การรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถไทยด้วยแบบจำลองความน่าจะเป็น

นายฉัตรชัย บวรธำรงชัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROVINCE RECOGNITION IN THAI CAR LICENSE-PLATES USING PROBABILISTIC MODELS

Mr. Chatchai Bovornthamrongchai

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถไทยด้วยแบบจำลองความน่าจะเป็น
โดย	นายฉัตรชัย บวรธำรงชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกรี สินธุภิญโญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลวิช นัทธี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉัตรชัย บวรธำรงชัย : การรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถไทยด้วยแบบจำลองความน่าจะเป็น. (Province Recognition in Thai Car License-Plates Using Probabilistic Models) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศ.ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล, 73 หน้า.

การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นหัวข้อวิจัยที่ทำมานานหลายปีแล้ว และในปัจจุบันก็มีโปรแกรมสำเร็จสำหรับรู้จำป้ายซึ่งทำเป็นเชิงธุรกิจอยู่เป็นจำนวนหนึ่ง อย่างไรก็ดี การรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนไทยได้รับการพัฒนาไปน้อยมาก ปัญหาหนึ่งของการรู้จำชื่อจังหวัดก็คือคุณภาพไม่ดีของภาพตัวอักษรที่เป็นข้อมูลเข้า ซึ่งทำให้การรู้จำภาพตัวอักษรแยกเป็นตัวๆ ทำได้ลำบากมาก งานวิจัยนี้จะแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการมองชื่อจังหวัดเป็นภาพหนึ่งภาพ โดยไม่สนใจที่จะแยกภาพตัวอักษรเป็นตัวๆ จากนั้นจะใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเพื่อรู้จำชื่อจังหวัดจากภาพ ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอระหว่างเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขกับวิธีแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแสดงให้เห็นว่า เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขให้ความถูกต้องที่สูงกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต ฉัตรชัย บวรธำรงชัย
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2553

5270252921 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS :Pattern Recognition / Hidden Markov Model / Conditional Random Field

CHATCHAI BOVORNTHAMRONGCHAI : PROVINCE RECOGNITION IN THAI CAR LICENSE-PLATES USING PROBABILISTIC MODELS. ADVISOR : PROF.BOONSERM KIJSIRIKUL, Ph.D., 73 pp.

License plate recognition has been a popular research topic for a long time. Currently, there are a lot of commercial software packages available but very little effort has been done to recognize province names in Thai license plates. A reason that province name recognition is not popular may be due to low quality of the input of character images. It is very difficult to recognize the province name in the plate by separately recognizing each character image because the boundary of each character image is not sharp. Therefore, this thesis avoids this problem by viewing a province name as one single image, and not recognizing individually each character image. Then, the probabilistic models, which have been shown to handle sequence data effectively, are applied to the recognition of province names from the image. The experiments are conducted to evaluate the proposed method by comparing Conditional Random Fields with a linear-chain Hidden Markov Model, and the results show that Conditional Random Fields provide accuracy higher than the Hidden Markov Model.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Computer Engineering Student's Signature ฉัตรชัย บวรธำรงชัย

Field of Study : Computer Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการรู้จำชื่อจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นนี้จะประสบความสำเร็จไม่ได้เลยถ้าหากไม่ได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง และความรู้ด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณกรมทางพิเศษแห่งประเทศไทยเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาพเคลื่อนไหวที่มีภาพป้ายทะเบียน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จึงทำให้งานวิจัยนี้สามารถทดสอบกับข้อมูลจริงได้

และในระหว่างที่ข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์อยู่นี้ ข้าพเจ้าได้มีโอกาสร่วมงานกับแผนกการพัฒนาภาษาแห่งชาติ (National Language Development : NLD) ที่บริษัท ไอบีเอ็ม ประเทศไทย จำกัด ซึ่งพี่ๆ ในแผนกได้ให้คำปรึกษาและให้โอกาสให้ข้าพเจ้าได้สามารถทำงานวิจัยไปพร้อมๆ กับการทำงานที่นั่น จึงขอบคุณพี่ๆ ทุกๆ ท่านที่ได้ดูแลข้าพเจ้ามา ณ ที่นี้ด้วยครับ

ยิ่งไปกว่านั้น ข้าพเจ้ายังได้มีโอกาสไปร่วมงานกับบริษัท สยาม กูรู จำกัดในระหว่างการวิจัยนี้ด้วย โดยทางบริษัทได้อนุญาตและสนับสนุนให้ข้าพเจ้าใช้ทรัพยากรของบริษัทเพื่อทำการทดลอง และอนุญาตให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยระหว่างทำงานด้วยเช่นเดียวกัน จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วยเช่นกันครับ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ได้มอบทุนการศึกษาให้กับข้าพเจ้าในการศึกษาปริญญามหาบัณฑิต ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการอัจฉริยะภาพเครื่องจักรและการค้นพบความรู้ (Machine Intelligence and Knowledge Discovery Lab : MIND) ทุกท่าน และอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้ให้การติชม และคำแนะนำต่างๆ ในงานวิจัยครับ

และที่ขาดไม่ได้เลย ขอขอบคุณน้องชาย นายธงชาติ บวรธำรงชัย ที่ได้คอยรับคอยส่งระหว่างบ้านและมหาวิทยาลัยอย่างเสมอมา ขอบคุณนางสาวนิตยา ลาภดำรงกิจที่ได้ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา และที่สำคัญที่สุด ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ นายประเสริฐ บวรธำรงชัยและนางพรรณี บวรธำรงชัย ที่ได้ให้กำเนิดชีวิตข้าพเจ้า เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตั้งแต่เด็กๆ จนกระทั่งข้าพเจ้ามีวันนี้ ให้การศึกษาเล่าเรียนแก่ข้าพเจ้า ขออภัยที่ข้าพเจ้าไม่ได้ทำหน้าที่เป็นลูกที่ดีในระหว่างที่ทำวิทยานิพนธ์ เพราะต้องกลับบ้านดึกอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบคุณทุกท่านที่กล่าวถึง และท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงที่มีส่วนที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จเสร็จสิ้นได้มา ณ ที่นี้ครับ ขอบคุณมากครับ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย..... 4

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย..... 4

1.8 งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 5

2.2 แบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model)..... 5

2.3 แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ (Hidden Markov Model)..... 6

2.4 เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข (Conditional Random Field)..... 8

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.5.1 Thai car license plate recognition using essential-elements-based method... 9

2.5.2 การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียม
แบบความน่าจะเป็น..... 11

2.5.3 Automatic License Plate Recognition..... 13

2.5.4 Chinese License Plate Recognition Using a Convolutional Neural Network... 16

2.5.5 Thai Named Entity Recognition Based on Conditional Random Fields..... 19

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 23

บทที่ หน้า

3.1 ส่วนการเตรียมข้อมูลภาพชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย..... 23
3.1.1 ขั้นตอนการสกัดภาพชื่อจังหวัดจากเฟรมภาพ..... 24
3.1.2 ขั้นตอนการแปลงภาพฐานสอง (Binarization process)..... 27
3.2 ส่วนการรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์..... 28
3.2.1 การมองภาพชื่อจังหวัดเป็นข้อมูลลำดับ..... 28
3.2.2 การสร้างเวกเตอร์ลักษณะ..... 30
3.2.3 ระบบรู้จำชื่อจังหวัด..... 32
3.2.4 การกำหนดสถานะผลลัพธ์ในอีกลักษณะ..... 33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 36
4.1 ชุดข้อมูล..... 36
4.2 การคิดค่าความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัด..... 36
4.3 โครงสร้างแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ..... 38
4.4 โครงสร้างเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข..... 39
4.5 ผลการทดลอง..... 40
4.6 ผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ปัจจัย..... 44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 48
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 48
5.2 อภิปรายผลการวิจัย..... 48
5.3 การต่อยอดจากงานวิจัยนี้..... 49
5.4 ข้อเสนอแนะ..... 49
รายการอ้างอิง..... 50
ภาคผนวก..... 52
ภาคผนวก ก ภาพป้ายทะเบียนที่ใช้รู้จำชื่อจังหวัดภายในงานวิจัย..... 53
ภาคผนวก ข แผ่นแบบของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข..... 63
ภาคผนวก ค เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix)..... 68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการทดลองในงานวิจัย.....	11
2	ผลการทดสอบการรู้จำในป้ายทะเบียนรถยนต์.....	13
3	ผลการทดสอบการรู้จำเลขทะเบียน.....	16
4	ผลลัพธ์การทดลอง.....	18
5	ป้ายระบุชื่อเอนทิที.....	19
6	ผลการรู้จำชื่อเอนทิทีในงานวิจัย.....	21
7	ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	37
8	ผลการทดลองการรู้จำชื่อจังหวัด.....	41
9	ผลการทดลองการรู้จำชื่อจังหวัดเมื่อพิจารณาอัตราส่วนจุดขาวจุดดำ.....	42
10	ผลการทดลองการรู้จำชื่อจังหวัดเมื่อพิจารณาเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเท่านั้น	43
11	แผ่นแบบและแผนภาพของแต่ละเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข.....	64
12	ตัวอักษรย่อภาษาอังกฤษของชื่อจังหวัดไทยที่ใช้ในงานวิจัย.....	68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ตัวอย่างป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย.....	2
2	แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง.....	7
3	การฉายจุดภาพในแนวนอนเพื่อแยกส่วนที่เป็นเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด.....	10
4	การฉายจุดภาพในแนวตั้งเพื่อแยกเลขทะเบียนแต่ละตัว.....	10
5	ตัวอย่างแผ่นแบบเพื่อหาองค์ประกอบที่จำเป็นของตัวเลขตัวอักษรไทย.....	10
6	ภาพส่วนเลขทะเบียนและส่วนชื่อจังหวัด.....	12
7	ข้อมูลสัญญาณที่สกัดจากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์.....	12
8	ชั้นปรับตัวได้ในข่ายงานประสาทเทียม.....	14
9	ตัวอย่างการรู้จำตัวอักษร.....	15
10	ตำแหน่งการเก็บภาพป้ายทะเบียนรถยนต์.....	15
11	โครงสร้างข่ายงานประสาทเทียมในงานวิจัยการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จีน.....	17
12	ตัวอย่างภาพที่ได้ในแต่ละชั้นของข่ายงานประสาทเทียม.....	17
13	ตัวอย่างข้อมูลฝึก.....	18
14	ตัวอย่างข้อมูลฝึกในงานวิจัยการรู้จำชื่อเอนทิที.....	20
15	ระบบที่ใช้ในงานวิจัยการรู้จำชื่อเอนทิทีในภาษาไทย.....	21
16	ตัวอย่างเฟรมภาพในข้อมูลภาพเคลื่อนไหว.....	23
17	ตัวอย่างขอบภาพสี่เหลี่ยมที่มีป้ายทะเบียนรถยนต์อยู่ภายใน.....	24
18	กระบวนการตัดภาพชื่อจังหวัดในแต่ละเฟรมภาพ.....	25
19	การประมวลผลภาพในขั้นตอนต่างๆ เพื่อสกัดภาพป้ายทะเบียนรถยนต์.....	26
20	การฉายจุดภาพในแนวนอนทำให้ได้ภาพชื่อจังหวัดออกมา.....	26
21	ตัวอย่างภาพชื่อจังหวัดอื่นๆ ที่ได้จากการประมวลผลภาพ.....	27
22	ภาพจังหวัดหลังจากผ่านขั้นตอนการแปลงภาพฐานสอง.....	27
23	การมองภาพชื่อจังหวัดให้มีลักษณะเป็นข้อมูลที่มีลำดับ.....	29
24	สถานะผลลัพธ์ที่ได้จากเวกเตอร์ลักษณะแต่ละแถว.....	29
25	ตัวอย่างข้อมูลฝึกของภาพชื่อจังหวัดกรุงเทพมหานคร 1 ภาพ.....	31
26	ตัวอย่างจุดสีที่เริ่มจากจุดสีดำและค่าการเปลี่ยนแปลงจุดขาวจุดดำเท่ากับ 9....	32
27	กระบวนการทำงานส่วนการวิจัยการรู้จำชื่อจังหวัด.....	33

ภาพที่		หน้า
28	ตัวอย่างข้อมูลฝึกที่สามารถตอบสถานะผลลัพธ์เชิงลบได้.....	35
29	เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแต่ละแบบในลักษณะแผนภาพ.....	40
30	เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแบบเส้นตรงและแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง.....	42
31	เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขที่สนใจเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเท่านั้น.....	43
32	ค่าความถูกต้องเมื่อสนใจเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าและถัดไป 1 2 และ 3 ตัว...	45
33	ค่าความถูกต้องเมื่อสนใจสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าด้วย.....	45
34	ภาพชื่อจังหวัดที่มีจุดสัญญาณรบกวนมากเกินไป.....	47
35	ภาพชื่อจังหวัดที่รายละเอียดขอบเขตย่อยของตัวอักษรหายไปเป็นจำนวนมาก..	47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคสมัยที่ประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่กำลังพัฒนานั้น ระบบการคมนาคมของไทยได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเดินทางภายในกรุงเทพมหานคร ซึ่งวิธีการเดินทางสัญจรในรูปแบบต่างๆ นั้นมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ประชาชนสามารถเดินทางเข้าสู่ใจกลางกรุงเทพมหานครได้สะดวกสบาย โดย ณ ขณะนี้ ระบบขนส่งมวลชนกำลังมีการพัฒนาและขยายช่องทางต่างๆ ตัวอย่างเช่น การพัฒนาระบบรถไฟฟ้าบีทีเอส (BTS) รถไฟฟ้ามหานคร (MRT) รถโดยสารด่วนพิเศษ (BRT) รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (Airport Link) เป็นต้น โดยกำลังอยู่ในช่วงพัฒนาระบบต่างๆ ให้สามารถเชื่อมต่อกันและคลอบคลุมไปทั่วกรุงเทพมหานครได้ในที่สุด ซึ่งจะทำให้ประชาชนมีตัวเลือกอื่นๆ นอกจากโดยสารรถประจำทาง ซึ่งทางกรุงเทพมหานครมีความคาดหวังว่าจะเป็นผลให้ประชาชนได้รับความสะดวกสบายในการเดินทางไปสถานที่ต่างๆ ในกรุงเทพมหานครยิ่งขึ้น

แต่อย่างไรก็ดี รถยนต์ส่วนบุคคลก็ยังคงเป็นยานพาหนะที่ประชาชนส่วนใหญ่เลือกใช้ในการเดินทาง อันจะเห็นได้จากในทุกๆ วันทำงานนั้นจะพบเห็นการจราจรที่คับคั่งอย่างสม่ำเสมอ เหตุผลหนึ่งที่ทำให้รถยนต์ส่วนบุคคลยังคงเป็นยานพาหนะยอดนิยมนั้น อาจเป็นเพราะความจำเป็นของแต่ละบุคคล เช่น ต้องเดินทางไปสถานที่ต่างๆ หลายที่ต่อวัน หรือเพื่อความสะดวกสบายในการเดินทางไปในสถานที่ที่ไกลมากๆ ที่ทำงานอยู่ไกลบ้านมาก หรือว่าต้องบรรทุกสิ่งของอื่นๆ ไปด้วย เป็นต้น ด้วยเหตุนี้เอง ในแต่ละวันจึงมีรถยนต์เดินทางเข้าออกสถานที่ต่างๆ ภายในกรุงเทพมหานครเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ในแต่ละสถานที่ได้มีการตรวจสอบการเข้าออกของรถยนต์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะมีการให้บัตรจอดรถก่อนอนุญาตให้เข้าไปในสถานที่นั้นๆ โดยจะสามารถป้องกันการถูกโจรกรรมรถยนต์ได้ส่วนหนึ่ง หากแต่ในช่วงเวลาที่การจราจรคับคั่งมากๆ นั้น การใช้บัตรจอดรถก็อาจส่งผลให้การจราจรติดขัดมากขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น การอนุญาตให้รถยนต์ออกจากสถานที่นั้นจะต้องใช้เวลาไปกับการตรวจสอบบัตรจอดรถกับรถยนต์ทุกๆ คัน หรือการเข้าสู่สถานที่ใดๆ จะต้องมีการหยุดรถเพื่อรับบัตรจอดรถก่อน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้เกิดระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติขึ้น อันเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการเก็บข้อมูล

รถยนต์ที่เข้าออกในแต่ละสถานที่ โดยระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัตินั้นจะรู้จำหมวดอักษรและตัวเลขของป้ายทะเบียนรถยนต์คันๆ นั้นออกมาเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งจะทำให้สามารถบอกได้ว่ามีรถยนต์ทะเบียนใดบ้างเข้ามาในสถานที่นั้น โดยระบบดังกล่าวจะสามารถลดเวลาในการตรวจสอบบัตรจอดรถลงไป อันเป็นผลให้สามารถลดปัญหาการจราจรติดขัดได้ โดยในปัจจุบันนี้จะเริ่มเห็นการใช้งานระบบดังกล่าวตามห้างสรรพสินค้า หรือตึกบริษัทมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น ความถูกต้องในการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จึงมีความสำคัญมาก จึงทำให้งานรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นได้รับความนิยมในการพัฒนาเป็นอย่างมากทั้งภาคเชิงธุรกิจและงานวิจัย

ป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยนั้นจะประกอบด้วยเลขทะเบียนสำหรับการระบุตัวรถยนต์แต่ละคันได้ ซึ่งในปัจจุบันเลขทะเบียนจะประกอบไปด้วยตัวอักษรไทย 2 ตัวอักษรซึ่งเป็นหมวดอักษรของป้ายทะเบียน รวมกับตัวเลขอารบิค 4 หลัก และมีชื่อจังหวัดของป้ายทะเบียนนั้นๆ อยู่ด้านล่างหมวดอักษรและตัวเลขทะเบียน ตัวอย่างป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยในปัจจุบันนั้นเป็นดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ตัวอย่างป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย

งานรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ที่พบเห็นมาก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการรู้จำตัวเลขและหมวดอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นสำคัญ เนื่องจากคนทั่วไปจะมีข้อสมมติฐานว่าการรู้จำเพียงหมวดหมู่อักษรและตัวเลขในป้ายทะเบียนรถยนต์โดยไม่รู้จำชื่อจังหวัดนั้นจะสามารถระบุรถยนต์ที่เข้าออกในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งได้ถูกต้องทุกคัน แต่ในความเป็นจริงแล้วตัวเลขและหมวดหมู่อักษรของป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นมีโอกาสที่ซ้ำกันโดยต่างเพียงแค่ชื่อจังหวัดเท่านั้นได้ ด้วยเหตุนี้จะเห็นว่าการรู้จำเพียงตัวเลขทะเบียนนั้นอาจไม่เพียงพอในการระบุถึงป้ายทะเบียนนั้นๆ ได้จริง จึงทำให้ระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยที่ไม่ได้รู้จำจังหวัดออกมาด้วยนั้นมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการระบุถึงรถยนต์แต่ละคันได้ ดังนั้น การรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยจึงมีความสำคัญ ซึ่งจะทำให้สามารถพัฒนาระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยให้สามารถรู้จำได้ถูกต้องมากขึ้น จึงทำให้งานวิจัยการรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยนี้เกิดขึ้น เพื่อทดลองวิธีการที่จะรู้จำจังหวัดออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ จะเป็นงานวิจัยเพื่อทดสอบวิธีการรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่มีประสิทธิภาพแบบหนึ่ง และนำการประมวลผลภาพ (Image Processing) มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน สำหรับรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยจะกล่าวในหัวข้อต่อๆ ไปของโครงร่างวิทยานิพนธ์นี้

