักขระได้ ดังกระบวนการดังต่อไปนี้

Algorithms CharacterHeadDetection (BinaryImage)

Input : An $m \times n$ element array of binary image

Output : Number of character head

for all pixels

if pixel = black pixel **then** startPoint = position(pixel); break; **end**

end

for all black pixels

countPath = countBlackPixel(neighbor(startPoint))

keepPath = getAllBlackPosition(neighbor(startPoint))

if countPath != 0 **then** nextPoint = getPath(keepPath) **end**

if checkIdentical(nextPoint, keepPath) **then** numHead = numHead+1 **end**

startPoint = nextPoint

end

return numHead

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาจำนวนหัวของอักขระได้ทำการกำหนดค่าลักษณะเฉพาะ

ดังนี้

```
if numHead = 0 then feature = 6;
else if numHead = 1 then feature = 7;
else if numHead = 2 then feature = 8;
else feature = 9;
end
```

3.4.4 หัวอักขระในตำแหน่งโซนของอักขระ โดยพิจารณาว่าอยู่ในตำแหน่งใดในกลุ่มโซนต่าง ๆ

ดังภาพที่

3.27 ดังนี้

[Z1,Z2,Z3,Z4], [Z5,Z6,Z7,Z8], [Z9,Z10,Z11,Z12], [Z13,Z14,Z15,Z16],
[Z1,Z5,Z9,Z13], [Z2,Z6,Z10,Z14], [Z3,Z7,Z11,Z15], [Z4,Z8,Z12,Z16]

และจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาหัวอักขระในตำแหน่งโซนต่าง ๆ ได้ทำการกำหนดค่า

ลักษณะเฉพาะดังนี้

```
if head-Position = 0 then feature = 30;
else feature = 31;
end
```

3.4.5 T-Joints พิจารณาจาก 3x3 neighborhoods ดังภาพที่ 3.28 โดย T-Joint คือจุดที่มี neighbor เป็นสีดำจำนวน 3 จุด [11] ซึ่งจะพิจารณาจาก $\text{sum}(p[0], p[1], p[2], p[3], p[4], p[5], p[6], p[7]) = 3$ เมื่อ $p = 1$

$$T\text{-Joints} = \begin{cases} 0 & ; 0 \text{ T-Joints} \\ 1 & ; 1 \text{ T-Joints} \\ 2 & ; 2 \text{ T-Joints} \\ 3 & ; \geq 3 \text{ T-Joints} \end{cases}$$

p[3]	p[2]	p[1]
p[4]	p	p[0]
p[5]	p[6]	p[7]

ภาพที่ 3.28 3x3 neighborhoods

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาจำนวนของ T-Joints ได้ทำการกำหนดค่าลักษณะเฉพาะ
ดังนี้

```
if  $T\text{-Joints} = 0$  then  $feature = 18$ ;
else if  $T\text{-Joints} = 1$  then  $feature = 19$ ;
else if  $T\text{-Joints} = 2$  then  $feature = 20$ ;
else  $feature = 21$ ;
end
```

3.4.6 X-Joints โดยพิจารณาจาก 3x3 neighborhoods ดังภาพที่ 3.28 โดย X-Joint คือจุดที่มี neighbor เป็นสีดำจำนวน 4 จุด [11] ซึ่งจะพิจารณาจาก $\text{sum}(p[0], p[1], p[2], p[3], p[4], p[5], p[6], p[7]) = 4$ เมื่อ $p = 1$

$$X\text{-Joints} = \begin{cases} 0 & ; 0 \text{ X-Joints} \\ 1 & ; 1 \text{ X-Joints} \\ 2 & ; 2 \text{ X-Joints} \\ 3 & ; \geq 3 \text{ X-Joints} \end{cases}$$

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาจำนวนของ X-Joints ได้ทำการกำหนดค่าลักษณะเฉพาะ
ดังนี้

```
if  $X\text{-Joints} = 0$  then  $feature = 22$ ;
else if  $X\text{-Joints} = 1$  then  $feature = 23$ ;
else if  $X\text{-Joints} = 2$  then  $feature = 24$ ;
else  $feature = 25$ ;
end
```

3.4.7 End-Points พิจารณาจาก 3x3 neighborhoods ดังภาพที่ 3.28 โดย End-Point คือจุดที่มี neighbor เป็นสีดำจำนวน 1 จุด ซึ่งจะพิจารณาจาก $\text{sum}(p[0], p[1], p[2], p[3], p[4], p[5], p[6], p[7]) = 1$ เมื่อ $p = 1$

$$\text{End-Points} = \begin{cases} 0 & ; 0 \text{ End-Points} \\ 1 & ; 1 \text{ End-Points} \\ 2 & ; 2 \text{ End-Points} \\ 3 & ; 3 \text{ End-Points} \\ 4 & ; \geq 4 \text{ End-Points} \end{cases}$$

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาจำนวนของ End-Points ได้ทำการกำหนดค่า
ลักษณะเฉพาะดังนี้

```

if End-Points = 0 then feature = 10;
else if End-Points = 1 then feature = 11;
else if End-Points = 2 then feature = 12;
else if End-Points = 3 then feature = 13;
else feature = 14;
end

```

3.4.8 ตำแหน่งของ End-Points โดยพิจารณาว่าอยู่ในตำแหน่งใดในกลุ่มโซนต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.27 ดังนี้

[Z1,Z2,Z3,Z4], [Z5,Z6,Z7,Z8], [Z9,Z10,Z11,Z12], [Z13,Z14,Z15,Z16],
 [Z1,Z5,Z9,Z13], [Z2,Z6,Z10,Z14], [Z3,Z7,Z11,Z15], [Z4,Z8,Z12,Z16]

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจหาตำแหน่งของ End-Points ได้ทำการกำหนดค่าลักษณะเฉพาะดังนี้

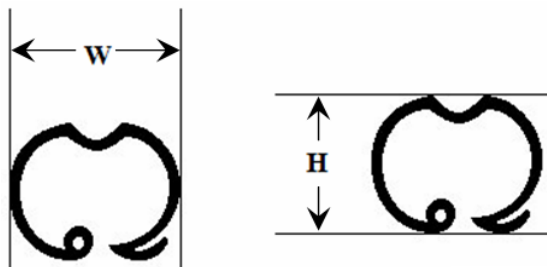
```

if End-Points-Position = 1 then feature = 1;
else if End-Points-Position = 2 then feature = 2;
else if End-Points-Position = 3 then feature = 3;
else if End-Points-Position = 4 then feature = 4;
else feature = 5;
end

```

3.4.9 สัดส่วนระหว่างความยาว (Width : W) และความสูง (Height : H) โดยพิจารณาจากขอบของตัวอักษรในแนวตั้งและแนวนอนดังภาพที่ 3.29 เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนดังเงื่อนไขต่อไปนี้

$$\text{Feature W/H Ratio} = \begin{cases} 0 & ; \text{W/H Ratio} < 1 \\ 1 & ; \text{W/H Ratio} = 1 \\ 2 & ; \text{W/H Ratio} > 1 \end{cases}$$



ภาพที่ 3.29 ลักษณะการวัดความสูงและความยาวของอักขระ

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาสัดส่วนระหว่างความยาวและความสูง ได้ทำการกำหนดค่าลักษณะเฉพาะดังนี้

```
if WHRatio < 1 then feature = 15;
else if WHRatio = 1 then feature = 16;
else feature = 17;
end
```

3.5. การสร้างตัวแบบ

ในการนำตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟไปใช้ในการรู้จำนั้นต้องทำการสอนตัวแบบเพื่อให้ตัวแบบรู้จักและสามารถจดจำตัวอักษรนั้นๆ ได้ และเนื่องจากตัวอักษรแต่ละตัวจะมีลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงต้องสร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟให้กับตัวอักษรแต่ละตัว โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ

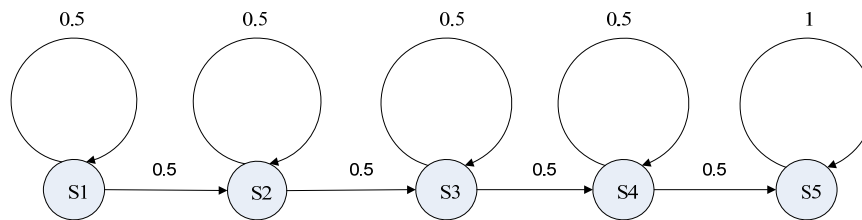
การกำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ให้กับตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ จะต้องกำหนดให้ตรงกับชนิดของตัวแบบที่ใช้ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิด Left-Right เนื่องจากเป็นตัวแบบมีประสิทธิภาพสูงในการนำมาใช้กับกระบวนการรู้จำ ซึ่งวิธีการในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับตัวแบบ ทำได้ดังนี้

3.5.1.1 การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของสถานะเริ่มต้น ($\pi = \{\pi_i\}$)

เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิด Left-Right ดังนั้นต้องกำหนดให้เริ่มต้นที่สถานะแรกเสมอ โดยให้ $\pi_1 = 1$ ส่วนสถานะที่เหลือเป็น 0

3.5.1.2 การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ ($A = \{a_{ij}\}$)

ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าความน่าจะเป็นของการอยู่ที่สถานะเดิม, ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะถัดไป และค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะย้อนกลับ โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดค่าเริ่มต้นของความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะให้มีค่าเฉลี่ยเท่ากันทั้งหมดแต่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของผลรวมในแนวนอนต้องมีค่าเท่ากับ 1 เสมอตามทฤษฎีพื้นฐานของความน่าจะเป็นและตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ โดย แสดงดังภาพที่ 3.30 และตัวอย่างในการกำหนดค่าเริ่มต้นของความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิด Left-Right ที่มีจำนวนสถานะเท่ากับ 5 สถานะ แสดงดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.30 ลักษณะของตัวแบบชนิด Left-Right

ตารางที่ 3.1 ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของตัวแบบชนิด Left-Right

สถานะ	1	2	3	4	5
1	0.5	0.5	0	0	0
2	0	0.5	0.5	0	0
3	0	0	0.5	0.5	0
4	0	0	0	0.5	0.5
5	0	0	0	0	1

3.5.1.3 การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของสัญลักษณ์ (Symbol) ($B = \{b_j(k)\}$)

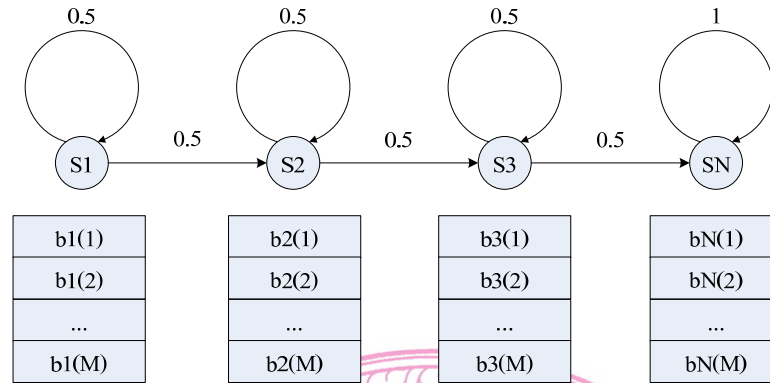
โดยโครงสร้างพื้นฐานของตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ ในแต่ละสถานะจะต้องมีจำนวนของสัญลักษณ์เท่ากันทั้งหมดดังภาพที่ 3.31 โดยจำนวนสัญลักษณ์จะต้องสอดคล้องกับค่าของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่สกัดได้ในขั้นตอนของการสกัดลักษณะเฉพาะ ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้จำนวนสัญลักษณ์ทั้งหมดเท่ากับ 71 สัญลักษณ์ สำหรับแต่ละสถานะของตัวแบบ โดยกำหนดค่าเริ่มต้นความน่าจะเป็นของสัญลักษณ์ให้มีค่ากระจายเท่ากันทั้งหมดที่ทุกสถานะ โดยคำนึงถึงผลรวมค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสัญลักษณ์ในทุกสถานะซึ่งต้องมีผลรวมเท่ากับ 1 เสมอ ซึ่งคำนวณได้โดยสมการ

$$b = \frac{1}{N} \quad (16)$$

เมื่อ b = ค่าความน่าจะเป็นของสัญลักษณ์แต่ละสถานะ

N = จำนวนของสถานะทั้งหมด

ตัวอย่างเช่นในตัวแบบที่มีจำนวนของสถานะเท่ากับ 4 สถานะ เมื่อแทนค่าในสมการจะได้เท่ากับ $1/71$ ดังนั้นจะได้ว่าค่าเริ่มต้นความน่าจะเป็นของสัญลักษณ์ในแต่ละสถานะมีค่าเท่ากับ 0.014085



ภาพที่ 3.31 ลักษณะของสัญลักษณ์ในแต่ละสถานะของตัวแบบ

3.5.2 คำนวณหาความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต(O) ต่อตัวแบบ

สามารถคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้หลักการ Forward Algorithm หรือ Backward Algorithm ดังนี้

3.5.2.1 Forward Algorithm

กำหนดให้

$\alpha_t(i)$ เป็นตัวแปร Forward ซึ่งแสดงค่าความน่าจะเป็น ณ เวลา t ที่สถานะ i

$$\alpha_t(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_t, q_t = S_i | \lambda)$$

π_i เป็นค่าความน่าจะเป็น ณ เวลา $t = 1$ ที่สถานะ i

$b_j(O_t)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของข้อมูล O ณ เวลา t ที่สถานะ j

โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังต่อไปนี้

Initialization

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(o_1), \quad 1 \leq i \leq N \quad (17)$$

Induction

$$\alpha_{t+1}(j) = \left[\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(o_{t+1}) \quad (18)$$

$$1 \leq t \leq T-1, \quad 1 \leq j \leq N$$

Termination

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) \quad (19)$$

3.5.2.2 Backward Algorithm

กำหนดให้

$\beta_t(i)$ เป็นตัวแปร Backward ซึ่งแสดงค่าความน่าจะเป็น ณ เวลา t ที่สถานะ i

$$\beta_t(i) = P(O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T | q_t = S_i, \lambda)$$

π_i เป็นค่าความน่าจะเป็น ณ เวลา $t = 1$ ที่สถานะ i

$b_j(O_t)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของข้อมูล O ณ เวลา t ที่สถานะ j

โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังต่อไปนี้

Initialization

$$\beta_T(i) = 1, \quad 1 \leq i \leq N \quad (20)$$

Induction

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j) \quad (21)$$

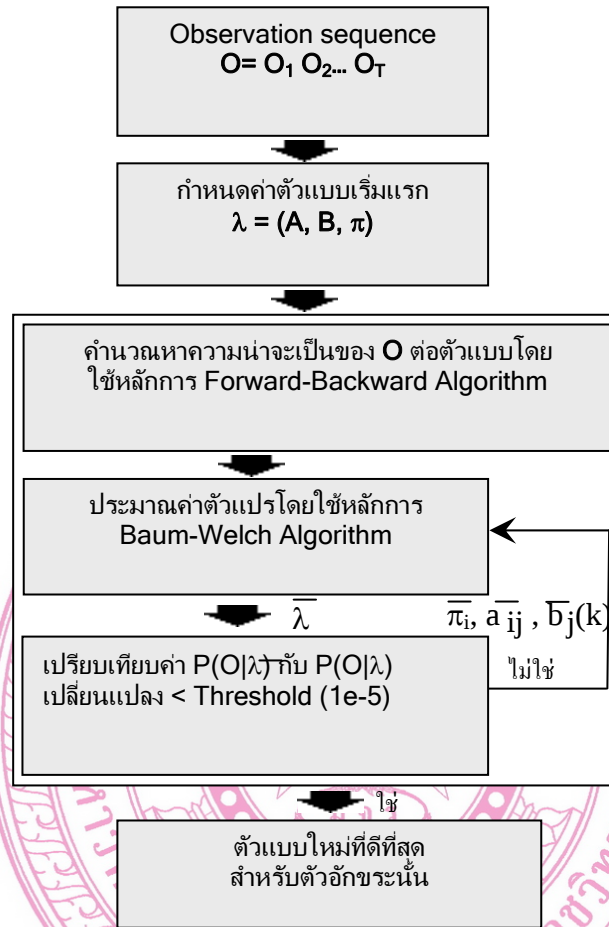
$$t = T-1, T-2, \dots, 1, \quad 1 \leq i \leq N$$

Termination

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \pi_i b_i(O_1) \beta_1(i) \quad (22)$$

3.5.3 การสอนตัวแบบเพื่อการรู้จำตัวอักษร

เนื่องจากตัวอักษรแต่ละตัวจะมีลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกัน ดังนั้นในการรู้จำจึงต้องสร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟให้กับตัวอักษรแต่ละตัว ซึ่งต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับตัวแบบแต่ละตัวแบบ แล้วคำนวณหาความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต(O) ต่อตัวแบบ หลังจากนั้นจึงทำการประมาณค่าตัวแปรเพื่อหาพารามิเตอร์ใหม่ให้กับตัวแบบ ซึ่งจะเป็นการปรับค่าต่าง ๆ ของตัวแบบนั่นเอง โดยในการสอนตัวแบบจะทำการสอนตัวแบบจนกระทั่งได้ค่าความน่าจะเป็นคู่เข้าค่าใดค่าหนึ่ง



ภาพที่ 3.32 ขั้นตอนการสอนและประมาณค่าตัวแปรใหม่ให้กับตัวแบบ

ในการประมาณค่าตัวแปรเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ใหม่ให้กับตัวแบบใช้หลักการของ Baum-Welch (Rabiner, 1989) ซึ่งจะนำผลลัพธ์ที่ได้จาก Forward-Backward Algorithm มาใช้ในการคำนวณ โดยมีกระบวนการวิธีในการประมาณค่าตัวแปรดังภาพที่ 3.32 และมีรายละเอียดของการคำนวณดังนี้

3.5.3.1 กำหนดให้ $\xi_t(i, j)$ คือ ความน่าจะเป็นของการอยู่ในสถานะ i ที่เวลา t และสถานะ j ที่เวลา $t+1$

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)} \quad (23)$$

3.5.3.2 กำหนดให้ $\gamma_t(i)$ เป็นความน่าจะเป็นของการอยู่ในสถานะ i ที่เวลา t ซึ่งเกิดจากลำดับการสังเกตและตัวแบบ

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i, j) \quad (24)$$

3.5.3.3 การประมาณค่าตัวแปรใหม่ (Reestimation) ของ A, B และ π คือ

$$\bar{\pi}_i = \gamma_1(i) \quad (25)$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad (26)$$

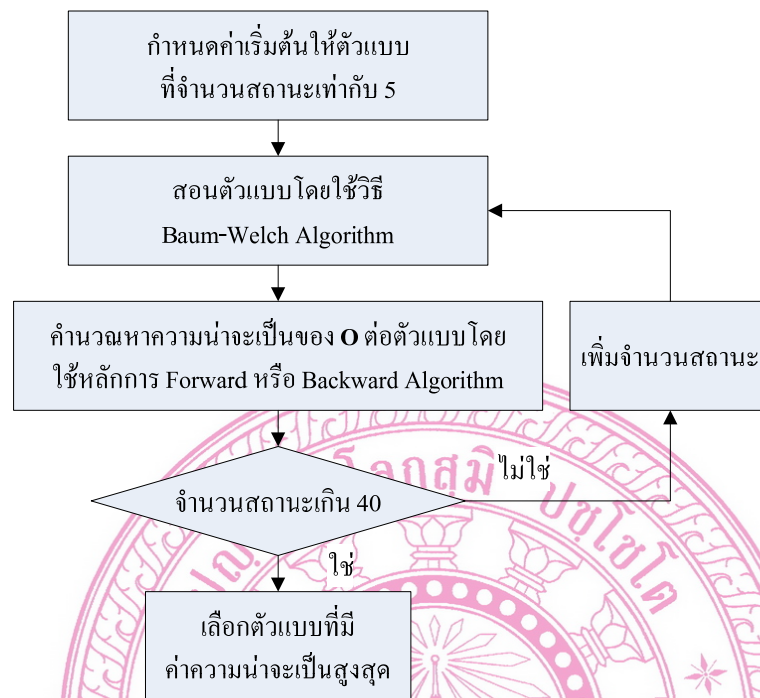
$$\bar{b}_j(k) = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)} \quad (27)$$

3.6 การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบการรู้จำอักษรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟในงานวิจัยนี้ จะใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิด Left-Right ซึ่งวิธีการสร้างตัวแบบในขั้นตอนการสอนตัวแบบจะไม่กำหนดจำนวนของสถานะที่แน่นอน ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.6.1 การรู้จำอักษรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิด Left-Right ในการสร้างตัวแบบจะไม่กำหนดจำนวนสถานะที่แน่นอน ซึ่งจะใช้วิธีการค้นหาตัวแบบที่มีจำนวนสถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวอักขระแต่ละตัว โดยในขั้นตอนของการสอนตัวแบบจะกำหนดช่วงของจำนวนสถานะเท่ากับ 5 – 40 สถานะ เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่เกิดจากลำดับการสังเกต (O) กับตัวแบบนั้น ๆ ว่าตัวแบบที่มีจำนวนสถานะเท่าใดที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุด และจะเลือกตัวแบบนั้นเป็นตัวแบบที่ดีที่สุดสำหรับตัวอักขระนั้น โดยมีขั้นตอนในการสร้างตัวแบบของทุกตัวอักขระดังภาพที่

3.33



ภาพที่ 3.33 ขั้นตอนสร้างตัวแบบของการทดลองที่ 2

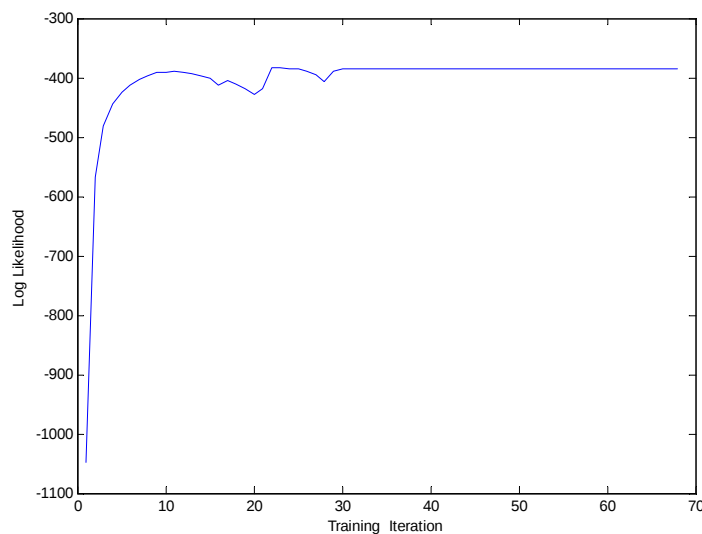
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การสกัดลักษณะเฉพาะของอักษรธรรมอีสานทั้ง 91 ตัว โดยใช้วิธีการทั้ง 9 วิธีการ ซึ่งแยกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่ต้องผ่านการปรับมาตรฐานรูปร่างแบบไม่เชิงเส้น โดยวิธีปรับการกระจายความหนาแน่นของจุดและกลุ่มที่ต้องทำการลดความหนาของเส้น ซึ่งการปรับการกระจายความหนาแน่นของจุดนี้มีข้อดีคือทำให้สามารถใช้วิธีการสกัดลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการวัดการกระจายของจุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อสกัดลักษณะเฉพาะทั้งหมดออกมาจะได้ค่าลักษณะเฉพาะที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1-71 จากนั้นจึงนำค่าลักษณะเฉพาะที่ได้ไปทำการสอนตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟเพื่อสร้างเป็นตัวแบบเฉพาะของแต่ละตัวอักษร เมื่อได้ตัวแบบเฉพาะของตัวอักษรครบทั้ง 91 ตัวแบบแล้วจึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำของตัวแบบทั้งหมด ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้การทดลอง รวมทั้งอภิปรายถึงปัญหาต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการรู้จำของตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ

4.1 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การนำตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟมาใช้ในการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานต้องสร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟสำหรับอักขระแต่ละตัวโดยเฉพาะ ตัวอย่างผลลัพธ์ของการสอนตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟชนิด Left-Right สำหรับตัวอักษร '๗' แสดงดังภาพที่ 4.1 โดยจะเห็นว่าค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟจะเข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบสามารถทำให้ตัวแบบจดจำข้อมูลที่นำมาสอนตัวแบบได้



ภาพที่ 4.1 ผลลัพธ์ของการสอนตัวแบบของตัวอักษร '๗'

และในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต(ค่าลักษณะเฉพาะ) ต่อตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ ($p(O|\lambda)$) เมื่อเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของตัวแบบของตัวอักษรที่ถูกค้องกับตัวแบบของตัวอักษรอื่น ค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากตัวแบบที่ถูกค้องจะมีค่าสูงสุด ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.1 เป็นค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตต่อตัวแบบของตัวอักษร '๓' (อักขระลำดับที่ 50) ที่มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากตัวแบบของตัวอักษรอื่น

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเมื่อนำภาพอักขระตัวที่ 50 ไปคำนวณในตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ