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อวิจัยการรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยโดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น
- เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์การรู้จำจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยจากแบบจำลองความน่าจะเป็นที่แตกต่างกันได้

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

- วิจัยการรู้จำชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย โดยใช้การประมวลผลภาพในการตัดภาพชื่อจังหวัด แล้วรู้จำชื่อจังหวัดโดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น
- การทดสอบจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ความถูกต้องที่ได้แบบจำลองแต่ละแบบ และนำเสนอแบบจำลองความน่าจะเป็นที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้
- การวิจัยส่วนการเรียนรู้ของเครื่องจะทดสอบความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัดกับข้อมูลภาพนิ่งเท่านั้น โดยข้อมูลภาพนั้นจะต้องมีความชัดเจนระดับหนึ่งที่พอจะสามารถคัดแยกออกได้ด้วยตาเปล่า
- ข้อมูลภาพชื่อจังหวัดที่ใช้ฝึกสอนจะต้องมีจำนวนชื่อจังหวัดให้ไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของชื่อจังหวัดในป้ายทะเบียนรถไทยทั้งหมด

1.4. ข้อจำกัดของการวิจัย

- ภาพเคลื่อนไหวที่ใช้จะต้องมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 704×576 จุดภาพ และมีอัตราเร็วภาพ (frame rate) ไม่น้อยกว่า 25 ภาพต่อวินาที (fps)

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถวิจัยหาวิธีการที่สามารถรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ที่มีประสิทธิภาพได้
- ทำให้ระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยเริ่มมีการพัฒนาให้รู้จำจังหวัดมาใช้งานจริง

- ทำให้มีความถูกต้องในการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยได้มากขึ้นได้

1.6. **วิธีดำเนินการวิจัย**

- เก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหวจากข้อมูลจริง
- ค้นคว้าและศึกษางานวิจัยก่อนหน้าเพิ่มเติม
- พัฒนาระบบเพื่อตัดภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จากข้อมูลภาพเคลื่อนไหวโดยใช้การประมวลผลภาพ และจัดเตรียมข้อมูลเพื่อทำการทดลองการรู้จำ
- ทำการทดลองการรู้จำโดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นในลักษณะต่างๆ เพื่อรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียน และบันทึกผลการทดลอง
- ตีพิมพ์ผลงานวิจัย และสรุปผลการทดลอง

1.7. **ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย**

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ลำดับการนำเสนอผลงานวิจัยไว้ในบทต่างๆ โดยรายละเอียดเกี่ยวกับของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับแบบจำลองความน่าจะเป็นและงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จะแสดงไว้ในบทที่ 2 จากนั้นจะนำเสนอวิธีการรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยอธิบายถึงขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูลฝึก การประยุกต์ใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น รายละเอียดต่างๆ ของแต่ละขั้นตอนที่นำเสนอในงานวิจัยจะอธิบายไว้ในบทที่ 3 จากนั้น จึงนำเสนอผลการทดลองซึ่งเป็นความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัดโดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นในลักษณะต่างๆ ในบทที่ 4 และในบทที่ 5 จะเป็นการสรุปงานวิจัยนี้

1.8. **งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์**

- ฉัตรชัย บวรธำรงชัย และบุญเสริม กิจศิริกุล, “การรู้จำจังหวัดสำหรับป้ายทะเบียนไทยด้วยเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข”, *การประชุมวิชาการวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติฯ ครั้งที่ 14 (NCSEC 2010)*, 17 – 19 พฤศจิกายน 2553.
- Chatchai Bovornthamrongchai and Boonserm Kijsirikul, “Province Name Recognition in Thai License Plates Using Conditional Random Fields”, *The Fifth International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS 2010)*, 25 – 27 November 2010.

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. แนวคิดและทฤษฎี

สิ่งที่เป็นปัญหาอย่างหนึ่งในการรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยแบบอัตโนมัติคือ ป้ายทะเบียนจะไม่ได้ถูกแสดงขึ้นมาครบทุกส่วน เนื่องด้วยกรอบของป้ายทะเบียนส่วนใหญ่จะบดบังตัวอักษรบนป้ายทะเบียนบางส่วนไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่อยู่ล่างๆ ของป้ายทะเบียน รวมทั้งยังไม่สามารถควบคุมขนาดของส่วนที่ถูกบังโดยกรอบป้ายทะเบียนได้ จึงทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลของชื่อจังหวัดได้ครบถ้วนทุกส่วน อีกทั้งยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องรายละเอียดความคมชัดของกล้องที่ใช้ในการบันทึกภาพ ซึ่งยังคงเป็นกล้องที่มีความละเอียดค่อนข้างน้อย อันเป็นผลจะทำให้การรู้จำมีความผิดพลาดได้ง่ายยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้โดยการมองภาพป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นข้อมูลที่มีลำดับ แล้วจึงใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นซึ่งเป็นแบบจำลองที่สามารถรู้จำข้อมูลที่มีลำดับได้ดี มาทำการรู้จำชื่อจังหวัดออกมา รายละเอียดจะกล่าวในส่วนถัดๆ ไป

2.2. แบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model)

แบบจำลองความน่าจะเป็นหรือแบบจำลองเชิงสถิติ (Statistical Model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายเหตุการณ์ที่น่าจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยใช้ค่าสถิติของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแล้ว มาคำนวณค่าความน่าจะเป็นเพื่อบอกโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์นั้นๆ ได้ โดยในทางคณิตศาสตร์นั้น เหตุการณ์หรือข้อมูลที่สนใจจะถูกแทนด้วยตัวแปรสุ่ม (Random variable) ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการแทนข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้มาเป็นตัวเลขจำนวนจริง และมองแบบจำลองความน่าจะเป็นนั้นเป็นการกระจายตัวของค่าความน่าจะเป็น (Probability distribution) ของตัวแปรสุ่มที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะทำให้แบบจำลองนั้นสามารถทำนายผลลัพธ์ของข้อมูลใหม่ได้ด้วยค่าความน่าจะเป็น โดยเป็นค่าที่มาจากการคิดคำนวณโดยใช้ตัวแปรสุ่มต่างๆ ของข้อมูลนั้นๆ นั่นเอง โดยทั่วไปนั้น แบบจำลองความน่าจะเป็นจะสามารถใช้ข้อมูลที่มีอยู่มาฝึก (Train) ให้กับแบบจำลอง เพื่อให้การทำนายข้อมูลใหม่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นได้ ตัวอย่างการใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นในลักษณะต่างๆ นั้น เช่น การพยากรณ์อากาศว่าวัน

พรุ่งนี้ฝนจะตกหรือไม่ จะสามารถทำนายโดยใช้ข้อมูลของสภาพอากาศที่มีอยู่ก่อนหน้ามาคำนวณโอกาสที่จะฝนตกในวันพรุ่งนี้ได้ เป็นต้น

2.3. **แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ** (Hidden Markov Model) [1]

แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟเป็นแบบจำลองความน่าจะเป็นแบบหนึ่ง ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแบบจำลองกราฟมีทิศทาง (Directed graphical model) โดยแบบจำลองนี้ได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย ภายในแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- สถานะ (State) คือสถานะของแบบจำลองที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยจะเป็นสถานะที่จะให้ค่าผลลัพธ์ออกมาได้ เช่น กำหนดให้แบบจำลองมี n สถานะที่เป็นไปได้ทั้งหมด นั่นคือสามารถให้ค่าผลลัพธ์ออกมาได้ n แบบ
- ค่าสังเกต (Observation) คือสิ่งที่เป็นข้อมูลที่จะนำเข้าแบบจำลอง นั่นคือข้อมูลเข้าของแบบจำลอง โดยชนิดของค่าสังเกตนั้นจะมีจำนวนเท่ากับ m นั่นคือข้อมูลเข้ามี m แบบ ซึ่งจะเขียนเป็นสัญลักษณ์ค่าสังเกต *O*
- ค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ (Transition probability) คือค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่ง โดยกำหนดให้ $A = \{a_{ij}\}$ เป็นเซตของค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะที่ i ไปสถานะ j โดยที่ $1 \leq i, j \leq n$
- ค่าความน่าจะเป็นของค่าสังเกต (Emission probability) คือค่าความน่าจะเป็นของค่าสังเกต k โดยกำหนดให้ $B = \{b_j(k)\}$ เป็นเซตของความน่าจะเป็นของค่าสังเกต k ในสถานะ j โดยที่ $1 \leq k \leq m$ และ $1 \leq j \leq n$
- ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นของแต่ละสถานะ โดยกำหนดให้ $\boldsymbol{\pi} = \{\boldsymbol{\pi}_i\}$ คือเซตของค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นที่สถานะ i ซึ่ง $1 \leq i \leq n$

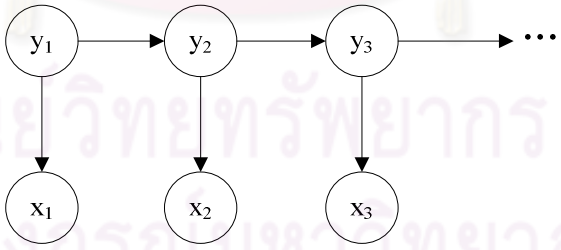
แบบจำลองนี้จะมีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาได้ แต่สถานะ (state) จะถูกซ่อน (hidden) ไว้ หรือการเปลี่ยนสถานะภายในแบบจำลองจะถูกซ่อนไว้ โดยจากส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองนี้ แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟที่สร้างขึ้นมาจะสามารถแสดงได้เป็นตัวแปร $(A,B,\boldsymbol{\pi})$ โดยจะหาลำดับของสถานะผลลัพธ์ *Q* ที่ให้ค่าความน่าจะเป็นสูงสุดจากลำดับของค่าสังเกต *O* ด้วยการคิดค่าความน่าจะเป็นร่วม (Joint probability) $p(Q,O)$ ซึ่งถ้าหากกำหนดให้การหาสถานะผลลัพธ์มีลักษณะเป็นเส้นตรง (linear-chain) โดยที่จำนวนสถานะ

ผลลัพธ์และจำนวนค่าสังเกตมีความยาวเท่ากันแล้ว จะสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นร่วมในแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟด้วยข้อสมมติฐาน 2 อย่าง คือแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟจะมีคุณสมบัติของมาร์คอฟ (Markov property) คือการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในสถานะผลลัพธ์ที่ i ใดๆ นั้นจะขึ้นกับสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าที่ i-1 เท่านั้น หมายความว่าในสถานะผลลัพธ์ที่ i-2 และก่อนหน้านั้นจะไม่มีผลกับค่าความน่าจะเป็นในสถานะผลลัพธ์ที่ i ส่วนอีกคุณสมบัติคือค่าสังเกตในปัจจุบันจะขึ้นกับสถานะผลลัพธ์ปัจจุบันเท่านั้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อกำหนดให้ $\boldsymbol{X}$ คือลำดับของข้อมูลเข้า $(x_1x_2\ldots x_n)$ ซึ่งเป็นค่าสังเกตของแบบจำลอง และ $\boldsymbol{Y}$ คือลำดับของป้ายผลลัพธ์ที่จะติดให้กับข้อมูลเข้า $(y_1y_2\ldots y_n)$ ซึ่งเป็นลำดับของสถานะผลลัพธ์ ก็จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นร่วม $p(\boldsymbol{Y},\boldsymbol{X})$ เพื่อหาลำดับของสถานะผลลัพธ์ที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดโดยคำนวณได้ดังสมการที่(1)

$$p(\boldsymbol{Y},\boldsymbol{X}) = \prod_i p(y_i|y_{i-1})p(x_i|y_i) \qquad (1)$$

จากสมการดังกล่าว จะสามารถอธิบายแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟเป็นลักษณะของแผนภาพได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง (linear-chain Hidden Markov Model)



รูปที่ 2 แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง

แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟนั้นเป็นที่นิยมในการรู้จำข้อมูลที่มีลำดับหรือข้อมูลที่มีรูปแบบ ตัวอย่างหัวข้องานวิจัยที่นำแบบจำลองชนิดนี้ไปประยุกต์ใช้ เช่น การรู้จำเสียงพูด (Speech recognition) การรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ (Online handwriting recognition) การติดป้ายส่วนประกอบของคำ (Part-of-speech tagging) เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4. **เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข** (Conditional Random Field)

เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขเป็นแบบจำลองความน่าจะเป็นอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กับข้อมูลที่เป็นลำดับเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประมวลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) นั้นได้พิสูจน์แล้วว่าแบบจำลองนี้ได้ผลดีในการตัด (Segmentation) หรือติดป้าย (Labeling) ให้กับข้อมูลภาษา แบบจำลองนี้จะต่างจากแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟตรงที่เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นจะเป็นแบบจำลองกราฟแบบไม่มีทิศทาง (Undirected graphical model) ซึ่งแบบจำลองนี้จะคำนวณค่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $p(Y|X)$ โดยที่ Y คือลำดับของป้ายผลลัพธ์ที่จะติดให้กับข้อมูลเข้า X ซึ่งเป็นลำดับและสามารถเป็นเวกเตอร์ลักษณะ (feature vector) ได้ การคำนวณในรูปทั่วไปจะเป็นดังสมการที่ (2)

$$p(\boldsymbol{Y}|\boldsymbol{X}) = \frac{1}{Z(\boldsymbol{X})} \prod_i \psi_i(x, y) \tag{2}$$

เนื่องจากเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นเป็นแบบจำลองกราฟแบบไม่มีทิศทาง จึงทำให้การคำนวณค่าความน่าจะเป็น $p(Y|X)$ จะใช้ฟังก์ชันศักยภาพ (potential function) ของตัวแปรสุ่ม (random variable) ซึ่งคือตัวประกอบ $\boldsymbol{\psi}$ ในสมการที่ (2) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่กำหนดความสัมพันธ์ของ X กับ Y ในกราฟ โดยลักษณะการกำหนดค่าฟังก์ชันนั้นจะกำหนดเป็นเซตของฟังก์ชันลักษณะ (feature function) ออกมา เพื่อเป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้ากับป้ายผลลัพธ์ไว้ โดยเซตฟังก์ชันลักษณะนี้จะขึ้นกับผู้ใช้เป็นผู้กำหนดให้ ซึ่งเซตฟังก์ชันนี้จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของแบบจำลองว่ามีลักษณะอย่างไร ส่วน $Z(X)$ คือค่าที่ใช้ปรับมาตรฐาน (normalize) โดยคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$Z(\boldsymbol{X}) = \sum_{x,y} \prod_i \psi_i(x, y) \tag{3}$$

เมื่อพิจารณาในปัญหาที่สามารถจำลองความสัมพันธ์กันเป็นแบบล็อก-ลิเนียร์ (log-linear model) จะสามารถกำหนดให้ตัวประกอบในสมการข้างต้นนั้นอยู่ในรูปของฟังก์ชันเลขยกกำลังตัวแปร (exponential form) โดยคิดคำนวณจากฟังก์ชันลักษณะ f จึงทำให้สมการที่ (2) และ (3) สามารถเปลี่ยนรูปเป็นสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$p_\lambda(\boldsymbol{Y}|\boldsymbol{X}) = \frac{1}{Z_\lambda(\boldsymbol{X})}\exp(\lambda \cdot \sum_i f_i(y,x)) \quad (4)$$

$$Z_\lambda(\boldsymbol{X}) = \sum_{\boldsymbol{y}} \exp \lambda \cdot \sum_i f_i(y,x) \quad (5)$$

โดย $f_i(\boldsymbol{y},\boldsymbol{x})$ คือเวกเตอร์ลักษณะของข้อมูลเข้า $\boldsymbol{x}$ ที่ตำแหน่ง i ส่วน $\boldsymbol{\lambda}$ คือเวกเตอร์ถ่วงน้ำหนักของเวกเตอร์ลักษณะ ซึ่งตัวแปรพารามิเตอร์แต่ละค่าทั้งในสมการที่ (4) และ (5) จะถูกกำหนดโดยการฝึกจากชุดข้อมูลฝึกที่ป้อนเข้าไปให้กับแบบจำลอง

สิ่งที่ทำให้เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีนั้น เป็นเพราะแบบจำลองนี้สามารถเลือกเวกเตอร์ลักษณะมาคำนวณในช่วงที่กว้างได้ [2] ตัวอย่างเช่น สามารถเลือกเวกเตอร์ลักษณะตัวต่อๆ ไปมาใช้ในการคำนวณค่าได้ด้วย เป็นต้น ซึ่งจะไม่เหมือนกับแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟที่มองว่าความน่าจะเป็นที่ตำแหน่งใดๆ จะขึ้นกับเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเพียงอย่างเดียว จึงทำให้สามารถจัดการกับปัญหาการติดป้ายแบบมีอคติ (Label bias problem) ได้ [3]

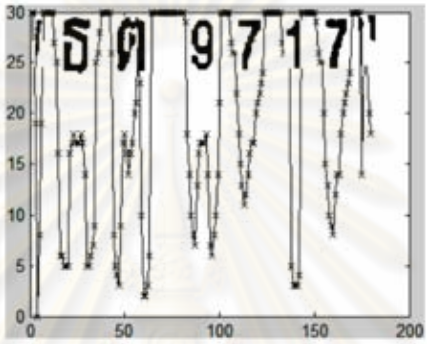
2.5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเป็นงานเกี่ยวกับการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งในแต่ละงานวิจัยจะนำเอาวิธีการที่แตกต่างกันมาใช้ โดยจะมุ่งเน้นการรู้จำตัวเลขและหมวดหมู่ของป้ายทะเบียนเป็นหลัก ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

2.5.1. Thai car license plate recognition using essential-elements-based method [4]

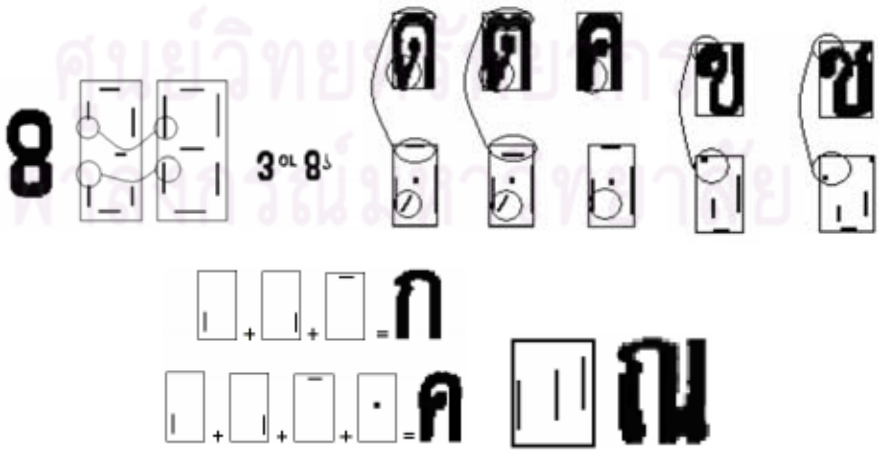
งานวิจัยนี้เป็นการรู้จำตัวเลขและหมวดหมู่อักษรโดยหาองค์ประกอบที่จำเป็น (Essential elements) ซึ่งเป็นการหาเส้นขีดที่สำคัญของตัวอักษรไทยแต่ละตัวอักษร ตัวอย่างเช่น ก ต้องมีเส้นขีดตั้ง 2 เส้น และเส้นขีดนอน 1 เส้น เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการประมวลผลภาพเพื่อแยกส่วนเลขทะเบียนกับชื่อจังหวัดโดยใช้การฉายจุดภาพในแนวนอน (Horizontal projection) ดังรูปที่ 3 ซึ่งจะนำส่วนเลขทะเบียนและหมวดหมู่ไปตัดแยกตัวอักษรโดยใช้การฉายจุดภาพในแนวตั้ง (Vertical projection) ดังรูปที่ 4 ซึ่งจะแยกตัวอักษรและตัวเลขออกมาเพื่อรู้จำในแต่ละตัวอักษรและตัวเลขแยกกัน

รูปที่ 3 การฉายจุดภาพในแนวนอนเพื่อแยกส่วนที่เป็นเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด



รูปที่ 4 การฉายจุดภาพในแนวตั้งเพื่อแยกเลขทะเบียนแต่ละตัว

เมื่อตัวเลขตัวอักษรถูกแยกเป็นตัวๆ แล้ว จึงนำภาพที่มีตัวเลขตัวอักษรแต่ละตัวมารู้จำ โดยการรู้จำนั้นจะใช้การหาองค์ประกอบที่จำเป็น โดยใช้แผ่นแบบ (Template) ที่กำหนดไว้ก่อนหน้ามาเทียบว่าภาพตัวเลขตัวอักษรแต่ละตัวนั้นน่าจะเป็นตัวเลขตัวอักษรใดได้บ้าง ซึ่งแผ่นแบบเหล่านี้จะมีการกำหนดแผ่นแบบของแต่ละตัวอักษรไทยและตัวเลขไว้ก่อนหน้าแล้ว โดยผู้พัฒนาสามารถกำหนดเองได้ ตัวอย่างแผ่นแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างแผ่นแบบเพื่อหาองค์ประกอบที่จำเป็นของตัวเลขตัวอักษรไทย

สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้ป้ายทะเบียน 300 ภาพมาทดสอบกับวิธีการดังกล่าว โดยจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือทดสอบการรู้จำเลขทะเบียนทั้งหมด กับทดสอบการรู้จำตัวเลขตัวอักษร ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองในงานวิจัย

	จำนวนทดสอบ	จำนวนที่รู้จำสำเร็จ	จำนวนที่รู้จำผิดพลาด	อัตราความสำเร็จ (%)
ป้ายทะเบียนรถยนต์	300	256	44	85.33
ตัวเลขตัวอักษร	1,719	1,517	202	88.24

จากผลการทดลอง พบว่าป้ายทะเบียนที่รู้จำผิดพลาดนั้นเกิดจากป้ายทะเบียนที่มีตะปูควง (Screw) ติดอยู่ระหว่างตัวอักษร ซึ่งเป็นผลให้รูปร่างของตัวอักษรเปลี่ยนไปจึงทำให้รู้จำผิดพลาดได้ และอาจจะเป็นเพราะสภาพแสงและเงาที่แตกต่างกัน ก็ทำให้รู้จำผิดพลาดได้เช่นกัน

สำหรับงานวิจัยนี้ จะมีข้อได้เปรียบคือ แผ่นแบบซึ่งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นนั้นจะขึ้นกับผู้พัฒนาเป็นคนกำหนดเอง ซึ่งจะใช้ต้นทุนในการประมวลผลที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ แต่อย่างไรก็ดี การรู้จำโดยใช้แผ่นแบบดังกล่าวนี้จะขึ้นกับความแม่นยำในการประมวลภาพเพื่อตัดตัวอักษรแยกออกมาแต่ละตัว ซึ่งถ้าหากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ไม่ได้ถูกประมวลผลภาพมาอย่างดี เช่น ยังคงมีจุดสัญญาณรบกวนตรงกลางตัวอักษร ก ก็มีโอกาสรู้จำเป็น ค ได้ เป็นต้น นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ไม่ได้รองรับภาพป้ายทะเบียนที่มีความเอียงหรือผิดรูปร่างมาก

2.5.2. การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและข่ายงานประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น [5]

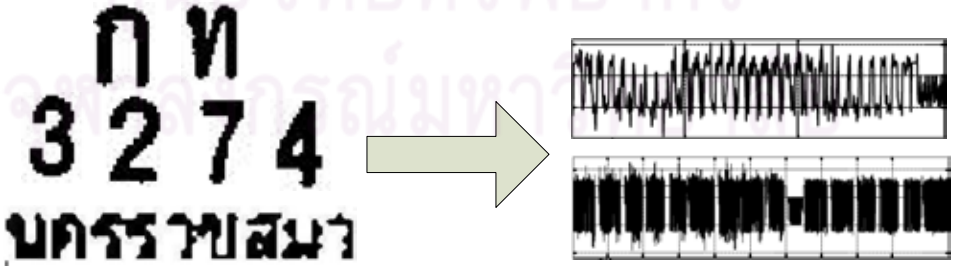
ในงานวิจัยนี้จะเป็นการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้งส่วนเลขทะเบียนและชื่อจังหวัดจากภาพที่มีป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสตรีต (Discrete Wavelet Transformation) เพื่อดึงลักษณะพิเศษออกมาจากภาพ ซึ่งในงานวิจัยได้มีการพัฒนาระบบขึ้นมาเพื่อทดสอบ เริ่มด้วยการค้นหาตำแหน่งและตัดป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การประมวลผลภาพ จากนั้นจะนำภาพป้ายทะเบียนมาตัดแยกเป็น 2 ส่วนคือภาพส่วนเลขทะเบียนและภาพส่วนชื่อ

จังหวัด ซึ่งส่วนเลขทะเบียนจะทำการรู้จำตัวอักษรทีละตัวอักษร ดังนั้นจึงตัดตัวเลขตัวอักษรแยกออกจากกัน ได้ดังนั้นแล้วปรับขนาดภาพทั้งสองให้มีขนาด 40 × 30 จุดภาพและ 40 × 300 จุดภาพตามลำดับ ตัวอย่างภาพทั้งสองเป็นดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ภาพส่วนเลขทะเบียนและส่วนชื่อจังหวัด

หลังจากการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้ดังรูปที่ 6 แล้ว จึงใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตและหลักสถิติมาสกัดคุณลักษณะพิเศษ เพื่อสร้างเป็นข้อมูลสัญญาณให้กับข่ายงานประสาทเทียมในการรู้จำต่อไป โดยเริ่มจากการนำเอาภาพตัวอักษรและจังหวัดขนาด 40 × 30 จุดภาพและ 40 × 300 ตามลำดับ มาแปลงให้เป็นเวกเตอร์ซึ่งจะมีขนาด 1 × 1200 และ 1 × 12000 จากนั้นจึงสกัดเอาคุณลักษณะโดยใช้เวฟเล็ตแบบดิสครีตจากเวกเตอร์ดังกล่าวซึ่งจะได้สัญญาณออกมา จากนั้นใช้หลักสถิติสกัดสัญญาณจากเวกเตอร์ดังกล่าวเดียวกันนี้ก็จะได้สัญญาณออกมาอีกอันหนึ่ง ซึ่งข้อมูลสัญญาณที่จะส่งให้กับข่ายงานประสาทเทียมจะเป็นสัญญาณที่ได้ทั้งสองนี้มาเรียงต่อกันโดยนำสัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบสถิติมาต่อด้วยสัญญาณที่ได้จากหลักสถิติ

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้เป็นดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นข้อมูลสัญญาณที่สกัดจากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยส่วนเลขทะเบียนและหมวดหมู่นั้นจะมีการตัดแบ่งตัวอักษรแต่ละตัวออกจากกัน เพื่อใช้ข่ายงานประสาทเทียมแยกรู้จำระหว่างตัวอักษรไทยและตัวเลขออกจากกัน



รูปที่ 7 ข้อมูลสัญญาณที่สกัดจากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์

เมื่อได้ข้อมูลสัญญาณดังรูปที่ 7 แล้ว จึงนำข้อมูลสัญญาณไปฝึกสอนให้กับข่ายงานประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น ซึ่งใช้ข่ายงานประสาทเทียมแยกออกเป็น 3 ข่ายงานคือ

ข่ายงานรู้จำตัวอักษรที่เป็นหมวดหมู่ ข่ายงานรู้จำตัวเลข และข่ายงานรู้จำชื่อจังหวัด โดยจะมีการทดลองเพื่อหาค่าการขยาย (Spread) ที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งได้ค่า 1 2 และ 5 เป็นค่าขยายของเครือข่ายทั้ง 3 ตามลำดับ

สำหรับผลการทดสอบของงานวิจัยนี้จะมีการแบ่งการทดลองออกเป็นหลายการทดสอบ เช่น การทดสอบการคัดแยกตัวอักษรจากป้ายทะเบียน การทดสอบเมื่อมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์และขนาดป้ายทะเบียนมีการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น ซึ่งผลการทดสอบการรู้จำในป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นเป็นดังตารางที่ 2 โดยทดสอบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์กับภาพที่มีป้ายทะเบียนจำนวน 244 ภาพ โดยภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จะมีชื่อจังหวัดต่างกันจำนวนมากกว่า 20 จังหวัด

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการรู้จำในป้ายทะเบียนรถยนต์

การทดสอบการรู้จำในป้ายทะเบียน	ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง (%)
ตัวอักษร	94.81
ตัวเลข	98.58
ชื่อจังหวัด	86.79

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าการรู้จำตัวเลขจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากรูปแบบของตัวเลขนั้นมีอยู่เพียง 10 รูปแบบจึงทำให้ง่ายต่อการรู้จำ แต่การรู้จำจังหวัดนั้นจะมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ อาจเป็นเพราะข้อมูลชื่อจังหวัดนั้นมีความใกล้เคียงกันมาก และข้อมูลบางส่วนหายไปเนื่องจากถ่ายภาพในระยะไกล

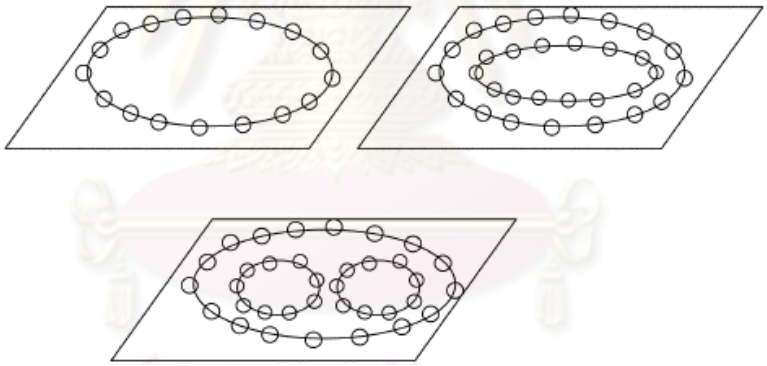
ในงานวิจัยนี้จะแทนภาพตัวอักษร ตัวเลข และภาพชื่อจังหวัดให้เป็นข้อมูลสัญญาณ ซึ่งการแทนภาพด้วยข้อมูลสัญญาณดังกล่าวนี้จะสามารถสร้างความแตกต่างของแต่ละตัวอักษรหรือชื่อจังหวัดได้ แต่ก็จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อสกัดข้อมูลสัญญาณออกมา

2.5.3. Automatic License Plate Recognition [6]

งานการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์นี้ได้นำเสนอการรู้จำเลขทะเบียนในป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียมแบบจัดตัวเองได้ (Self-Organized Neural Model) โดยภายในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยสองส่วน ได้แก่ ส่วนการค้นหาภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ และส่วนการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

ส่วนของการค้นหาภาพป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นจะสกัดภาพป้ายทะเบียนออกมาโดยใช้ตรวจสอบขอบสี (color edge detection) และใช้การคัดแยกแบบคลุมเครือ (fuzzy) ซึ่งจะทำให้มีตัวเลือกที่เป็นป้ายทะเบียนรถยนต์จำนวนหนึ่ง จากนั้นจึงนำตัวเลือกแต่ละอันมาทำการรู้จำเลขทะเบียน โดยเริ่มด้วยนำตัวเลือกแต่ละป้ายมาทำการประมวลผลก่อนหน้า ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนการปรับภาพฐานสอง (Binarization) การหาส่วนที่เชื่อมต่อกัน (connected component) และลดจุดสัญญาณรบกวน (noise) จากนั้น จึงนำภาพมาทำการรู้จำ โดยจะตัดแยกแต่ละตัวอักษรก่อนแล้วจึงใช้ข่ายงานประสาทเทียมแบบจัดตัวเองได้ในการรู้จำแต่ละตัวอักษร

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการแบ่งกลุ่มตัวอักษรเป็น 3 แบบ ได้แก่ ตัวอักษรที่ไม่มีรู (0-hole) ตัวอักษรที่มีรู 1 ที่ (1-hole) และตัวอักษรที่มีรู 2 ที่ (2-hole) ตัวอย่างของตัวอักษรที่ไม่มีรูเช่น C หรือ E ส่วนตัวอักษรที่มีรู 1 ที่เช่น A หรือ D และตัวอักษรที่มีรู 2 ที่คือเป็น B ด้วยเหตุนี้ ในส่วนของการรู้จำตัวอักษรจึงมีข่ายงานประสาทเทียมแบบจัดตัวได้จะมีชั้นปรับตัวได้ 3 แบบตามกลุ่มตัวอักษร โดยตัวอย่างชั้นปรับตัวได้เป็นดังรูปที่ 8

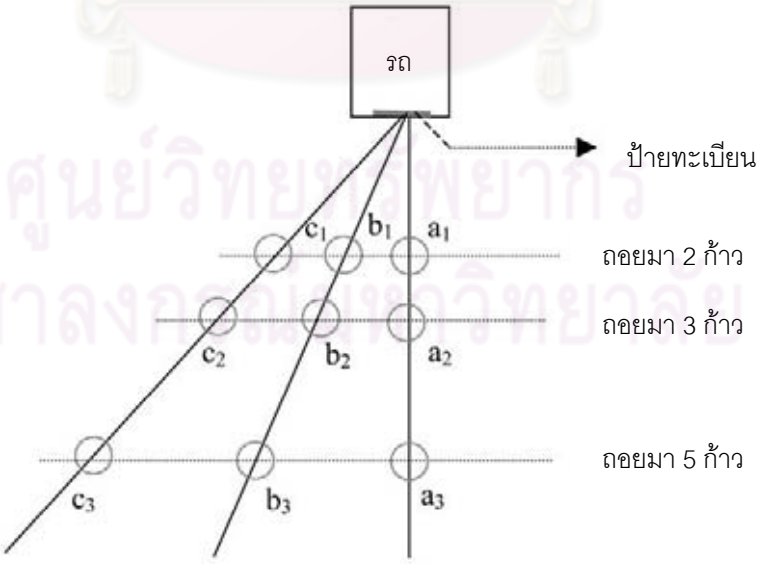


รูปที่ 8 ชั้นปรับตัวได้ในข่ายงานประสาทเทียม

จากนั้น การรู้จำตัวอักษรจะเริ่มจากการสกัดหาเค้าโครง (contour) ของตัวอักษรที่ผ่านการประมวลผลก่อนหน้าแล้ว จากนั้นนำมาคำนวณหาว่าเค้าโครงนั้นมีรูกี่ที่ ซึ่งค่าจำนวนรูนี้จะส่งผลต่อการเลือกใช้ข่ายงานประสาทเทียมโดยจะเลือกตัวที่มีจำนวนรูเท่ากันมาทำการรู้จำ เมื่อเลือกข่ายงานได้แล้ว จึงทำการแปลงให้เค้าโครงที่สกัดให้เป็นจุด 40 จุดที่มีระยะห่างเท่ากันหมดมาเป็นตัวแทนของเค้าโครงนั้นๆ แล้วจึงนำจุดทั้ง 40 จุดมาทำการปรับรูปร่างตามแผ่นแบบ (template) ของแต่ละตัวอักษร โดยการรู้จำนั้นจะตอบตัวอักษรที่สามารถปรับรูปร่างได้เหมือนมากที่สุดออกมา ขั้นตอนต่างๆ ดังกล่าวในขั้นตอนการรู้จำนี้แสดงดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 ตัวอย่างการรู้จำตัวอักษร

สำหรับการทดลองนี้ ใช้ชุดข้อมูลที่มีจำนวน 639 ภาพขนาด 640x480 จุดภาพโดยมีจำนวนป้ายทะเบียนรถยนต์ 71 คัน ซึ่งจะเก็บภาพในมุมและความห่างที่แตกต่างกันไปดังรูปที่ 10 ผลการทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่ายิ่งทำมุมกับภาพป้ายทะเบียนมากเท่าใดจะทำให้ร้อยละความถูกต้องในการรู้จำลดน้อยลง ซึ่งความถูกต้องในการรู้จำที่ตำแหน่งมุมที่กว้างที่สุดในจุด c1 c2 และ c3 จะเป็นดังตารางที่ 3



รูปที่ 10 ตำแหน่งการเก็บภาพป้ายทะเบียนรถยนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการรู้จำเลขทะเบียน

จุดที่ทำการรู้จำ	ความถูกต้อง (%)
c1	97.2
c2	98.6
c3	95.8

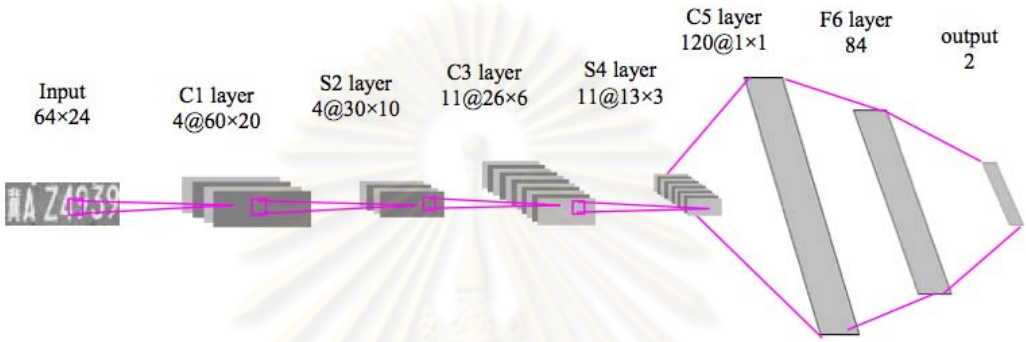
เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ข่ายงานประสาทเทียมแบบจัดตัวเองได้ จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลช่วงเวลาหนึ่งในการให้ข่ายงานประสาทเทียมทำการปรับรูปร่างเพื่อทำการรู้จำตัวอักษรออกมาได้ แต่อย่างไรก็ดี จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ในการรู้จำเลขทะเบียนจะมีความถูกต้องค่อนข้างสูง

2.5.4. Chinese License Plate Recognition Using a Convolutional Neural Network [7]

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จีนโดยใช้ข่ายงานประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชัน ซึ่งเป็นข่ายงานที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในงานที่เกี่ยวกับภาพ เช่น การรู้จำลายมือเขียน การรู้จำหน้าคน เป็นต้น เนื่องจากสามารถรู้จำจากจุดภาพได้โดยตรง อีกทั้งยังง่ายต่อการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะที่ได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้ ทำให้ข่ายงานประสาทเทียมนี้มีความเกี่ยวเนื่องกับการประมวลผลภาพเป็นอย่างดี โดยทั่วไปแล้ว ข่ายงานประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันนี้ประกอบด้วยชั้น (layer) 2 ชนิด ได้แก่ ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional layer) และชั้นสุ่มตัวอย่างย่อย (Sub-sampling layer) ซึ่งชั้นคอนโวลูชันจะเป็นการแปลงลักษณะ (feature map) จากภาพจากชั้นก่อนหน้าในแต่ละส่วนของข้อมูล ซึ่งจะเป็นการสกัดลักษณะที่มีความเกี่ยวข้องเฉพาะที่ได้ ส่วนชั้นสุ่มตัวอย่างย่อยจะเป็นการลดขนาดการแปลงลักษณะจากชั้นคอนโวลูชัน โดยจะทำการหาค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ ซึ่งจะทำให้การเลื่อนภาพหรือความบิดเบี้ยวของภาพมีผลต่อชั้นผลลัพธ์น้อยลงได้