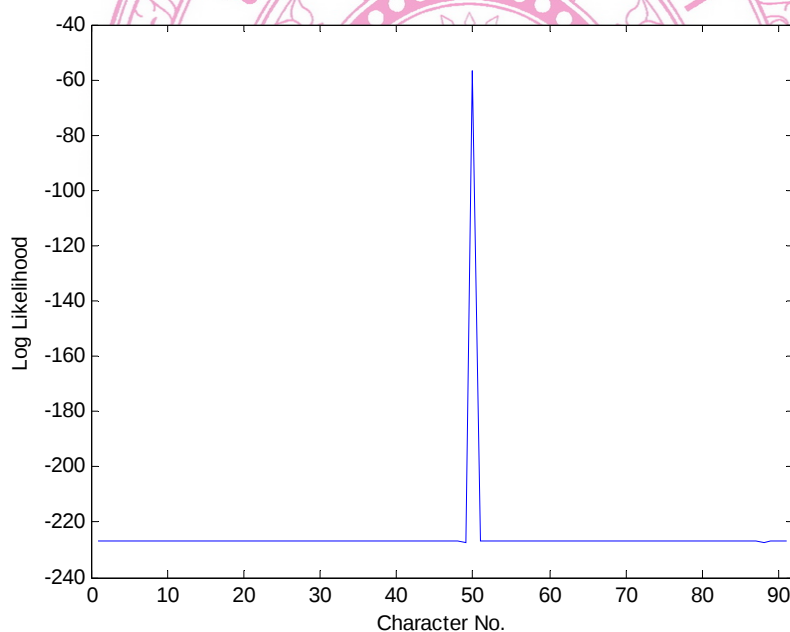
ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
1	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
2	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
3	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
4	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
5	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
6	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805
7	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
8	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476
9	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
10	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
11	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
12	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
13	-226.762	-226.762	-226.762	-226.762	-226.762	-226.762
14	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
15	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
16	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
17	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
18	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
19	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
20	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
21	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
22	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
23	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476
24	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
25	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
26	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
27	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
28	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627
29	-226.8573	-226.8573	-226.8573	-226.8573	-226.8573	-226.8573
30	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
31	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
32	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
33	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
34	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805
35	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
36	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627
37	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
38	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
39	-226.9263	-226.9263	-226.9263	-226.9263	-226.9263	-226.9263
40	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
41	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
42	-226.8573	-226.8573	-226.8573	-226.8573	-226.8573	-226.8573
43	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
44	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
45	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
46	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
47	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
48	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
49	-227.2628	-227.2628	-227.2628	-227.2628	-227.2628	-227.2628
50	-56.72327	-60.3964	-66.05719	-60.53642	-63.5101	-64.36913
51	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476	-226.6476
52	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
53	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
54	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
55	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
56	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
57	-226.7032	-226.7032	-226.7032	-226.7032	-226.7032	-226.7032
58	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
59	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
60	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
61	-226.675	-226.675	-226.675	-226.675	-226.675	-226.675
62	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
63	-226.7928	-226.7928	-226.7928	-226.7928	-226.7928	-226.7928
64	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
65	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
66	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
67	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
68	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805
69	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627
70	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627
71	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
72	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
73	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
74	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
75	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
76	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
77	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
78	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805
79	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
80	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627
81	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396
82	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627	-226.9627
83	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
84	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
85	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004	-227.0004
86	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
87	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
88	-227.2628	-227.2628	-227.2628	-227.2628	-227.2628	-227.2628
89	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696	-226.5696
90	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805	-227.0805
91	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396	-227.0396

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลจากการทดลองสุ่มเอาภาพอักขระอักษรธรรมอีสานตัวที่ 50 (๕๐) ใส่เข้าไปในตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอักขระตัวอื่นๆ และเมื่อนำไปแสดงในรูปของแผนภูมิจะได้ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตต่อตัวแบบของตัวอักษร ‘๕’

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเมื่อนำภาพอักขระตัวที่ 17 ไปคำนวณในตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ

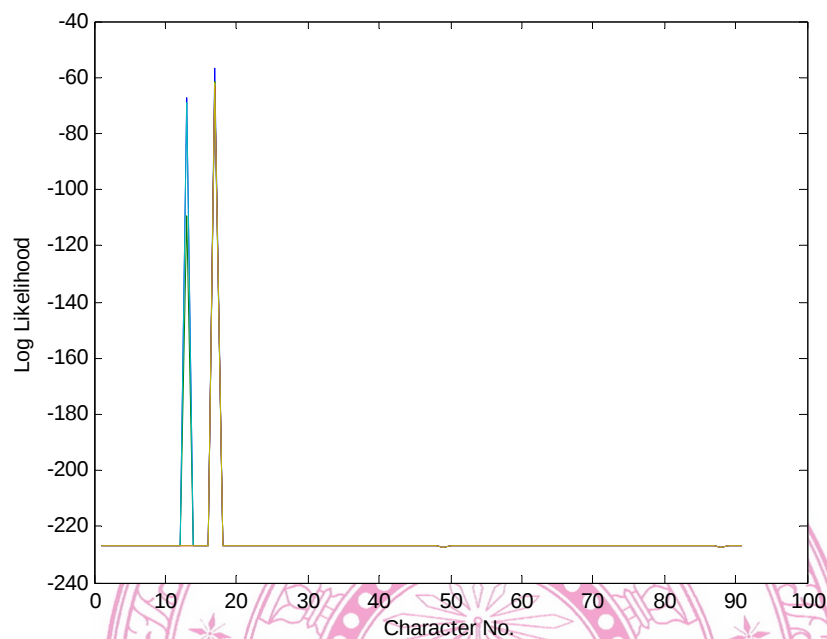
ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
1	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
2	-227	-227	-227	-227	-227	-227
3	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
4	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
5	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
6	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08
7	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
8	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648
9	-227	-227	-227	-227	-227	-227
10	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
11	-227	-227	-227	-227	-227	-227
12	-227	-227	-227	-227	-227	-227
13	-67.0709	-109.361	-226.762	-68.8943	-226.762	-226.762
14	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
15	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
16	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
17	-56.7818	-61.1295	-63.1382	-66.0977	-63.1433	-61.9031
18	-227	-227	-227	-227	-227	-227
19	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
20	-227	-227	-227	-227	-227	-227
21	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
22	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
23	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648
24	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
25	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
26	-227	-227	-227	-227	-227	-227
27	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
28	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963
29	-226.857	-226.857	-226.857	-226.857	-226.857	-226.857
30	-227	-227	-227	-227	-227	-227
31	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
32	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
33	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
34	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
35	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
36	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963
37	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
38	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
39	-226.926	-226.926	-226.926	-226.926	-226.926	-226.926
40	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
41	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
42	-226.857	-226.857	-226.857	-226.857	-226.857	-226.857
43	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
44	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
45	-227	-227	-227	-227	-227	-227
46	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
47	-227	-227	-227	-227	-227	-227
48	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
49	-227.263	-227.263	-227.263	-227.263	-227.263	-227.263
50	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
51	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648	-226.648
52	-227	-227	-227	-227	-227	-227
53	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
54	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
55	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
56	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
57	-226.703	-226.703	-226.703	-226.703	-226.703	-226.703
58	-227	-227	-227	-227	-227	-227
59	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
60	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
61	-226.675	-226.675	-226.675	-226.675	-226.675	-226.675
62	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
63	-226.793	-226.793	-226.793	-226.793	-226.793	-226.793
64	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
65	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57

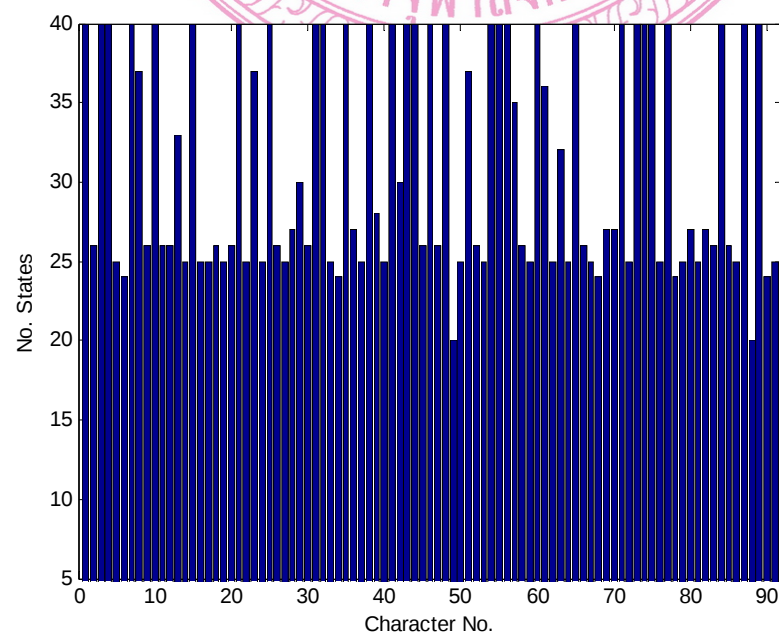
ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
66	-227	-227	-227	-227	-227	-227
67	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
68	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08
69	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963
70	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963
71	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
72	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
73	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
74	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
75	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
76	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
77	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
78	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08
79	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
80	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963
81	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
82	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963	-226.963
83	-227	-227	-227	-227	-227	-227
84	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
85	-227	-227	-227	-227	-227	-227
86	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04
87	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
88	-227.263	-227.263	-227.263	-227.263	-227.263	-227.263
89	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57	-226.57
90	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08	-227.08
91	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04	-227.04

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการนำเอาภาพอักษรอักษรธรรมอีสานตัวที่ 17 (๒) ใส่เข้าไปในตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีค่ามากที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอักษรตัวที่ 13 (๑) กลับพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากผู้ออกแบบตัวอักษรของแต่ละสถาบัน จะออกแบบให้อักษร 2 ตัวนี้ เขียนคล้ายกันแตกต่างกันไป



ภาพที่ 4.3 ค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตต่อตัวแบบของตัวอักษร ๒

ส่วนการสอนตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟในลักษณะที่ไม่กำหนดจำนวนสถานะที่แน่นอน โดยจะเลือกตัวแบบที่เหมาะสมจากการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากตัวแบบที่มีค่าสูงที่สุดเป็นตัวแบบของอักขระนั้น ผลลัพธ์ของจำนวนสถานะของตัวแบบชนิด Left-Right ที่ถูกเลือกให้เป็นตัวแบบของอักขรกรรมอีสานทั้ง 91 ตัว แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 จำนวนสถานะที่เหมาะสมของตัวแบบตัวอักษรกรรมอีสาน

4.2 ผลการทดลอง

การวิจัยการรู้จำอักษรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบฮิตเดนมาร์คอฟ ชนิด Left-Right เป็นกลไกหลักของระบบการรู้จำ ซึ่งการนำรูปภาพอักขระอักษรธรรมอีสานแบบบิตแมพ (Bitmap image) เข้าสู่ระบบรู้จำ โดยผ่านกระบวนการประมวลผลเบื้องต้น ประกอบด้วย การปรับมาตรฐานของภาพแบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Shape Normalization : NSN) และการลดความหนาของตัวอักขระ (Thinning) จากนั้นจึงเข้าสู่การสกัดลักษณะเฉพาะของอักษรธรรมอีสาน โดยการหาค่าการกระจายของจุดแล้วนับจำนวนของจุด และการหาจำนวนหัวของตัวอักขระ รวมทั้งจุดเชื่อมต่อ จุดแยก และจุดสิ้นสุดของตัวอักขระ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ของข้อมูลลักษณะเฉพาะ (Feature Vector) ที่มีความยาว 41 ข้อมูล ต่อตัวอักขระ 1 ตัว ดังนี้

- $x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4$: ตำแหน่งของ End-Point
- NL : จำนวนหัว
- nSE : จำนวน End-Point
- HVRatio : สัดส่วนความกว้าง-ความยาวของตัวอักขระ
- nTJ : จำนวน T-Joint
- nXJ : จำนวน X-Joint
- pdf1, pdf2, pdf3, pdf4 : จำนวนจุด (pixel) ในแต่ละโซน (วิธีที่ 2)
- NLX1, NLX2, NLX3, NLX4, NLY1, NLY2, NLY3, NLY4 : ตำแหน่งของหัว
- p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10, p11, p12, p13, p14, p15, p16 : จำนวนจุด (วิธีที่ 1)

โดยมีรายละเอียดของข้อมูลลักษณะเฉพาะ (Feature Vector) อักขระอักษรธรรม 91 ตัว 6 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการสกัดคุณลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) ของตัวอักษร 91 ตัว 6 แบบ ซึ่งแต่ละตัวอักษรจะได้ข้อมูลเป็น Feature Vectors 41 ข้อมูล

ตัวอักษรที่ / แบบที่		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
1	1	5	5	5	2	5	5	1	1	6	12	17	21	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	39	64	66	38	71	34	37	68	65	49	38	62	37	65	62	44
	2	5	5	5	2	5	5	1	1	7	12	17	21	23	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	44	64	68	38	71	34	36	71	64	51	40	66	41	66	65	44
	3	5	1	5	1	5	5	1	1	7	12	17	21	23	28	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	36	68	66	39	63	36	55	64	68	43	32	67	50	71	55	47
	4	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	39	60	63	35	69	34	38	71	58	48	40	61	44	64	58	43
	5	1	5	1	1	5	1	1	1	6	13	17	21	23	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	44	63	62	41	71	37	37	67	59	48	48	61	38	68	58	48
	6	5	5	5	2	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	36	61	68	41	71	44	44	66	71	47	36	64	41	71	61	48
2	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	23	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	30	30	51	60	64	44	66	52	40	59	56	43	51	71	46	62	62	47
	2	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	23	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	30	30	51	63	70	44	70	55	43	60	58	45	54	71	49	61	63	51
	3	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	30	30	52	62	64	46	71	51	38	64	55	49	57	67	46	61	64	53
	4	5	1	5	1	1	5	5	1	7	12	15	21	23	29	29	27	29	31	31	31	31	31	31	30	30	57	71	67	47	71	50	37	71	57	52	70	62	48	66	64	56
	5	1	5	5	5	5	1	5	5	7	11	15	21	23	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	58	62	71	39	62	45	50	71	59	62	36	68	44	63	70	50
	6	5	1	5	1	1	5	5	1	7	12	17	21	23	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	30	30	55	67	71	46	65	63	44	66	63	47	56	69	49	60	63	54
3	1	5	5	5	1	5	5	1	5	9	11	17	21	25	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	38	63	66	35	71	32	32	68	59	47	36	59	36	63	64	43
	2	5	5	5	2	5	5	1	1	7	12	17	21	23	28	28	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	41	61	67	34	71	32	33	71	56	53	37	62	40	59	62	43
	3	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	25	28	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	34	63	71	36	71	36	34	71	68	48	35	67	41	68	60	44
	4	5	5	2	5	1	5	5	1	6	12	17	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	34	64	71	35	71	40	37	68	66	46	42	65	48	59	59	50
	5	5	5	1	1	5	5	1	1	7	12	17	21	25	28	27	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	37	58	65	35	71	32	33	69	53	50	45	51	41	61	52	48
	6	5	5	5	2	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	31	34	56	71	34	65	34	36	65	61	50	33	55	42	65	52	46
4	1	5	1	5	5	5	5	1	5	8	11	17	21	25	29	29	28	29	31	30	30	30	31	31	30	30	54	71	56	52	63	59	53	58	67	34	68	62	48	65	57	56
	2	1	1	5	5	5	5	1	1	7	12	17	21	22	29	29	28	29	30	31	31	31	31	31	31	31	54	71	55	57	67	57	58	59	68	32	71	63	50	65	56	60

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
5	3	5	5	2	4	5	2	5	4	9	14	17	21	25	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	31	31	59	66	60	62	71	54	62	58	60	60	66	60	56	64	53	63
	4	9	3	5	4	4	5	3	4	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	62	51	59	53	48	63	49	60	54	44	71	54	57	64	46	57	
	5	5	4	3	4	5	2	6	3	9	14	17	21	25	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	30	71	64	39	64	67	56	66	56	36	66	71	66	64	59	63	55	
	6	5	1	2	3	2	4	2	3	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	60	65	53	60	56	67	57	65	71	38	61	65	53	68	55	52
	1	5	5	1	1	5	5	5	2	6	12	15	18	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	32	56	70	46	62	35	32	71	63	52	42	38	43	59	58	48
	2	5	5	1	1	5	5	5	2	6	12	15	18	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	32	56	70	43	61	36	32	71	61	51	48	36	41	61	52	48
	3	5	5	1	1	5	5	5	2	6	12	15	18	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	33	52	71	44	66	39	32	68	56	57	47	40	48	56	54	49	
	4	5	2	5	1	1	5	5	2	7	13	17	21	23	29	28	29	27	31	31	31	30	31	31	31	31	32	71	70	60	71	51	47	59	58	43	64	68	60	68	55	46
	5	5	2	5	1	5	1	5	2	6	13	15	21	23	29	27	28	28	31	31	30	30	31	31	31	30	42	55	56	56	62	69	36	40	56	32	71	51	49	51	42	55
	6	5	5	1	1	5	5	1	1	6	12	15	18	22	29	29	29	27	31	31	31	30	31	31	31	31	33	54	71	45	61	46	32	68	68	45	32	58	44	60	70	32
	6	1	5	5	5	5	5	5	5	7	10	16	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	37	63	71	37	66	42	32	65	64	42	32	67	36	62	70	37
		2	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	35	60	71	39	69	40	32	62	67	42	32	62	35	60	68	40
		3	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	38	60	70	41	71	43	32	64	58	52	32	67	37	61	71	39
4		5	1	1	5	2	5	5	5	7	12	17	21	23	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	50	53	71	35	62	47	33	63	47	59	32	71	44	53	70	39	
5		1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	17	21	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	41	58	71	37	56	48	33	66	58	49	32	64	44	56	67	38	
6		5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	40	65	64	35	64	39	34	68	61	40	36	67	36	66	71	36	
7	1	3	1	1	4	2	3	3	1	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	43	47	71	43	57	53	32	62	52	61	32	59	50	43	69	39	
	2	5	5	5	2	5	5	2	5	9	12	17	21	25	29	29	29	27	31	31	31	31	31	31	31	44	49	71	44	58	51	32	62	51	62	32	60	53	45	70	40	
	3	5	1	1	6	2	8	5	3	6	14	17	21	25	28	28	29	28	31	31	30	31	31	31	30	45	52	68	37	55	44	32	71	54	60	32	58	47	49	67	38	
	4	2	5	1	4	4	3	2	3	9	14	17	21	25	28	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	42	51	65	38	42	49	32	71	55	49	35	54	54	46	63	33	
	5	1	3	1	4	5	3	1	5	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	55	49	71	52	53	64	45	62	57	66	41	58	58	43	70	52	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
8	6	5	3	2	3	5	4	5	4	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	49	51	69	43	61	58	32	64	50	63	34	61	50	48	71	46
	1	1	2	4	4	5	1	2	3	9	14	17	21	25	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	41	71	67	37	67	32	43	71	50	42	58	67	54	70	47	41
	2	5	2	1	2	5	1	1	3	9	14	17	21	25	28	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	39	71	62	34	63	32	43	67	49	35	54	64	52	67	42	40
	3	4	5	5	1	4	5	2	4	9	14	17	21	25	28	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	38	60	59	41	62	32	36	71	54	52	38	56	44	58	60	36
	4	5	2	2	1	5	5	4	1	9	14	17	21	25	29	29	29	27	31	31	30	30	31	31	31	31	49	64	54	43	56	36	48	68	62	42	53	42	37	71	55	46
	5	2	1	1	1	2	2	5	1	9	14	15	21	25	29	28	28	26	31	31	30	30	31	31	31	30	56	65	70	42	55	45	66	62	67	50	51	70	55	71	46	50
9	6	6	2	2	2	4	4	2	2	9	14	15	21	25	28	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	46	61	58	45	59	40	38	67	56	36	61	58	47	71	50	40
	1	6	2	4	4	2	1	9	4	9	14	17	21	25	27	29	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	49	55	50	49	55	40	61	49	68	37	51	53	36	71	48	49
	2	5	2	4	5	4	1	3	3	9	14	15	21	25	28	29	28	28	31	31	30	30	31	31	31	30	50	59	49	50	56	39	63	50	69	39	51	53	36	71	50	50
	3	6	2	5	2	2	1	7	5	9	14	15	21	25	28	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	31	49	62	62	52	64	40	70	59	71	49	47	61	48	70	54	61
	4	1	1	1	1	5	1	2	1	7	14	15	21	23	29	29	29	28	30	31	31	31	31	31	31	31	46	59	42	60	49	60	56	52	66	36	42	66	53	55	71	36
	5	2	5	3	3	3	5	4	1	9	14	17	21	25	29	29	29	28	30	31	31	31	31	31	31	31	47	54	49	62	71	36	48	57	52	55	59	54	45	68	58	43
10	6	2	2	6	6	1	2	8	5	9	14	17	21	25	28	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	54	63	52	60	70	36	67	59	60	59	63	52	45	71	53	61	
	1	7	1	4	4	1	6	5	4	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	59	67	50	66	70	32	71	71	64	51	61	58	48	71	49	54
	2	8	1	6	1	4	6	3	3	9	14	17	21	25	28	29	29	27	31	31	30	30	31	31	31	30	55	64	50	66	68	32	71	69	66	50	60	54	46	65	47	50
	3	7	3	6	3	6	7	5	1	9	14	15	21	25	29	29	29	27	31	31	31	31	31	31	31	31	50	49	47	63	57	37	58	56	50	46	56	53	44	71	44	34
	4	2	4	6	4	3	6	4	3	9	14	16	21	25	29	28	28	26	31	31	30	30	31	31	31	31	59	60	57	66	62	56	55	69	52	67	53	71	60	58	70	36
	5	7	4	2	1	1	5	1	7	9	14	17	21	25	29	28	28	28	30	31	31	31	31	31	31	31	71	40	44	55	66	58	32	58	36	61	60	51	39	56	71	47
11	6	6	2	4	3	5	5	2	3	9	14	15	21	25	29	28	29	26	31	31	31	31	31	31	31	51	48	47	69	60	39	59	57	52	50	54	50	47	71	46	34	
	1	1	2	2	4	3	2	1	3	9	14	17	21	25	29	28	28	29	31	31	31	31	31	31	31	36	62	64	39	60	50	42	58	71	32	32	69	39	57	61	40	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																											
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16		
12	3	3	4	4	3	5	3	5	6	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	46	65	71	45	60	61	37	65	68	41	41	71	45	61	71	44	
	4	1	5	5	5	5	5	5	1	8	11	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	47	65	49	51	64	55	33	62	67	37	40	70	35	59	71	36		
	5	4	5	2	1	1	3	1	2	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	45	60	64	48	65	56	37	61	64	49	34	69	46	55	71	43			
	6	4	5	5	4	4	4	1	4	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	43	58	54	49	59	53	37	59	64	40	37	61	39	55	71	36			
	1	1	10	5	2	3	6	3	6	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	54	45	49	49	51	41	54	50	55	42	48	55	39	71	43	47			
	2	1	4	2	2	2	5	5	2	9	14	15	21	25	28	29	29	28	31	31	31	31	31	31	53	45	49	49	53	41	59	49	56	44	49	52	39	71	45	43			
	3	9	3	6	3	6	4	9	2	9	14	15	21	25	28	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	54	55	56	54	58	42	61	59	47	71	49	49	59	56	54	49		
	4	4	5	8	1	3	4	5	6	9	14	15	21	25	29	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	34	67	63	42	71	42	41	49	61	47	47	50	38	48	53	52		
	5	3	2	5	1	3	5	4	4	9	14	15	21	25	29	29	27	28	31	31	31	30	31	31	31	62	56	54	42	57	39	62	59	41	71	48	59	53	57	54	57		
	6	8	7	2	2	5	2	6	6	9	14	15	21	25	29	29	28	27	31	31	30	30	31	31	31	30	56	67	52	60	64	44	65	71	52	61	60	57	71	70	56	41	
	13	1	1	1	3	3	2	5	1	5	9	14	15	21	25	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	30	30	48	56	63	50	71	48	32	62	49	55	71	43	47	53	50	55
		2	5	2	4	3	1	3	2	3	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	30	30	46	57	65	48	71	46	32	65	50	55	70	42	48	56	50	55
3		4	3	5	2	1	3	4	6	9	14	15	21	25	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	30	30	49	56	62	47	66	51	32	63	47	57	71	38	48	52	44	61	
4		3	1	1	2	1	3	1	2	9	14	15	21	25	29	27	27	26	31	31	30	30	31	31	30	30	71	52	61	38	71	64	47	42	43	57	60	57	35	51	55	56	
5		7	4	1	1	3	2	5	3	9	14	15	21	25	29	28	27	28	31	31	31	31	31	31	31	61	50	55	48	71	49	36	55	46	59	64	48	36	52	46	55		
6		1	3	5	1	2	5	5	3	9	14	15	21	25	29	28	28	27	31	31	31	30	31	31	30	30	48	59	66	53	70	49	32	67	50	60	71	47	51	60	52	55	
14	1	6	3	5	1	1	4	1	4	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	30	30	31	31	30	30	52	68	62	45	58	68	50	62	71	45	35	70	45	52	68	52	
	2	7	5	5	5	6	2	1	3	9	14	17	21	25	29	27	28	28	31	31	30	30	31	31	30	31	52	64	59	46	56	59	49	61	71	43	38	62	43	50	66	50	
	3	3	4	6	5	3	5	4	6	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	30	30	30	31	31	30	30	61	66	56	61	71	45	60	71	51	71	62	58	58	66	54	55	
	4	3	5	1	1	2	2	5	6	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	66	55	55	46	59	53	48	67	56	52	42	70	47	63	71	44		
	5	9	1	2	1	6	3	5	4	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	30	30	31	31	30	30	62	61	60	56	71	60	47	65	60	53	46	68	47	65	67	54	

ตัวอักษรที่ / แบบที่		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
15	6	4	3	3	6	3	4	2	7	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	31	31	31	31	30	31	55	64	67	43	57	66	42	70	71	37	46	68	48	65	67	51
	1	5	1	2	7	1	1	4	4	9	14	17	21	25	28	29	29	29	30	31	31	30	31	31	31	31	51	62	51	49	64	38	61	60	61	49	53	65	55	71	52	56
	2	1	5	1	4	5	1	1	4	9	14	17	21	25	28	29	29	29	30	31	31	30	31	30	31	49	64	54	51	68	41	65	60	65	53	53	69	55	71	51	58	
	3	2	3	3	4	4	2	3	3	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	59	65	52	63	64	56	71	63	71	66	58	60	63	64	60	66
	4	4	5	4	3	4	4	5	3	9	14	17	21	25	29	29	29	28	30	31	31	30	31	31	31	31	44	58	71	48	63	68	53	66	65	58	57	66	70	51	54	66
	5	4	2	7	8	5	6	1	9	9	14	17	21	25	29	29	29	28	30	31	31	30	31	31	31	30	49	63	66	52	62	46	68	59	69	62	40	69	57	71	48	64
16	6	2	2	1	3	1	1	4	2	9	14	17	21	25	28	28	29	29	30	31	31	30	31	31	30	31	46	61	52	46	64	36	65	61	62	48	53	57	53	71	44	61
	1	5	1	2	6	1	3	1	4	9	14	17	21	25	28	29	27	28	31	31	31	30	31	31	31	31	51	61	55	53	63	52	50	61	62	48	47	71	51	61	64	49
	2	5	5	5	2	5	5	1	1	7	12	17	21	23	29	29	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	49	62	59	58	68	53	63	62	68	49	54	71	52	66	63	52
	3	3	2	3	6	5	5	2	2	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	45	65	50	48	62	44	63	59	64	38	59	66	55	71	38	59
	4	4	4	1	2	2	4	2	3	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	31	30	31	31	31	31	58	65	70	40	68	62	39	70	59	47	49	71	54	65	69	54
	5	7	2	3	5	5	2	4	6	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	31	42	70	54	43	68	37	60	61	66	34	63	62	48	71	38	59
17	6	1	3	1	5	2	4	3	1	9	14	17	21	25	28	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	46	63	54	48	67	39	66	63	66	45	54	65	53	71	42	59
	1	1	5	4	2	1	1	3	2	9	14	15	21	25	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	30	30	48	56	63	50	71	48	32	62	49	55	71	43	47	53	50	55
	2	2	1	4	3	5	3	4	3	9	14	15	21	25	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	30	30	46	57	65	48	71	46	32	65	50	55	70	42	48	56	50	55
	3	5	1	7	2	2	7	2	4	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	30	30	50	57	64	48	69	51	32	63	48	57	71	39	47	52	43	60
	4	4	2	2	1	3	1	3	2	9	14	15	21	25	29	27	26	26	31	31	30	30	31	31	30	30	71	52	61	38	71	64	47	42	43	57	60	57	35	51	55	56
	5	3	2	4	3	4	3	3	2	9	14	15	21	25	29	27	28	27	31	31	30	30	31	31	30	30	58	57	65	44	70	58	44	51	49	58	71	42	43	51	41	65
18	6	2	6	1	3	2	4	5	6	9	14	15	21	25	29	28	28	28	31	31	30	30	31	31	30	30	48	54	65	55	71	51	32	67	46	60	71	45	51	59	51	53
	1	5	1	3	1	2	1	4	3	9	14	15	21	25	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	31	41	65	57	51	67	43	32	68	62	37	55	60	40	65	71	36
18	2	3	1	2	4	2	3	2	3	9	14	16	21	25	29	28	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	40	69	56	53	71	45	32	65	65	35	58	60	39	67	71	38