ด้วยเหตุนี้ ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบโครงสร้างของข่ายงานประสาทเทียมเป็นดังรูปที่ 11 ซึ่งจะประกอบด้วยชั้นต่างๆ กัน 7 ชั้นโดยไม่รวมชั้นข้อมูลเข้า แต่ละชั้นมีความหมายแตกต่างกัน ในชั้นแรกคือชั้นคอนโวลูชันซึ่งเป็นชั้นที่ 1 (C1) จะทำการแปลงลักษณะจากภาพข้อมูลเข้า 4 แบบ แต่ละแบบมีขนาดเท่ากับ 60x20 สามารถเขียนย่อดังในรูปได้เป็น 4@60x20 และในชั้นถัดไปจะเป็นชั้นสุ่มตัวอย่างย่อยซึ่งเป็นชั้นที่ 2 (S2) โดยจะทำการลดขนาดการแปลงลักษณะจากชั้นคอนโวลูชันก่อนหน้า โดยแต่ละส่วนของชั้นนี้จะเชื่อมกับแต่ละส่วนขนาด 2x2 ในชั้นคอนโวลูชันก่อน

หน้า ซึ่งในชั้นนี้จะมี 4 แบบและลดขนาดให้เหลือเท่ากับ 30x10 จึงเขียนย่อเป็น 4@30x10 เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงชั้นเชื่อมต่อกันโดยสมบูรณ์ (fully connected) ซึ่งเป็นชั้นที่ 6 (F6) ซึ่งชั้นนี้จะเปรียบเสมือนชั้นซ่อน (hidden layer) ในข่ายงานประสาทเทียมแบบส่งค่าย้อนกลับ (Backpropagation neural network) และชั้นผลลัพธ์จะเป็นชั้นที่ให้ค่าว่าน่าจะเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์หรือไม่



รูปที่ 11 โครงสร้างข่ายงานประสาทเทียมในงานวิจัยการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จีน

จากที่กล่าวมาข้างต้น ตัวอย่างภาพที่ได้ในแต่ละชั้นของข่ายงานประสาทเทียมเป็นดังรูปที่ 12 ซึ่งซ้ายสุดเป็นภาพข้อมูลเข้า และถัดมาเป็นการแปลงข้อมูลลักษณะของชั้นคอนโวลูชันและชั้นสุ่มตัวอย่างย่อยจากชั้นที่ 1 – 4 ของข่ายงานประสาทเทียม

รูปที่ 12 ตัวอย่างภาพที่ได้ในแต่ละชั้นของข่ายงานประสาทเทียม

ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลฝึกจะมีทั้งข้อมูลบวกและข้อมูลลบ โดยข้อมูลบวกจะเป็นภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จีนซึ่งตัดภาพเองด้วยมือจากภาพการจราจรจริง รวมทั้งสิ้น 400 ภาพ จากนั้น จึงนำภาพที่ได้มาสร้างข้อมูลฝึกเพิ่มโดยการแปลงค่าสีตรงกันข้าม (reverse color) และลดค่าความต่าง (contrast) ในลักษณะต่างๆ จึงทำให้ข้อมูลฝึกสุดท้ายของข้อมูลบวกมีจำนวนภาพรวมทั้งสิ้น 2,400 ภาพ ส่วนข้อมูลลบนั้น จะได้มาจากการสุ่มตัดภาพจากภาพการจราจรซึ่งจะไม่ใช่ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จำนวนทั้งสิ้น 4,000 ภาพ ตัวอย่างข้อมูลฝึกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดังรูปที่ 13

รูปที่ 13 ตัวอย่างข้อมูลฝึก

หลังจากฝึกข่ายงานประสาทเทียมจำนวนทั้งสิ้น 500 รอบแล้วทำการทดสอบความถูกต้อง จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4 โดยในงานวิจัยนี้ยังคงมีความผิดพลาดถ้าหากป้ายมีสิ่งรบกวนอยู่ เช่น ถ้าหากภาพมีความเอียง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดี การใช้ข่ายงานประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันนั้นจะทำให้สามารถเรียนรู้ได้จากจุดภาพโดยตรง ซึ่งจะทำให้ค่าความถูกต้องนั้นจะขึ้นกับการฝึกสอนให้กับข่ายงานประสาทเทียมได้สำเร็จหรือไม่

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การทดลอง

ชนิดข้อมูล	อัตราการรู้จำ (%)
ป้ายทะเบียนรถยนต์	98.25
ไม่ใช่ป้ายทะเบียนรถยนต์	100

2.5.5. Thai Named Entity Recognition Based on Conditional Random Fields [8]

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอระบบการรู้จำชื่อเอนทิที (Name Entity Recognition) ในข้อความภาษาไทยโดยใช้เขตข้อมูลสุ่มแบบเงื่อนไข ซึ่งเป็นงานทางด้านการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) ในการหาชื่อเอนทิทีต่างๆ ในข้อความภาษาไทย โดยตัวอย่างชื่อเอนทิทีนั้น เช่น ชื่อคน ชื่อสถานที่ ชื่อองค์กร เป็นต้น

เนื่องจากภาษาไทยนั้นจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาษาจีน เพราะภาษาทั้ง 2 ภาษานี้เป็นภาษาที่มีลักษณะเช่นเดียวกันคือ ไม่มีตัวอักษรพิเศษที่จะบอกว่ากลุ่มคำนั้นๆ เป็นชื่อเอนทิที ตัวอย่างอักษรพิเศษนั้นเช่น ชื่อเอนทิทีในภาษาอังกฤษที่จะมีตัวอักษรใหญ่นำหน้าชื่อคนเสมอ เป็นต้น และยิ่งไปกว่านั้นภาษาไทยและภาษาจีนจะไม่มีตัวแบ่งคำที่บอกถึงขอบเขตของคำอยู่ ด้วยเหตุนี้ การตัดคำในภาษาไทยจึงมีความสำคัญและมีผลกระทบต่อการรู้จำชื่อเอนทิทีด้วย

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยการรู้จำชื่อเอนทิทีจึงนำเอาเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขมาพัฒนาเป็นระบบรู้จำชื่อเอนทิที โดยใช้ฐานข้อมูลของการแข่งขันสุดยอดซอฟต์แวร์ประมวลผลภาษาไทยปี 2009 หรือ BEST 2009 ซึ่งเป็นฐานข้อมูลคำไทยที่ถูกตัดคำไว้แล้ว โดยภายในมีจำนวนคำทั้งสิ้น 9,000 คำ ซึ่งจะมีป้ายระบุ (tag) ถึงชื่อเอนทิทีไว้ทั้งสิ้น 6 ลักษณะ แบ่งได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ป้ายระบุชื่อเอนทิที

ชื่อป้ายระบุ	ความหมาย
<persName>…</persName>	ชื่อบุคคล
<orgName>…</orgName>	ชื่อองค์กร
<orgName ref= “loc”> …</orgName>	ชื่อองค์กรอ้างอิงถึงตำแหน่ง
<placeName>…</placeName>	ชื่อสถานที่
<placeName ref= “org”>… </placeName>	ชื่อสถานที่อ้างอิงถึงองค์กร
<abb>…</abb>	อักษรย่อ

โดยการสร้างเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในงานวิจัยนี้ จะมี 2 ลักษณะ ได้แก่ เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขโดยพิจารณาระดับคำ และเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขโดยพิจารณาระดับตัวอักษร โดยในระดับคำจะสกัดลักษณะ (feature) ซึ่งมีลักษณะเป็นฐานสองคือ ใช่หรือไม่ใช่ ได้แก่ เป็นคำ

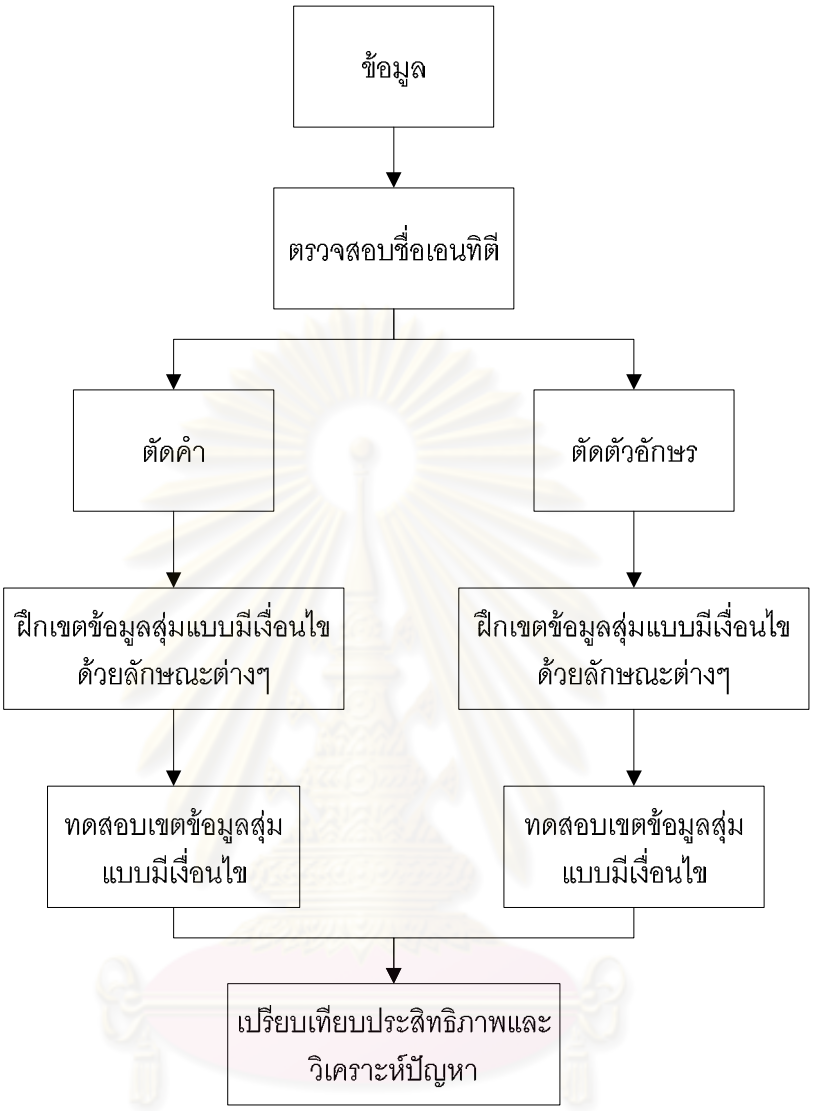
ในพจนานุกรมหรือไม่ เป็นคำอยู่ในรายการคำหลัก (keyword list) จำพวกคำที่มักปรากฏอยู่ในชื่อเอนทิทีหรือไม่ และลักษณะยูนิแกรม (Unigram) ไบแกรม (Bigram) ซึ่งเป็นลักษณะที่ช่วยตรวจสอบความเข้ากันได้ของคำ ส่วนในระดับตัวอักษรจะสกัดลักษณะซึ่งขึ้นกับระดับของตัวอักษร โดยจะมีรายการตัวอักษรเพื่อตรวจสอบว่าตัวอักษรอยู่ในระดับใด

ตัวอย่างข้อมูลฝึกของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในระดับคำจะเป็นดังรูปที่ 14 ซึ่งสดมภ์แรกคือคำไทย ซึ่งจะเป็นคำที่ถูกตัดคำไว้อยู่แล้วในฐานข้อมูล BEST โดย <S> คือช่องว่าง และในสดมภ์ที่ 2 และ 3 จะเป็นการสกัดลักษณะโดยตรวจสอบว่าคำไทยในสดมภ์ที่ 1 ของแถวนั้นๆ มีอยู่ในพจนานุกรมหรือรายการคำหลักหรือไม่ ซึ่งถ้าเป็น Y แสดงว่ามีคำไทยคำนั้นอยู่ในพจนานุกรมหรือรายการคำหลักที่กำหนดไว้ และเป็น N ถ้าไม่มีอยู่ในนั้น และระบบที่ออกแบบในงานวิจัยนี้เป็นดังรูปที่ 15

ด.ญ.	Y	N	..	P
กาญจนา	N	Y	..	P
<S>	N	N	..	P
กรอง	N	Y	..	P
แก้ว	N	Y	..	P
<S>	N	N	..	X
<S>	N	N	..	X
ป่วย	N	N	..	X
สงสัย	N	N	..	X
ติด	N	N	..	X
เชื้อ	N	Y	..	X
…				

รูปที่ 14 ตัวอย่างข้อมูลฝึกในงานวิจัยการรู้จำชื่อเอนทิที

หลังจากได้ทดสอบการรู้จำชื่อเอนทิทีแล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 6 โดยทดสอบกับค่าความแม่นยำ (Precision) ในการรู้จำ ค่าเรียกคืน (Recall) และค่า F ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (6) แต่อย่างไรก็ดี จากการทดลองแล้วจะพบว่าประสิทธิภาพของระบบที่สร้างโดยสกัดระดับตัวอักษรจะดีกว่าระดับคำ เพราะใช้จำนวนลักษณะที่น้อยกว่า



รูปที่ 15 ระบบที่ใช้ในงานวิจัยการรู้จำชื่อเอนทิตีในภาษาไทย

ตารางที่ 6 ผลการรู้จำชื่อเอนทิตีในงานวิจัย

ชื่อเอนทิตี	ระดับคำ (%)			ระดับตัวอักษร (%)		
	ความแม่นยำ	เรียกคืน	F	ความแม่นยำ	เรียกคืน	F
ชื่อคน	95.97	80.79	87.73	95.27	79.66	86.77
ชื่อองค์กร	89.34	58.60	70.78	90.24	59.68	71.84
ชื่อสถานที่	87.07	63.92	73.72	85.94	69.62	76.92
รวม	92.54	71.06	80.39	91.96	72.06	80.80

$$F = \frac{2 * \text{ค่าความแม่นยำ} * \text{ค่าเรียกคืน}}{\text{ค่าความแม่นยำ} + \text{ค่าเรียกคืน}} \quad (6)$$

ในงานวิจัยนี้จะเห็นถึงข้อดีของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขซึ่งเป็นแบบจำลองที่สามารถรู้จำได้ผลดีกับข้อมูลเข้าที่มีลำดับซึ่งมีความยาวไม่แน่นอน ตัวอย่างดังในงานวิจัยนี้คือประโยคใดๆ ซึ่งพอผ่านการตัดคำแล้ว จำนวนคำที่ได้จะไม่เท่ากับค่าใดค่าหนึ่งเสมอไป ซึ่งเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขจะสามารถรู้จำข้อมูลที่มีลักษณะดังกล่าวซึ่งความยาวไม่แน่นอนได้ เป็นต้น อีกทั้งการสร้างข้อมูลฝึกเพื่อส่งให้กับเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นจะสามารถสกัดออกมาได้อย่างรวดเร็ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยการรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนไทยนี้ ข้อมูลภาพที่ใช้จะเป็นข้อมูลภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกโดยใช้กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งสามารถทำให้ป้ายทะเบียนเด่นชัดที่สุดได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย จึงทำให้ได้ข้อมูลจริงมาเพื่อวิจัยศึกษา ตัวอย่างเฟรมภาพที่ได้จากข้อมูลภาพเคลื่อนไหวโดยบันทึกจากกล้องดังกล่าวเป็นดังรูปที่ 16

รูปที่ 16 ตัวอย่างเฟรมภาพในข้อมูลภาพเคลื่อนไหว

จากเฟรมภาพตัวอย่างข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่าภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จะโดดเด่นมากที่สุด จึงทำให้เกิดแนวคิดในงานวิจัยให้มีการแบ่งส่วนการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนการเตรียมข้อมูลภาพชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย และส่วนการทดลองวิจัยวิธีการรู้จำจังหวัด รายละเอียดเป็นดังต่อไปนี้

3.1. ส่วนการเตรียมข้อมูลภาพชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย

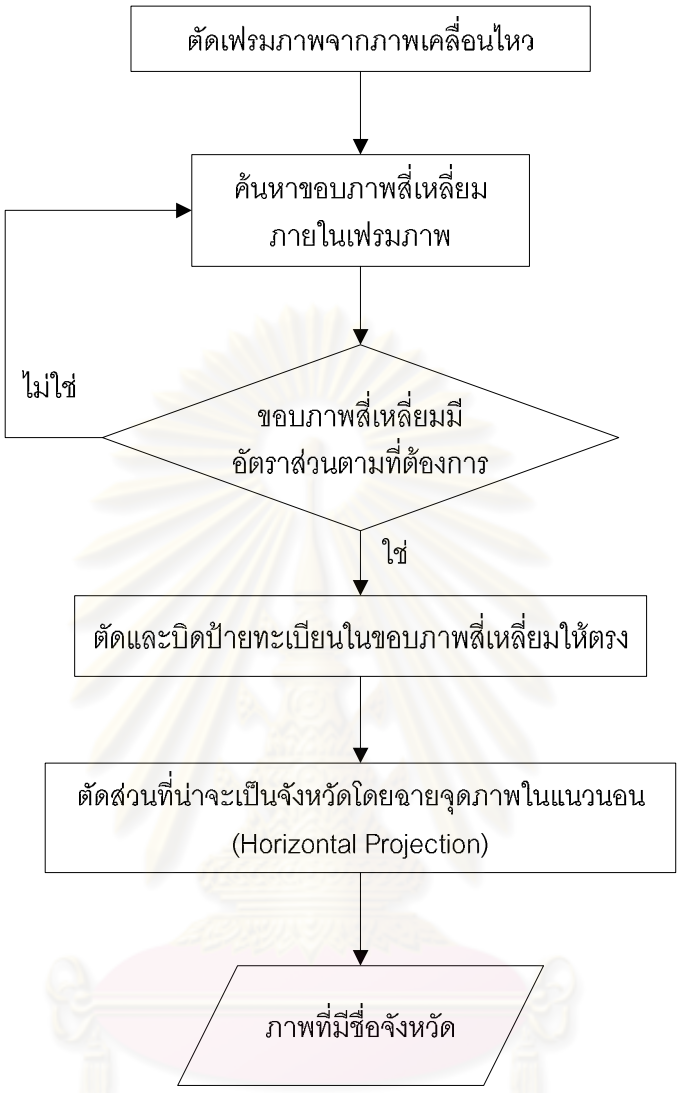
ในส่วนการทำงานนี้จะเป็นส่วนที่จัดเตรียมข้อมูลภาพชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย ซึ่งสกัดออกมาจากภาพเคลื่อนไหวที่ได้มาจากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย โดยจะจัดเตรียมข้อมูลภาพเพื่อนำไปใช้ในส่วนการทดลองวิจัยการรู้จำจังหวัดต่อไปได้ โดยภายในส่วน

การเตรียมข้อมูลภาพชื่อจังหวัดนี้ จะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการสกัดภาพชื่อจังหวัดจากเฟรมภาพ และขั้นตอนการแปลงภาพฐานสอง (Binarization process) รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

3.1.1. ขั้นตอนการสกัดภาพชื่อจังหวัดจากเฟรมภาพ

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพเคลื่อนไหว จึงต้องใช้การประมวลผลภาพเพื่อตัดเอาภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ออกมาในแต่ละเฟรมภาพ แล้วจึงทำการสกัดภาพชื่อจังหวัดออกมาจากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ดังกล่าว โดยเริ่มด้วยการตัดเฟรมภาพจากภาพเคลื่อนไหวซึ่งได้ภาพดังรูปที่ 16 จากนั้นจะประมวลผลภาพเพื่อหาส่วนที่เป็นป้ายทะเบียนรถยนต์โดยหาขอบภาพสี่เหลี่ยมทั้งหมดที่อยู่ในเฟรมภาพ ซึ่งในแต่ละภาพนั้นจะมีโอกาสที่เจอขอบภาพสี่เหลี่ยมเป็นจำนวนมากที่ไม่ใช่ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ ดังนั้น จึงต้องนำขอบภาพสี่เหลี่ยมแต่ละรูปที่ได้มาคัดกรองว่าเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์หรือไม่ โดยถ้าหากขอบภาพมีอัตราส่วนอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ จึงจะทำการประมวลผลภาพโดยตัดภาพสี่เหลี่ยมดังกล่าว ซึ่งคาดการณ์ว่าน่าจะมีภาพป้ายทะเบียนอยู่ภายในสี่เหลี่ยมนั้นๆ ตัวอย่างขอบภาพสี่เหลี่ยมที่มีป้ายทะเบียนรถยนต์อยู่ภายในเป็นดังรูปที่ 17 ซึ่งจะมีขอบภาพสี่เหลี่ยมล้อมรอบป้ายทะเบียนรถยนต์ พว 7812 กรุงเทพมหานคร อยู่ภายใน เมื่อได้ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์แล้วนั้น จึงบิดภาพป้ายทะเบียนที่อยู่ในสี่เหลี่ยมให้ตรง แล้วทำการตัดภาพชื่อจังหวัดออกมา โดยขั้นตอนต่างๆ ที่ได้กล่าวมานี้สามารถแสดงเป็นแผนภาพกระบวนการทำงานเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 18 โดยรายละเอียดจะกล่าวต่อๆ ไปในหัวข้อนี้

รูปที่ 17 ตัวอย่างขอบภาพสี่เหลี่ยมที่มีป้ายทะเบียนรถยนต์อยู่ภายใน



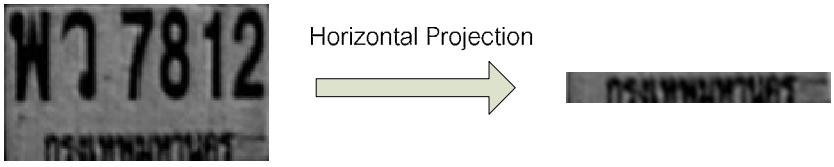
รูปที่ 18 กระบวนการตัดภาพชื่อจังหวัดในแต่ละเฟรมภาพ

เนื่องจากการค้นหาขอบภาพสี่เหลี่ยมที่มีทั้งหมดในเฟรมภาพนั้นจะทำให้ได้ขอบภาพสี่เหลี่ยมเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ได้ขอบภาพสี่เหลี่ยมที่ไม่ได้มีภาพป้ายทะเบียนอยู่ในภาพเป็นจำนวนมาก วิธีการหนึ่งในการตรวจสอบขอบภาพสี่เหลี่ยมว่ามีความเป็นไปได้ที่ภายในสี่เหลี่ยมจะเป็นภาพป้ายทะเบียนรถยนต์คือคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง เนื่องจากป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยโดยทั่วไปแล้วจะมีขนาดอัตราส่วนคงที่เสมอ คือมีค่าความยาวต่อความกว้างเป็น 13.5 : 6 นิ้ว โดยเมื่อนำความยาวหารด้วยความกว้างจะได้ค่าอัตราส่วนเป็น 2.25 ซึ่งจะสามารถนำค่าอัตราส่วนนี้ไปใช้ในการตรวจสอบว่าขอบภาพสี่เหลี่ยมที่ได้นั้นมีป้ายทะเบียนอยู่ข้างในหรือไม่มีได้

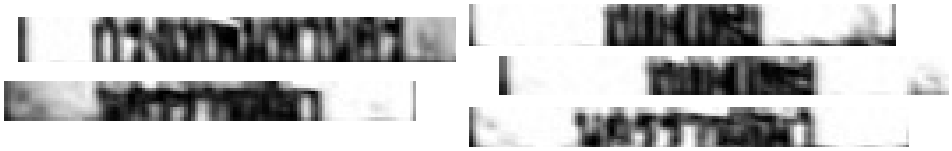
ด้วยเหตุนี้เอง ในงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการตรวจสอบอัตราส่วนความกว้างความยาวของขอบภาพสี่เหลี่ยมว่ามีอัตราส่วนดังกล่าวหรือไม่ แต่เนื่องจากตำแหน่งที่วางกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวจะทำมุมแหลมกับป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งทำให้ได้ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ที่บิดไปจากด้านหน้าตรง จึงทำให้อัตราส่วนของภาพมีค่าลดลงและคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้ค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างสำหรับตรวจสอบอัตราส่วนของขอบภาพสี่เหลี่ยมให้มีค่าอยู่ในช่วงๆ หนึ่งที่จะยอมรับว่าน่าจะมีป้ายทะเบียนรถยนต์อยู่ภายใน โดยงานวิจัยนี้จะใช้ค่าระหว่าง 1.4 ถึง 2.2 เพื่อเป็นการกรองภาพสี่เหลี่ยมที่คาดว่าไม่น่าจะใช่ป้ายทะเบียนรถยนต์ออกไปได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งถ้าหากขอบภาพสี่เหลี่ยมมีอัตราส่วนอยู่ในช่วงดังกล่าวแล้ว จึงจะตัดภาพที่อยู่ในขอบภาพสี่เหลี่ยมดังกล่าวออกมาโดยคาดว่าจะมีภาพป้ายทะเบียนอยู่ภายใน แต่ถ้าหากมีป้ายทะเบียนอยู่ภายในขอบภาพสี่เหลี่ยมแล้ว ลักษณะของภาพป้ายทะเบียนนั้นจะยังคงเป็นภาพที่ทำมุมกับกล้องอยู่ ดังนั้น จึงต้องมีขั้นตอนในการบิดป้ายทะเบียนให้ตรง เพื่อที่จะนำภาพป้ายทะเบียนไปใช้ในขั้นตอนต่อไปได้ ตัวอย่างการประมวลผลภาพในขั้นตอนนี้ เพื่อสกัดภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ออกมา เป็นดังรูปที่ 19

รูปที่ 19 การประมวลผลภาพในขั้นตอนต่างๆ เพื่อสกัดภาพป้ายทะเบียนรถยนต์

เมื่อได้ภาพสี่เหลี่ยมที่เป็นป้ายทะเบียนรถยนต์แล้ว จึงตัดส่วนที่น่าจะเป็นจังหวัดออกมาจากป้ายทะเบียน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการฉายจุดภาพในแนวนอน ซึ่งจะทำให้สามารถตัดภาพที่เป็นชื่อจังหวัดที่อยู่ในป้ายทะเบียนรถยนต์ออกมาได้ ตัวอย่างของภาพชื่อจังหวัดที่ได้จากขั้นตอนนี้ เป็นดังรูปที่ 20 และตัวอย่างของภาพชื่อจังหวัดอื่นๆ เป็นดังรูปที่ 21 ได้แก่ภาพจังหวัดกรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ และนครราชสีมา



รูปที่ 20 การฉายจุดภาพในแนวนอนทำให้ได้ภาพชื่อจังหวัดออกมา

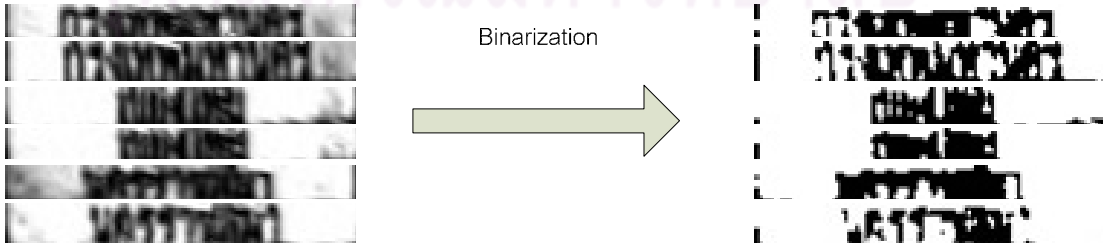


รูปที่ 21 ตัวอย่างภาพชื่อจังหวัดอื่นๆ ที่ได้จากการประมวลผลภาพ

จากรูปที่ 21 จะเห็นได้ว่าภาพชื่อจังหวัดแต่ละภาพนั้นมีขนาดทั้งความกว้างและความยาวที่แตกต่างกันไป จึงนำภาพชื่อจังหวัดที่ได้ทั้งหมดมาปรับให้มีความยาวของภาพเท่ากันทุกภาพ โดยในงานวิจัยนี้จะปรับให้มีขนาดความยาวของภาพเท่ากับ 120 จุดภาพ โดยยังคงความสูงของภาพให้มีขนาดเท่าเดิม

3.1.2. ขั้นตอนการแปลงภาพฐานสอง (Binarization process)

เนื่องจากภาพชื่อจังหวัดที่ได้จะมีจุดสัญญาณรบกวน (noise) อยู่ข้างๆ ชื่อจังหวัดเป็นจำนวนมาก เพราะภาพที่ได้เป็นภาพเฉดสีเทา (Gray scale) ซึ่งจะทำให้ไม่เห็นขอบเขตย่อยของตัวอักษรแต่ละตัวได้ชัดเจนมากนัก ด้วยเหตุนี้เอง จึงนำภาพชื่อจังหวัดที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้ามาผ่านขั้นตอนการแปลงภาพฐานสอง เพื่อปรับภาพชื่อจังหวัดซึ่งเป็นเฉดสีเทาให้เป็นภาพฐานสอง (Binary image) คือปรับให้แต่ละจุดภาพเป็นจุดสีขาว (1) หรือสีดำ (0) เท่านั้น ในขั้นตอนการแปลงภาพจะมีการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับตรวจสอบจุดสีแต่ละจุดในภาพว่าควรจะแปลงเป็นจุดสีขาวหรือจุดสีดำ โดยการตรวจสอบคือ ถ้าหากค่าเฉดสีเทาของจุดภาพนั้นๆ มีค่ามากกว่าขีดแบ่ง จุดภาพนั้นจะถูกแปลงให้กลายเป็นจุดสีดำ ในทางกลับกัน ถ้าหากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับขีดแบ่ง จุดภาพนั้นจะถูกแปลงเป็นจุดสีขาว ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ค่าขีดแบ่งมีค่าเท่ากับ 80 ดังนั้น เมื่อนำภาพจากรูปที่ 21 มาปรับให้ขนาดความยาวของภาพเท่ากับ 120 จุดภาพแล้วมาผ่านขั้นตอนการแปลงภาพฐานสอง จะทำให้ได้ภาพฐานสองดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 ภาพจังหวัดหลังจากผ่านขั้นตอนการแปลงภาพฐานสอง

สำหรับขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพนั้น จะประมวลผลภาพในขั้นตอนต่างๆ ข้างต้นในทุกๆ เฟรมภาพ จึงทำให้ได้จำนวนภาพชื่อจังหวัดเป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ดี ภาพที่ได้จะยังคงไม่สามารถนำมาใช้งานได้ทั้งหมด เนื่องจากบางภาพจะยังคงมีจุดสัญญาณรบกวนอยู่เป็นจำนวนมาก มองด้วยตาคนแล้วยังไม่สามารถแยกแยะได้ว่าเป็นภาพชื่อจังหวัดอะไร ดังนั้น จึงต้องมีการคัดเลือกภาพที่ยังคงสามารถแยกแยะได้ว่าเป็นจังหวัดอะไรได้ เพื่อนำไปใช้ในส่วนการรู้จำในหัวข้อถัดไป

3.2. **ส่วนการรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์**

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนการรู้จำชื่อจังหวัดจากภาพชื่อจังหวัดที่ได้มาจากขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น โดยเมื่อได้ภาพชื่อจังหวัดที่เป็นภาพฐานสองซึ่งผ่านการคัดเลือกมาแล้ว จึงนำภาพดังกล่าวมาสร้างเป็นชุดข้อมูลฝึก เพื่อใช้ฝึกสอนให้กับการเรียนรู้ของเครื่องในการรู้จำจังหวัดจากภาพชื่อจังหวัดต่อไป

3.2.1. **การมองภาพชื่อจังหวัดเป็นข้อมูลลำดับ**

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 22 จะพบปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ภาพชื่อจังหวัดที่เป็นภาพฐานสองที่ได้นั้นจะสูญเสียรายละเอียดของตัวอักษรไป ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการแยกแยะตัวอักษรแต่ละตัวว่าเป็นตัวอักษรใด อีกทั้งบางภาพจะไม่สามารถแบ่งแยกขอบเขตของตัวอักษรได้อย่างชัดเจนอีกด้วย ด้วยเหตุนี้ ถ้าหากรู้จำชื่อจังหวัดโดยรู้จำแยกแต่ละตัวอักษรแล้วค่อยนำมาวิเคราะห์ว่าเป็นชื่อจังหวัดอะไรนั้นจะทำได้ยากและมีความผิดพลาดเกิดขึ้นอย่างแน่นอน แต่อย่างไรก็ดี ถ้าหากพิจารณาดูจากโดยรวมของทั้งภาพชื่อจังหวัดแล้ว จึงคิดว่าน่าจะยังคงมีข้อมูลเพียงพอที่จะสามารถรู้จำได้ว่าเป็นจังหวัดอะไรได้ จากความคิดดังกล่าวนี้ งานวิจัยจึงรู้จำชื่อจังหวัดโดยไม่รู้จำตัวอักษรทุกตัวแยกกัน แต่จะมองภาพชื่อจังหวัดทั้งภาพเป็นภาพเดี่ยวโดยไม่สนใจขอบเขตย่อย (sub-region) ของตัวอักษรแต่ละตัว แล้วทำการรู้จำทั้งภาพพร้อมๆ กันในคราวเดียว โดยจะยอมสูญเสียรายละเอียดของแต่ละตัวอักษรไปบ้าง แต่จะทำให้สามารถสกัดจุดเด่นของภาพแต่ละภาพออกมาเพื่อทำการเรียนรู้ได้

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่พบคือ ส่วนล่างๆ ของป้ายทะเบียนรถยนต์ส่วนใหญ่จะถูกกรอบของป้ายทะเบียนบดบังไว้ ซึ่งหลังจากประมวลผลภาพเพื่อสกัดภาพชื่อจังหวัดออกมาแล้ว จะสูญเสียรายละเอียดส่วนล่างๆ ของชื่อจังหวัดไป ซึ่งปัญหานี้จะยิ่งทำให้ยากต่อการรู้จำจังหวัดออกมาได้ถูกต้อง ดังนั้น เพื่อลดความสำคัญของรายละเอียดส่วนล่างๆ ของป้ายทะเบียนรถยนต์ งานวิจัยนี้

จึงมองภาพชื่อจังหวัดเป็นข้อมูลที่มีลำดับ โดยมองเป็นข้อมูลลำดับเรียงตามแถวของภาพไล่ลงตั้งแต่แถวบนสุดมาเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงแถวสุดท้ายดังรูปที่ 23 แล้วใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น ซึ่งเป็นแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่มีประสิทธิภาพกับข้อมูลลำดับ มารู้จำชื่อจังหวัดจากภาพชื่อจังหวัดดังกล่าวโดยการติดป้ายให้กับข้อมูลลำดับแล้วคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะเป็นชื่อจังหวัดนั้นๆ

รูปที่ 23 การมองภาพชื่อจังหวัดให้มีลักษณะเป็นข้อมูลที่มีลำดับ

การมองภาพชื่อจังหวัดให้เป็นข้อมูลลำดับดังรูปที่ 23 จากแถวบนสุดถึงแถวล่างสุดของภาพในแนวนอนนั้น จะเป็นการแทนภาพชื่อจังหวัดให้เป็นลำดับของข้อมูลเวกเตอร์ลักษณะแทน โดยจะคำนวณเวกเตอร์ลักษณะออกมาจากภาพทีละแถว ซึ่งจะมองว่าเวกเตอร์ลักษณะในแต่ละแถวนั้นเป็นสถานะผลลัพธ์ (Result state) ของจังหวัด โดยสถานะผลลัพธ์จะประกอบด้วยตัวย่อภาษาอังกฤษแล้วตามด้วยเลขลำดับของสถานะผลลัพธ์โดยเริ่มต้นจาก 0 และเพิ่มขึ้นทีละ 1 ไปเรื่อยๆ จนถึงแถวล่างสุด วิธีการดังกล่าวนี้จะทำให้ได้จำนวนเวกเตอร์ลักษณะที่สกัดมาจากภาพชื่อจังหวัดเท่ากับจำนวนแถวของภาพชื่อจังหวัดนั้นๆ หรือเท่ากับความสูงของภาพนั่นเอง

ตัวอย่างของสถานะผลลัพธ์จะเป็นดังรูปที่ 24 ซึ่งเป็นภาพชื่อจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีตัวย่อเป็นภาษาอังกฤษคือ BKK ภาพนี้มีจำนวนแถวเท่ากับ 15 แถว จึงทำให้สถานะผลลัพธ์เรียงตั้งแต่แถวบนสุดได้แก่ BKK0 BKK1 ไปเรื่อยๆ จนถึง BKK14 ซึ่งมีเวกเตอร์ลักษณะได้ทั้งสิ้น 15 ตัว

รูปที่ 24 สถานะผลลัพธ์ที่ได้จากเวกเตอร์ลักษณะแต่ละแถว

จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้ภาพชื่อจังหวัดซึ่งแปลงมาเป็นภาพฐานสอง แล้วทำให้เป็นข้อมูลลำดับโดยสร้างเวกเตอร์ลักษณะตามแถวเรียงลงมาในแนวนอนของภาพ ซึ่งจะทำให้ลดจุดสัญญาณรบกวนและลดความสำคัญของส่วนภาพล่างๆ ที่สูญหายไปได้ ตัวอย่างส่วนล่างๆ ของป้ายทะเบียนที่ถูกกรอบของป้ายบังไว้อยู่ เช่น ป้ายชื่อจังหวัดกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่จะมีส่วน

สระอุที่โดนบัง หรือหัวตัวอักษรจะถูกบัง เป็นต้น ซึ่งการสร้างข้อมูลลำดับของเวกเตอร์ลักษณะให้เรียงลงมาตามแถวในแนวนอนนั้นจะทำให้ส่วนล่างๆ ที่ถูกบังไปนั้นไม่มีผลกับการรู้จำมากนัก แต่อย่างไรก็ดี ภาพชื่อจังหวัดที่ได้นั้นจะมีขนาดความสูงที่ไม่เท่ากันทุกภาพ จึงทำให้ได้จำนวนเวกเตอร์ลักษณะของแต่ละภาพชื่อจังหวัดไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงนำแบบจำลองความน่าจะเป็นซึ่งได้ผลดีกับข้อมูลลำดับที่มีสถานะผลลัพธ์ที่ไม่แน่นอน มารู้จำชื่อจังหวัดจากภาพชื่อจังหวัด

3.2.2. การสร้างเวกเตอร์ลักษณะ

สำหรับการสร้างเวกเตอร์ลักษณะนั้น เวกเตอร์ลักษณะจะถูกสกัดออกมาจากภาพชื่อจังหวัดทีละแถว โดยลักษณะ (feature) ที่จะสกัดออกมาซึ่งจะเป็นส่วนที่สำคัญในรู้จำชื่อจังหวัดได้นั้นจะสามารถกำหนดเองได้ว่าจะสกัดลักษณะอะไรออกมาบ้างจากแถวนั้นๆ โดยในงานวิจัยนี้จะสร้างลำดับของเวกเตอร์ลักษณะจากภาพชื่อจังหวัดที่เป็นภาพฐานสองโดยสกัดลักษณะต่างๆ ที่สามารถสกัดออกมาได้อย่างง่ายและรวดเร็ว เพื่อให้สามารถเป็นตัวแทนของภาพฐานสองนั้นๆ ได้ ลักษณะที่สกัดออกมา มีดังต่อไปนี้