ตัวอักษรที่ / แบบที่	ตัวอักษรที่ / แบบที่																																ตัวอักษรที่ / แบบที่															
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16							
19	3	2	1	1	3	3	1	3	5	9	14	17	21	25	28	27	29	27	31	31	30	30	31	31	31	31	35	59	70	40	71	39	32	69	62	47	41	62	42	66	59	42						
	4	3	3	5	4	5	3	5	7	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	44	64	55	46	71	40	32	58	55	39	65	48	34	71	54	51						
	5	4	5	2	2	3	3	5	2	9	14	17	21	25	29	27	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	41	70	67	52	70	66	32	48	67	32	64	71	44	69	64	54						
	6	4	1	6	2	2	5	3	3	9	14	17	21	25	28	28	29	27	31	31	30	30	31	31	31	31	47	62	71	42	71	52	32	68	64	47	55	59	38	68	61	56						
	1	4	5	2	5	5	3	7	1	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	44	71	59	48	71	39	42	68	58	42	59	60	47	66	61	48						
	2	2	5	5	4	2	1	3	5	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	49	70	57	51	69	42	46	64	59	43	64	61	49	71	58	48						
	3	5	5	8	4	3	3	6	5	9	14	17	21	25	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	52	64	64	57	71	44	47	71	60	57	60	59	52	67	63	50						
	4	3	2	1	3	3	2	1	3	9	14	17	21	25	27	27	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	48	59	64	49	68	39	49	61	59	57	35	65	44	59	71	47						
20	5	3	2	1	2	2	5	5	1	9	14	17	21	25	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	40	64	58	46	53	49	58	44	71	34	32	67	42	60	59	46						
	6	2	5	1	3	5	2	2	2	9	14	17	21	25	28	27	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	61	67	63	56	68	56	58	61	63	46	71	62	57	68	58	66						
	1	2	5	2	3	3	1	2	6	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	34	71	70	36	70	35	34	71	68	38	37	65	37	66	68	38						
	2	3	2	5	2	1	1	4	1	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	34	70	68	36	71	33	32	71	67	39	40	64	36	65	68	38						
	3	3	5	1	2	2	1	2	1	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	38	67	66	38	71	35	32	71	63	40	42	60	36	69	67	41						
	4	2	2	2	4	1	3	2	4	9	14	17	21	25	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	37	66	69	39	71	34	32	70	51	46	54	50	49	60	52	51						
	5	4	2	1	4	3	1	4	3	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	34	71	70	35	70	37	33	68	67	36	37	63	39	66	65	41						
	6	2	5	3	2	4	5	1	2	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	35	69	68	38	71	36	32	68	63	38	43	59	42	65	62	43						
21	1	2	5	2	4	1	5	5	2	9	14	15	21	25	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	31	33	71	64	36	64	34	35	69	61	42	47	47	39	54	56	48							
	2	4	1	1	3	6	1	5	2	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	32	71	64	36	67	35	35	70	62	43	45	47	38	57	60	47							
	3	2	1	3	3	2	5	2	5	9	14	15	21	25	29	28	26	27	31	31	31	31	31	31	31	43	71	53	39	59	32	57	54	59	59	49	34	41	41	44	57							
	4	5	5	6	1	5	3	3	1	9	14	15	21	25	29	28	29	27	31	31	30	30	31	31	31	30	36	52	69	43	58	37	34	71	51	63	52	33	53	48	44	48						
	5	2	1	2	2	2	1	5	4	9	14	15	21	25	29	28	27	27	31	31	31	31	31	31	31	50	71	58	48	67	32	63	69	65	56	56	39	35	69	50	59							

ตัวอักษรที่ / แบบที่		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
22	6	5	3	4	5	6	5	1	5	9	14	17	21	25	29	29	28	27	31	31	31	31	31	31	31	31	38	71	56	33	58	32	47	63	53	42	49	47	49	50	46	46
	1	6	1	1	2	5	5	2	3	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	56	64	48	43	60	56	32	68	67	40	35	70	32	51	71	34
	2	1	1	1	1	3	5	5	1	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	54	67	50	42	56	58	32	67	67	40	35	70	32	50	71	34
	3	1	3	1	5	2	5	5	3	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	51	55	36	49	55	45	32	61	54	42	42	53	32	50	71	32
	4	2	3	3	1	5	1	5	3	9	14	17	21	25	29	29	28	27	31	31	31	31	31	31	31	31	53	51	56	48	49	55	48	53	68	33	33	71	35	63	61	35
	5	4	3	1	7	3	5	5	7	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	30	31	52	51	58	47	53	60	39	54	66	40	32	71	37	53	63	36
23	6	2	5	1	1	1	1	1	1	9	14	17	21	25	29	29	28	28	31	30	31	31	31	31	30	31	56	59	51	47	57	59	32	68	62	46	39	71	33	58	71	34
	1	4	1	5	2	2	1	5	4	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	48	49	57	47	53	54	39	59	71	33	33	64	34	58	62	33
	2	2	3	5	1	4	5	5	2	9	14	16	21	25	29	29	28	29	31	31	30	31	31	31	31	31	47	49	57	46	52	54	41	59	71	32	32	64	34	57	59	34
	3	3	1	5	2	5	5	2	4	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	51	53	56	49	61	51	33	67	65	40	37	64	32	64	71	33
	4	1	2	1	3	5	1	5	1	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	31	53	51	56	48	49	55	48	53	68	33	33	71	35	63	61	35
	5	4	3	1	7	3	5	5	7	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	30	31	52	51	58	47	53	60	39	54	66	40	32	71	37	53	63	36
24	6	4	1	1	2	2	5	4	2	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	52	54	68	47	55	62	35	68	69	47	34	69	34	63	71	37
	1	4	1	2	4	1	2	3	5	6	14	15	21	25	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	42	63	71	43	62	50	46	62	71	45	33	69	45	58	66	44
	2	4	1	1	6	3	2	1	6	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	30	31	39	62	64	46	59	48	54	61	71	47	33	63	44	60	65	43
	3	3	1	1	3	2	5	1	5	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	48	64	64	55	59	56	55	60	71	46	34	71	49	61	69	44
	4	2	2	5	5	3	5	1	5	9	14	15	21	25	26	28	29	28	31	31	31	31	31	31	30	31	32	46	65	52	55	56	51	45	71	39	32	67	49	61	56	37
	5	1	5	1	5	5	3	2	2	9	14	16	21	25	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	39	59	63	52	60	62	41	56	71	36	39	67	45	61	67	41
25	6	1	2	1	3	4	2	1	5	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	45	62	48	51	55	53	54	56	71	39	34	63	42	58	71	39	
	1	6	2	1	4	3	5	3	2	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	33	62	65	42	46	57	48	51	71	38	32	63	52	45	57	48	
	2	5	1	3	1	1	3	2	4	9	14	15	21	25	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	30	31	34	63	65	43	48	58	49	54	71	39	32	63	51	47	59	48

ตัวอักษรที่ / แบบที่	ตัวอักษรที่ / แบบที่																																									
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
26	3	5	6	1	4	1	7	3	5	9	14	15	21	25	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	50	65	65	38	44	54	55	63	71	46	32	66	53	50	64	48
	4	1	3	5	2	1	1	2	2	9	14	15	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	32	66	63	46	57	48	51	47	71	37	32	68	49	55	58	45	
	5	2	4	4	2	3	2	2	5	9	14	15	21	25	27	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	34	43	50	57	56	63	61	35	71	35	35	63	48	61	60	35	
	6	3	3	4	3	5	1	4	3	9	14	15	21	25	29	27	28	27	31	31	31	31	31	31	31	56	62	61	46	49	61	61	61	69	58	33	66	51	49	71	55	
	1	3	2	6	3	1	4	7	2	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	31	57	64	70	49	65	63	45	69	69	44	59	71	52	63	65	55
	2	2	2	1	6	3	1	4	3	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	31	58	67	69	49	67	63	48	69	68	42	62	71	52	64	66	59
	3	1	2	1	4	2	3	1	2	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	47	69	63	51	71	43	52	69	60	55	56	60	58	71	52	58
	4	3	2	2	2	1	1	2	5	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	45	69	68	47	68	61	35	63	70	34	53	69	44	71	61	55
	5	5	2	2	2	3	2	4	2	9	14	17	21	25	28	28	29	27	30	30	31	31	31	31	30	31	45	69	62	56	71	47	45	69	69	60	56	58	54	68	59	59
	6	2	1	3	5	4	2	1	4	9	14	17	21	25	28	27	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	49	65	71	55	70	54	38	70	64	64	55	60	53	60	70	57
27	1	1	5	5	1	5	5	1	1	9	12	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	50	71	56	43	59	48	51	58	57	52	56	56	51	50	50	65
	2	1	5	5	2	5	5	1	2	9	13	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	51	71	57	44	56	49	53	58	57	53	55	55	52	52	49	66
	3	1	5	5	1	5	5	5	2	8	12	17	21	24	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	48	71	54	42	54	49	60	60	62	47	50	58	61	54	50	64
	4	1	5	1	5	5	5	5	2	7	12	17	21	23	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	30	30	67	64	57	42	49	60	59	59	67	52	54	62	44	59	59	71
	5	1	5	5	1	5	5	2	5	7	12	17	21	22	29	27	29	27	31	31	30	30	31	31	30	30	71	66	49	37	52	53	62	68	63	59	56	56	46	64	59	66
	6	5	1	5	2	5	1	1	1	8	13	17	21	24	29	28	27	28	31	31	30	30	31	31	31	31	51	58	63	46	51	51	62	56	71	43	33	68	46	67	59	51
28	1	2	1	5	3	5	1	1	4	9	14	17	21	25	29	27	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	50	51	69	39	66	58	32	63	69	59	32	64	34	55	71	55
	2	2	1	3	9	5	1	1	8	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	48	48	71	40	65	62	32	63	69	58	32	62	36	57	70	58
	3	1	2	1	2	3	1	1	1	9	14	17	21	25	29	27	29	27	31	31	31	30	31	31	31	31	48	48	71	37	63	55	33	63	68	51	32	62	37	61	65	53
	4	3	1	1	4	2	2	2	3	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	30	30	31	31	31	30	56	33	71	37	54	58	40	54	42	66	33	60	45	52	55	55
	5	2	5	6	2	3	3	5	4	9	14	17	21	25	29	28	29	27	31	31	30	30	31	31	30	31	49	47	64	39	57	71	38	60	63	58	40	62	48	52	56	64

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
29	6	5	2	5	3	1	2	5	2	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	31	30	31	31	31	31	52	49	67	39	65	57	32	60	59	54	32	65	37	57	71	50
	1	1	3	1	3	1	1	1	5	9	14	17	21	25	28	28	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	62	53	69	55	71	45	49	67	53	55	60	67	47	70	61	40
	2	1	3	2	4	3	5	3	4	9	14	17	21	25	27	27	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	63	49	69	55	71	42	50	67	52	53	57	67	48	68	61	38
	3	6	2	5	2	3	1	3	8	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	71	43	59	51	55	53	57	55	58	52	45	67	38	67	55	49
	4	1	2	1	3	5	1	2	4	9	14	17	21	25	29	29	27	27	31	31	31	31	31	31	31	30	64	48	60	50	60	55	45	60	63	44	60	58	37	71	56	47
	5	9	2	1	5	7	2	4	4	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	63	56	62	53	65	58	54	63	63	50	51	71	44	69	65	47
30	6	4	2	1	2	3	1	4	1	9	14	17	21	25	28	28	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	56	51	60	48	67	47	36	67	52	44	71	53	37	63	54	50
	1	4	4	3	2	3	3	1	6	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	55	68	56	54	71	49	51	67	64	44	54	65	47	61	58	48
	2	6	3	2	4	3	5	3	4	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	53	68	53	60	71	47	54	65	64	43	58	63	45	61	53	49
	3	4	2	5	6	2	2	3	5	9	14	17	21	25	29	29	29	29	30	30	31	31	31	31	30	31	59	66	50	61	71	46	55	70	65	51	57	65	46	61	60	44
	4	3	1	4	5	3	2	1	2	9	14	17	21	25	29	28	27	28	31	31	31	31	31	31	31	31	71	53	69	52	63	69	51	66	62	53	68	63	49	70	60	68
	5	11	2	4	2	3	3	4	9	9	14	17	21	25	29	27	28	28	30	30	31	31	31	31	30	31	60	66	53	69	68	68	57	65	71	51	66	60	56	58	57	58
31	6	4	2	3	2	4	1	1	5	9	14	17	21	25	29	28	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	59	70	41	64	71	49	68	60	70	36	68	61	37	69	53	54
	1	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	54	52	60	48	54	60	57	40	52	46	40	71	49	54	53	53
	2	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	52	56	61	46	57	59	51	42	53	46	43	71	47	56	54	55
	3	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	16	21	22	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	54	53	59	47	52	53	59	41	55	49	35	71	49	55	54	50
	4	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	23	29	28	28	27	31	31	31	31	31	31	31	31	63	51	51	33	71	43	37	51	32	51	52	62	32	56	63	47
	5	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	59	50	58	43	57	49	48	48	45	48	45	71	48	55	61	44
32	6	5	2	1	5	2	5	5	1	6	13	15	21	22	29	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	31	48	55	61	54	48	52	62	56	71	52	32	57	45	57	62	52
	1	1	5	5	5	5	5	1	5	9	11	17	21	25	28	29	29	28	30	31	31	31	31	31	31	31	50	59	67	55	68	36	60	70	63	71	41	56	51	63	65	51
	2	1	5	5	5	5	5	1	5	8	11	17	21	22	28	29	29	28	30	31	31	31	31	31	31	31	48	55	66	52	62	36	54	69	59	71	37	55	52	55	61	48

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
33	3	5	1	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	29	28	30	31	31	31	31	31	31	31	31	45	71	47	57	64	35	59	66	64	59	44	56	53	55	60	50
	4	5	1	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	51	68	63	57	71	37	56	67	66	67	39	62	50	63	71	48	
	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	52	71	45	66	70	34	71	71	69	66	52	57	57	64	62	52	
	6	1	5	5	1	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	28	28	29	30	31	31	31	31	30	31	56	65	59	60	67	39	60	71	67	55	57	60	54	71	57	52	
	1	5	5	5	5	5	5	5	7	10	16	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	32	67	70	36	70	37	32	68	71	35	32	66	33	67	67	38	
	2	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	30	31	31	31	31	31	32	65	71	34	66	40	33	66	71	34	32	64	33	63	62	39	
	3	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	34	71	70	35	69	36	35	68	71	34	35	71	36	68	67	35	
	4	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	36	71	65	34	69	34	36	71	66	33	39	71	36	70	66	35	
	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	33	67	71	35	70	37	35	68	70	34	34	68	35	67	70	36	
	6	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	34	69	70	35	69	36	36	69	71	35	34	69	36	68	67	37	
34	1	1	5	5	5	5	1	5	9	11	17	21	23	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	60	44	71	39	45	70	33	69	46	70	32	63	51	44	64	46	
	2	2	5	5	5	5	1	1	9	12	17	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	60	39	71	39	47	61	34	71	50	62	32	63	52	43	65	44	
	3	2	5	5	5	5	1	1	9	12	17	21	25	28	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	58	45	57	48	45	60	32	70	53	56	35	59	50	43	71	36		
	4	5	1	5	1	1	5	5	1	8	12	17	21	24	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	71	45	67	50	66	64	43	65	32	62	71	68	65	61	56	57		
	5	5	1	5	5	5	5	1	8	11	17	21	22	28	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	51	51	64	58	39	71	45	71	63	66	36	57	68	36	63	43		
	6	2	5	5	1	2	5	1	5	6	13	17	21	22	27	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	55	47	55	54	47	64	35	71	57	58	39	57	52	44	69	35	
35	1	5	5	5	2	5	5	1	1	8	12	17	21	24	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	58	47	69	57	66	69	43	63	70	41	60	71	43	60	66	53	
	2	5	5	5	2	5	5	1	1	7	12	17	21	22	29	28	29	29	31	31	31	30	31	31	31	57	45	70	56	68	71	34	62	67	42	58	67	43	59	67	53	
	3	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	56	48	65	51	65	69	45	63	65	41	58	71	53	68	56	54	
	4	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	28	28	31	31	31	30	31	31	31	31	62	42	60	52	53	71	46	55	66	41	54	67	41	67	62	56	
	5	5	5	1	5	5	5	1	8	11	17	21	25	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	54	50	67	49	62	71	42	59	69	42	58	69	53	59	55	63	

ตัวอักษรที่ / แบบที่		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
36	6	1	5	5	1	1	5	1	5	6	12	17	18	22	27	29	29	27	31	30	30	30	31	31	31	31	57	48	71	45	66	50	56	68	63	52	42	71	46	66	60	52
	1	5	1	1	5	5	5	5	2	9	12	17	21	24	29	28	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	69	66	65	41	57	57	57	59	55	58	57	71	61	55	65	57
	2	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	71	65	63	45	59	60	58	60	54	61	59	70	60	58	68	60
	3	1	1	5	5	5	5	5	2	7	12	17	21	24	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	31	31	58	57	56	48	40	67	68	49	71	41	39	68	47	58	57	56
	4	1	1	5	5	5	5	1	1	7	12	17	20	22	29	28	28	28	31	31	31	30	31	31	31	31	51	51	56	52	41	66	66	40	67	40	33	71	54	52	52	52
	5	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	15	19	22	29	27	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	65	47	52	58	60	71	45	35	52	43	59	68	48	49	67	65
37	6	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	28	28	31	31	31	30	31	31	31	31	55	56	52	36	38	56	54	44	53	36	42	71	51	48	46	50
	1	5	5	2	1	5	1	1	1	7	13	15	21	22	29	27	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	52	54	68	34	70	59	32	63	66	62	34	63	35	52	71	57
	2	5	5	2	1	5	1	1	1	8	13	15	21	25	29	27	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	52	51	71	35	68	65	32	64	66	63	33	65	35	52	71	58
	3	5	5	5	2	5	1	5	1	9	12	17	21	25	29	28	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	49	51	71	37	68	57	32	64	61	53	45	57	38	61	62	54
	4	5	5	5	1	5	5	5	1	8	11	15	21	22	29	28	26	27	31	31	30	30	31	31	31	30	60	39	71	36	57	67	34	58	49	63	48	57	41	51	57	52
	5	5	5	5	1	5	5	5	1	8	11	17	21	23	29	27	27	27	31	31	30	30	31	31	31	30	58	44	71	37	66	70	32	56	61	60	47	63	36	52	66	56
38	6	5	5	1	1	5	1	5	1	8	12	15	21	23	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	54	53	60	35	71	55	32	58	49	59	42	60	32	51	71	54
	1	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	48	58	52	46	56	53	55	38	50	42	43	71	51	55	57	44
	2	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	47	53	51	48	54	52	58	37	52	41	37	71	48	53	56	44
	3	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	60	56	49	55	70	48	62	51	58	62	60	66	48	71	66	53
	4	1	5	5	5	5	5	1	5	7	11	15	21	23	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	54	50	37	49	71	34	47	50	39	54	49	55	33	60	63	42
	5	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	19	22	29	28	29	27	31	31	31	31	31	31	31	31	50	54	51	55	65	54	62	41	52	54	48	71	53	66	65	42
39	6	1	1	1	5	2	5	5	1	6	13	16	21	22	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	31	50	53	65	54	54	56	65	57	71	59	32	66	50	58	67	52	
	1	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	21	24	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	30	61	49	49	51	66	51	46	53	56	55	49	50	32	63	71	52
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	21	24	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	30	60	50	51	50	67	48	45	53	58	57	52	51	32	61	71	52

ตัวอักษรที่ / แบบที่	ตัวอักษรที่																																									
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
40	3	1	5	5	1	1	5	5	1	8	12	15	21	23	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	30	58	64	52	57	71	41	57	63	48	67	65	48	54	58	64	57
	4	5	5	2	5	2	5	5	5	7	12	15	21	23	28	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	54	47	62	54	50	71	32	62	59	49	49	54	51	52	71	43
	5	2	5	5	5	1	5	1	5	8	12	15	21	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	30	61	45	59	48	48	68	32	62	55	52	46	57	46	51	71	41
	6	1	1	5	1	2	5	5	1	7	13	15	21	22	28	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	30	52	61	50	54	71	40	49	58	45	61	61	46	49	55	60	53
	1	5	5	5	1	1	5	5	5	7	11	15	21	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	59	64	66	61	64	63	52	66	71	56	61	59	47	68	65	66
	2	5	5	5	1	5	1	5	5	7	11	15	21	23	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	59	59	63	58	61	60	50	62	71	54	61	56	46	63	61	62
41	3	5	5	5	1	5	1	5	5	7	11	15	19	22	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	55	62	69	52	71	51	45	67	60	57	55	56	49	64	70	59
	4	5	5	1	1	5	2	5	5	6	12	16	18	22	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	46	57	71	49	68	45	38	69	57	61	52	53	53	55	64	51
	5	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	28	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	37	60	60	47	71	37	36	64	60	49	57	46	44	65	55	45
	6	5	5	1	1	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	29	28	29	31	31	30	30	31	31	31	31	40	55	68	44	71	32	32	68	53	63	41	50	41	60	66	44
	1	1	5	5	5	5	5	1	5	7	11	15	19	22	28	26	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	48	66	59	37	53	44	65	52	67	51	32	71	36	61	60	62
	2	1	5	5	5	5	5	1	5	7	11	15	21	23	28	26	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	46	71	62	36	54	45	65	55	65	58	32	71	33	61	63	63
42	3	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	27	29	27	31	31	31	30	31	30	30	31	34	61	54	67	62	51	32	46	51	45	59	50	34	57	71	53
	4	1	5	1	5	1	1	5	5	6	12	15	18	22	28	26	29	29	31	31	30	30	31	30	31	31	71	47	32	32	47	41	67	53	39	64	48	63	32	50	60	64
	5	1	5	5	5	5	5	1	5	7	11	15	21	22	27	26	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	63	56	62	34	54	61	60	71	64	50	59	67	57	62	57	69
	6	1	5	5	1	5	5	1	1	6	12	15	18	22	29	27	29	26	31	31	31	30	31	30	30	31	38	56	62	53	68	57	32	32	51	46	53	69	35	49	71	65
	1	1	5	5	5	5	5	5	1	8	11	15	21	23	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	70	46	68	45	48	55	70	58	49	71	35	71	62	52	60	55
	2	1	5	5	5	5	5	5	1	8	11	15	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	65	47	64	45	45	54	66	56	49	71	32	67	57	53	59	52