1. จุดแรกของแถว คือค่าตัวเลขที่แทนถึงจุดแรกของแถวนั้นๆ โดยจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ถ้าจุดแรกเป็นจุดสีดำหรือสีขาว ตามลำดับ
2. จำนวนครั้งในการเปลี่ยนแปลงจุดขาวจุดดำ คือค่าที่นับว่าภายในแถวนั้นๆ จะมีการเปลี่ยนจากจุดสีขาวเป็นจุดสีดำ หรือจากจุดสีดำเป็นจุดสีขาว รวมทั้งสิ้นกี่ครั้ง
3. จำนวนจุดดำ คือผลรวมจำนวนจุดสีดำที่มีภายในแถวนั้นๆ
4. จำนวนจุดขาว คือผลรวมจำนวนจุดสีขาวที่มีภายในแถวนั้นๆ

ตัวอย่างของข้อมูลฝึกซึ่งเป็นลำดับของเวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากภาพชื่อจังหวัดจำนวน 1 ภาพเป็นดังรูปที่ 25 ซึ่งเป็นข้อมูลฝึกของภาพชื่อจังหวัดกรุงเทพมหานคร 1 ภาพซึ่งมีจำนวนแถวเท่ากับ 15 แถว โดยสดมภ์แรกคือจุดแรกของแถวนั้นๆ ถัดมาคือจำนวนครั้งในการเปลี่ยนจุดขาวจุดดำ ส่วนสดมภ์ที่สามและสี่ คือจำนวนจุดดำและจำนวนจุดขาว ตามลำดับ และสดมภ์ท้ายสุดคือสถานะผลลัพธ์ของเวกเตอร์ลักษณะนั้นๆ

0	9	10	110	BKK0
0	21	23	97	BKK1
0	21	58	62	BKK2
0	21	66	54	BKK3
0	23	59	61	BKK4
0	25	48	72	BKK5
0	27	43	77	BKK6
0	23	41	79	BKK7
1	19	43	77	BKK8
1	24	45	75	BKK9
0	25	44	76	BKK10
0	29	49	71	BKK11
0	27	53	67	BKK12
0	17	67	53	BKK13
0	12	89	31	BKK14

รูปที่ 25 ตัวอย่างข้อมูลฝึกของภาพชื่อจังหวัดกรุงเทพมหานคร 1 ภาพ

ในการสกัดลักษณะต่างๆ เหล่านี้ จะเป็นการแทนภาพให้เป็นลำดับของเวกเตอร์ลักษณะ โดยสกัดลักษณะที่สามารถสกัดออกมาได้ง่าย รวมทั้งยังสามารถนำเสนอรูปแบบ (pattern) ของแต่ละจังหวัดได้ด้วย ซึ่งลักษณะลำดับที่ 1 และ 2 นั้นจะเป็นการแสดงรูปแบบของจังหวัดใดๆ ด้วยลำดับของจำนวนครั้งที่เปลี่ยนจุดขาวจุดดำจากแถวบนลงมาแถวล่าง เนื่องจากจังหวัดเดียวกันมักจะมีรูปแบบของลำดับดังกล่าวในลักษณะที่คล้ายกันได้ โดยการนำเอาลักษณะลำดับที่ 1 มาประกอบกับลำดับที่ 2 นั้น ก็เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนจุดขาวจุดดำนั้นเริ่มต้นด้วยจุดสีอะไร

ค่าจำนวนครั้งในการเปลี่ยนจุดขาวจุดดำจากลักษณะที่สกัดออกมาเป็นเวกเตอร์ลักษณะดังกล่าวนั้น คือค่าที่บอกถึงจำนวนครั้งที่จุดสีในแถวนั้นมีการเปลี่ยนจากจุดขาวไปเป็นจุดดำ หรือจุดดำเปลี่ยนเป็นจุดขาว โดยเริ่มนับการเปลี่ยนแปลงจากจุดแรกสุดทางซ้ายไปขวา ซึ่งถ้าหากประกอบกับลักษณะในสดมภ์แรกคือจุดสีจุดแรกของบรรทัดแล้ว จะทำให้สามารถอ้างอิงถึงลักษณะการเรียงตัวของจุดภาพต้นฉบับภายในแถวนั้นได้ ตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 25 แถวแรกจุดภาพต้นฉบับภายในแถวจะเริ่มจากจุดสีดำ (0) ซึ่งอาจจะมีหลายจุดติดกัน แล้วต่อด้วยจุดสีขาว (1) หลายจุดต่อๆ กัน ซึ่งจะนับเป็นการเปลี่ยนจุดขาวจุดดำเป็น 1 ครั้ง และจะต่อกับจุดสีดำหลายๆ จุดต่อกับจุดสีขาวหลายๆ จุดต่อกัน สลับเช่นนี้ไปเรื่อยๆ รวมทั้งหมด 9 ครั้ง ซึ่งจุดสีภายในแถวนั้นอาจจะลำดับการเรียงจุดสีดังรูปที่ 26

รูปที่ 26 ตัวอย่างจุดสีที่เริ่มจากจุดสีดำและค่าการเปลี่ยนแปลงจุดขาวจุดดำเท่ากับ 9

นอกจากนี้จะสกัดลักษณะที่ 3 และ 4 คือจำนวนจุดสีขาวและจุดสีดำมาด้วย เพราะลักษณะดังกล่าวสามารถแทนความยาวของชื่อจังหวัดได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าชื่อจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีความยาวมากกว่าจังหวัดสงขลา ลักษณะจำนวนจุดดำของจังหวัดกรุงเทพมหานครจะมีค่ามากกว่าจังหวัดสงขลาอย่างมีนัยสำคัญ ในทางกลับกันลักษณะจำนวนจุดขาวของจังหวัดกรุงเทพมหานครก็จะมีค่าน้อยกว่าจังหวัดสงขลาอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน เป็นต้น ด้วยเหตุผลเหล่านี้ จึงสกัดลักษณะต่างๆ ดังกล่าวออกมาเพื่อใช้ฝึกสอนให้กับแบบจำลองความน่าจะเป็นต่อไป

ในการแทนภาพชื่อจังหวัดเป็นลำดับของเวกเตอร์ลักษณะในลักษณะดังกล่าวนี้ จะมีข้อดีตรงที่สามารถสกัดลักษณะออกมาได้อย่างรวดเร็ว มีลักษณะที่แทนความยาวของชื่อจังหวัดได้ อีกทั้งการแทนด้วยข้อมูลที่มีลำดับจะทำให้มีความยืดหยุ่นได้มากกว่า ดังเช่นในกรณีที่ส่วนล่างๆ ของป้ายทะเบียนได้สูญหายไป เป็นต้น ซึ่งจะต่างกับงานวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยงานวิจัยก่อนหน้านั้นจะมีโอกาสในการรู้จำผิดพลาดได้สูงกว่าถ้าหากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ส่วนล่างๆ สูญหายไป

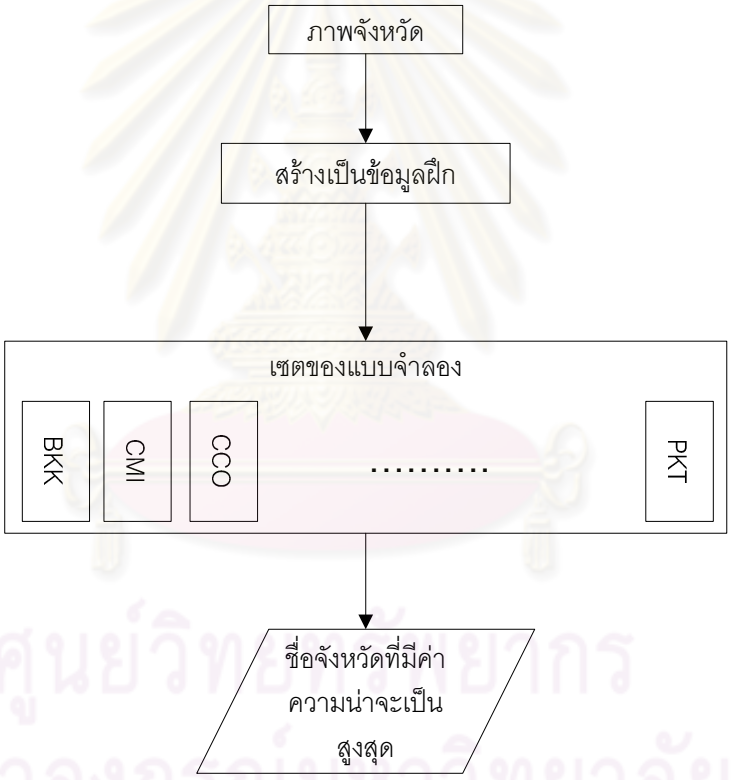
3.2.3. ระบบรู้จำชื่อจังหวัด

เมื่อสร้างชุดข้อมูลฝึกจากภาพชื่อจังหวัดเสร็จสิ้นตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นทั้งหมดแล้ว จึงนำข้อมูลฝึกที่ได้มาฝึกกับแบบจำลองความน่าจะเป็นเพื่อให้สามารถทำการรู้จำชื่อจังหวัดออกมาได้ โดยในงานวิจัยนี้จะทดสอบกับแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟและเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข โดยทดสอบความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัดจากข้อมูลลำดับดังที่กล่าวข้างต้น ด้วยระบบรู้จำชื่อจังหวัด รายละเอียดเป็นดังต่อไปนี้

เนื่องจากการเรียนรู้ของเครื่องที่นำมาใช้ในงานวิจัยนั้นเป็นแบบจำลองความน่าจะเป็น ซึ่งจะบอกค่าความน่าจะเป็นของลำดับป้ายสถานะผลลัพธ์ที่ทำนายออกมา ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงออกแบบระบบรู้จำชื่อจังหวัดโดยการสร้างแบบจำลองของแต่ละจังหวัดขึ้น เพื่อให้แบบจำลองตอบกลับมาเป็นค่าความน่าจะเป็นซึ่งจะเป็นค่าที่บอกถึงความมั่นใจว่าภาพชื่อจังหวัดดังกล่าวนั้นเป็นชื่อจังหวัดของแบบจำลองนั้นมากน้อยแค่ไหน วิธีการเริ่มจากนำข้อมูลฝึกของแต่ละจังหวัดมาฝึกสอนให้กับแบบจำลองแยกกันในแต่ละจังหวัด ซึ่งหลังจากฝึกสอนเสร็จสิ้นแล้วจะทำให้ได้เซต

ของแบบจำลองของแต่ละจังหวัดขึ้นมา จากนั้น เมื่อต้องการรู้จำชื่อจังหวัดจากภาพ จะนำภาพชื่อจังหวัดมาสร้างเป็นข้อมูลทดสอบซึ่งมีลักษณะคล้ายรูปที่ 25 แต่ไม่มีสถานะผลลัพธ์ แล้วส่งไปให้แบบจำลองของแต่ละจังหวัดทำการติดป้ายสถานะผลลัพธ์ และแสดงความน่าจะเป็นที่จะเป็นชื่อจังหวัดของแบบจำลองนั้นๆ ออกมา หลังจากที่ได้ค่าความน่าจะเป็นจากแบบจำลองของแต่ละจังหวัดแล้วจึงนำค่าความน่าจะเป็นทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน โดยระบบจะคืนค่าชื่อจังหวัดที่มีค่าความน่าจะเป็นที่สูงสุดในเซตของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขออกมา

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ระบบรู้จำชื่อจังหวัดในส่วนการรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนไทยจะแสดงเป็นแผนภาพของระบบได้ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 แผนภาพระบบรู้จำชื่อจังหวัดในส่วนการรู้จำชื่อจังหวัด

3.2.4. การกำหนดสถานะผลลัพธ์ในอีกลักษณะ

นอกเหนือจากการกำหนดสถานะผลลัพธ์ให้เป็นชื่อจังหวัดดังที่กล่าวไว้แล้ว งานวิจัยนี้ได้ทดลองกำหนดสถานะผลลัพธ์ในอีกลักษณะหนึ่ง คือให้แบบจำลองสามารถตอบสถานะผลลัพธ์เชิงบวกหรือเชิงลบได้ โดยสถานะผลลัพธ์เชิงบวกนั้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับสถานะผลลัพธ์ดังที่กล่าวมาแล้ว คือเป็นชื่อจังหวัดตามด้วยตัวเลข แต่ถ้าหากเป็นสถานะผลลัพธ์เชิงลบนั้น จะมี

ตัวอักษร N เริ่มต้นแล้วตามด้วยตัวอักษรย่อของชื่อจังหวัดนั้นๆ และตัวเลขกำกับ ตัวอย่างเช่น สถานะผลลัพธ์เชิงบวกของจังหวัดกรุงเทพมหานครคือ BKK0 จะได้สถานะผลลัพธ์เชิงลบคือ NBKK0 หรือสถานะเชิงบวกของจังหวัดนครราชสีมาคือ NMA12 จะได้สถานะเชิงลบเป็น NNMA12 เป็นต้น ซึ่งวิธีการกำหนดให้แบบจำลองสามารถตอบค่าสถานะผลลัพธ์ในเชิงลบได้นี้ หมายความว่า แบบจำลองสามารถทำนายภาพชื่อจังหวัดว่ามีโอกาสที่จะไม่ใช่ชื่อจังหวัดของแบบจำลองได้ด้วยนั่นเอง

วิธีทดลองนี้จะต้องสร้างชุดข้อมูลฝึกที่ต่างจากที่กล่าวข้างต้นไป เริ่มจากนำชุดข้อมูลฝึกของทุกๆ จังหวัดนำมารวมกันทั้งหมด จากนั้น นำชุดข้อมูลฝึกมาปรับแต่งเพื่อฝึกฝนแบบจำลองแต่ละจังหวัด โดยการสร้างชุดข้อมูลฝึกให้กับแบบจำลองของจังหวัดใดๆ นั้น จะให้สถานะผลลัพธ์ของชื่อจังหวัดของแบบจำลองนั้นเป็นสถานะผลลัพธ์เชิงบวก และข้อมูลฝึกของจังหวัดอื่นๆ ให้เปลี่ยนเป็นสถานะผลลัพธ์เชิงลบของแบบจำลองนั้นๆ ให้หมด การสร้างชุดข้อมูลฝึกในลักษณะนี้เป็นผลให้ขนาดข้อมูลฝึกของแต่ละแบบจำลองเท่ากันทุกๆ แบบจำลอง โดยตัวอย่างของข้อมูลฝึกดังกล่าว เป็นดังรูปที่ 28 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดข้อมูลฝึกของแบบจำลองจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยจะประกอบไปด้วยข้อมูลฝึกของภาพชื่อจังหวัดสองภาพ ชุดแรกเป็นของภาพชื่อจังหวัดกรุงเทพมหานคร ส่วนอีกชุดหนึ่งเป็นของจังหวัดนครราชสีมาซึ่งจะถูกเปลี่ยนสถานะผลลัพธ์เป็นเชิงลบของแบบจำลองกรุงเทพมหานครแทน เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้ ค่าความน่าจะเป็นของแบบจำลองที่จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นของแบบจำลองอื่นๆ ในระบบนั้นอาจไม่เหมาะสมอีกต่อไป เพราะจะทำให้เกิดความสับสนได้ เนื่องด้วยแบบจำลองสามารถติดป้ายสถานะผลลัพธ์เชิงลบได้นั่นเอง นั่นคือถ้าหากแบบจำลองของจังหวัดใดๆ ตอบค่าความน่าจะเป็นที่สูงมากๆ แต่สถานะผลลัพธ์ที่ได้กลับกลายเป็นสถานะเชิงลบ ซึ่งความหมายของผลลัพธ์นี้แปลว่า ภาพนี้ไม่ใช่ชื่อจังหวัดนั้นๆ อย่างแน่นอน ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันในอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งรายละเอียดการคำนวณค่าความถูกต้อง จะกล่าวในบทที่ 4

0	9	10	110	BKK0
0	21	23	97	BKK1
0	21	58	62	BKK2
0	21	66	54	BKK3
0	23	59	61	BKK4
0	25	48	72	BKK5
0	27	43	77	BKK6
0	23	41	79	BKK7
1	19	43	77	BKK8
1	24	45	75	BKK9
0	25	44	76	BKK10
0	29	49	71	BKK11
0	27	53	67	BKK12
0	17	67	53	BKK13
0	12	89	31	BKK14
1	8	6	114	NBKK0
1	16	30	90	NBKK1
1	18	33	87	NBKK2
1	24	29	91	NBKK3
1	20	24	96	NBKK4
1	18	20	100	NBKK5
1	20	19	101	NBKK6
1	16	18	102	NBKK7
1	22	20	100	NBKK8
1	22	23	97	NBKK9
1	20	26	94	NBKK10
1	18	29	91	NBKK11
1	18	29	91	NBKK12
0	19	26	94	NBKK13

รูปที่ 28 ตัวอย่างข้อมูลฝึกที่สามารถตอบสถานะผลลัพธ์เชิงลบได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายการทดลองภายในงานวิจัยที่ได้ทดสอบการรู้จำชื่อจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทย โดยระบบที่ใช้ในการทดสอบได้ออกแบบไว้ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยจะทำการทดสอบการรู้จำกับแบบจำลองความน่าจะเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟและเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข รายละเอียดของการทดลอง ทั้งในเรื่องของชุดข้อมูล ลักษณะของแบบจำลองความน่าจะเป็นทั้งสองแบบ ผลลัพธ์การทดลอง และการเปรียบเทียบวิเคราะห์ เป็นดังต่อไปนี้

4.1. ชุดข้อมูล

สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองการรู้จำนั้น จะเป็นภาพชื่อจังหวัดที่ได้จากส่วนการเตรียมข้อมูลภาพ โดยหลังจากผ่านขั้นตอนการประมวลผลต่างๆ แล้วจะได้ภาพชื่อจังหวัดของแต่ละจังหวัดโดยผ่านการคัดเลือกมาทั้งสิ้น 4,369 ภาพ โดยตารางที่ 7 ได้แสดงรายละเอียดของจำนวนของภาพชื่อจังหวัดแต่ละจังหวัดไว้ ซึ่งจำนวนภาพแต่ละจังหวัดจะมีจำนวนต่างกันไป โดยจะขึ้นกับจำนวนภาพที่มีอยู่ในข้อมูลภาพเคลื่อนไหวที่มีจำกัด ตัวอย่างภาพหลังจากสกัดออกมาจากข้อมูลภาพเคลื่อนไหวหลังจากขั้นตอนการประมวลผลภาพนั้นจะแสดงไว้ดังภาคผนวก ก

เมื่อได้ภาพจังหวัดมาดังกล่าวข้างต้นแล้ว จึงนำไปสร้างเป็นชุดข้อมูลฝึกเพื่อนำไปใช้ฝึกแบบจำลองต่อไป โดยจะนำไปฝึกแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟและเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในรูปแบบต่างๆ กันไป เพื่อทดสอบความถูกต้องในการรู้จำว่ารูปแบบใดที่สามารถรู้จำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.2. การคิดค่าความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัด

จากที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 เกี่ยวกับการฝึกแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลฝึกซึ่งมี 2 ลักษณะ ซึ่งจะเป็นการฝึกแบบจำลองใน 2 ลักษณะคือ แบบที่หนึ่งจะฝึกให้แบบจำลองตอบได้แค่เพียงสถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้น และอีกแบบหนึ่งจะฝึกแบบจำลองให้สามารถตอบได้ทั้งสถานะผลลัพธ์เชิงบวกและสถานะผลลัพธ์เชิงลบ ซึ่งวิธีการคิดค่าความน่าจะเป็นในการตอบผลลัพธ์ชื่อจังหวัดออกมานั้นมีความจำเป็นจะต้องคิดในลักษณะที่ต่างกัน

ตารางที่ 7 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อจังหวัด	จำนวน	ชื่อจังหวัด	จำนวน
เชียงใหม่	144	พิษณุโลก	189
เพชรบุรี	65	ภูเก็ต	67
กรุงเทพมหานคร	170	ยะลา	10
กาญจนบุรี	103	ร้อยเอ็ด	48
กำแพงเพชร	195	ระยอง	78
ขอนแก่น	188	ราชบุรี	102
จันทบุรี	103	สกลนคร	157
ฉะเชิงเทรา	82	สงขลา	235
ชลบุรี	339	สมุทรปราการ	106
ชัยภูมิ	130	สมุทรสงคราม	22
นครนายก	146	สมุทรสาคร	25
นครปฐม	148	สระบุรี	20
นครราชสีมา	121	สุพรรณบุรี	70
นครศรีธรรมราช	106	สุราษฎ์ธานี	60
นครสวรรค์	45	สุรินทร์	189
นนทบุรี	100	หนองคาย	49
นราธิวาส	80	อยุธยา	166
ปทุมธานี	99	อ่างทอง	90
ประจวบคีรีขันธ์	175	อุดรธานี	64
พะเยา	33	อุบลราชธานี	50

สำหรับการทดลองที่ได้ฝึกแบบจำลองให้ตอบได้เพียงสถานะเชิงบวกเท่านั้น จะนำค่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $p(Y|X)$ มาเปรียบเทียบกันในระบบ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบอย่างตรงไปตรงมาว่าข้อมูลเข้าน่าจะเป็นจังหวัดใดมากที่สุด เพราะค่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $p(Y|X)$ ที่แบบจำลองของจังหวัดนั้นๆ ตอบออกมานั้นคือค่าความมั่นใจที่ข้อมูลเข้านั้นจะเป็นชื่อจังหวัดของแบบจำลอง

ส่วนการฝึกแบบจำลองที่สามารถตอบได้ทั้งสถานะผลลัพธ์เชิงบวกและเชิงลบนั้น จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 คือสถานะเชิงลบจะมีความหมายว่าข้อมูลลำดับตรงจุดนั้นไม่น่าจะเป็นส่วนของชื่อจังหวัดของแบบจำลองนั้นๆ จึงทำให้ต้องคิดค่าความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัดในอีก

ลักษณะหนึ่ง โดยในการทดลองในลักษณะนี้ จะนำเอาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะผลลัพธ์ที่เป็นเชิงบวกเท่านั้นมารวมกันเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย และนำค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยนี้มาคูณกับค่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขที่แบบจำลองนั้นๆ ทำนายออกมา ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้มาเปรียบเทียบกันภายในระบบ โดยระบบจะตอบชื่อจังหวัดที่ได้ค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวนี้สูงสุด การคิดคำนวณค่าความน่าจะเป็นในลักษณะนี้จะเป็นดังสมการที่ (6) โดย $p'(\boldsymbol{Y}|\boldsymbol{X})$ คือค่าความน่าจะเป็นใหม่ที่จะนำมาใช้ โดยเป็นผลลัพธ์มาจากค่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $p(\boldsymbol{Y}|\boldsymbol{X})$ และค่าเฉลี่ยของค่าความน่าจะเป็นของสถานะผลลัพธ์เชิงบวกที่ y_i โดยในสมการกำหนดให้มี n สถานะ

$$p'(\boldsymbol{Y}|\boldsymbol{X}) = p(\boldsymbol{Y}|\boldsymbol{X}) \times \frac{\sum_i p(y|\boldsymbol{x})}{n} \quad (6)$$

การคิดคำนวณค่าความน่าจะเป็นในลักษณะนี้จะเป็นการบอกว่าข้อมูลเข้านี้ น่าจะมีส่วนที่เป็นจังหวัดของแบบจำลองนั้นๆ เท่าใด ด้วยเหตุนี้ การทดสอบโดยฝึกให้แบบจำลองสามารถตอบได้ทั้งสถานะเชิงบวกและสถานะเชิงลบจึงนำค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวมาเปรียบเทียบ

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากแบบจำลองของแต่ละจังหวัดนั้นยังมีโอกาสที่จะมีค่าเท่ากันได้ ด้วยเหตุนี้ การคิดคำนวณความถูกต้องจึงใช้หลักในการตัดสินว่าถ้าค่าความน่าจะเป็นจากแบบจำลองของจังหวัด 2 แบบจำลองใดๆ เปรียบเทียบแล้วได้เท่ากัน จะนับว่าเป็นการรู้จำที่ผิดพลาดไป

4.3. โครงสร้างแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ขึ้นกับสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าและค่าสังเกตปัจจุบันเท่านั้น โดยแบบจำลองจะถูกฝึกโดยใช้ข้อมูลทั้ง 2 แบบดังที่กล่าวไว้

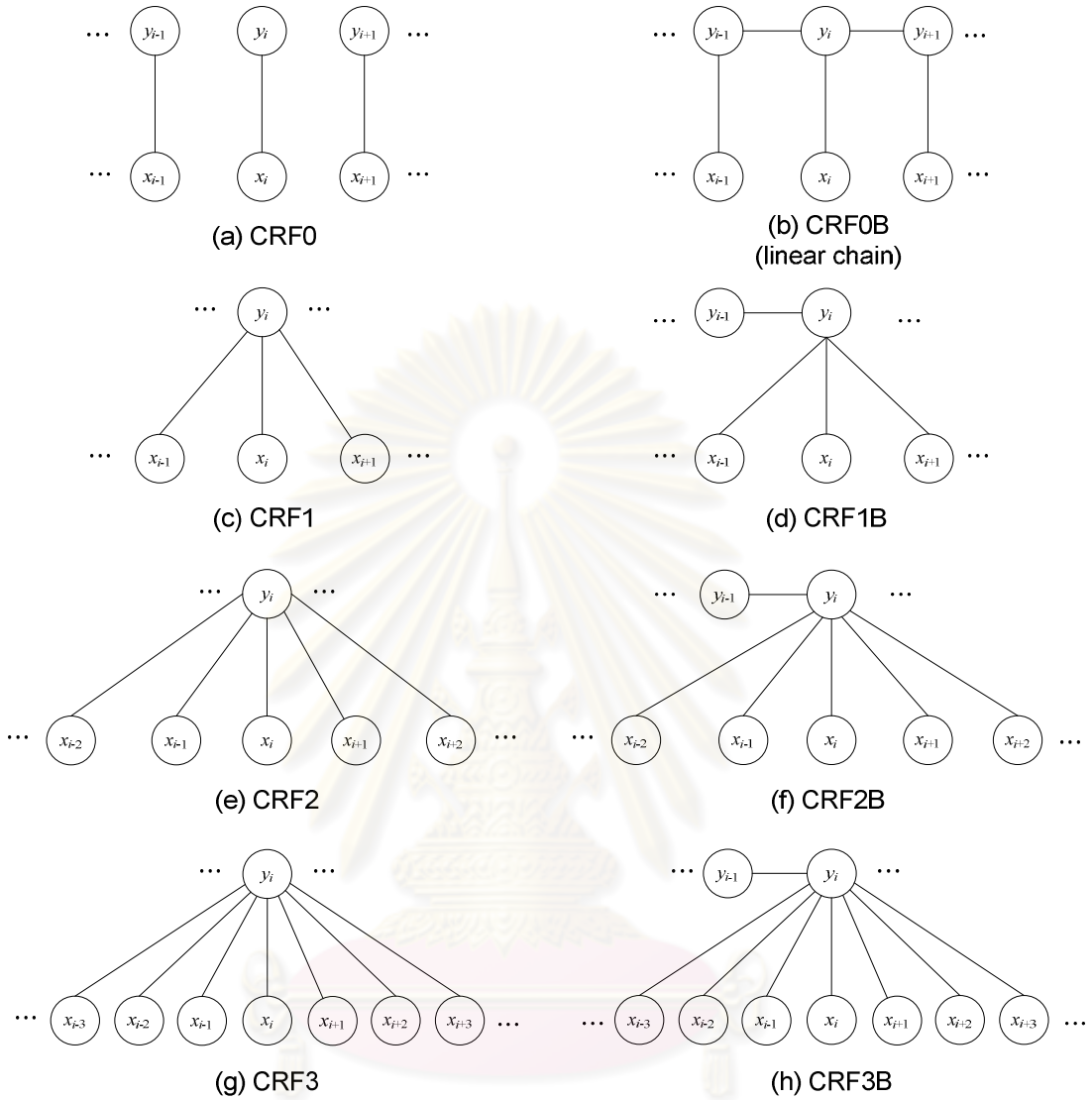
สำหรับการพัฒนาแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟในงานวิจัยนี้ จะพัฒนาโดยใช้คลังโปรแกรม MALLET [9] ซึ่งเป็นคลังโปรแกรมที่พัฒนาโดย Andrew McCallum ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ร่วมนำเสนอเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข [3] ในคลังข้อมูลดังกล่าวนั้นจะมีการพัฒนาทั้งแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟและเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้ MALLET พัฒนาแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟเท่านั้น เนื่องจาก MALLET นี้สามารถสร้างเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขได้เพียงรูปแบบเดียว คือเป็นเส้นตรงเท่านั้น

4.4. โครงสร้างเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข

เนื่องจากเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นสามารถออกแบบให้มีโครงสร้างที่แตกต่างกันได้หลากหลาย ซึ่งคลังโปรแกรม MALLET ไม่ได้รองรับให้สามารถสร้างให้เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขมีโครงสร้างที่หลากหลายได้ ด้วยเหตุนี้ จึงใช้โปรแกรม CRF++ [10] ซึ่งพัฒนาโดย Taku Kudo ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย สามารถกำหนดโครงสร้างของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในลักษณะที่แตกต่างกันได้โดยการกำหนดแผ่นแบบ (Template) โดยแผ่นแบบนี้จะเป็นตัวกำหนดฟังก์ชันลักษณะที่ใช้ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็น

เนื่องจากเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นมีคุณลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งคือสามารถปรับลักษณะโครงสร้างได้หลากหลาย ด้วยเหตุนี้ การออกแบบเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในงานวิจัยนี้จึงกำหนดโครงสร้างเพื่อคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการติดป้ายผลลัพธ์ในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยนอกจากสนใจเวกเตอร์ลักษณะตำแหน่งที่ต้องการทำนายสถานะผลลัพธ์แล้ว ยังสนใจกับเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าและถัดไป อย่างละ 1 2 และ 3 ตำแหน่ง อีกทั้ง ยังสามารถกำหนดให้สถานะผลลัพธ์ปัจจุบันจะขึ้นกับสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าหรือไม่ด้วย

เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขที่ได้ออกแบบและมีการทดสอบในงานวิจัยนี้ สำหรับการแสดงผลในตารางผลการทดลองจะแทนเป็นชื่อโดยแทนเป็นอักษรย่อของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขด้วย CRF และตามด้วยตัวเลขที่บอกว่าจะสนใจเวกเตอร์ลักษณะรอบข้างทั้งก่อนหน้าและถัดไปในอีกกี่ตำแหน่ง นอกจากนี้ จะมีตัวอักษร B ภายในชื่อแบบจำลองถ้าหากสถานะผลลัพธ์ปัจจุบันของแบบจำลองดังกล่าวขึ้นกับสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าด้วย เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแต่ละแบบสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 29 และรายละเอียดในการกำหนดแผ่นแบบของแต่ละเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขจะแสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยการแปลความหมายจากชื่อแบบจำลองนั้น ตัวอย่างเช่น CRF2 นั้นหมายถึงเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขที่สนใจเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าและถัดไปอย่างละ 2 ตำแหน่ง แต่ถ้าหากเป็น CRF2B ซึ่งเพิ่ม B ขึ้นมาจะหมายความว่าขึ้นกับสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าด้วย จึงทำให้สามารถแสดงแผนภาพได้เป็นดัง (e) และ (f) ในรูปที่ 29



รูปที่ 29 เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแต่ละแบบในลักษณะแผนภาพ

4.5. ผลการทดลอง

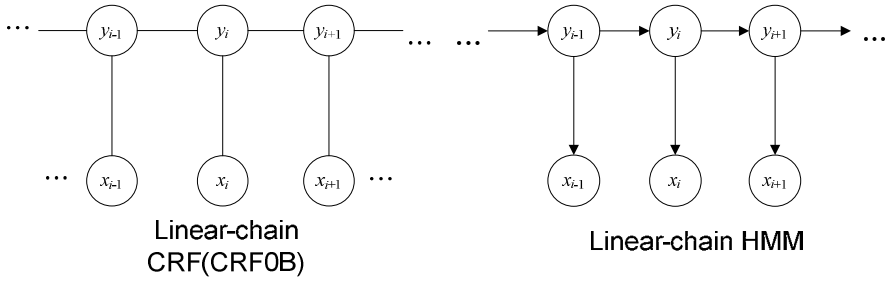
หลังจากได้ทดสอบการรู้จำจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์ ค่าความถูกต้องดังแสดงในตารางแต่ละค่าคือค่าความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัด ซึ่งคำนวณมาจากการตรวจสอบแบบไขว้ k พับ (k-fold cross validation) โดยผลลัพธ์ความถูกต้องในงานวิจัยนี้ทดสอบโดยใช้การตรวจสอบแบบไขว้ 10 พับ (10-fold cross validation) โดยผลลัพธ์ที่ได้มาจากระบบดังรูปที่ 27 โดยทดสอบทั้งกับแบบจำลองทั้งสองแบบคือแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟและเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข ทั้งการใช้ข้อมูลฝึกที่มีแต่สถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้นซึ่งจะใช้ค่าความน่าจะเป็นแบบมี

เงื่อนไขจะแทนด้วย POS และการทดลองที่ใช้ข้อมูลฝึกที่มีทั้งสถานะผลลัพธ์เชิงบวกและเชิงลบซึ่งจะใช้ค่าความน่าจะเป็นดังที่ได้กล่าวใน (6) จะแทนด้วย POSNEG อันจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดลองการรู้จำชื่อจังหวัด

ชนิดแบบจำลอง	ความถูกต้อง (%)	
	POS	POSNEG
HMM	57.96	49.22
CRF0	8.83	8.67
CRF0B	74.33	64.53
CRF1	56.75	58.6
CRF1B	71.72	65.56
CRF2	66.16	68.68
CRF2B	71.01	66.73
CRF3	69.25	73.39
CRF3B	69.7	67.55

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรงกับเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแบบเส้นตรง (CRF0B) พิจารณาดังรูปที่ 30 ซึ่งจะเห็นความต่างกันในเชิงกราฟระหว่าง 2 แบบจำลองตรงที่เส้นเชื่อมของแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟจะมีทิศเพราะจะมีคุณสมบัติมาร์คอฟ แต่เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขจะไม่มีทิศลูกศรซึ่งจะเป็นโครงสร้างที่ยืดหยุ่นมากกว่า โดยเมื่อพิจารณาจากตารางผลลัพธ์ดังกล่าวข้างต้นเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการรู้จำของแบบจำลองทั้ง 2 ดังกล่าวจะพบว่า เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขสามารถรู้จำได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่าแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข ซึ่งเป็นกราฟแบบไม่มีทิศทาง โดยการคิดคำนวณค่าความน่าจะเป็นจะแตกต่างกับแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟตรงที่ขึ้นกับค่าฟังก์ชันลักษณะ ซึ่งจะทำให้การคำนวณค่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขมีความเหมาะสมในการทำนายสถานะผลลัพธ์มากกว่า



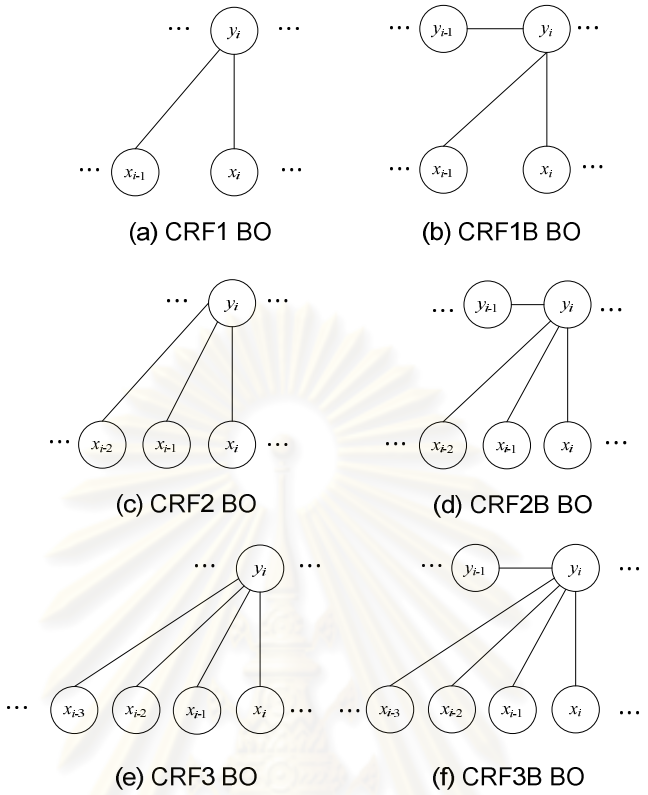
รูปที่ 30 เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแบบเส้นตรงและแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง

เนื่องจากเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นสามารถพิจารณาฟังก์ชันลักษณะได้อย่างหลากหลาย จึงได้ลองทดสอบการใช้ฟังก์ชันลักษณะที่มีการเทียบอัตราส่วน (ratio) ระหว่างจุดขาวจุดดำภายในแต่ละเวกเตอร์ลักษณะ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยจะได้เป็นดังตารางที่ 9 ซึ่งเมื่อพิจารณาผลลัพธ์แล้ว จะพบว่าค่าความถูกต้องของการรู้จำของแต่ละแบบเมื่อเทียบกับตารางที่ 8 จะไม่ได้มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้สามารถพิจารณาได้ว่าฟังก์ชันลักษณะการเทียบอัตราส่วนระหว่างจุดขาวจุดดำภายในแต่ละเวกเตอร์ลักษณะนั้น ไม่ได้เป็นฟังก์ชันลักษณะที่จำเป็นต่อการรู้จำชื่อจังหวัดด้วยระบบดังกล่าวนี้

ตารางที่ 9 ผลการทดลองการรู้จำชื่อจังหวัดเมื่อพิจารณาอัตราส่วนจุดขาวจุดดำ

ชนิดแบบจำลอง	ความถูกต้อง (%)	
	POS	POSNEG
CRF0B ratio	74.07	64.14
CRF1B ratio	71.53	65.13
CRF2B ratio	71.03	66.29
CRF3B ratio	69.86	67.39

นอกจากนี้ ในการทดลองยังได้ทดสอบกับเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในลักษณะที่สนใจเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเท่านั้น โดยไม่สนใจเวกเตอร์ลักษณะตัวถัดๆ ไป ซึ่งเป็นการทดสอบว่าเวกเตอร์ลักษณะตัวถัดไปนั้นมีผลต่อความถูกต้องหรือไม่ โดยแบบจำลองดังกล่าวนี้สามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 31 โดยใช้ตัวอักษรย่อ BO เพื่อแทนว่าเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขดังกล่าวสนใจเพียงเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเท่านั้น (Before Only) โดยเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแต่ละแบบจะแสดงแผ่นแบบไว้ดังภาคผนวก ข โดยผลลัพธ์การรู้จำชื่อจังหวัดนั้นจะเป็นดังตารางที่ 10



รูปที่ 31 เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขที่สนใจเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเท่านั้น

ตารางที่ 10 ผลการทดลองการรู้จำชื่อจังหวัดเมื่อพิจารณาเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเท่านั้น