ตัวอักษรที่ / แบบที่		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
43	6	1	1	5	1	2	5	5	1	7	13	15	21	23	29	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	31	59	56	71	39	55	48	60	63	54	68	32	66	58	53	59	57
	1	5	1	5	5	1	5	5	5	7	11	17	21	22	28	29	28	28	31	31	31	30	31	31	30	38	65	62	71	52	55	68	60	71	62	41	49	60	57	68	57	
	2	5	1	5	5	1	5	5	5	7	11	17	21	22	28	29	28	28	31	31	31	31	31	31	30	38	66	62	71	53	57	68	60	71	62	42	52	60	57	71	56	
	3	1	5	1	5	1	5	1	5	7	12	15	21	22	27	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	53	55	62	56	50	71	65	47	71	40	49	68	58	67	60	54	
	4	1	5	5	1	5	5	1	1	7	12	15	21	22	26	28	29	26	31	31	31	31	31	31	31	32	32	34	71	52	50	51	33	51	59	50	32	52	50	52	33	
	5	1	5	5	1	5	5	5	2	7	12	15	21	23	26	27	28	29	31	31	31	31	31	31	31	31	37	69	53	57	69	35	59	59	69	46	61	57	52	71	57	48
44	6	5	1	5	2	2	5	5	1	6	13	15	21	23	28	29	29	28	31	31	31	30	31	31	30	46	63	54	60	59	64	61	37	58	35	54	71	53	62	54	54	
	1	5	1	5	5	1	5	5	5	8	11	15	21	23	27	29	28	27	31	31	31	30	31	31	30	38	59	67	69	49	49	70	70	69	71	41	47	63	55	59	57	
	2	5	1	5	5	1	5	5	5	9	11	15	21	25	27	29	28	27	31	31	31	30	31	31	30	41	55	69	68	46	52	70	66	71	70	39	47	66	54	61	55	
	3	1	5	1	5	1	5	1	5	9	12	15	21	24	27	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	49	51	60	52	36	60	66	54	71	44	39	55	55	58	51	49	
	4	1	5	5	1	5	5	1	1	8	12	15	21	22	26	27	29	27	31	31	31	31	31	31	31	32	49	52	71	54	51	55	49	62	68	61	32	65	57	52	43	
	5	1	5	5	1	5	5	5	2	8	12	15	21	24	28	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	41	67	55	64	55	66	58	55	68	46	65	59	71	59	58	48	
45	6	5	1	5	2	2	5	5	1	7	13	15	21	23	28	29	29	27	31	31	31	30	31	31	30	44	63	69	54	50	71	67	47	71	39	47	68	60	57	52	62	
	1	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	31	66	55	67	41	39	71	61	58	69	47	39	68	52	51	66	59	
	2	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	31	65	54	65	41	39	71	61	58	65	47	40	65	52	50	64	58	
	3	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	28	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	71	66	59	47	42	63	68	65	70	56	50	64	58	58	64	62	
	4	5	1	1	5	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	69	64	61	36	33	48	71	63	70	68	32	65	57	51	66	55	
	5	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	33	57	71	42	54	51	38	54	62	49	32	58	50	47	55	49	
46	6	1	1	5	5	5	1	5	1	6	12	15	18	22	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	31	66	68	66	33	41	60	61	67	71	56	37	70	50	51	69	61	
	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	28	27	28	31	31	30	30	31	31	31	58	62	56	40	71	47	33	69	57	69	44	49	33	44	59	54	
	2	1	5	5	1	1	5	5	1	8	12	15	21	23	29	28	27	28	31	31	30	30	31	31	31	57	59	52	40	71	46	33	68	56	65	43	49	34	44	57	55	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
47	3	1	5	5	1	1	5	5	1	8	12	15	21	25	29	28	26	28	31	31	30	30	31	31	31	30	55	54	55	35	48	63	45	62	71	59	43	47	42	34	53	68
	4	5	1	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	29	27	28	31	31	30	30	31	31	31	30	55	47	42	58	44	56	32	70	71	38	57	39	32	56	61	41
	5	5	5	5	1	5	5	1	5	8	11	15	21	23	29	28	26	27	31	31	30	30	31	31	31	30	58	45	66	37	56	66	37	61	54	71	32	66	52	42	47	54
	6	1	1	5	1	2	5	5	1	7	13	15	21	22	29	28	26	28	31	31	30	30	31	31	31	30	51	50	55	35	44	65	43	58	71	56	40	43	42	35	50	61
	1	1	5	5	5	5	5	5	1	9	11	17	21	25	28	29	29	29	30	31	31	31	31	31	31	38	58	66	71	71	51	53	59	69	55	62	54	53	68	62	51	
	2	1	5	5	5	5	5	5	1	9	11	17	21	25	28	29	29	29	30	31	31	31	31	31	31	31	35	57	66	68	71	49	55	62	68	57	58	53	53	70	61	51
3	1	1	5	5	5	1	5	1	8	12	15	21	24	29	29	28	29	30	31	31	31	31	31	31	39	71	56	42	53	56	48	49	64	41	37	62	49	40	62	54		
4	5	1	1	5	1	5	5	1	7	12	15	21	22	28	29	29	28	31	31	31	31	31	31	30	32	62	68	63	59	48	53	59	68	41	53	56	57	71	51	43		
5	2	5	5	5	5	1	5	1	9	12	15	21	25	28	29	29	28	31	31	31	31	31	31	30	31	44	54	71	63	62	65	57	52	71	45	60	57	59	70	53	54	
6	5	1	5	1	5	1	5	1	9	12	15	21	25	28	27	27	29	31	31	30	30	31	31	31	30	61	53	53	46	71	50	34	56	42	60	50	56	33	53	63	57	
48	1	1	5	5	5	5	5	1	5	8	11	17	21	23	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	58	71	43	54	65	39	60	67	58	58	58	59	49	62	56	51
	2	1	5	5	5	5	5	1	5	7	11	17	21	22	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	63	71	43	54	59	45	58	70	57	60	59	60	54	58	58	51
	3	1	5	5	5	5	5	1	5	7	11	17	19	22	29	28	29	29	30	31	31	31	31	31	31	47	71	51	57	67	47	51	64	67	52	57	59	51	54	68	53	
	4	1	5	5	1	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	30	31	53	68	48	56	68	36	55	65	63	46	51	66	41	65	71	40
	5	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	17	19	22	27	28	29	26	31	31	31	31	31	31	31	32	49	38	66	54	49	53	50	70	46	62	32	53	71	61	32	
	6	1	5	5	1	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	28	28	29	30	31	31	31	31	31	31	54	63	57	55	65	43	55	71	65	54	56	61	52	69	54	50	
49	1	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	35	70	71	36	71	34	33	70	70	35	34	69	34	68	69	35	
	2	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	35	71	70	33	68	34	38	68	69	32	33	70	38	66	67	35	
	3	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	35	71	71	36	70	36	35	71	70	35	34	71	35	71	69	36	
	4	5	5	5	5	5	5	5	7	10	16	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	34	68	70	34	67	39	37	66	71	33	33	71	37	65	68	37		
	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	36	71	71	37	71	37	36	71	71	35	37	70	37	71	69	36	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
50	6	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	35	69	71	36	69	35	35	70	71	35	33	69	36	70	70	37	
	1	5	5	2	2	1	5	1	2	7	14	15	21	23	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	30	47	57	61	49	71	33	32	69	44	67	60	51	50	58	52	45
	2	5	5	2	4	1	5	1	4	7	14	15	21	23	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	30	48	58	61	46	63	37	32	71	44	64	59	47	56	56	54	44
	3	1	5	1	1	5	5	1	2	7	13	17	21	23	28	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	47	55	71	50	71	32	43	70	63	62	36	59	38	71	69	44
	4	5	1	5	1	5	5	5	2	7	12	15	21	22	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	47	49	60	46	67	35	32	71	48	58	49	50	40	63	58	40
	5	1	1	1	1	5	1	1	2	7	14	15	21	24	29	29	27	29	31	31	30	30	31	31	31	30	52	58	56	44	66	49	34	61	53	62	45	49	36	44	71	53
51	6	5	1	1	2	5	1	2	1	6	14	15	18	22	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	60	47	54	66	61	58	49	56	48	55	71	53	59	59	53	53
	1	11	5	6	5	5	7	7	8	9	14	15	21	25	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	30	31	71	68	40	61	53	49	65	59	56	58	61	57	61	64	46	
	2					1																																				
	3	10	6	4	6	7	0	4	5	9	14	15	21	25	29	29	29	29	31	31	31	30	31	30	30	30	54	71	68	40	60	54	52	68	59	57	59	63	59	61	65	47
	4	8	3	4	6	5	6	4	6	9	14	15	21	25	29	29	29	29	30	31	31	31	31	31	30	31	50	60	57	43	52	50	51	53	67	38	51	59	43	71	55	48
	5	4	6	2	7	2	8	6	3	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	45	71	58	48	52	50	50	60	63	38	60	61	59	60	53	41
52	6	4	6	4	5	4	5	5	5	9	14	15	21	25	28	29	29	28	30	31	31	31	31	31	31	41	50	68	57	61	55	51	59	70	49	42	63	46	71	60	44	
	1	3	1	3	5	2	8	2	5	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	56	45	56	53	71	33	32	68	51	53	52	53	32	62	70	32
	2	3	2	3	1	5	2	4	3	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	55	44	56	52	67	34	32	71	51	55	50	50	32	63	68	32
	3	5	3	4	4	4	3	5	4	9	14	15	21	25	29	29	29	27	31	31	30	30	31	31	31	30	45	47	62	52	71	32	32	67	57	53	42	50	32	66	69	34
	4	4	2	1	4	4	3	5	4	9	14	15	21	25	29	29	29	27	31	31	30	30	31	30	30	30	43	50	54	54	49	43	37	71	60	52	52	34	38	56	57	43
	5	2	4	5	3	1	4	3	1	9	14	15	21	25	29	28	27	26	31	31	30	30	31	31	30	30	58	56	62	71	65	59	65	60	44	68	66	68	62	55	57	45
53	6	3	1	1	7	1	7	4	5	9	14	15	21	25	29	28	28	27	31	31	30	30	31	31	31	30	49	47	55	55	70	32	32	65	52	64	42	47	32	57	71	34
	1	6	4	3	3	1	8	3	4	9	14	15	21	25	28	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	57	44	48	58	65	40	32	62	48	53	55	49	33	66	71	34

ตัวอักษรที่ / แบบที่	ตัวอักษรที่																																									
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
53	2	5	8	5	5	7	4	8	4	9	14	15	21	25	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	30	57	46	50	59	67	40	32	62	52	56	55	51	33	68	71	35
	3	4	2	5	2	3	5	7	3	9	14	15	21	25	29	28	29	27	31	31	30	30	31	31	31	30	51	47	53	58	70	36	32	66	53	55	51	49	33	69	71	35
	4	4	2	5	6	5	4	3	5	9	14	15	21	25	29	27	27	29	31	31	30	30	31	30	30	30	58	60	51	59	52	63	51	62	71	51	64	35	32	58	68	60
	5	5	6	1	3	2	6	5	2	9	14	15	21	25	29	28	28	26	31	31	30	30	31	31	30	30	62	57	56	71	63	63	56	63	63	61	63	55	55	63	69	51
	6	5	1	2	5	5	4	3	1	9	14	15	21	25	29	28	28	27	31	31	30	30	31	31	31	30	53	43	49	58	69	38	32	60	48	55	50	47	32	62	71	35
	54	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	47	63	57	70	68	41	47	68	54	54	71	57	51	66	56
2		5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	44	68	60	69	71	43	47	71	54	56	71	59	52	64	54	38
3		5	5	5	1	5	5	5	1	8	11	15	21	23	29	29	29	28	30	31	31	31	31	30	31	36	68	59	60	71	42	40	71	54	53	63	58	54	56	59	35	
4		1	5	5	1	1	5	5	1	7	12	15	21	22	29	28	29	28	31	31	31	31	31	30	31	40	49	71	60	53	51	55	68	70	64	32	34	40	52	62	67	
5		1	5	5	1	5	1	5	1	6	12	15	18	22	29	26	28	27	31	31	31	30	31	31	30	31	68	39	47	54	60	50	46	53	38	71	58	32	32	41	58	57
6		5	1	5	1	5	5	1	1	6	12	15	18	22	29	29	29	27	31	31	31	30	31	31	30	31	35	71	54	58	59	44	45	68	62	35	66	52	42	66	51	44
55	1	10	1	5	4	4	1	6	4	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	63	71	50	60	66	55	68	71	70	47	69	63	59	64	54	58
	2	6	1	1	4	3	3	4	2	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	60	71	50	60	64	58	66	70	68	48	70	63	57	64	53	58
	3	7	3	6	1	4	2	6	5	9	14	17	21	25	28	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	68	66	53	70	59	50	71	71	65	52	70	63	55	71	51	53	
	4	5	1	6	3	2	2	8	3	9	14	17	21	25	29	29	29	29	30	30	31	31	31	31	31	66	49	53	63	64	59	61	55	34	67	71	55	71	54	53	65	
	5	5	3	3	3	4	4	2	4	9	14	17	21	25	28	29	29	29	30	31	31	31	31	31	31	61	64	55	67	50	59	71	71	67	53	66	55	60	55	50	55	
	6	3	3	1	2	2	2	2	3	9	14	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	31	64	64	62	65	67	59	69	70	71	57	64	63	66	63	57	64
56	1	6	2	3	1	2	5	1	4	9	14	15	21	25	29	28	29	27	31	30	31	31	31	31	30	64	56	50	62	54	58	71	56	62	55	49	59	54	56	71	55	
	2	2	5	1	3	1	2	5	3	9	14	15	21	25	29	27	29	27	31	31	31	31	31	31	30	66	58	46	65	53	59	68	53	65	57	46	64	54	59	71	54	
	3	2	5	3	5	5	1	2	2	9	14	15	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	30	70	64	65	71	64	68	68	64	66	65	66	68	69	68	67	69	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
57	4	1	1	1	1	2	1	5	1	9	14	15	21	25	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	30	30	57	64	57	68	61	63	53	71	60	66	60	68	60	63	56	67
	5	5	5	1	2	1	5	5	2	9	13	15	21	25	29	29	29	31	31	31	31	31	31	30	30	60	70	66	71	63	68	68	69	59	69	65	69	64	68	66	70	
	6	1	1	5	1	5	5	1	2	9	13	15	21	25	29	27	29	31	31	31	30	31	31	30	30	63	63	67	46	54	51	55	71	63	63	68	48	54	51	55	71	
	1	5	5	5	1	1	5	5	5	9	11	15	21	25	29	28	27	29	31	31	30	30	31	31	30	30	48	58	65	40	70	43	32	64	52	37	45	69	39	71	66	32
	2	5	5	5	2	1	5	5	1	7	12	15	21	23	29	28	27	28	31	31	30	30	31	31	30	30	49	55	64	44	69	46	32	60	52	37	46	65	39	71	69	32
	3	5	5	5	2	5	1	1	5	7	12	15	21	23	29	28	27	28	31	31	30	30	31	31	30	30	47	51	68	41	63	51	32	55	53	47	32	71	37	59	71	38
	4	1	5	1	5	1	5	5	1	6	12	15	18	22	28	29	27	29	31	31	31	31	31	31	31	58	55	47	33	52	32	39	71	32	44	58	56	49	66	47	35	
58	5	1	5	1	5	1	5	5	1	6	12	15	18	22	27	29	26	29	31	31	31	31	31	31	31	56	45	39	34	32	32	43	71	34	48	51	44	54	50	41	32	
	6	5	1	5	1	1	1	5	5	6	12	15	18	22	29	29	27	29	31	31	30	30	31	31	30	30	42	61	67	34	70	42	34	55	59	43	32	68	32	55	71	44
	1	4	1	5	1	1	1	4	5	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	35	67	70	37	71	38	36	70	71	36	34	68	36	69	71	38	
	2	3	2	2	2	5	5	4	5	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	31	30	31	31	31	36	65	66	39	71	34	32	68	63	40	36	64	34	67	70	37	
	3	5	2	2	6	1	3	2	4	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	30	30	31	31	31	34	65	68	36	63	46	44	64	71	36	36	68	39	65	58	44	
	4	2	5	2	3	3	1	2	1	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	37	69	70	37	69	38	41	70	71	36	35	71	39	69	69	39	
	5	4	3	2	3	5	3	2	2	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	36	67	71	40	66	42	36	66	71	36	34	67	38	65	68	41	
59	6	5	2	1	4	2	2	2	1	9	14	17	21	25	29	29	28	29	31	31	31	30	31	31	31	36	67	67	36	71	38	35	67	65	35	35	68	36	69	70	37	
	1	6	5	1	4	3	5	2	1	9	14	17	21	25	29	28	28	29	31	31	30	30	31	31	31	42	71	58	32	67	35	54	59	47	47	42	67	56	53	59	43	
	2	3	4	3	1	2	1	6	2	9	14	17	21	25	29	27	29	29	31	31	30	30	31	31	31	42	71	56	32	69	35	54	59	46	45	42	68	55	50	60	43	
	3	5	1	5	6	1	2	2	2	9	14	17	21	25	29	27	28	29	31	31	30	30	31	31	31	39	71	53	34	65	35	40	58	49	41	52	52	45	47	52	51	
	4	3	2	2	3	3	5	1	1	9	14	17	21	25	29	29	29	27	31	31	30	30	31	31	31	43	71	57	36	57	33	50	63	56	46	48	58	58	57	57	40	
	5	10	1	1	1	3	4	3	3	9	14	17	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	39	69	57	42	58	35	45	66	69	33	43	63	42	71	61	33	
	6	7	5	1	1	5	3	5	1	9	14	17	21	25	28	28	28	29	31	31	30	30	31	31	31	37	66	58	35	71	34	35	63	55	40	57	53	38	59	49	48	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
60	1	1	2	3	2	3	1	2	2	9	14	17	21	25	28	28	29	27	31	31	30	30	31	31	31	31	40	57	71	46	68	44	39	70	58	56	53	51	56	63	50	54
	2	3	2	1	4	4	2	1	3	9	14	17	21	25	27	27	29	27	31	31	30	30	31	31	31	31	41	57	71	48	71	44	42	71	61	55	53	52	56	68	54	54
	3	5	1	1	1	2	1	5	5	9	13	17	21	25	28	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	36	53	71	39	63	39	36	63	57	54	35	53	45	56	56	47
	4	3	5	1	3	5	2	4	1	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	53	67	71	53	70	51	54	71	66	55	58	65	55	67	68	55	
	5	2	2	4	3	2	4	4	1	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	48	71	63	56	70	45	51	63	69	49	59	62	49	69	62	57
	6	1	1	2	4	5	3	2	3	9	14	17	21	25	27	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	38	58	64	42	71	34	32	68	52	51	48	51	44	59	61	44
61	1	2	1	4	5	3	2	5	2	9	14	17	21	25	28	27	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	56	65	71	42	66	55	43	68	56	50	56	60	57	65	61	53
	2	6	5	2	5	4	5	6	3	9	14	17	21	25	29	27	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	50	67	71	38	67	53	40	66	57	53	57	62	52	62	61	52
	3	2	5	4	3	1	4	2	2	9	14	17	21	25	28	27	29	29	30	31	31	31	31	31	31	44	70	64	38	71	39	42	66	52	53	54	55	47	56	57	53	
	4	1	3	3	2	1	2	5	1	9	14	17	21	25	29	28	29	29	31	31	31	31	31	31	31	59	63	71	46	64	59	50	66	68	54	49	69	47	62	65	59	
	5	4	2	5	3	2	3	5	4	9	14	17	21	25	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	50	71	61	52	60	55	56	65	62	45	59	71	64	65	61	50
	6	5	5	5	5	2	3	4	1	9	14	17	21	25	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	40	58	60	37	71	36	35	63	49	54	48	47	43	57	51	50
62	1	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	26	29	28	31	31	31	31	31	30	31	31	54	50	41	32	54	50	39	32	37	43	58	38	32	32	38	71
	2	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	26	29	28	31	31	31	31	31	30	31	52	52	42	32	52	53	41	32	33	40	62	39	32	32	39	71	
	3	1	5	1	5	1	5	5	1	6	12	17	18	22	27	26	29	29	31	31	30	30	31	30	31	67	54	32	32	51	48	32	44	35	42	46	53	32	41	71	51	
	4	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	26	26	27	31	31	31	31	31	31	31	61	47	39	32	50	50	47	32	33	52	54	42	32	32	37	71	
	5	5	1	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	26	26	27	30	31	31	31	31	31	31	50	52	40	33	57	41	44	37	38	51	54	35	32	32	38	71	
	6	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	28	26	29	29	31	31	30	30	31	31	30	31	65	65	43	32	60	65	45	32	35	41	64	60	32	37	58	71
63	1	2	5	1	1	1	5	2	1	6	14	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	30	31	31	69	60	58	64	69	58	58	64	67	64	58	61	39	71	65	63
	2	2	5	5	2	1	5	2	1	6	14	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	30	31	31	67	63	55	67	67	61	55	67	65	71	54	63	35	71	68	66
	3	2	5	2	5	3	5	5	1	6	14	17	18	22	28	26	29	29	31	31	30	30	31	31	31	30	63	64	57	32	68	59	45	33	43	49	35	58	33	50	68	71

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
64	4	1	5	1	1	5	5	1	2	7	13	15	21	23	29	27	26	28	31	31	31	31	31	31	31	31	71	46	36	36	50	50	47	48	38	53	50	53	32	38	58	60
	5	1	1	5	2	1	5	1	2	6	14	15	18	22	29	28	27	29	31	31	31	31	31	31	31	71	51	44	36	61	52	47	47	39	64	53	54	32	38	62	70	
	6	2	1	5	1	1	2	5	1	6	14	17	18	22	29	26	29	28	31	31	30	30	31	31	30	31	58	52	55	45	58	52	55	47	53	62	43	43	35	52	49	71
	1	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	29	29	31	31	31	31	31	31	30	31	32	48	62	52	71	53	32	32	46	58	35	49	32	39	66	59
	2	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	29	29	31	31	31	31	31	31	31	32	47	59	53	71	51	32	32	46	57	35	48	32	39	64	59	
	3	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	33	53	49	48	71	39	32	36	46	47	44	48	32	48	56	47
	4	1	5	1	5	5	1	5	1	6	12	15	18	22	29	27	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	38	44	45	44	71	39	32	32	32	46	51	42	32	39	45	55
65	5	1	5	5	5	5	1	5	5	7	11	15	21	23	29	26	29	29	31	31	31	31	31	31	31	39	51	62	37	71	53	32	32	40	45	46	57	32	39	53	62	
	6	1	5	5	1	5	5	1	1	6	12	15	18	22	29	28	29	27	31	31	31	30	31	31	31	37	54	43	43	71	38	33	35	34	47	44	49	32	41	54	52	
	1	2	5	5	5	5	1	5	1	7	12	17	21	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	39	61	38	61	71	32	71	32	61	42	59	42	35	63	34	63	
	2	2	5	5	5	5	1	5	1	7	12	17	21	23	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	30	31	40	61	39	61	71	32	71	32	60	41	59	41	36	66	34	66
	3	5	2	5	5	5	1	5	1	7	12	17	21	23	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	49	56	47	58	69	34	71	33	55	54	55	54	45	61	43	64	
	4	2	5	2	5	1	1	1	1	6	14	17	18	22	29	29	29	29	30	30	31	31	31	31	31	48	54	49	53	71	32	71	32	47	57	45	59	39	65	37	64	
	5	2	5	5	5	1	5	1	5	9	12	15	21	25	27	27	29	29	31	31	31	30	31	31	30	31	49	55	48	55	71	33	69	32	44	53	47	55	36	59	42	63
66	6	2	5	5	2	5	2	5	2	6	14	17	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	55	51	54	52	71	35	71	35	47	58	47	59	38	64	38	66	
	1	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	29	27	31	31	31	30	31	31	31	39	47	48	56	71	33	32	40	34	57	60	33	35	51	52	55	
	2	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	28	29	27	31	31	31	30	31	31	31	39	47	48	56	71	33	32	40	34	57	60	33	35	51	52	55	
	3	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	27	29	26	31	31	31	30	31	31	31	40	45	43	54	71	32	32	40	35	59	56	32	32	53	55	51	
	4	1	5	1	5	5	5	1	1	7	12	15	21	22	29	27	29	26	31	31	30	30	31	31	31	35	44	42	47	71	36	32	32	32	46	58	42	32	48	48	48	
	5	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	27	29	26	31	31	30	30	31	31	30	31	41	42	46	60	71	46	36	33	38	54	56	33	38	47	56	61
	6	1	5	5	1	5	5	1	1	6	12	15	18	22	29	27	29	26	31	31	31	30	31	31	31	31	41	47	47	52	71	33	32	35	33	58	49	38	32	44	57	57

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
67	1	5	5	5	1	1	5	5	5	7	11	15	21	25	29	27	28	28	31	31	30	30	31	30	30	30	56	57	47	32	52	44	42	55	48	43	32	58	34	49	71	38
	2	5	5	5	1	1	5	5	5	7	11	15	21	25	29	27	28	28	31	31	30	30	31	30	30	55	54	48	32	53	44	41	55	46	43	32	58	34	48	71	38	
	3	5	5	5	2	5	5	1	1	7	12	17	21	23	28	29	26	29	31	31	30	30	31	30	30	71	32	33	32	32	47	47	45	32	51	41	43	32	36	51	47	
	4	5	5	1	1	5	5	1	1	7	12	17	18	22	28	27	26	29	31	30	30	30	31	30	30	66	46	32	32	49	45	49	34	32	40	33	71	32	39	66	42	
	5	5	1	5	1	5	5	1	1	7	12	15	18	22	28	28	26	29	31	31	30	30	31	30	30	71	46	32	32	49	50	47	37	32	32	39	69	32	50	64	41	
	6	5	5	1	1	5	5	2	5	7	12	15	18	22	29	28	26	29	31	31	30	30	31	30	30	71	32	32	32	32	44	51	42	32	58	35	43	32	33	51	47	
68	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	28	27	31	31	30	30	31	31	31	31	32	51	71	37	33	55	55	45	57	44	32	65	65	45	32	45
	2	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	28	27	31	31	30	30	31	31	31	31	32	42	71	35	34	56	53	51	58	42	32	57	61	47	32	43
	3	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	19	22	29	27	28	27	31	31	30	30	31	31	31	31	39	54	71	47	48	49	48	61	61	41	50	57	62	56	45	37
	4	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	29	29	27	27	31	31	30	30	31	31	31	31	32	40	71	43	49	47	51	64	58	49	40	53	58	56	42	39	
	5	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	28	27	31	31	30	30	31	31	31	31	32	48	71	36	38	55	63	55	54	44	32	62	70	52	32	42
	6	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	29	28	26	27	31	31	30	30	31	31	31	31	32	38	71	50	42	46	53	60	58	52	34	51	64	58	40	34	
69	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	31	31	39	66	62	37	65	32	42	71	59	51	44	41	39	48	59	55
	2	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	29	28	28	31	31	31	31	31	31	31	40	65	61	36	61	33	43	71	56	51	43	39	40	49	58	55	
	3	1	5	5	1	5	1	5	1	7	12	15	21	23	29	28	26	27	30	30	31	31	31	31	30	43	71	55	40	59	38	61	59	62	50	50	35	41	52	43	58	
	4	1	5	5	1	1	5	5	1	8	12	17	21	25	29	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	33	52	60	57	62	34	44	70	55	71	47	32	57	47	56	41	
	5	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	29	27	27	31	31	30	30	31	31	31	30	53	69	57	49	67	36	60	71	65	51	59	42	35	69	51	57
	6	5	1	5	1	5	5	5	2	6	12	17	18	22	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	31	41	71	63	36	59	41	41	66	58	48	52	51	49	52	50	48	
70	1	2	5	5	5	1	5	5	1	7	12	15	21	22	29	29	26	29	31	31	31	31	31	31	30	31	67	53	44	32	51	50	56	37	32	32	37	63	41	71	55	39
	2	2	5	5	5	1	5	5	1	8	12	15	21	23	28	29	26	29	31	31	31	31	31	31	30	31	67	51	46	32	51	50	56	36	32	32	33	64	39	71	55	39
	3	2	5	5	5	1	5	5	1	7	12	15	21	22	28	29	28	29	31	31	31	31	31	31	31	69	60	40	36	43	61	69	41	38	33	35	71	59	65	59	35	

ตัวอักษรที่ / แบบที่	ตัวอักษรที่																																									
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
71	4	2	5	5	1	2	5	5	1	7	13	15	21	23	27	29	28	28	31	31	31	30	31	30	30	31	47	71	36	41	32	35	52	55	49	32	53	48	69	57	37	34
	5	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	26	29	28	28	31	31	31	31	31	31	30	31	57	70	51	40	43	59	57	51	35	32	52	71	65	62	47	32
	6	2	5	5	5	1	5	5	1	7	12	15	21	22	29	29	26	29	31	31	31	31	31	31	30	31	67	53	44	32	51	50	56	37	32	32	37	63	41	71	55	39
	1	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	21	23	28	27	27	29	31	31	31	31	31	31	30	31	71	44	33	32	32	34	46	71	36	59	51	35	37	49	47	48
	2	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	21	23	28	27	28	29	31	31	31	31	31	31	30	31	71	43	33	32	32	34	48	64	37	56	52	35	36	46	49	46
	3	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	21	22	28	27	26	29	31	31	31	31	31	31	31	31	71	34	32	32	35	42	43	56	32	48	52	43	32	49	43	49
72	4	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	19	22	27	27	26	29	31	31	31	31	31	31	30	31	71	36	32	32	35	44	48	46	32	50	53	40	32	39	45	54
	5	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	19	22	26	28	26	29	31	31	31	31	31	30	30	59	43	49	46	32	44	69	61	51	62	50	44	47	48	42	71	
	6	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	27	27	29	31	31	31	31	31	31	30	31	71	41	33	32	32	37	62	48	40	56	38	42	33	40	42	62
	1	5	1	5	5	1	5	5	5	7	11	15	19	22	29	29	27	28	31	31	30	30	31	31	30	30	59	45	46	58	69	32	34	71	45	66	50	33	32	50	70	44
	2	5	1	5	5	1	5	5	5	7	11	15	21	22	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	30	30	57	47	45	56	69	32	34	71	44	68	49	33	32	52	66	45
	3	5	1	5	5	1	5	5	5	7	11	15	19	22	29	29	28	28	31	31	31	30	31	31	30	30	53	47	46	60	68	32	32	70	44	69	54	35	33	56	71	44
73	4	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	19	22	27	27	26	29	31	31	31	31	31	31	30	31	71	36	32	32	35	44	48	46	32	50	53	40	32	39	45	54
	5	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	21	22	26	28	26	29	31	31	31	31	31	30	30	56	42	50	42	32	42	71	52	48	59	49	41	45	47	43	66	
	6	5	1	5	1	1	5	1	5	6	12	15	18	22	29	29	26	28	30	31	31	31	31	31	31	55	42	44	61	65	32	38	71	40	65	59	32	36	59	68	43	
	1	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	26	29	29	29	31	30	31	31	31	30	30	31	32	53	55	49	39	33	50	57	71	40	43	43	56	61	41	32
	2	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	23	26	29	29	29	31	30	31	31	31	30	30	31	32	51	52	49	39	32	45	58	71	38	41	43	52	60	40	32
	3	2	1	5	1	1	3	5	5	6	14	15	21	22	27	29	27	29	31	31	31	31	31	31	31	31	49	47	46	32	33	52	53	36	35	32	32	71	50	44	43	35

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
74	1	1	5	1	5	1	5	5	1	7	12	15	21	22	29	28	28	27	31	31	31	31	31	31	31	31	32	63	70	42	48	56	50	52	71	41	32	59	56	45	55	49
	2	1	5	1	5	1	5	5	1	7	12	15	21	24	29	28	28	27	31	31	31	31	31	31	31	32	63	67	43	49	54	52	54	71	43	33	56	57	44	53	51	
	3	2	5	5	5	1	5	5	1	7	12	15	21	23	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	50	65	65	38	44	54	55	63	71	46	32	66	53	50	64	48	
	4	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	23	28	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	34	71	57	41	43	44	57	51	71	42	32	61	55	46	55	47	
	5	2	5	1	5	1	1	5	1	7	13	15	21	22	29	28	28	28	31	31	31	31	31	31	31	37	56	71	39	59	53	41	51	58	48	32	66	48	47	59	49	
	6	1	1	1	5	1	1	5	1	6	13	15	21	22	29	28	29	28	31	31	31	31	31	31	31	56	62	61	46	49	61	61	61	69	58	33	66	51	49	71	55	
75	1	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	41	69	62	41	71	41	48	71	65	37	44	65	45	71	64	46	
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	40	71	65	43	68	39	41	71	65	41	41	67	40	68	63	45	
	3	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	38	66	68	41	69	44	43	71	71	37	36	71	42	71	71	43	
	4	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	45	69	70	49	65	46	44	66	70	50	47	71	45	66	67	49	
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	40	61	68	42	66	47	45	66	64	41	37	63	46	66	71	45	
	6	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	40	68	65	43	69	40	40	67	66	36	36	64	44	71	67	44	
76	1	1	5	5	1	1	5	5	1	7	12	17	21	22	29	28	28	27	31	31	30	30	31	31	31	40	71	58	35	45	41	58	46	57	40	47	69	65	54	38	48	
	2	1	5	5	1	1	5	5	1	7	12	17	18	25	29	26	27	27	31	31	30	30	31	31	31	43	63	52	32	50	48	69	37	51	47	44	71	63	42	32	71	
	3	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	28	26	31	31	30	30	31	31	31	45	58	54	35	44	42	57	49	48	39	51	71	58	52	42	41	
	4	1	5	5	1	1	5	5	1	7	12	15	21	23	29	27	26	27	31	31	30	30	31	31	30	56	61	44	32	49	46	65	32	49	46	47	47	41	41	32	71	
	5	1	5	5	1	5	1	5	1	7	12	17	21	22	29	27	28	27	31	31	31	31	31	31	31	47	68	67	42	57	46	51	64	66	37	59	59	59	71	55	39	
	6	1	5	5	1	1	5	5	1	7	12	17	20	25	29	27	28	27	31	31	30	30	31	31	31	35	60	60	37	49	43	71	54	50	49	38	70	69	54	32	46	
77	1	1	5	5	1	5	5	5	2	7	12	17	21	23	28	29	29	29	30	30	31	31	31	31	31	36	68	52	47	63	39	59	57	70	32	42	62	40	71	57	43	
	2	1	5	1	5	5	1	5	1	8	12	17	21	25	29	26	29	28	31	31	31	30	31	31	31	33	68	65	38	71	34	48	50	67	39	32	44	32	65	53	51	
	3	1	5	5	1	5	5	1	1	7	12	17	21	23	29	27	29	28	31	31	31	30	31	31	31	34	55	68	41	54	52	35	51	71	35	49	44	35	52	46	47	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
78	4	1	1	5	5	5	1	5	1	7	12	17	21	22	29	27	29	27	31	31	31	30	31	31	31	31	35	59	71	40	58	46	50	47	66	32	37	65	48	56	49	53
	5	1	1	5	5	1	5	5	1	8	12	17	21	24	29	26	29	27	31	31	30	30	31	31	31	31	33	71	58	49	60	53	52	49	69	34	41	56	50	50	61	50
	6	1	5	5	1	5	5	5	2	7	12	17	21	25	28	29	28	28	31	31	31	31	31	31	31	34	64	55	47	57	43	50	58	71	32	41	61	46	63	52	42	
	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	26	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	60	60	45	32	51	53	37	49	43	33	54	71	37	52	61	42
	2	5	5	5	1	5	5	5	1	9	11	17	21	25	29	26	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	67	64	43	32	56	55	41	61	45	33	59	71	39	56	67	46
	3	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	23	29	26	29	29	31	31	30	30	31	31	31	30	55	59	47	32	54	50	56	36	47	36	48	53	37	51	41	71
	4	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	27	26	28	31	30	31	31	31	31	31	58	45	33	32	39	45	55	32	40	47	53	37	36	33	32	71	
79	5	1	5	5	1	5	1	5	1	9	12	17	21	24	29	26	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	67	66	38	32	58	40	71	38	45	54	58	50	35	50	41	71
	6	1	5	5	1	5	1	5	1	6	12	17	18	22	28	26	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	45	60	58	32	63	49	47	37	47	37	37	71	40	49	54	45
	1	2	5	5	5	5	1	1	7	12	17	21	23	29	28	29	28	31	31	30	30	31	31	31	31	62	63	59	67	69	47	63	71	60	70	61	59	64	69	69	54	
	2	2	5	5	5	5	1	1	7	12	17	21	25	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	65	67	56	70	69	50	65	68	60	71	67	62	61	67	68	52	
	3	1	1	5	5	5	5	1	1	7	12	17	21	25	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	34	56	38	70	53	68	40	51	50	34	71	50	63	50	57	34	
	4	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	23	28	29	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	49	71	54	61	71	34	60	64	64	62	46	55	51	60	67	54
	5	5	4	2	5	3	1	5	2	9	14	17	21	25	27	27	29	29	31	31	31	31	31	31	31	51	71	41	53	59	35	66	50	55	54	64	55	50	59	48	60	
80	6	1	5	5	1	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	28	28	29	31	31	31	31	31	31	31	52	63	61	55	65	46	53	71	65	54	54	61	54	63	68	52	
	1	5	1	1	5	1	5	5	1	8	12	17	21	22	29	29	26	29	31	31	31	31	31	31	31	66	55	49	34	71	50	35	47	32	45	63	66	32	57	52	61	
	2	1	5	1	5	1	5	5	1	7	12	17	21	23	29	29	26	29	31	31	31	31	31	31	31	62	54	50	34	71	46	35	47	32	42	57	64	32	55	53	58	
	3	1	5	1	5	1	5	5	1	7	12	17	21	23	29	26	26	28	31	31	31	31	31	31	31	71	57	33	32	59	53	50	33	32	44	54	65	32	39	58	69	
	4	1	5	1	5	1	5	5	1	7	12	17	21	22	29	28	26	28	31	31	31	31	31	31	31	71	59	41	32	71	41	44	51	32	52	53	64	32	54	67	56	
	5	5	2	5	1	1	1	5	1	7	13	17	21	23	29	29	26	27	31	31	31	31	31	31	31	44	54	51	42	71	40	33	43	43	42	53	60	32	55	61	45	
	6	5	5	1	1	5	5	1	1	6	12	17	18	22	29	27	26	27	31	31	31	31	31	31	31	43	63	47	32	61	44	37	45	51	52	51	37	32	32	52	71	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
81	1	5	1	5	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	27	29	26	31	31	30	30	31	30	30	31	32	40	61	55	49	61	32	46	56	52	36	33	32	51	71	51	
	2	5	1	5	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	27	29	26	31	31	30	30	31	30	30	31	32	41	61	54	47	62	32	49	55	48	39	33	32	54	71	47	
	3	1	5	5	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	27	29	26	31	31	31	30	31	31	30	31	32	33	61	63	55	66	37	34	67	49	38	36	32	56	71	50	
	4	1	5	5	1	5	1	5	1	6	12	17	18	22	29	28	29	26	31	31	30	30	31	30	30	31	32	45	71	46	48	49	32	47	59	56	32	37	35	52	64	48
	5	1	5	5	1	5	5	1	1	6	12	15	18	22	29	27	29	26	31	31	31	30	31	30	31	31	33	39	69	71	51	60	40	42	60	56	43	32	41	45	60	61
	6	1	5	5	1	5	5	1	1	6	12	15	18	22	29	27	29	26	31	31	30	30	31	31	30	31	32	40	71	57	63	54	32	34	52	59	39	48	37	47	67	59
82	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	19	22	29	28	29	27	31	31	30	30	31	31	30	31	55	48	53	51	49	71	43	51	59	37	55	63	51	50	66	47
	2	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	29	27	31	31	30	30	31	31	30	31	54	48	50	50	50	71	39	51	58	36	53	64	48	53	61	46
	3	5	5	1	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	28	29	28	31	31	31	30	31	31	31	31	58	51	70	52	61	68	45	61	66	39	60	69	52	71	59	55
	4	5	1	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	23	29	28	28	28	31	31	31	30	31	31	31	31	60	41	62	50	55	71	47	55	63	41	54	65	41	66	62	53
	5	5	5	5	2	5	5	1	1	7	12	17	21	22	29	28	28	28	31	31	30	30	31	31	31	31	52	53	71	48	55	68	38	66	65	47	51	68	50	69	62	52
	6	1	5	5	1	1	5	1	5	6	12	17	18	22	27	29	29	27	31	31	31	30	31	31	31	31	54	41	71	45	62	48	47	60	59	52	37	64	47	60	56	50
83	1	5	5	5	2	5	5	1	1	8	12	17	21	24	29	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	41	65	65	44	71	33	38	68	63	52	38	66	39	66	66	39	
	2	5	5	5	2	5	5	1	1	7	12	17	21	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	39	66	65	43	71	35	43	68	65	50	35	69	40	68	66	38	
	3	5	1	5	1	5	5	1	1	8	12	17	21	25	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	38	61	65	40	66	36	56	64	66	46	32	62	49	71	55	47	
	4	5	5	1	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	39	66	71	38	68	34	39	68	64	49	38	66	42	69	58	47	
	5	5	1	5	2	5	1	5	2	7	13	17	21	25	29	28	29	28	30	30	31	31	31	31	31	45	65	65	50	71	46	50	62	69	48	49	67	45	71	58	54	
	6	5	5	5	2	5	1	1	5	6	12	17	18	22	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	31	34	58	66	40	65	44	46	62	71	39	34	63	38	69	57	49	
84	1	1	1	5	5	5	2	5	6	12	17	18	22	28	29	29	29	31	30	31	31	31	31	30	31	35	57	56	58	69	42	36	60	67	33	46	60	37	71	66	32	
	2	1	1	5	5	5	2	5	6	12	17	18	22	28	29	29	29	31	30	31	31	31	31	31	33	53	53	58	71	52	41	56	71	34	43	63	35	67	70	32		
	3	1	1	5	5	5	5	2	6	12	17	18	22	28	29	29	29	31	30	31	31	31	30	31	34	60	44	59	67	47	52	57	71	34	45	58	40	69	71	32		

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																														
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16					
	4	1	1	1	5	2	5	5	1	7	13	17	21	23	28	26	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	50	64	35	36	59	35	32	59	43	48	39	56	32	41	71	35				
	5	1	1	5	5	5	5	1	1	6	12	17	18	22	29	29	29	27	31	31	31	31	31	31	31	31	34	58	59	61	70	45	32	66	60	41	56	55	45	71	67	32				
	6	1	5	5	1	5	5	5	2	7	12	17	21	24	28	29	29	29	31	30	31	31	31	30	31	37	62	47	56	65	47	62	52	67	32	45	68	45	71	59	35					
	1	3	5	5	5	1	1	5	1	6	13	17	21	22	29	28	29	29	31	30	31	31	31	31	31	53	52	40	59	53	60	32	57	64	37	44	57	33	56	71	32					
	2	3	5	5	5	1	1	5	1	6	13	17	21	22	29	28	29	29	31	30	31	31	31	31	31	50	51	37	57	48	57	32	52	60	38	40	56	32	53	71	32					
	3	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	38	60	71	40	71	41	32	63	56	52	32	67	39	58	70	41					
85	4	1	5	5	1	2	5	5	5	7	12	16	21	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	50	58	71	34	64	45	37	66	42	61	32	71	49	53	69	41					
	5	2	5	5	1	2	5	5	1	6	13	17	21	22	27	27	29	27	31	31	31	30	31	31	31	41	56	32	68	39	53	45	60	52	39	71	38	58	58	52	32					
	6	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	40	65	64	34	66	39	34	70	61	39	35	68	36	66	71	37					
	1	2	5	5	5	1	5	5	1	7	12	17	21	24	27	29	29	28	31	31	30	30	31	31	31	46	37	55	50	44	38	41	59	60	34	60	44	40	71	37	32					
	2	2	5	5	5	1	5	5	1	7	12	17	21	23	27	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	47	34	56	54	47	37	45	69	63	34	57	45	38	71	37	32					
	3	1	1	5	5	1	5	1	5	7	12	17	21	22	27	29	29	29	30	31	31	31	31	31	31	37	53	71	47	53	53	45	63	59	46	41	59	55	53	53	45					
86	4	1	1	5	5	1	5	5	1	8	12	17	21	24	29	29	29	26	31	31	31	30	31	31	31	51	49	55	42	48	43	36	55	57	37	52	58	40	71	53	35					
	5	2	5	5	5	5	1	5	1	7	12	17	20	25	29	29	29	27	31	31	30	30	31	31	31	42	55	59	46	51	48	51	59	71	35	41	64	45	71	59	36					
	6	1	1	5	5	1	5	5	1	8	12	17	21	23	28	26	29	29	31	31	30	30	31	31	31	41	35	53	51	50	33	43	56	54	40	45	46	37	71	40	32					
	1	2	5	5	5	1	5	5	1	6	12	17	18	22	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	54	50	44	58	71	32	32	67	47	53	56	48	33	71	68	34					
	2	2	5	5	5	1	5	5	1	6	12	17	18	22	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	54	50	42	60	71	32	33	63	44	51	55	46	33	70	70	34					
	3	2	5	5	5	1	5	5	1	6	12	17	18	22	28	28	29	29	31	31	31	31	31	31	31	49	53	43	55	71	32	32	60	45	52	57	50	32	70	71	35					
87	4	2	5	5	5	1	5	5	1	6	12	17	18	22	28	27	29	29	31	31	31	30	31	31	31	64	44	32	71	57	44	59	53	46	58	58	46	41	70	63	42					
	5	2	5	5	5	1	5	5	1	6	12	17	18	22	28	28	29	29	31	31	30	30	31	30	31	30	31	31	31	31	68	43	35	70	69	38	39	68	42	64	67	45	35	71	68	38
	6	2	5	5	1	1	1	5	1	6	13	17	21	22	28	28	29	29	31	31	30	30	31	31	31	51	52	43	56	71	32	32	62	45	51	57	48	32	68	71	34					

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	
88	1	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	34	71	71	35	70	35	34	68	70	35	34	71	34	69	69	35	
	2	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	34	68	70	35	71	35	34	69	70	35	33	70	34	66	68	35	
	3	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	34	70	71	36	67	39	36	69	69	36	34	71	36	67	67	38	
	4	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31	36	69	69	36	67	39	40	68	71	36	34	70	38	66	66	38	
	5	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	31	38	68	69	41	67	47	43	69	70	43	37	71	40	70	71	42	
	6	5	5	5	5	5	5	5	7	10	17	18	22	29	29	29	29	31	31	30	30	31	31	31	31	37	68	68	38	70	34	35	68	62	38	37	65	36	71	69	37	
89	1	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	29	29	28	31	31	30	30	31	31	30	30	53	54	64	52	71	55	32	63	49	57	71	40	44	57	54	62
	2	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	23	29	29	28	28	31	31	30	30	31	31	30	30	52	54	62	50	70	51	33	61	46	56	71	38	43	56	48	61
	3	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	29	29	28	31	31	31	31	31	31	31	49	58	67	51	68	57	32	64	48	58	71	47	52	57	52	69	
	4	5	1	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	27	27	27	31	31	31	30	31	31	31	70	55	66	43	71	63	44	54	48	60	62	67	35	54	63	64	
	5	5	5	5	1	5	5	5	1	7	11	15	21	22	29	27	28	27	31	31	30	30	31	31	30	30	62	64	69	58	69	55	55	71	53	64	71	59	66	69	51	59
	6	5	1	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	29	29	29	29	31	31	31	30	31	31	31	46	58	67	51	71	45	32	68	50	62	67	48	53	60	57	55	
90	1	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	26	28	29	27	31	31	31	31	31	31	31	32	32	36	71	32	36	65	37	37	60	40	32	69	44	32	32	
	2	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	26	28	29	27	31	31	31	31	31	31	31	32	32	35	71	32	36	66	38	38	61	39	32	68	42	32	32	
	3	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	26	29	29	26	31	31	31	31	31	31	31	32	32	38	66	32	37	63	41	35	67	40	32	71	37	32	32	
	4	1	5	5	5	5	5	5	1	7	11	17	21	22	26	27	29	26	31	31	31	31	31	31	31	34	36	32	71	44	48	43	41	50	38	64	32	49	55	40	32	
	5	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	26	29	29	26	31	31	31	31	31	31	31	32	32	36	71	33	41	60	37	46	49	43	32	60	51	33	32	
	6	1	5	5	1	1	5	5	1	6	12	17	18	22	26	28	29	26	31	31	31	31	31	31	31	32	32	34	71	32	37	67	39	43	59	41	32	64	43	32	32	
91	1	5	1	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	28	29	26	29	31	31	30	30	31	31	30	60	61	32	32	71	44	48	47	32	32	57	66	32	51	54	58	
	2	5	1	5	1	1	5	5	1	6	12	15	18	22	28	29	26	29	31	31	31	31	31	31	30	56	57	32	32	71	44	47	43	32	32	58	58	32	50	54	52	
	3	1	5	5	5	1	5	5	5	7	11	15	21	23	27	29	26	29	31	31	31	31	31	30	30	69	61	34	32	32	34	63	63	33	35	54	65	56	71	40	37	

ตัวอักษรที่ / แบบที่																																										
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	NL	nSE	HVRatio	nTJ	nXJ	pdf1	pdf2	pdf3	pdf4	NLX1	NLX2	NLX3	NLX4	NLY1	NLY2	NLY3	NLY4	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
4	1	5	5	1	1	1	5	5	6	12	15	18	22	26	29	27	29	31	31	31	31	31	31	30	30	31	51	64	48	43	32	34	67	67	38	40	60	60	71	60	36	34
5	1	5	5	1	1	1	5	5	6	12	15	18	22	27	29	26	29	31	31	31	31	31	31	31	30	31	71	45	38	38	35	35	49	69	32	51	55	49	49	53	46	44
6	5	1	5	1	1	5	1	5	6	12	15	18	22	28	29	26	29	31	31	31	31	31	31	31	31	71	65	33	32	69	43	48	45	32	32	65	65	32	55	58	56	

หลังจากสกัดได้ข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะ (Feature Vector) ของอักขระอักษรธรรมอีสานแล้ว จึงนำไปเข้าสู่กระบวนการรู้จำโดยสร้างตัวแบบอิดเดนมาร์คอฟให้กับตัวอักขระแต่ละตัว แล้วคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (Observation : O) โดยใช้หลักการ Forward-Backward Algorithm หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นสูงสุด เพื่อตัดสินใจว่าข้อมูลที่นำเข้มาตรงตรงกับอักขระตัวใด

ผลลัพธ์ของการทดลองการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานโดยใช้ตัวแบบอิดเดนมาร์คอฟ ชนิด Left-Right โดยไม่มีการกำหนดจำนวนสถานะที่แน่นอน ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้วิธีการค้นหาตัวแบบที่มีจำนวนสถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแบบของตัวอักขระแต่ละตัว โดยในขั้นตอนของการสอนตัวแบบจะกำหนดช่วงของจำนวนสถานะเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่เกิดจากลำดับการสังเกต (O) กับตัวแบบนั้น ๆ ว่าตัวแบบที่มีจำนวนสถานะเท่าใดที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุด และจะเลือกตัวแบบนั้นเป็นตัวแบบที่ดีที่สุดสำหรับตัวอักขระนั้น ซึ่งผลการวัดประสิทธิภาพของการรู้จำตัวอักษรธรรมอีสานทั้ง 91 ตัวอักษร

ตารางที่ 4.4 ผลการรู้จำของตัวอักษรธรรมอีสาน

ลำดับ	อักษรธรรมอีสาน	จำนวนสถานะ	ร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้อง
1	๘	40	100
2	๒	26	100
3	๑	40	100
4	๗	40	100
5	๔	25	100
6	๐	24	100
7	๓	40	100
8	๙	37	100
9	๕	26	100
10	๖	40	100
11	๘	26	100

ลำดับ	อักษรธรรมอีสาน	จำนวนสถานะ	ร้อยละของอัตราการใช้จำถูกต้อง
12	ย	26	100
13	ข	33	83.33
14	ง	25	100
15	จ	40	100
16	ด	25	100
17	ข	25	100
18	จ	26	100
19	ด	25	100
20	ด	26	100
21	จ	40	100
22	บ	25	100
23	บ	37	83.33
24	ผ	25	100
25	ผ	40	100
26	ต	26	100
27	ถ	25	100
28	ท	27	100
29	ช	30	100
30	พ	26	100
31	ร	40	100

ลำดับ	อักษรธรรมอีสาน	จำนวนสถานะ	ร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้อง
32	ล	40	100
33	อ	25	100
34	ม	24	100
35	ท	40	100
36	โ	27	100
37	ฑ	25	100
38	จ	40	100
39	ฎ	28	100
40	ด	25	100
41	ต	40	100
42	ข	30	100
43	ค	40	100
44	ฅ	40	100
45	ช	26	100
46	ง	40	100
47	ซ	26	100
48	ฌ	40	100
49	ด	20	100
50	ฎ	25	100

ลำดับ	อักษรธรรมอีสาน	จำนวนสถานะ	ร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้อง
51	๓	37	100
52	๑	26	100
53	๑	25	100
54	ໄ	40	100
55	໓	40	100
56	ຸ	40	100
57	໒	35	100
58	໐	26	100
59	໐	25	100
60	໐	40	100
61	໑	36	100
62	໑	25	100
63	໑	32	100
64	໒	25	100
65	໒	40	100
66	໒	26	100
67	໒	25	66.67
68	໒	24	100
69	໒	27	100
70	໒	27	100

ลำดับ	อักษรธรรมอีสาน	จำนวนสถานะ	ร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้อง
71	ไ	40	100
72	ไ	25	83.33
73	จ	40	83.33
74	ช	40	100
75	อ	40	100
76	๙	25	100
77	๕	40	100
78	๕	24	100
79	๖	25	100
80	๖	27	100
81	ค	25	100
82	ท	27	100
83	ถ	26	100
84	ด	40	100
85	น	26	100
86	๙	25	100
87	๘	40	100
88	อ	20	100
89	๕	40	100

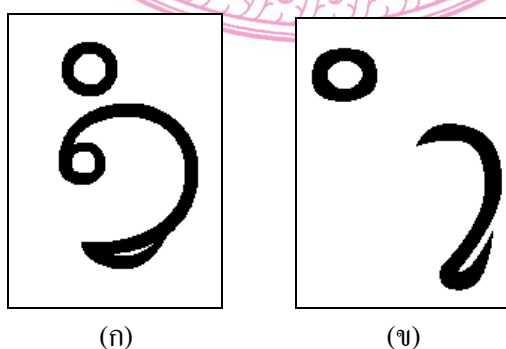
ลำดับ	อักขรธรรมอีสาน	จำนวนสถานะ	ร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้อง
90	✓	24	100
91	}	25	100
อัตราการเรียนรู้จำเฉลี่ย			98.9

4.3 ปัญหาต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้จำ

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า มีอักขระบางตัวที่มีร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำที่ต่ำ เช่น อักขระตัวที่ 67 คือ ตัว สระ อำ (“ ◌ ◌ ”) ซึ่งมีร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้องเพียง 66.67 เท่านั้น ในขณะที่อักขระตัวอื่นๆ มีร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้องถึง 88.3 และ 100 โดยสาเหตุที่ตัวแบบอิคเคนมาร์คอฟไม่สามารถทำการเรียนรู้จำข้อมูลได้ครบและถูกต้องทั้งหมด เนื่องจากปัญหาใหญ่ 2 ประการ ประการที่หนึ่งเกิดจากแบบอักษรของตัวอักขระที่นำมาทดลองเขียนต่างกัน และประการที่สองเกิดจากกระบวนการสกัดลักษณะเฉพาะที่ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง 100%