ชนิดแบบจำลอง	ความถูกต้อง (%)	
	POS	POSNEG
CRF1 BO	39.25	44.01
CRF1B BO	73.71	64.76
CRF2 BO	55.49	60.09
CRF2B BO	73.75	64.87
CRF3 BO	61.01	65.93
CRF3B BO	72.84	65.24
CRF1B ratio BO	73.5	64.42
CRF2B ratio BO	73.89	64.83
CRF3B ratio BO	72.72	65.42

เมื่อพิจารณาถึงผลลัพธ์ในกรณีที่สนใจเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าเท่านั้น พบว่าผลในการทดลองที่ใช้ข้อมูลฝึกที่มีแต่สถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้นส่วนใหญ่จะได้ค่าความถูกต้องมากขึ้น แต่ในทางกลับกันการทดลองที่ใช้ข้อมูลฝึกที่ตอบได้ทั้งเชิงบวกและเชิงลบจะได้ค่าความถูกต้องลดลง จากการทดลองจะสรุปได้ว่าการสร้างโครงสร้างของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในลักษณะสนใจเพียงเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้านั้นได้ผลดีกับการฝึกด้วยข้อมูลฝึกที่มีแต่สถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้น ส่วนเวกเตอร์ลักษณะตัวถัดๆ ไปจะได้ผลดีกับการฝึกให้แบบจำลองตอบได้ทั้งเชิงบวกและเชิงลบ

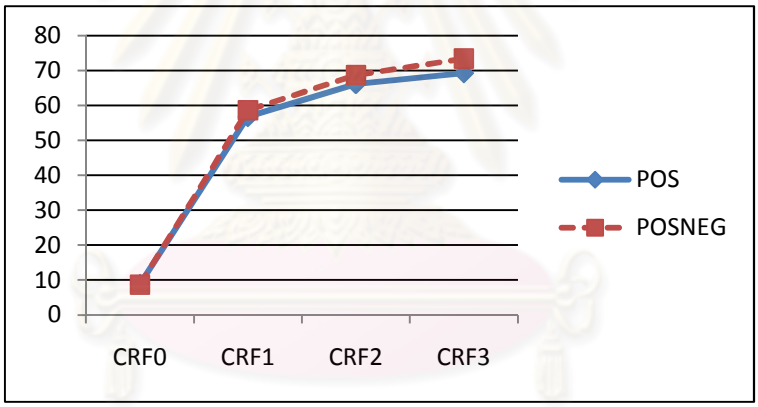
4.6. **ผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ปัจจัย**

จากตารางที่ 8 เมื่อดูผลลัพธ์ของ CRF0 ที่ได้ผลลัพธ์ความถูกต้องเพียง 8.83% นั้น แสดงให้เห็นว่าการทำนายสถานะผลลัพธ์โดยใช้เพียงเวกเตอร์ลักษณะเพียงตำแหน่งเดียวนั้นเป็นวิธีการที่ไม่มีประสิทธิภาพ เพราะการสนใจเวกเตอร์ลักษณะเพียงตำแหน่งเดียวอย่างเดียวนั้นทำให้เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขได้รับข้อมูลการฝึกที่ไม่เพียงพอ เพราะเวกเตอร์ลักษณะใดๆ มีแบบแผน (pattern) ที่หลากหลายมากๆ อันส่งผลให้ทำนายผิดพลาดหรือได้ค่าความน่าจะเป็นของคำตอบที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งเมื่อเทียบกับ CRF1 ที่มีการใช้เวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าและถัดไปอย่างละ 1 ตำแหน่ง หรือการเพิ่มให้ใช้สถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าในการทำนายร่วมด้วยแล้ว จะทำให้ได้ผลลัพธ์การรู้จำถูกต้องมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

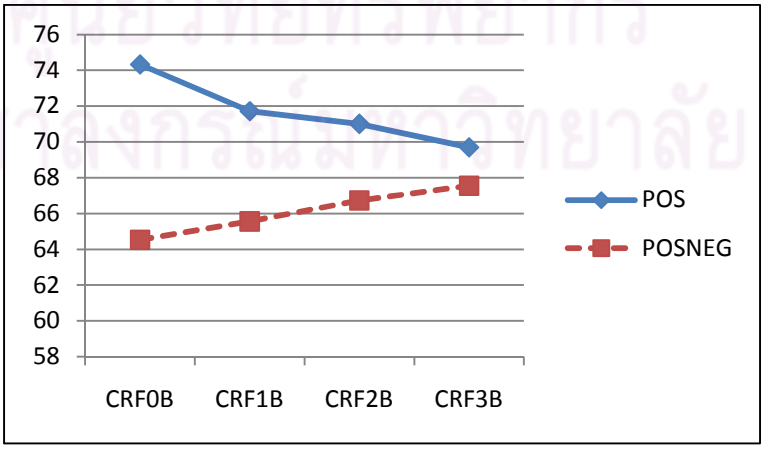
จากการทดลอง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าความถูกต้องในการรู้จำชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง และเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแบบเส้นตรงด้วยระบบรู้จำภายในงานวิจัยนี้แล้ว พบว่าเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแบบเส้นตรงสามารถรู้จำชื่อจังหวัดได้ค่าความถูกต้องมากกว่าแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง เนื่องจากเขตข้อมลสุ่มแบบมีเงื่อนไขเป็นแบบจำลองกราฟไม่มีทิศทางโดยคำนวณค่าความน่าจะเป็นด้วยฟังก์ชันลักษณะ ซึ่งผลลัพธ์ความถูกต้องสามารถแสดงด้วยเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ของแต่ละแบบจำลอง โดยจะแสดงผลการเปรียบเทียบการทดลองหนึ่งไว้ในภาคผนวก ค โดยคำนวณเป็นร้อยละของค่าความถูกต้องของแต่ละจังหวัด ซึ่งเป็นผลรวมเมทริกซ์ความสับสนของทั้ง 10 พับจากการทดสอบด้วยการตรวจสอบไขว้ 10 พับรวมกัน

นอกจากนี้ เมื่อนำผลการทดลองจากตารางที่ 8 มาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์การรู้จำกับลักษณะโครงสร้างของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขที่ปรับค่าโดยสนใจตัวเวกเตอร์ลักษณะตัวก่อนหน้าและถัดไปด้วย โดยมาสร้างเป็นแผนภูมิดังรูปที่ 32 ซึ่งเป็นผลการรู้จำโดยสนใจเวกเตอร์

ลักษณะก่อนหน้าและถัดไป 1 2 3 ตัว เมื่อใช้ระบบรู้จำชื่อจังหวัดในงานวิจัยนี้จะพบว่า เมื่อขยายให้สนใจจำนวนเวกเตอร์ลักษณะเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้รู้จำชื่อจังหวัดได้ถูกต้องมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 33 ซึ่งเพิ่มการสนใจสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าด้วย เมื่อพิจารณาในส่วนของการทดลองเชิงบวกเท่านั้น ผลปรากฏว่าค่าความถูกต้องกลับแปรผกผันกับจำนวนเวกเตอร์ลักษณะที่สนใจเพิ่มมากขึ้น โดยคาดว่าเป็นเพราะเวกเตอร์ลักษณะตัวก่อนหน้าและถัดไปร่วมกับการพิจารณาสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้านั้น ทำให้เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขสามารถเรียนรู้จากลักษณะได้ละเอียดมาก โดยจะทำให้จังหวัดที่มีข้อมูลฝึกที่ใกล้เคียงกันจะมีโอกาสตอบด้วยค่าความน่าจะเป็นมากกว่าเพียงเล็กน้อยได้ ซึ่งจะทำให้ระบบที่ออกแบบไว้จึงทำนายผิดพลาดไป แต่ในการทดลองที่ฝึกให้แบบจำลองสามารถตอบได้ทั้งเชิงบวกเชิงลบนั้นจะตรงกันข้าม เพราะว่ามีการใช้ค่าความน่าจะเป็นอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งจะตัดการคำนวณความน่าจะเป็นของเชิงลบไป จึงทำให้เป็นไปตามแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการทดลองโดยใช้สถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้น



รูปที่ 32 ค่าความถูกต้องเมื่อสนใจเวกเตอร์ลักษณะก่อนหน้าและถัดไป 1 2 และ 3 ตัว



รูปที่ 33 ค่าความถูกต้องเมื่อสนใจสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้าด้วย

นอกจากนี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในแต่ละแบบ จากการทดลองจะพบว่า เมื่อมีการกำหนดให้คำนวณค่าความน่าจะเป็นของสถานะผลลัพธ์ให้ขึ้นกับสถานะก่อนหน้าเท่านั้นแล้ว โดยส่วนใหญ่จะทำให้สามารถรู้จำได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจากความสามารถในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้อย่างซับซ้อนของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข และความสามารถในการเรียนรู้ จึงทำให้เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขสามารถจัดการกับปัญหาที่มีทั้งเรื่องคุณภาพของภาพที่ได้และข้อจำกัดของป้ายทะเบียนที่ส่วนล่างๆ มักจะถูกบดบังไปได้ดีกว่าแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ

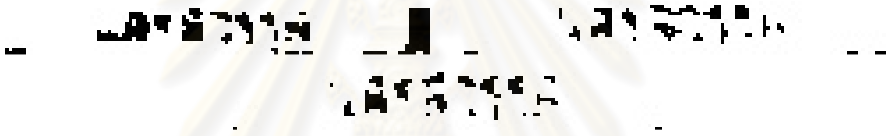
เมื่อได้พิจารณาถึงค่าความถูกต้องที่สังเกตได้จากตารางผลการทดลองดังกล่าว จะพบว่าแบบจำลอง CRF0B นั้นจะให้ค่าความถูกต้องที่สูงที่สุด เมื่อใช้ข้อมูลฝึกที่เป็นสถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้น จึงได้ตั้งสมมติฐานว่าแบบจำลอง CRF0B น่าจะเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในปัญหานี้ แต่อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาผลลัพธ์แล้วจะพบว่าสมมติฐานดังกล่าวอาจไม่เป็นจริงเสมอไป เพราะค่าผลลัพธ์ที่ได้ยังคงมีความผันผวนไปมา ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าถ้าหากมีการเพิ่มจำนวนจังหวัดเข้าไปมากยิ่งขึ้น โครงสร้างแบบ CRF0B อาจไม่ใช่โครงสร้างที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาการออกแบบการรู้จำชื่อจังหวัดภายในงานวิจัยนี้แล้ว จะเห็นได้ว่า การออกแบบในลักษณะที่มองภาพป้ายทะเบียนเป็นข้อมูลลำดับจากแถวบนสุดถึงแถวล่างสุด จะทำให้ระบบสามารถรู้จำชื่อจังหวัดได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าส่วนล่างๆ ของป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นซึ่งเป็นส่วนล่างๆ ของชื่อจังหวัดได้สูญหายไป เพราะยังคงมีข้อมูลที่อยู่ด้านบนๆ ของชื่อจังหวัดอยู่ซึ่งจะยังคงเพียงพอในการรู้จำชื่อจังหวัดออกมาได้

แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้เทคนิคในการประมวลผลภาพก่อนหน้าที่มีประสิทธิภาพในการปรับกรองจุดสัญญาณรบกวนออกไป ดังจะเห็นในภาคผนวก ก ซึ่งในภาพชื่อจังหวัดหลายๆ จังหวัดจะมีจุดสัญญาณรบกวนที่อยู่ขอบซ้ายและขอบขวาของภาพซึ่งมีแถบสีดำอยู่ หรือด้านล่างของภาพจะมีแถบสีดำอยู่อีกเช่นกัน จุดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ทำให้ผลลัพธ์ในการรู้จำลดลงไป นอกจากนี้ ถ้าหากรถยนต์ที่มีป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ไม่ได้ทำความสะอาด ซึ่งจะมีฝุ่นเกาะหรือเลอะโคลนเป็นจำนวนมาก ก็จะทำให้การประมวลผลภาพในงานวิจัยนี้จะไม่สามารถค้นเจอป้ายทะเบียนดังกล่าวได้ ยิ่งไปกว่านั้น ถ้าหากการประมวลผลภาพมีการทำงาน ณ เวลาที่รถยนต์ยังไม่ได้เข้าถึงตรงตำแหน่งที่มีแสงเพียงพอในการบันทึกภาพเคลื่อนไหว ภาพป้ายทะเบียนที่ประมวลผลมาเมื่อมีการแปลงให้เป็นภาพฐานสองแล้วจะมีจุดสัญญาณรบกวนมากเกินไป ทำให้รู้จำผิดพลาด เช่น จุดสัญญาณรบกวนที่มีอยู่รอบชื่อจังหวัด หรือไม่พบรายละเอียดขอบเขตย่อย

ของชื่อจังหวัด ตัวอย่างรูปที่มีปัญหาเป็นดังรูปที่ 34 ยิ่งไปกว่านั้น หรือถ้าหากภาพชื่อจังหวัดมีความสว่างเกินไปเนื่องจาก ณ เวลาที่บันทึกภาพเคลื่อนไหวมีความสว่างมากๆ จึงทำให้เมื่อมีการแปลงให้เป็นภาพฐานสองแล้วรายละเอียดขอบเขตย่อยของตัวอักษรหายไปเป็นจำนวนมาก ดังรูปรูปที่ 35 ซึ่งเมื่อนำเข้าสู่ระบบเพื่อรู้จำชื่อจังหวัดก็จะรู้จำผิดพลาดได้

รูปที่ 34 ภาพชื่อจังหวัดที่มีจุดสัญญาณรบกวนมากเกินไป



รูปที่ 35 ภาพชื่อจังหวัดที่รายละเอียดขอบเขตย่อยของตัวอักษรหายไปเป็นจำนวนมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการรู้จำชื่อจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยโดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น ซึ่งเป็นการมองภาพป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นข้อมูลที่มีลำดับ โดยสกัดเอาลักษณะออกมาจากภาพเพื่อสร้างเป็นข้อมูลเวกเตอร์ลักษณะที่มีลำดับแล้วใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟและเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพกับข้อมูลที่มีลำดับ เพื่อทำการรู้จำชื่อจังหวัดออกมาด้วยความน่าจะเป็น โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองความน่าจะเป็นของแต่ละจังหวัด เพื่อบอกค่าความน่าจะเป็นที่จะเป็นชื่อจังหวัดนั้นๆ ออกมา จากนั้นทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของแต่ละจังหวัด ซึ่งระบบจะตอบชื่อจังหวัดที่ได้ค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุดออกมา โดยงานวิจัยนี้อาจถือได้ว่าเป็นงานวิจัยแรกที่เริ่มนำเอาแบบจำลองความน่าจะเป็นมาใช้งานรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

ภายในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบกับข้อมูลฝึก 2 ลักษณะ ได้แก่ ข้อมูลฝึกที่ตอบได้เพียงสถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้น กับข้อมูลฝึกที่สามารถตอบได้ทั้งสถานะผลลัพธ์เชิงบวกและเชิงลบ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่า เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขสามารถรู้จำชื่อจังหวัดได้ความถูกต้องสูงกว่าแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟแบบไม่มีทิศทาง โดยการใช้ค่าฟังก์ชันลักษณะเพื่อทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็น ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สามารถปรับค่าได้มากกว่า จึงทำให้สามารถจัดการกับปัญหาทั้งเรื่องของคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว และข้อจำกัดของป้ายทะเบียนที่ส่วนล่างๆ มักจะถูกบดบังด้วยกรอบของป้ายทะเบียนรถยนต์

5.2. อภิปรายผลการวิจัย

เมื่อได้พิจารณาถึงข้อมูลภาพที่ใช้การฝึกแบบจำลองแล้ว จะพบว่าภาพที่ใช้นั้นยังคงมีจุดสัญญาณรบกวนอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นในส่วนของการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคที่ซับซ้อนมากนัก ซึ่งเป็นผลให้การรู้จำมีความผิดพลาดได้อย่างมีนัยสำคัญ เพราะจุดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ลักษณะเด่นของภาพจังหวัดแต่ละจังหวัดมีความคล้ายคลึงกันมากยิ่งขึ้น รวมทั้งจุดสัญญาณรบกวนรอบข้างก็จะทำให้การรู้จำมีความผิดพลาดได้อีก ด้วยเหตุนี้ การ

ประมวลผลก่อนหน้าจึงมีความสำคัญ ซึ่งถ้าหากมีการพัฒนาส่วนของการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคที่ดีกว่าที่ใช้อยู่ในงานวิจัยนี้ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการใส่ตัวกรอง (filter) เพื่อทำการกรองจุดภาพที่น่าจะเป็นจุดสัญญาณรบกวนออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือการปรับแสงของภาพโดยรวมก่อนการแปลงภาพฐานสอง สิ่งต่างๆ นี้น่าจะทำให้การรู้จำชื่อจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยนั้นมีความถูกต้องสูงมากยิ่งขึ้นได้

5.3. **การต่อยอดจากงานวิจัยนี้**

เนื่องจากระบบที่ใช้ในการทำนายชื่อจังหวัดภายในงานวิจัยนี้ ยังคงเป็นการทดสอบกับข้อมูลภาพนิ่งเท่านั้น ซึ่งไม่ได้ทดสอบกับภาพเคลื่อนไหวจริงๆ อีกทั้งผลลัพธ์ที่ได้ยังคงต้องมีการปรับปรุงต่อไปเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นควรจะต้องสามารถรู้จำชื่อจังหวัดได้ครบทุกจังหวัดอย่างถูกต้อง อีกทั้งระบบรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นจะใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเมื่อสามารถทำให้เป็นระบบแบบทันกาล (Real time) ได้ ซึ่งในประเด็นต่างๆ เหล่านี้จะนำไปทำการวิจัยต่อยอดเพิ่มเติมเป็นชิ้นงานอื่นๆ ต่อไปได้ในอนาคต

5.4. **ข้อเสนอแนะ**

จากที่ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำชื่อจังหวัดในป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยนั้น จะพบเห็นถึงปัญหาเรื่องภาพที่ได้จากกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพที่ค่อนข้างต่ำ แต่เนื่องจากเทคโนโลยีในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วกว่าที่ผ่านๆ มาเป็นอย่างมาก จึงทำให้อนาคตในภายภาคหน้านั้นกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวจะถูกพัฒนาให้สามารถบันทึกภาพเคลื่อนไหวได้ด้วยความละเอียดที่สูงมากขึ้น และมีความคมชัดมากยิ่งขึ้น อันเป็นผลให้ปัญหาเรื่องจุดสัญญาณรบกวนมีผลลดลงไปได้ จึงมีข้อเสนอแนะว่าถ้าหากสามารถปรับเปลี่ยนกล้องบันทึกภาพให้สามารถเก็บภาพได้ด้วยความละเอียดสูงได้ ก็จะทำให้สามารถลดปัญหาเรื่องจุดสัญญาณรบกวนไปได้ในระดับหนึ่ง เพราะกล้องบันทึกภาพด้วยความละเอียดสูงจะทำให้จุดสัญญาณรบกวนลดน้อยลงไปได้

รายการอ้างอิง

[1] Rabiner, L.R., A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition. *Proceedings of the IEEE*. vol. 77, pages 257–286, 1989.

[2] Sminchisescu, C., Kanaujia, A., and Metaxas, D., Conditional models for contextual human motion recognition. *Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision*. pages 1808–1815, 2005.

[3] Lafferty, J., McCallum, A., and Pereira, F., Conditional random fields: Probabilistic models for segmenting and labeling sequence data. *Proceedings of the 18th International Conference on Machine Learning (ICML)*. pages 282–289, 2001.

[4] Sa-ngamuang, P., Thamnittasana, C., and Kondo, T., Thai car license plate recognition using essential-elements-based method. *Asia-Pacific Conference on Communications*. pages 41–44