4.3.1 ปัญหาแบบอักษรของตัวอักขระเขียนต่างกัน

ปัญหานี้ถือว่าเป็นปัญหาใหญ่ของระบบการเรียนรู้จำ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อกระบวนการสกัดลักษณะเฉพาะหลายอย่าง ทำให้ผลลัพธ์ของการสกัดลักษณะเฉพาะหลายอย่างผิดพลาด โดยเฉพาะการตรวจลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับหัวอักขระ ดังตัวอย่างในภาพที่ 4.5 ซึ่งเป็นสระอำของแบบอักษรแบบที่ 1 จากโรงเรียนสว่างวีรวงศ์ กับแบบอักษรแบบที่ 5 จากมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น

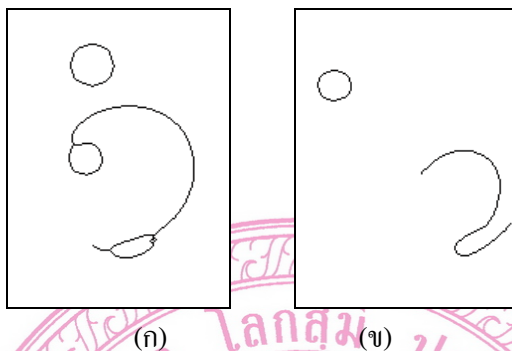


ภาพที่ 4.5 แสดงตัวอักขระสระอำที่แตกต่างกัน โดยภาพ (ก) มีหัว และภาพ (ข) ไม่มีหัว

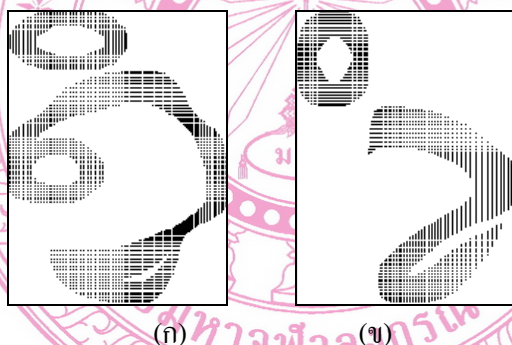
4.3.2 ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการสกัดลักษณะเฉพาะ

ปัญหานี้สืบเนื่องมาจากรูปแบบตัวอักษรที่เขียนต่างกัน จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดลักษณะเฉพาะมีความแตกต่าง เช่น ตัวอย่างในภาพที่ 4.6 เป็นกระบวนการทำ Thinning จะเห็นความ

แตกต่างในส่วนของสระ อา โดยภาพ (ก) จะมีรูปตรงส่วนหัวและท้ายของสระอา ส่วนภาพ (ข) จะไม่มีรูปเลย ดังนั้นจึงทำให้ส่วนนี้มีการคำนวณและสกัดลักษณะเฉพาะได้ไม่ตรงกัน

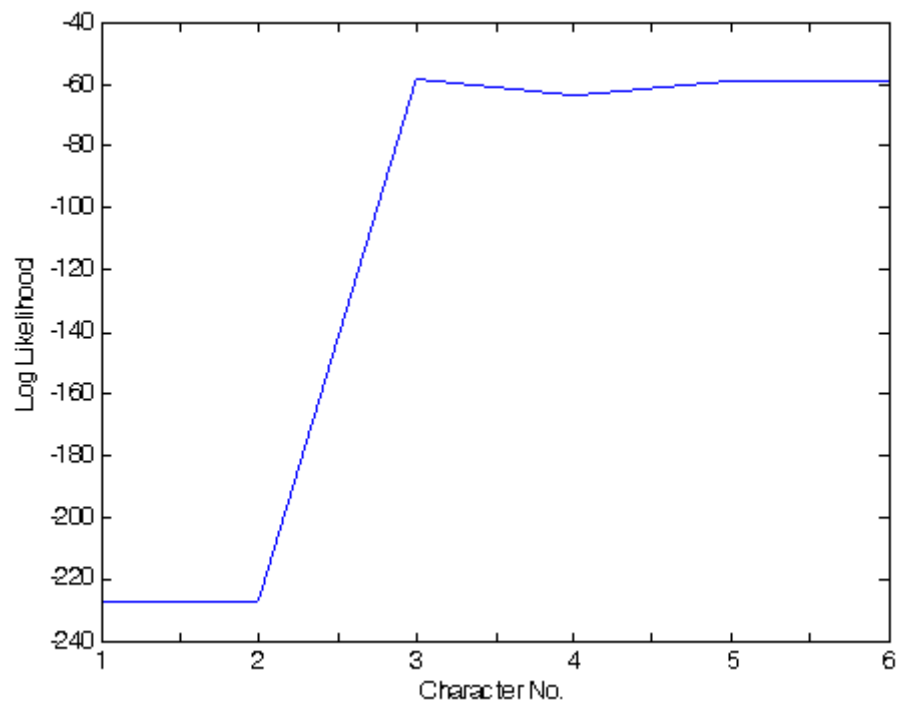


ภาพที่ 4.6 แสดงตัวอักษรสระอาที่ทำ Thinning โดยภาพ (ก) แสดงรูปบริเวณหัวและหางของสระอา และภาพ (ข) ไม่มีรูป



ภาพที่ 4.7 แสดงตัวอักษรสระอาที่ปรับการกระจายของจุด โดยภาพ (ก) ตัวสระอาที่มีหัวกลม และภาพ (ข) ตัวสระอาไม่มีหัวกลม

ภาพที่ 4.7 แสดงอักษรสระอา ที่ปรับการกระจายความหนาแน่นของจุด ซึ่งจะเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการประมวลผลเบื้องต้น (pre-processing) จะสังเกตเห็นหัวกลมที่บริเวณสระอาของภาพ (ก) ส่วนภาพ (ข) จะไม่มีหัวกลม ดังนั้น จึงทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการนับจำนวนจุด และเมื่อเข้าสู่กระบวนการรู้จำโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ ชนิด Left-Right แล้วผลการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O) ของแบบอักษรตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ -226.5696 ส่วนแบบอักษรตัวที่ 5 มีค่าเท่ากับ -58.8165 ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แสดงค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตตัวอักษร “อ”

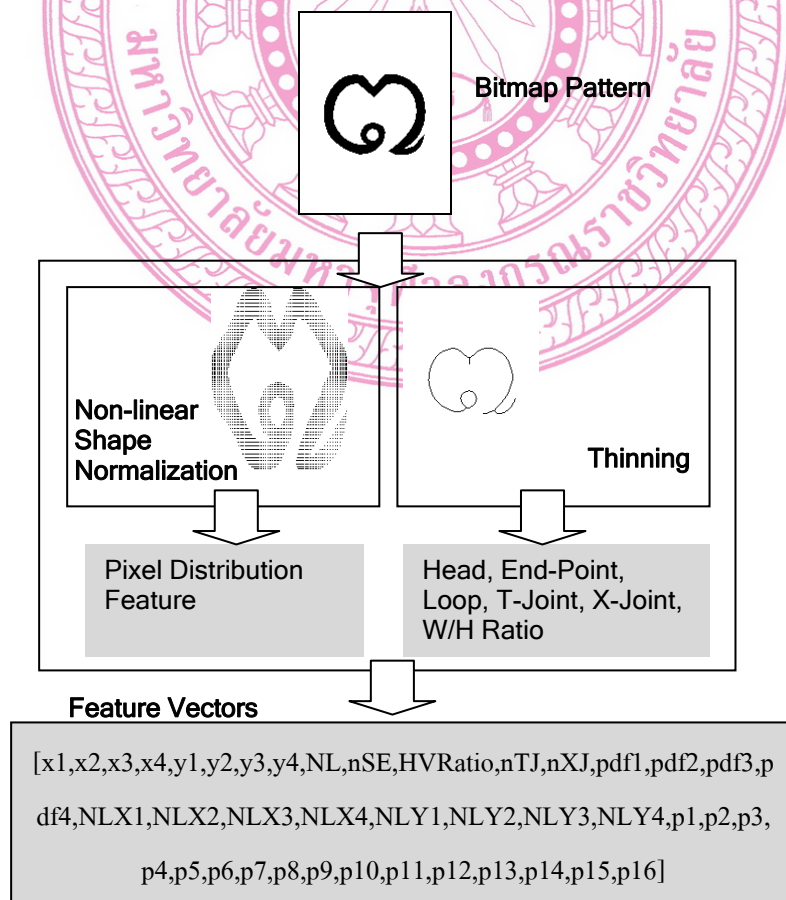
จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่ามี แบบอักษรแบบที่ 1 และ 2 เท่านั้นที่ได้ผลลัพธ์ไม่เท่ากับแบบอักษรแบบอื่นๆ (แบบที่ 3 – 6) ดังนั้น จึงมีผลทำให้อัตราการเรียนรู้จำถูกต้องมีเพียง 66.67%

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัย สรุปได้ว่า อักษรธรรมอีสานสามารถนำมาเข้าสู่กระบวนการรู้จำได้ โดยนำข้อมูลของตัวอักษรจากรูปแบบของ Text file มาแปลงเป็นรูปภาพ(image file) จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผลเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยการปรับมาตรฐานรูปร่างแบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Shape Normalization :NSN) และการลดความหนาของตัวอักษร(Thinning) จากนั้นจึงเข้าสู่การสกัดลักษณะเฉพาะของอักษรธรรมอีสาน โดยการหาค่าการกระจายของจุดแล้วนับจำนวนของจุด และการหาจำนวนหัวของอักษร รวมทั้งการจุดเชื่อมต่อ จุดแยก และจุดสิ้นสุดของตัวอักษร แล้วได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลเวกเตอร์ ที่มีจำนวนข้อมูล 41 ข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5.1 จากนั้น จึงนำข้อมูลเวกเตอร์ดังกล่าวไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการฝึกฝนและทดสอบการรู้จำต่อไป



ภาพที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการสกัดลักษณะเฉพาะของอักษรธรรมอีสาน

เมื่อได้ข้อมูลเวกเตอร์แล้ว ก็จะนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อเข้าสู่กระบวนการรู้จำโดยการสร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟให้กับตัวอักษรแต่ละตัว แล้วคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (Observation : O) โดยใช้หลักการ Forward-Backward Algorithm หลังจากนั้นจะคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นสูงสุด เพื่อตัดสินใจว่าข้อมูลที่นำเข้านั้นตรงกับอักขระตัวใด ได้ผลลัพธ์ดังตัวอย่างในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O) ของตัวอักษรทั้ง 91 ตัว 6 แบบ

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
1	-51.673	-50.324	-59.4469	-56.3535	-56.8965	-59.7506
2	-54.39	-54.1023	-55.201	-58.229	-57.7879	-57.2839
3	-55.6187	-54.224	-48.8055	-55.7188	-55.1354	-54.7375
4	-67.4257	-64.6243	-56.0148	-63.3229	-65.1737	-68.0056
5	-52.0302	-52.291	-52.1602	-68.4996	-70.2005	-54.6128
6	-49.2133	-44.6215	-44.4619	-58.2994	-59.0583	-54.0437
7	-55.4577	-57.231	-71.5996	-61.208	-57.3248	-59.5692
8	-62.5177	-62.5533	-65.9934	-63.9579	-68.9291	-61.841
9	-66.1251	-68.0875	-58.3842	-64.4082	-64.9382	-66.0901
10	-60.3235	-62.2006	-61.6591	-67.6898	-63.6081	-63.6831
11	-54.8816	-54.605	-61.0027	-67.7276	-52.169	-62.7529
12	-55.4152	-54.1102	-65.2673	-65.0814	-67.1102	-71.0946
13	-60.0955	-64.3189	-66.538	-66.6567	-60.8604	-59.497
14	-69.328	-65.6251	-65.097	-60.7591	-65.1539	-68.7289
15	-60.5578	-54.8807	-63.2337	-61.3611	-66.3116	-59.7513
16	-68.7226	-65.3953	-63.3692	-64.5098	-66.2442	-63.7205
17	-56.7818	-61.1295	-63.1382	-66.0977	-63.1433	-61.9031
18	-62.0343	-63.1268	-64.4733	-64.6902	-63.2064	-64.413
19	-66.2885	-65.1891	-65.6684	-64.3853	-64.3172	-61.8164
20	-55.117	-51.488	-56.7871	-61.0296	-60.3828	-57.178
21	-50.471	-72.2002	-62.9711	-84.1156	-70.7488	-59.8106
22	-53.5873	-54.1697	-60.0256	-56.2358	-60.5699	-54.7385
23	-50.4067	-58.8091	-60.0152	-57.2276	-61.3794	-57.3271
24	-125.837	-122.859	-122.764	-127.016	-121.772	-49.3981
25	-52.3105	-56.7968	-61.4558	-57.6706	-56.7067	-60.335

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
26	-57.8672	-56.9894	-61.0109	-63.1101	-62.367	-69.2374
27	-53.7557	-54.8491	-51.8239	-61.2341	-64.1887	-66.1737
28	-56.0443	-54.3845	-56.9603	-63.9643	-64.0412	-54.5586
29	-56.5963	-60.779	-68.2681	-61.1475	-65.0221	-61.1349
30	-100.751	-61.5935	-146.161	-103.878	-64.1353	-58.2569
31	-49.5817	-49.5284	-48.9448	-53.1709	-50.0461	-65.8147
32	-54.8061	-53.4115	-49.5804	-51.8441	-52.7834	-60.762
33	-45.3089	-46.2496	-34.2147	-43.174	-40.5034	-41.1477
34	-56.2271	-49.4888	-58.19	-61.1268	-58.4473	-64.4914
35	-57.1746	-55.5506	-49.8874	-56.7567	-57.1356	-68.98
36	-56.8101	-54.7079	-52.1151	-56.9502	-69.0999	-56.9608
37	-53.7236	-49.9701	-55.0967	-58.9313	-57.214	-56.0885
38	-51.204	-46.3377	-52.2036	-52.6992	-48.574	-68.9933
39	-52.1254	-50.3727	-60.0992	-60.312	-56.4579	-63.3173
40	-54.5521	-58.4783	-57.5563	-61.7964	-60.744	-64.7303
41	-54.0382	-52.8692	-58.131	-63.5017	-56.4312	-61.0353
42	-47.3886	-46.651	-54.0105	-62.0831	-56.1767	-56.5544
43	-53.503	-51.3269	-57.9929	-57.8201	-57.5147	-66.4036
44	-56.7215	-59.0351	-56.7927	-61.5796	-58.6981	-64.8984
45	-48.1725	-46.1489	-53.1649	-58.153	-60.5983	-53.6766
46	-56.1331	-57.0592	-59.2154	-64.1184	-62.7503	-63.0876
47	-47.907	-48.9038	-61.6149	-58.0252	-57.4285	-63.9903
48	-59.7917	-52.3927	-55.3582	-60.3197	-58.9329	-58.7458
49	-36.982	-43.9167	-32.9465	-50.0398	-35.7409	-39.4329
50	-56.7233	-60.3964	-66.0572	-60.5364	-63.5101	-64.3691
51	-59.9457	-63.6483	-63.4271	-59.9569	-54.5485	-69.3528
52	-59.4962	-55.7352	-53.4939	-62.2107	-66.4939	-62.1931
53	-59.3705	-57.9594	-56.8487	-67.4825	-72.8801	-60.6743
54	-50.409	-48.7656	-54.3795	-58.3251	-62.1264	-60.9691
55	-62.5959	-56.4384	-56.4107	-60.5587	-52.3015	-56.8139
56	-67.1484	-58.4412	-53.7647	-57.0947	-56.9641	-59.0687

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
57	-59.6246	-59.8944	-64.453	-60.8392	-60.7528	-58.3595
58	-52.6487	-61.3901	-58.9469	-54.5917	-55.7569	-49.8134
59	-59.7086	-61.9233	-64.8921	-63.7337	-63.9459	-65.5355
60	-59.0514	-57.928	-64.0306	-63.6907	-65.2279	-64.5252
61	-62.4363	-67.6658	-62.7538	-59.3295	-62.5371	-58.5295
62	-48.0921	-48.572	-55.1637	-54.0124	-50.2374	-57.8121
63	-60.0337	-58.2951	-73.2229	-69.6222	-60.8098	-65.1468
64	-41.3799	-40.8748	-51.0514	-45.8135	-48.435	-55.5271
65	-43.1045	-46.0315	-55.6534	-50.5232	-60.1264	-50.4787
66	-44.2112	-44.2112	-48.1426	-51.9581	-57.9888	-55.4564
67	-227.04	-227.04	-58.5272	-63.7291	-58.8165	-59.2058
68	-48.4976	-51.0496	-57.9787	-57.3647	-50.4334	-59.3855
69	-53.5906	-52.3438	-68.4142	-61.6395	-59.6426	-59.8106
70	-38.0496	-44.3249	-53.6444	-67.5139	-58.9582	-38.0496
71	-49.964	-46.4272	-50.9033	-54.6484	-56.0869	-55.4103
72	-52.8585	-49.9636	-52.0062	-57.4864	-57.6762	-58.6982
73	-71.5806	-226.57	-60.3907	-62.7843	-61.6766	-54.2652
74	-49.9798	-52.0838	-52.9002	-56.592	-54.4756	-53.3699
75	-43.7677	-43.135	-39.8065	-45.733	-41.3859	-39.5987
76	-54.1647	-57.8862	-58.8057	-60.8446	-56.4851	-57.5338
77	-59.463	-56.262	-58.236	-59.927	-62.9197	-54.4063
78	-52.8971	-55.0711	-55.7962	-61.0556	-58.8447	-54.281
79	-57.3588	-52.7741	-56.0303	-59.9617	-72.7523	-60.0697
80	-47.7523	-44.9402	-53.0593	-50.9525	-52.6975	-57.4974
81	-48.6753	-50.0117	-51.5039	-57.1812	-59.5829	-52.0176
82	-55.5613	-54.9104	-58.9995	-56.6305	-59.7955	-65.5469
83	-146.19	-55.2244	-61.0317	-57.7806	-66.8569	-60.9607
84	-51.3936	-49.0827	-50.6603	-66.53	-52.5677	-54.831
85	-60.2576	-57.027	-53.5544	-59.1752	-62.758	-56.6634
86	-49.2812	-50.4416	-58.4185	-55.2159	-57.4705	-57.4945
87	-44.964	-46.1576	-44.7067	-53.3395	-55.2744	-49.002

ตัวอักษรที่	ความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)					
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
88	-32.31	-35.4235	-37.9898	-37.9554	-42.8299	-44.03
89	-52.8255	-61.7939	-49.0876	-62.7493	-57.2931	-58.0747
90	-38.3156	-40.5315	-40.6739	-54.1992	-42.7615	-40.9533
91	-54.1644	-53.0125	-61.6723	-60.6649	-57.3875	-48.3442

จากตารางที่ 5.1 ตัวอักษรลำดับที่ 67 (สระ อ) แบบที่ 3 – 6 มีค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตสูงและใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอักษรแบบที่ 1 และ 2 มีค่าความน่าจะเป็นต่ำ ดังนั้น เมื่อนำเอาข้อมูลแบบที่ 1 หรือ 2 เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อทดสอบกระบวนการรู้จำ จะได้ผลลัพธ์ออกมาที่ไม่ใช่สระอ จึงได้ร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้อง 66.67 ส่วนตัวอักษรลำดับอื่นๆ เช่น ลำดับที่ 1 (ตัว ก) มีค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลแบบอักษรใดๆ เป็นข้อมูลนำเข้า จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นตัว ก ทุกตัว จึงทำให้ได้ร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้องเป็น 100

และเมื่อกำหนดค่าร้อยละของอัตราการเรียนรู้จำถูกต้องของตัวอักษรทั้ง 91 ตัวๆ ละ 6 แบบ รวมทั้งสิ้น 546 ตัว จะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเรียนรู้จำอยู่ที่ 98.9%

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัย จะเห็นว่า ตัวอักษรบางตัว เช่น ตัวอักษรลำดับ 13 (ตัว ค) และตัวอักษรลำดับที่ 17 (ตัว ท) ของแต่ละหน่วยงานจะเป็นตัวอักษรธรรมตัวเดียว จะมีแบบที่ 6 ที่ออกแบบให้แตกต่างกันในส่วนของหางตัวอักษร ดังนั้น หากนำภาพอักษรลำดับที่ 13 ไปตรวจสอบกับตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟผลลัพธ์ที่ได้ออกมา ระบบอาจจะบอกว่าเป็นตัวอักษรลำดับที่ 13 หรือ 17 ก็ได้ (ดูผลในตารางที่ 4.2) จึงอาจทำให้สับสนได้ว่า จริงๆ แล้วภาพตัวอักษรที่ป้อนเข้าไป คือตัวอักษรใดกันแน่

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบตัวอักษรอักษรธรรมอีสานลำดับที่ 13 และ 17

อักขระที่	ตัวอักษร	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
13	ท	๑	๑	๑	๑	๑	๑
17	ค	๑	๑	๑	๑	๑	๑

อีกประเด็นหนึ่งที่พบในการวิจัยครั้งนี้ก็คือ ลักษณะการเขียนตัวอักษรที่เป็นการหวัดหาง หรือขมวดหัว ก็จะทำให้ผลการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O) แตกต่างกันไปด้วย ดังในตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบตัวอักษรลำดับที่ 30 (ตัว ย) ที่มีการขมวดส่วนหยักของตัวอักษรต่างกัน จึงมีผลให้ค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกตอักขระแบบที่ 2, 5 และ 6 สูงกว่า แบบที่ 1, 3 และ 4

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O) ตัวอักษรลำดับที่ 30

อักขระที่	ตัวอักษร	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
30	ย	๒	๒	๒	๒	๒	๒
ค่าความน่าจะเป็นของลำดับการสังเกต (O)		-100.751	-61.5935	-146.161	-103.878	-64.1353	-58.2569

ในการวิจัยนี้พบปัญหาและอุปสรรคหลายส่วนด้วยกัน แต่ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการรู้จำโดยตรงส่วนหนึ่งเกิดจากตัวข้อมูลนำเข้าเอง เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นอักขระตัวพิมพ์อักษรธรรมอีสานที่หน่วยงานทางสถาบันการศึกษาได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาใช้เอง จึงเกิดความหลากหลายของรูปแบบตัวอักษร ทำให้ในขั้นตอนของการสกัดลักษณะเฉพาะไม่สามารถทำได้ถูกต้องดังที่ควรจะเป็น โดยเฉพาะการสกัดลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับหัวของอักขระซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้พัฒนาบางท่านสนใจใส่หัว บางท่านไม่ใส่หัว ซึ่งมีผลให้อัตราการรู้จำของระบบลดลง

5.3. ข้อเสนอแนะ

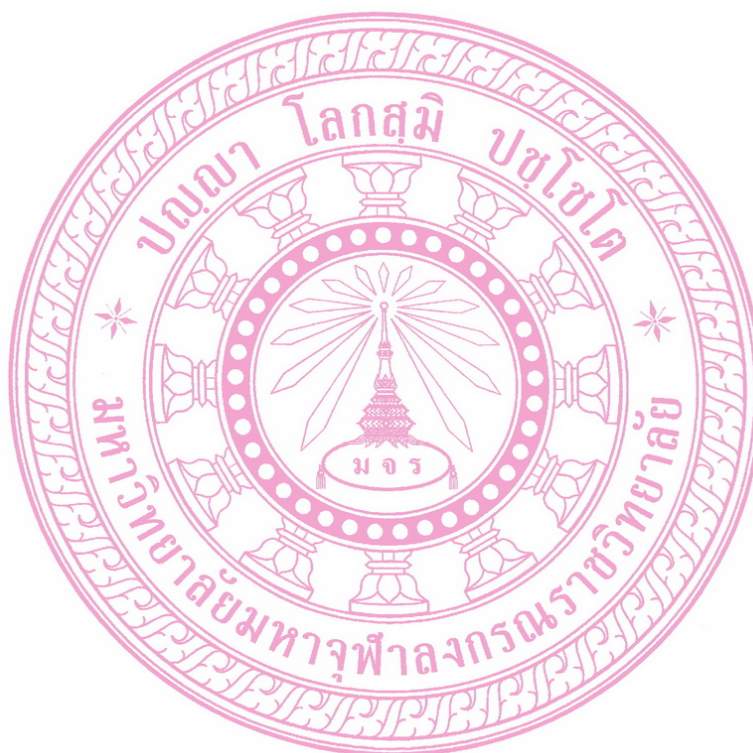
5.3.1 ในการศึกษาค้นคว้าเรื่องอักษรธรรมอีสาน ทำให้พบว่า สถาบันทางการศึกษาหลายแห่งในภาคอีสาน กำลังหันมาให้ความสำคัญกับความเป็นอัตลักษณ์ของชาวอีสาน จึงได้จัดทำฟอนต์แบบอักษรธรรมอีสานขึ้นมาใช้กับระบบคอมพิวเตอร์อยู่หลายแห่ง แต่ถ้าหากมีการกำหนดรูปแบบของตัวอักขระแต่ละตัวให้เป็นที่น่าพอใจและเป็นมาตรฐานเดียวกัน จะทำให้การอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมของชาวอีสานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.3.2 วิธีการที่ใช้ในการสกัดลักษณะเฉพาะนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการรู้จำแล้วยังมีผลโดยตรงต่อความเร็วของการประมวลผลของระบบรู้จำโดยรวมด้วย ดังนั้นจึงต้องให้ความสำคัญในการเลือกวิธีการสกัดลักษณะเฉพาะให้เหมาะสมกับความต้องการของระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีปรับการกระจายความหนาแน่นของจุดและลดความหนาแน่นของเส้น ก่อนนำไปสกัดเอาคุณลักษณะเฉพาะของตัวอักขระแต่ละตัวออกมา ได้ผลลัพธ์เป็นร้อยละของอัตราการรู้จำที่ถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 98.9 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง “การรู้จำอักขระตัวเขียนภาษาไทยโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ” ของสุรศักดิ์ ตั้งสกุล ที่ให้ผลลัพธ์ในการรู้จำตัวอักขระกลุ่มพยัญชนะเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ ร้อยละ 91.67 สรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปอ้างอิงเพื่อพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้อ่านตัวอักษรธรรมอีสานจากใบลานซึ่งเป็นข้อมูลภาพ แปลงเป็นข้อมูลแบบข้อความได้ทันที

5.3.3 ระบบการรู้จำตัวอักขระมีหลายระบบ ซึ่งตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟก็เป็นอีกระบบหนึ่งที่นักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจและนำมาใช้กับกระบวนการรู้จำตัวอักขระ เนื่องจากได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

5.3.4 นักวิจัยท่านอื่นๆ สามารถนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปใช้อ้างอิงเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาโปรแกรมอ่านภาพอักขระอักษรธรรมอีสานที่จารึกบนใบลานได้ต่อไป

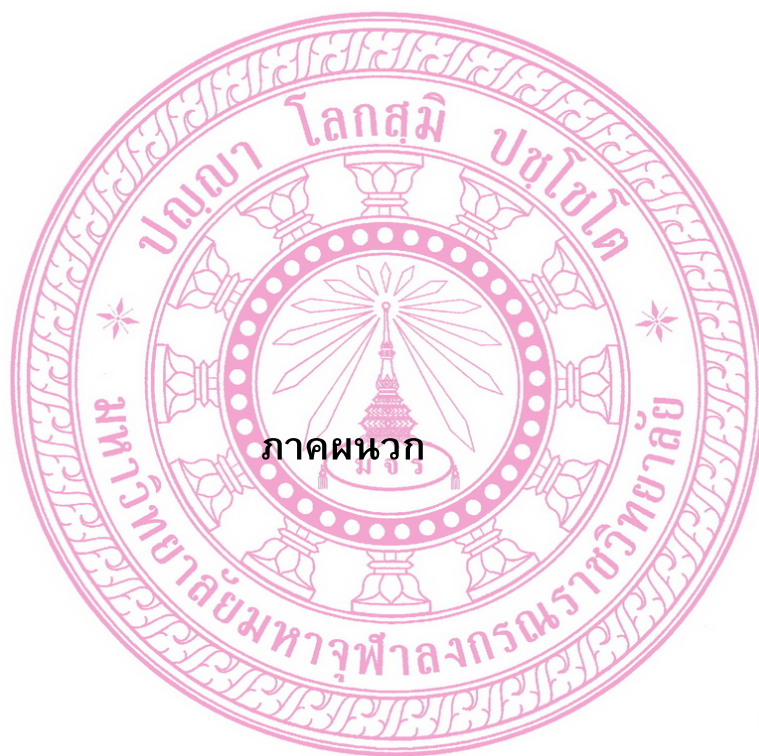
5.3.5 หน่วยงานรัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้ความสนใจในการจัดทำฟอนต์หรือแบบอักษรธรรมอีสานที่เป็นมาตรฐานขึ้นมา เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในกระบวนการรู้จำที่มีประสิทธิภาพ และมีผลงานวิจัยใหม่ๆ เกี่ยวกับการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำภาษาท้องถิ่นโบราณมาประยุกต์ใช้กับระบบงานพิมพ์บนคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นอนุรักษ์มรดกและภูมิปัญญาของบรรพบุรุษสืบต่อไป



บรรณานุกรม

- บุญหนา จิมนั่ง และคณะ. (2549). 20 ปี : ภาพลักษณ์วิทยาเขตขอนแก่นในทัศนะของคณะสงฆ์ภาค 9. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตขอนแก่น
- สุรศักดิ์ ตั้งสกุล, ศาสตรา วงศ์ธนาวิสุ. (2548). ขั้นตอนวิธีการลดความหนาอักษรตัวเขียนโดยใช้กฎ (Rule-Based Handwriting Character Thinning Algorithm). ใน Proceedings of The First Northeastern Computer Science and Engineering Conference. (หน้า 16 – 23). ขอนแก่น : หจก. โรงพิมพ์คลังน่านวิทยา.
- ธวัช ปุณโณทก. อักษรโบราณอีสาน : อักษรวิทยาอักษรตัวธรรมและไทยน้อย. กรุงเทพฯ : สยามเพรสเมเนจ เม้น, 2540.
- ชอบ ดีสวนโคก และคณะ. ของเก่าป่าน้ำส้ม เขียนธรรมนำคำโบราณอีสาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์คลัง น่านวิทยา, ขอนแก่น, 2540
- สุรศักดิ์ ตั้งสกุล. การรู้จำอักษรตัวเขียนภาษาไทยโดยใช้ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ. รายงานวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2548
- Airphaiboon, S., Sangworasil, M. and Kondo, S. 1994. Off-line Thai Handwriting character Recognition Using Hidden Markov Model And Fuzzy logic. IEEE XIII Workshop on Neural Networks for Signal Processing : 537-546.
- Budsayaplakorn, R., Asdornwised, W. and Jitapunkul, S. 2003. On-line Thai Handwritten Character Recognition Using Hidden Markov Model And Fuzzy Logic. IEEE XIII Workshop on Neural Networks for Signal Processing : 537-546.
- Chen, M. Y., Kundu, A., and Zhou, J. 1994. Off- Line Handwritten Word Recognition Using a Hidden Markov Model Type Stochastic Network. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 16(5) : 481-496.
- Choruengwiwat, P., Jitapunkul, S., Wuttisittikulkij, L. and Seehapan, P. 1998. Distinctive Feature Analysis for Thai Handwritten Character Recognition Based On Modified Stroke Changing Sequence. IEEE : 543-546.
- Lee, S. W., Park, J. S. and Tang, Y. Y. 1993. Performance Evaluation of Nonlinear Shape Normalization Methods for the Recognition of Large-set Handwritten Characters. IEEE : 402-407.
- Nag, R., Wong, K. H. and Fallside, F. 1986. Script Recognition Using Hidden Markov Models. IEEE ICASSP Tokyo : 2071-2074.

- Pornchaikajornsak, A. and Thammano, A. 2003. **Handwritten Thai Character Recognition Using Fuzzy Membership Function And Fuzzy ARTMAP**. IEEE Proc. Computational Intelligence in Robotics and Automation : 40-44.
- Rabiner, L.R. 1989. **A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Application in Speech Recognition**. IEEE Proc. vol. 77 no. 2 : 257-286.
- Siriboon, K., Jirayusakul, A. and Kruatrachue, B. 2002. **HMM Topology Selection for On-Line Thai Handwritten Recognition**. IEEE Proc.
- Thongkamwitoon, T., Asdornwised, W., Aramvith, S. and Jitapunkul, S. 2002. **On-Line Thai-English Handwritten Character Recognition Using Distinctive Features**. IEEE : 259-264.
- Veltman, S. R. and Prasad, R. 1994. **Hidden Markov Models Applied to On-Line Handwritten Isolated Character Recognition**. IEEE Trans. Image Processing, 3(3) : 314-318.
- Yamada, H., Yamamoto, K. and Saito, T. 1988. **A Nonlinear Normalization Method for Handprinted Kanji Character Recognition**. IEEE : 172-175.



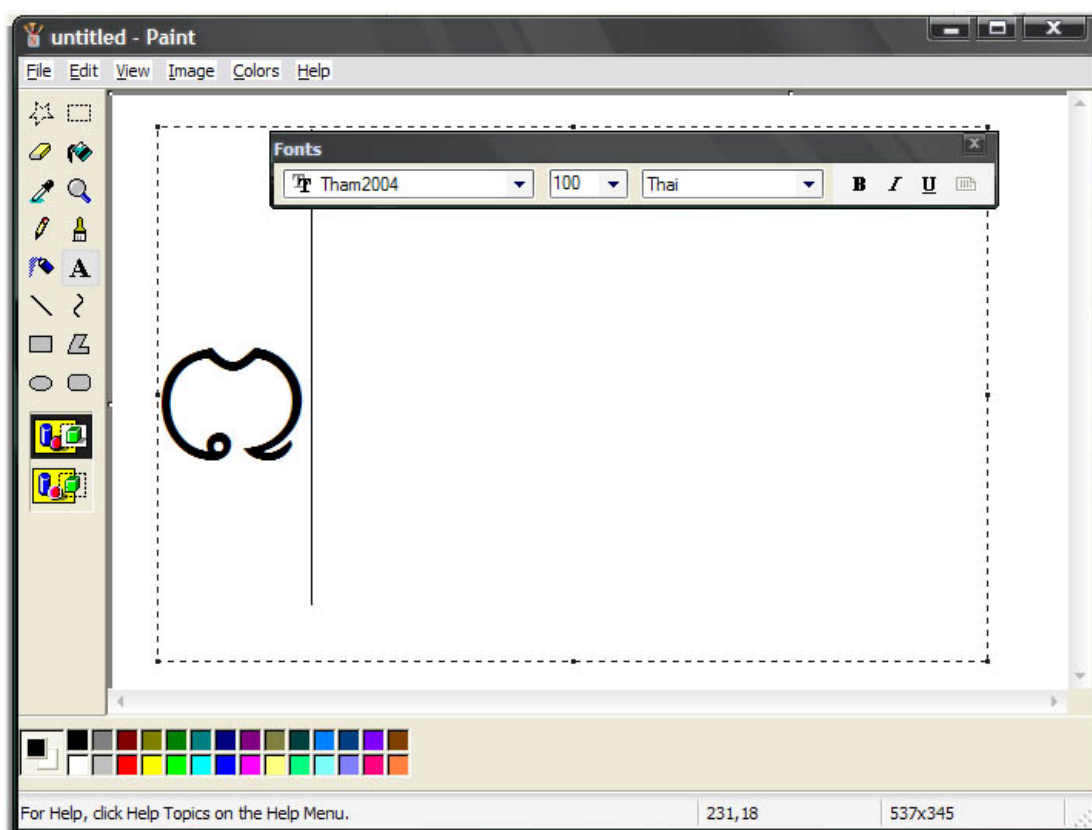
ผนวก ก

การเตรียมข้อมูลภาพอักขรธรรมอีสาน

1. พิมพ์ข้อมูลตัวอักษร

1.1 เปิดโปรแกรม Paint ขึ้นมา

1.2 พิมพ์ตัวอักขระอักษรธรรม



ภาพที่ 1 การทำภาพอักขระอักษรธรรม

1.3 จากนั้น เลือกเอาเฉพาะรูปภาพแล้วคัดลอกมาวางในโปรแกรม Photoshop ที่มีขนาดพื้นที่ 150 x 200 pixel (ดูภาพที่ 2)

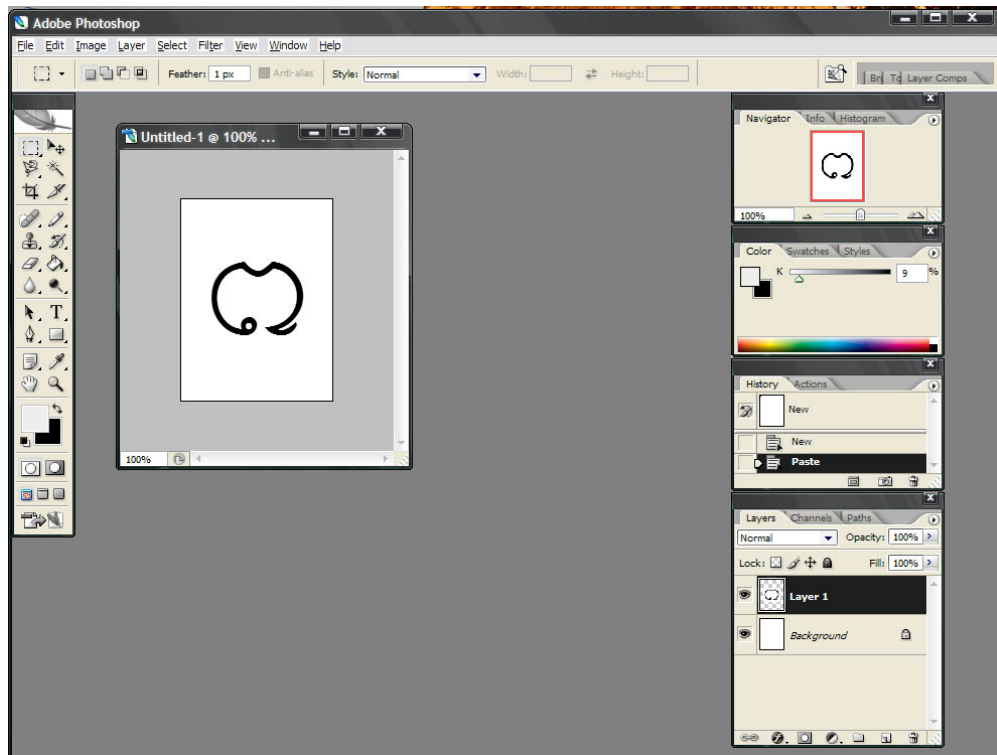
1.4 แล้วทำการบันทึกเป็นแฟ้มรูปภาพ (Bitmap Image)

2. ปรับข้อมูลภาพเป็น Black & White

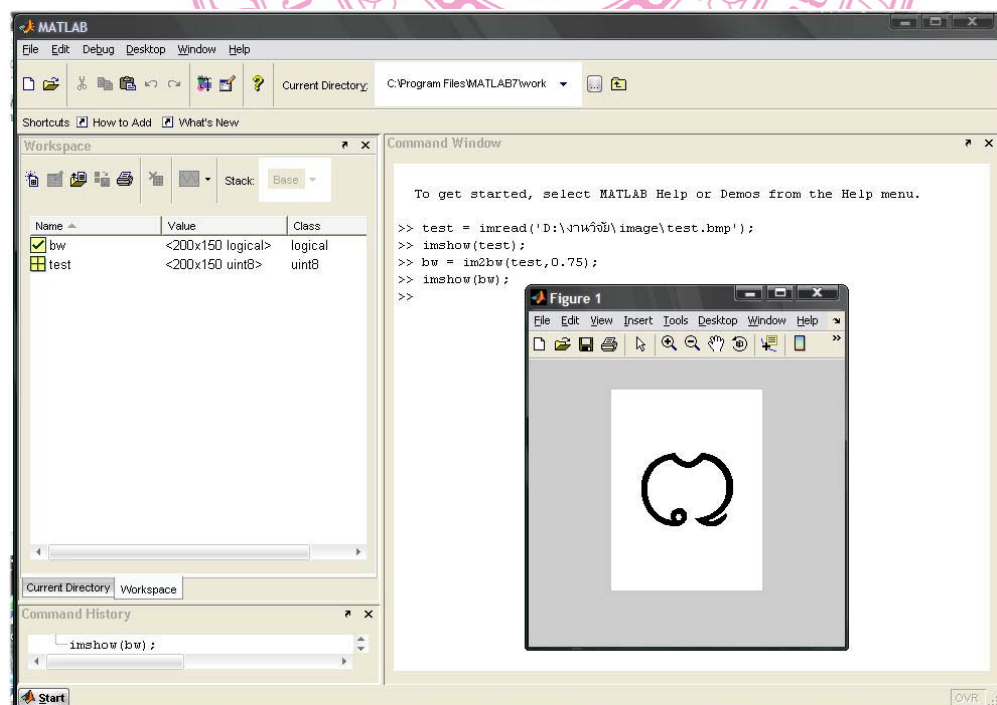
2.1 การนำข้อมูลภาพอักขระอักษรธรรมอีสานเข้าสู่กระบวนการ เตรียมข้อมูล (pre-processing) นั้น ต้องปรับข้อมูลภาพให้เป็นภาพขาวดำ (Black & White) ก่อน โดยใช้โปรแกรม MATLAB

2.2 เปิดโปรแกรม MATLAB ขึ้นมา แล้วเปิดแฟ้มรูปภาพอักขระอักษรธรรม จากนั้นสั่งให้แปลงข้อมูลภาพเป็นแบบขาวและดำ โดยกำหนดค่า Threshold เป็น 0.75 จะได้ดังภาพที่ 3

2.3 เมื่อได้ภาพอักขระเป็นภาพขาวและดำแล้ว ก็นำกลับไปบันทึกเป็นแฟ้มรูปภาพอีกต่อไป



ภาพที่ 2 การทำข้อความอักขระให้เป็นแฟ้มรูปภาพ



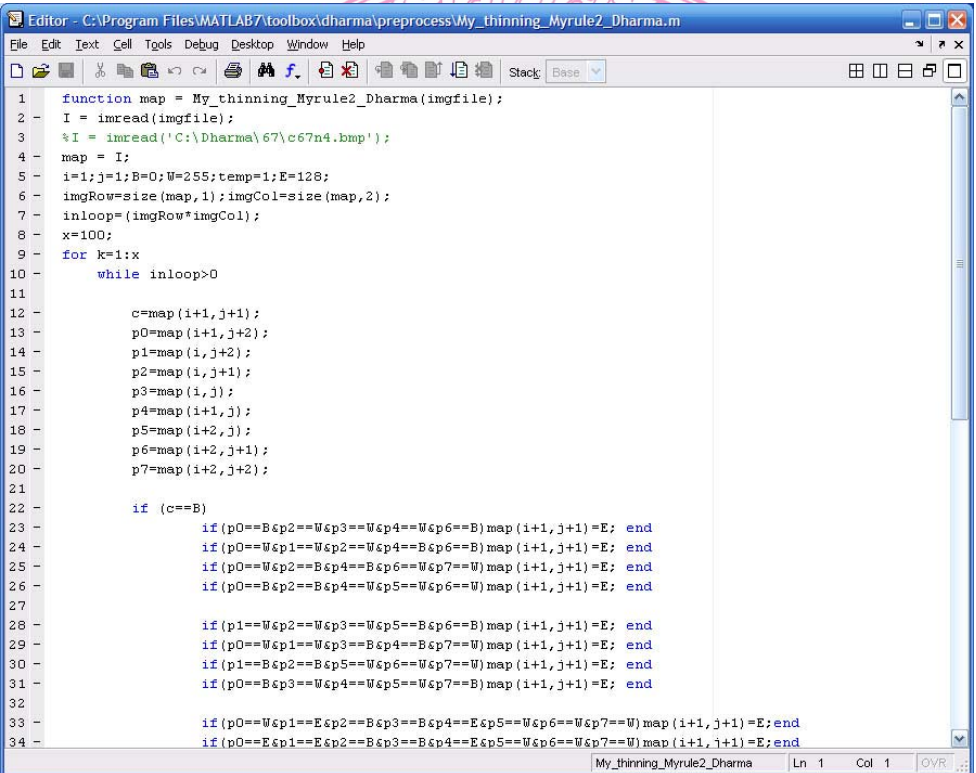
ภาพที่ 3 การปรับข้อมูลภาพเป็นขาวและดำ

การประมวลผลเบื้องต้น (Pre-Processing)

1. การลดความหนาของตัวอักษร

1.1 เขียนโปรแกรม จากขั้นตอนวิธีการประมวลผล ด้วยเครื่องมือของโปรแกรม MATLAB

1.2 จะได้โค้ดของโปรแกรมสำหรับลดความหนาของตัวอักษร ดังภาพที่ 4



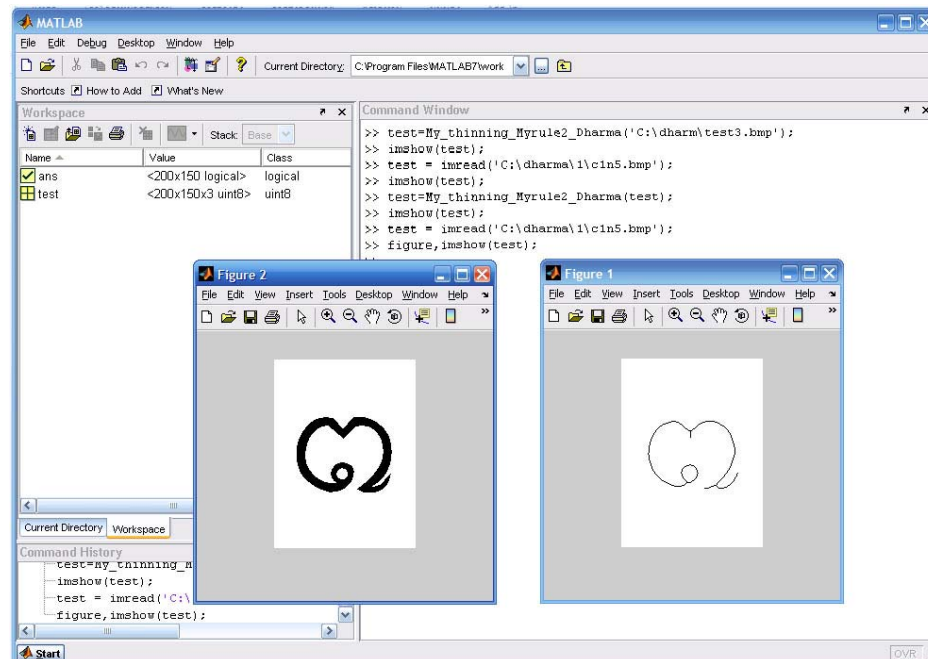
```

1 function map = My_thinning_Myrule2_Dharma(imgfile);
2 I = imread(imgfile);
3 %I = imread('C:\Dharma\67\c67n4.bmp');
4 map = I;
5 i=1; j=1; B=0; W=255; temp=1; E=128;
6 imgRow=size(map,1); imgCol=size(map,2);
7 inloop=(imgRow*imgCol);
8 x=100;
9 for k=1:x
10 while inloop>0
11
12 c=map(i+1,j+1);
13 p0=map(i+1,j+2);
14 p1=map(i,j+2);
15 p2=map(i,j+1);
16 p3=map(i,j);
17 p4=map(i+1,j);
18 p5=map(i+2,j);
19 p6=map(i+2,j+1);
20 p7=map(i+2,j+2);
21
22 if (c==B)
23 if (p0==B & p2==W & p3==W & p4==W & p6==B) map(i+1,j+1)=E; end
24 if (p0==W & p1==W & p2==W & p4==B & p6==B) map(i+1,j+1)=E; end
25 if (p0==W & p2==B & p4==B & p6==W & p7==W) map(i+1,j+1)=E; end
26 if (p0==B & p2==B & p4==W & p5==W & p6==W) map(i+1,j+1)=E; end
27
28 if (p1==W & p2==W & p3==W & p5==B & p6==B) map(i+1,j+1)=E; end
29 if (p0==W & p1==W & p3==B & p4==B & p7==W) map(i+1,j+1)=E; end
30 if (p1==B & p2==B & p5==W & p6==W & p7==W) map(i+1,j+1)=E; end
31 if (p0==B & p3==W & p4==W & p5==W & p7==B) map(i+1,j+1)=E; end
32
33 if (p0==W & p1==E & p2==B & p3==B & p4==E & p5==W & p6==W & p7==W) map(i+1,j+1)=E; end
34 if (p0==E & p1==E & p2==B & p3==B & p4==E & p5==W & p6==W & p7==W) map(i+1,j+1)=E; end
  
```

ภาพที่ 4 โค้ดของโปรแกรมสำหรับการลดความหนาของตัวอักษร

1.3 ป้อนข้อมูลอักขระอักขรธรรม เป็นข้อมูลนำเข้า ในที่นี้ทดสอบตัว ก

1.4 สั่ง run โปรแกรม จะได้ผลดังภาพที่ 5

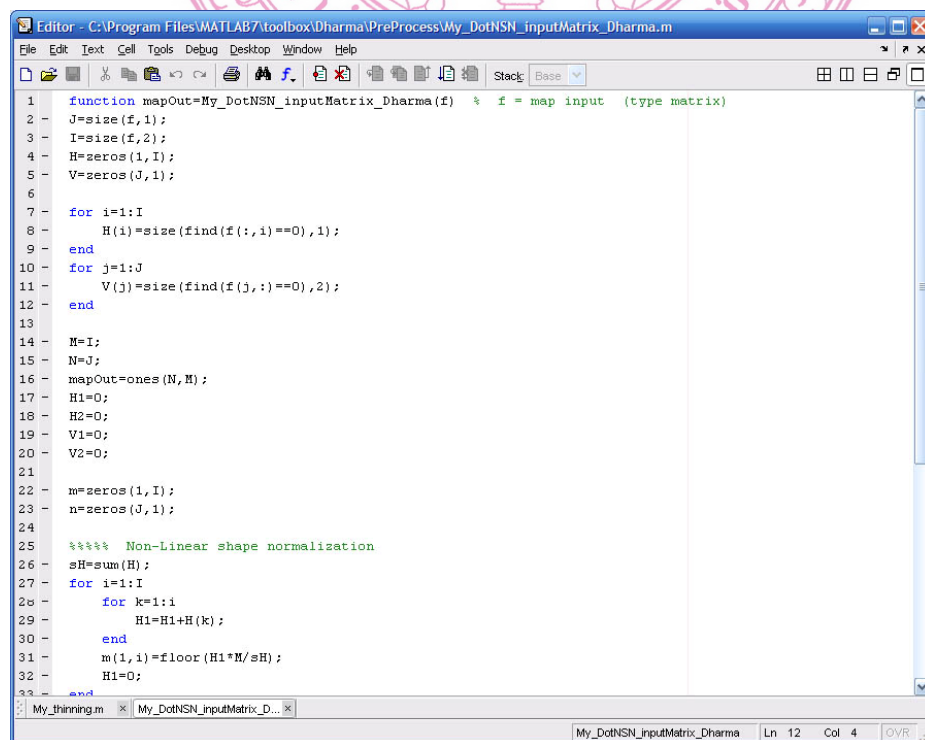


ภาพที่ 5 ผลการทำงานของโปรแกรมลดความหนาของตัวอักษร

2. การปรับการกระจายความหนาแน่นของจุด

2.1 เขียนโปรแกรม จากขั้นตอนวิธีการประมวลผล ด้วยเครื่องมือของโปรแกรม MATLAB

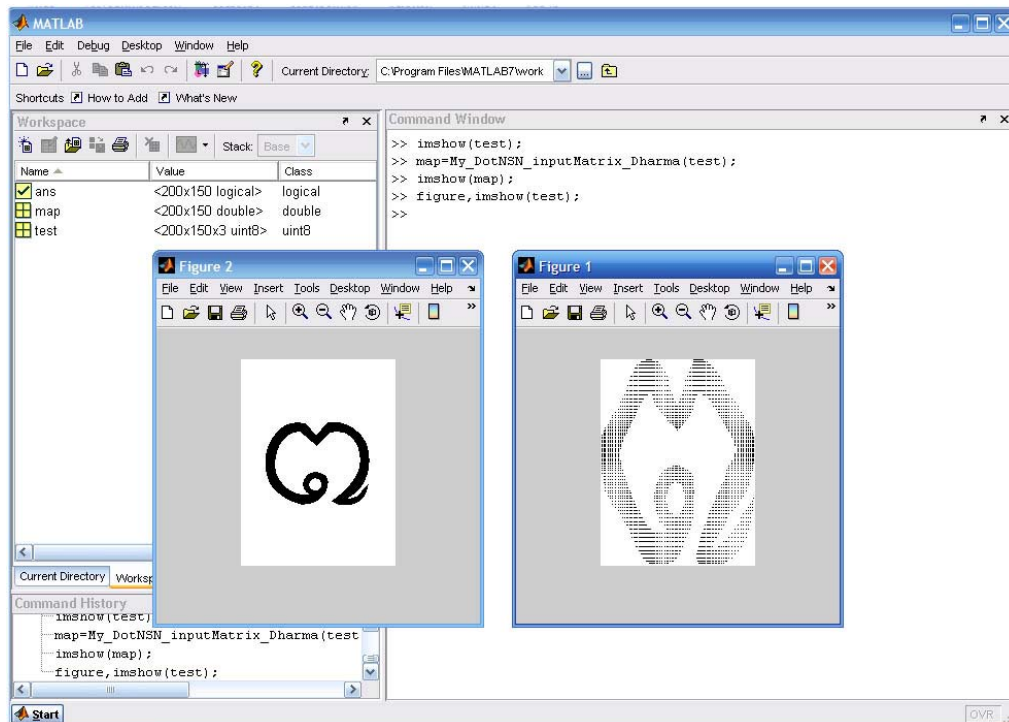
2.2 จะได้โค้ดของโปรแกรมสำหรับลดความหนาของตัวอักษร ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โค้ดของโปรแกรมสำหรับปรับการกระจายความหนาแน่นของจุด

2.3 ป้อนข้อมูลอักขระอักษรธรรม เป็นข้อมูลนำเข้า ในที่นี้ทดสอบตัว ก

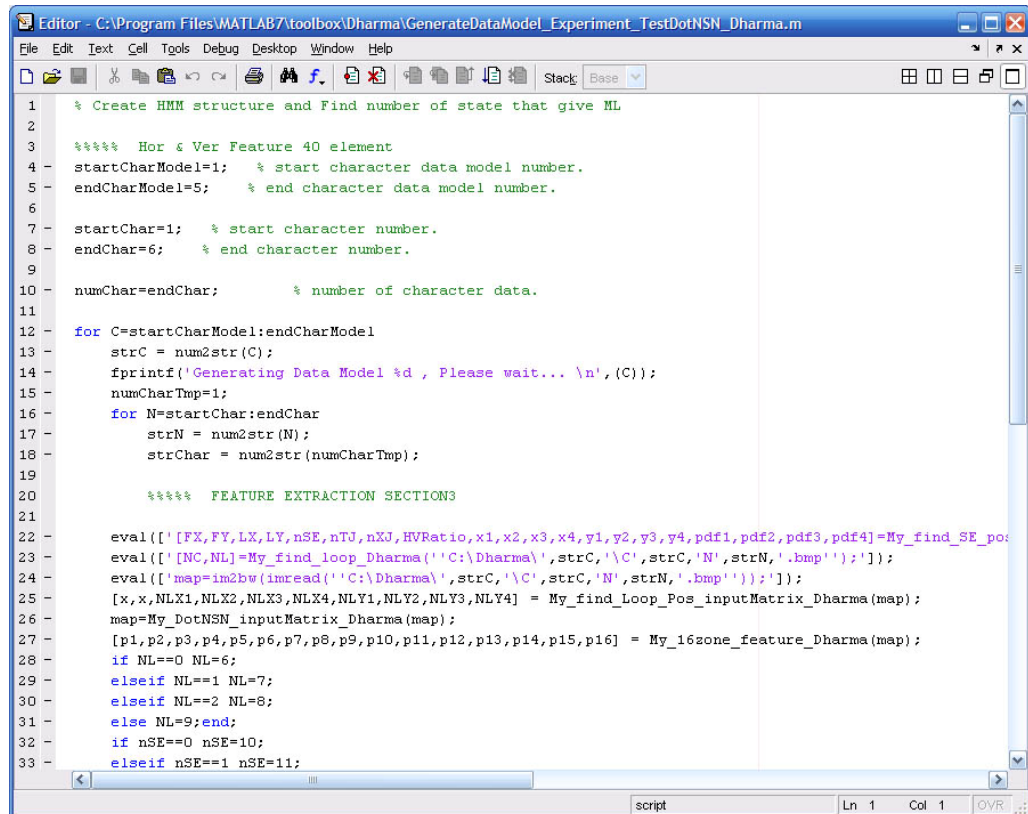
2.4 ตั้ง run โปรแกรม จะได้ผลดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการทำงานของโปรแกรมปรับการกระจาย

การสกัดลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction)

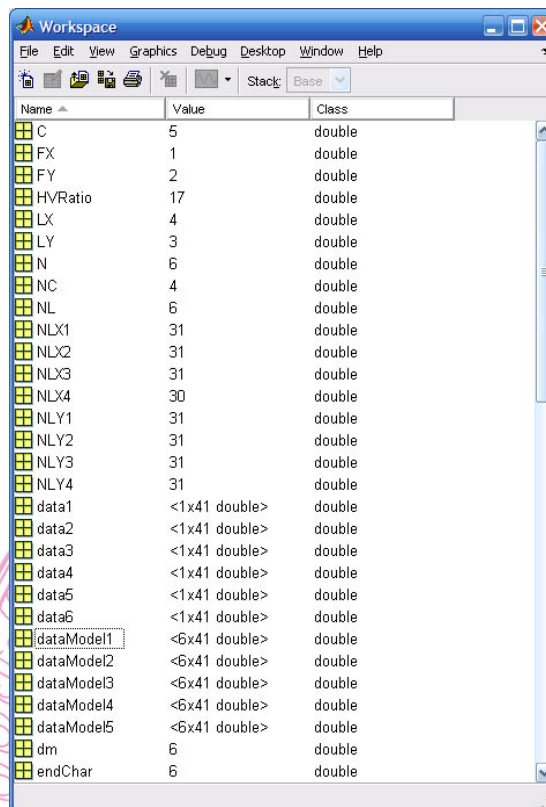
1. เขียน โปรแกรมเพื่อสกัดเอาคุณลักษณะเฉพาะของอักขรธรรมอีสานออกมา ดังตัวอย่างในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โค้ดของโปรแกรมการสกัดคุณลักษณะเฉพาะของอักขรธรรมอีสาน

2. โปรแกรมนี้ จะทำการอ่านข้อมูลภาพอักขระอักขรธรรมอีสาน ทุกแบบทุกตัว แล้วเข้าสู่กระบวนการประมวลผลเบื้องต้น จนสุดท้ายจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลก้อนหนึ่ง เรียกว่า Feature Vectors ซึ่งเป็นอาร์เรย์ขนาด 1x41 ดังนี้ [x1, x2, x3, x4, y1, y2, y3, y4, NL, nSE, HVRatio, nTJ, nXJ, pdf1, pdf2, pdf3, pdf4, NLX1, NLX2, NLX3, NLX4, NLY1, NLY2, NLY3, NLY4, p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10, p11, p12, p13, p14, p15, p16] (ดูภาพที่ 9)

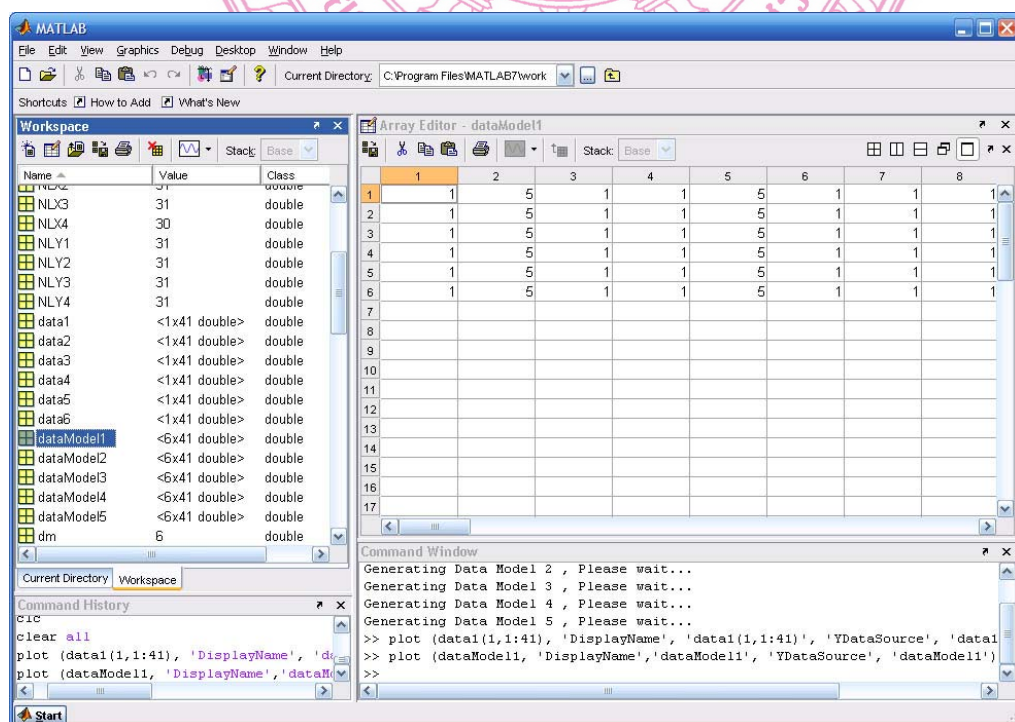
3. นอกจากจะได้ Feature Vectors แล้ว ยังได้ข้อมูลตัวแบบ (Data Model) จำนวน 91 ตัว (ดูภาพที่ 10) สำหรับนำไปเข้ากระบวนการรู้จำอีกต่อไป



The image shows the MATLAB Workspace window. It contains a table with three columns: Name, Value, and Class. The variables listed are C, FX, FY, HVRatio, LX, LY, N, NC, NL, NLX1, NLX2, NLX3, NLX4, NLY1, NLY2, NLY3, NLY4, data1, data2, data3, data4, data5, data6, dataModel1, dataModel2, dataModel3, dataModel4, dataModel5, dm, and endChar. Most variables are of type 'double'.

Name	Value	Class
C	5	double
FX	1	double
FY	2	double
HVRatio	17	double
LX	4	double
LY	3	double
N	6	double
NC	4	double
NL	6	double
NLX1	31	double
NLX2	31	double
NLX3	31	double
NLX4	30	double
NLY1	31	double
NLY2	31	double
NLY3	31	double
NLY4	31	double
data1	<1x41 double>	double
data2	<1x41 double>	double
data3	<1x41 double>	double
data4	<1x41 double>	double
data5	<1x41 double>	double
data6	<1x41 double>	double
dataModel1	<6x41 double>	double
dataModel2	<6x41 double>	double
dataModel3	<6x41 double>	double
dataModel4	<6x41 double>	double
dataModel5	<6x41 double>	double
dm	6	double
endChar	6	double

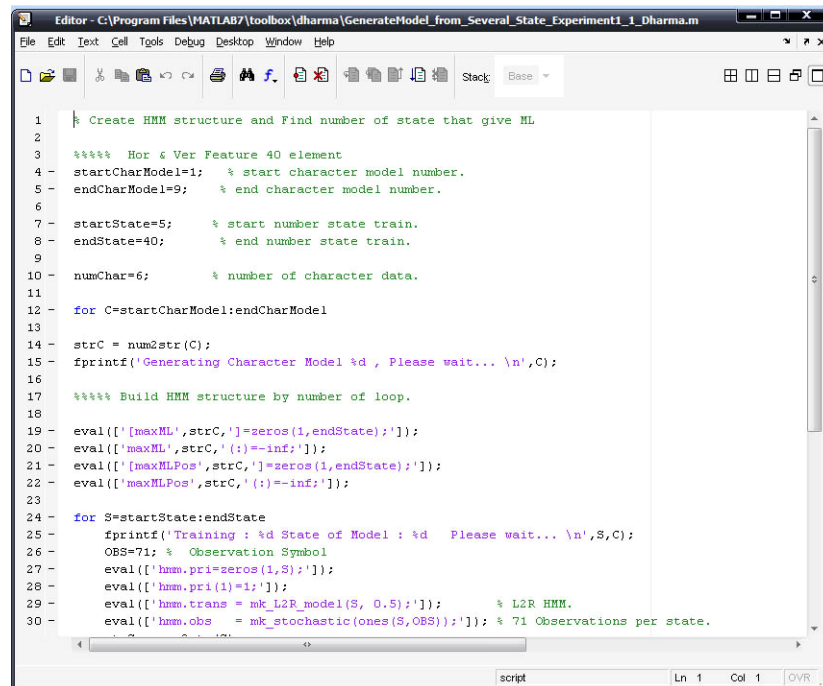
ภาพที่ 9 แสดง Feature Vectors



ภาพที่ 10 แสดงผลลัพธ์ที่ได้ จะเป็น Data Model ตัวที่ 1 ถึง 91

การสอนตัวแบบเพื่อการเรียนรู้จำตัวอักษร

1. สร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ จะได้โปรแกรมดังภาพที่ 11
2. หลังจากนั้นสั่ง run โปรแกรม จะได้ผลดังภาพที่ 12

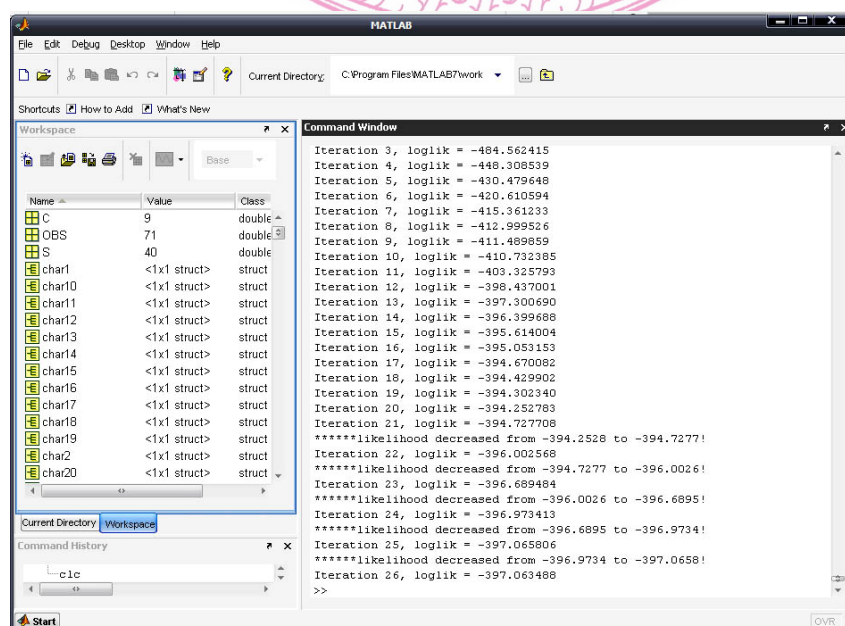


```

1  % Create HMM structure and Find number of state that give ML
2
3  % Hor & Ver Feature 40 element
4  startCharModel=1; % start character model number.
5  endCharModel=9; % end character model number.
6
7  startState=5; % start number state train.
8  endState=40; % end number state train.
9
10 numChar=6; % number of character data.
11
12 for C=startCharModel:endCharModel
13
14     strC = num2str(C);
15     fprintf('Generating Character Model %d , Please wait... \n',C);
16
17     % Build HMM structure by number of loop.
18
19     eval(['maxML',strC,'']=zeros(1,endState));
20     eval(['maxML',strC,'(:)=-inf']);
21     eval(['maxMLPos',strC,'']=zeros(1,endState));
22     eval(['maxMLPos',strC,'(:)=-inf']);
23
24     for S=startState:endState
25         fprintf('Training : %d State of Model : %d Please wait... \n',S,C);
26         OBS=71; % Observation Symbol
27         eval(['hmm.pri=zeros(1,S)']);
28         eval(['hmm.pri(1)=1']);
29         eval(['hmm.trans = mk_L2R_model(S, 0.5)']); % L2R HMM.
30         eval(['hmm.obs = mk_stochastic(ones(S,OBS))']); % 71 Observations per state.

```

ภาพที่ 11 แสดงโค้ดของโปรแกรมสำหรับการสร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ



```

Iteration 3, loglik = -484.562415
Iteration 4, loglik = -448.308539
Iteration 5, loglik = -430.479648
Iteration 6, loglik = -420.610594
Iteration 7, loglik = -415.361233
Iteration 8, loglik = -412.989526
Iteration 9, loglik = -411.489859
Iteration 10, loglik = -410.732385
Iteration 11, loglik = -403.325793
Iteration 12, loglik = -398.437001
Iteration 13, loglik = -397.300690
Iteration 14, loglik = -396.399688
Iteration 15, loglik = -395.614004
Iteration 16, loglik = -395.053153
Iteration 17, loglik = -394.670082
Iteration 18, loglik = -394.429902
Iteration 19, loglik = -394.302340
Iteration 20, loglik = -394.252783
Iteration 21, loglik = -394.727708
*****likelihood decreased from -394.2528 to -394.7277!
Iteration 22, loglik = -396.002568
*****likelihood decreased from -394.7277 to -396.0026!
Iteration 23, loglik = -396.689484
*****likelihood decreased from -396.0026 to -396.6895!
Iteration 24, loglik = -396.973413
*****likelihood decreased from -396.6895 to -396.9734!
Iteration 25, loglik = -397.065806
*****likelihood decreased from -396.9734 to -397.0658!
Iteration 26, loglik = -397.063488
>>

```

ภาพที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของการสร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ

คำนวณหาผลการรู้จำ

1. หลังจากทำการสร้างตัวแบบฮิดเดนมาร์คคอฟแล้ว ระบบจะทำการจดจำลักษณะของอักขระอักษรธรรมชาติแล้วจึงนำไปคำนวณหาว่า ประสิทธิภาพของการรู้จำเป็นเท่าใด ดังตัวอย่างโปรแกรมในภาพที่

13

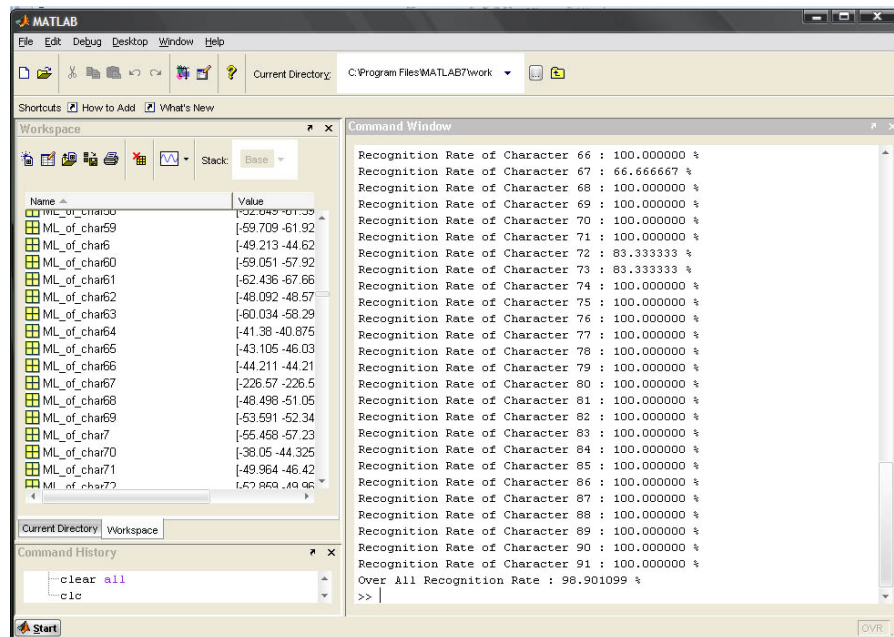
```

1 - numModel=91; % Must define value > 1
2
3 - numChar=6;
4
5 - for C=1:numModel
6     strC = num2str(C);
7     for N=1:numChar
8         strN = num2str(N);
9         for i=1:numModel
10            stri = num2str(i);
11            eval(['[alpha',strC,',loglik',strC,{'(',stri,',',strN,')'}]=My_forwards(char',stri,','p
12            %eval(['[alpha',strC,', beta',strC,', gamma',strC,', xi',strC,', loglik',strC,{'(',stri,',',strN,')'}]=My_viterbi_pat
13            %eval(['[path',strC,',lik',strC,',loglik',strC,{'(',stri,',',strN,')'}]=My_viterbi_pat
14        end;
15    end;
16 end;
17
18 %*** Recognition Rate Compute.
19 fprintf('Recognition Rate Computing...\n');
20 for C=1:numModel
21     strC = num2str(C);
22     eval(['[ML_of_char',strC,',Locate_ML_of_char',strC,']=max(loglik',strC,')');]);
23     eval(['[number_recog=size(find(Locate_ML_of_char',strC,')==',strC,')',2);]);
24     eval(['[percent_recog=',strC,']= (number_recog*100)/numChar;']);
25     fprintf('Recognition Rate of Character %d : %f %%\n',C,percent_recog(C));
26 end;
27 OverAllRecog=sum(percent_recog)/numModel;
28 fprintf('Over All Recognition Rate : %f %%\n',OverAllRecog);
29 %*** End Recognition Rate Compute.
30

```

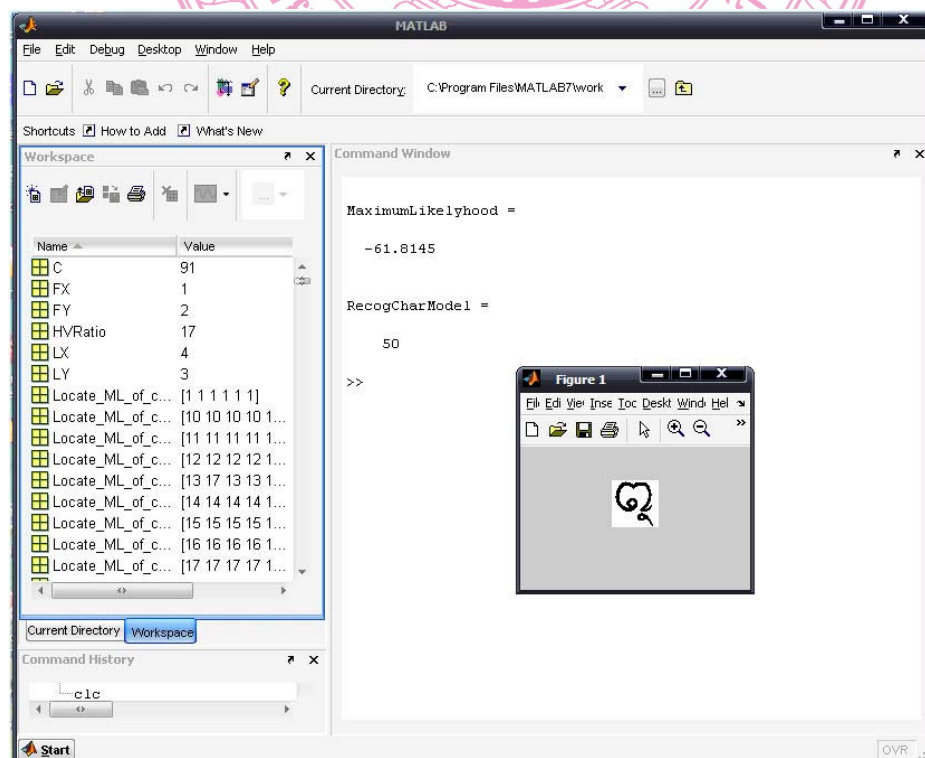
ภาพที่ 13 แสดงโค้ดโปรแกรมการคำนวณหาประสิทธิภาพการรู้จำ

2. หลังจากนั้น run โปรแกรม เครื่องจะทำการคำนวณอัตราการรู้จำเป็นร้อยละ ดังตัวอย่างในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการหาประสิทธิภาพการรู้จำ

3. สุดท้ายทดสอบการรู้จำอักขระอักษรธรรม โดยป้อนข้อมูลนำเข้าเป็นอักขระอักษรธรรมตัวใดๆ โปรแกรมจะนำตัวอักษรนั้น ไปคำนวณหาค่า Feature แล้วพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่มากที่สุด แล้วแสดงผลพ้อออกมา ดังตัวอย่างในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงผลการทดสอบการรู้จำ เมื่อนำข้อมูลอักขระลำดับที่ 50 มาทดสอบ

ประวัติผู้วิจัยและคณะ

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) : นายนิรันดร์ เลิศวีรพล
(ภาษาอังกฤษ) : NIRANDORN LERDWIRAPHOL
2. ตำแหน่ง : หัวหน้าฝ่ายห้องสมุดและเทคโนโลยีสารสนเทศ
3. สังกัด : สำนักวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย
วิทยาเขตขอนแก่น
4. ประวัติการศึกษา
 - 4.1 ปริญญาตรีศึกษาศาสตรบัณฑิต (ศษ.บ. คณิตศาสตร์) จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - 4.2 ปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วท.ม. วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. สาขาวิชาที่ชำนาญเป็นพิเศษ
 - 5.1 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์บนเว็บ
 - 5.2 การออกแบบทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิก
 - 5.3 การสร้างระบบฐานข้อมูล
 - 5.4 การสร้างรูปแบบตัวอักษรด้วยคอมพิวเตอร์
6. ผลงานทางวิชาการ
 - 6.1 งานวิจัยที่ได้ดำเนินการ
 - 6.1.1 การศึกษาอิสระ เรื่อง การนำเสนอสื่อประสมบนเว็บด้วยภาษา XML และ SMIL กรณีศึกษา อักษรธรรมอีสาน ในการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - 6.1.2 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ The First Northeastern Computer Science and Engineering Conferences หัวข้อเรื่อง การนำเสนอสื่อประสมบนเว็บด้วยภาษา XML และ SMIL กรณีศึกษา อักษรธรรมอีสาน ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม – 1 เมษายน 2548, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
 - 6.2 งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ
 - 6.2.1 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ The 9th National Computer Science and Engineering Conference หัวข้อเรื่อง การออกแบบรูปแบบการนำเสนอสื่อประสมหลายภาษาโดยใช้ XML และ SMIL ระหว่างวันที่ 27 – 28 ตุลาคม 2548, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, กรุงเทพฯ

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) : นายสุรศักดิ์ ตั้งสกุล
(ภาษาอังกฤษ) : MR.SURASAK TANGSAKUL
2. ตำแหน่ง : อาจารย์
- 3.สังกัด : มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย
4. ประวัติการศึกษา
 - 4.1 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 - 4.2 ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. สาขาวิชาที่ชำนาญเป็นพิเศษ
 - 5.1 ภาษาและเครื่องมือพัฒนาโปรแกรม VB, C, ASP, PHP, Java, Matlab, Assembly และอื่นๆ
 - 5.2 ดูแลและจัดการระบบ Web Server, Proxy Server, Mail Server, DHCP Server, DNS Server ทั้ง Windows System และ Unix, Linux System และอื่นๆ พร้อมศึกษาเพิ่มเติม
 - 5.3 สามารถออกแบบและสร้างวงจรของระบบ Microprocessors Z80, MSC-51 และระบบ Interface ต่อพ่วงเพื่อใช้งานในลักษณะต่างๆ พร้อมทั้งเขียน Assembly Code เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ
 - 5.4 สามารถซ่อม Monitor, Printer, Computer และอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ ได้
6. ประวัติการทำงาน
 - 6.1 พ.ย. 2542 – มี.ค. 2546
 - ทำงานในตำแหน่ง อาจารย์ แผนกวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิชาเศรษฐศาสตร์-บริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตสุรินทร์
 - 6.2 พ.ค. - ปัจจุบัน
 - ตำแหน่ง : อาจารย์ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์
 - สังกัด : มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย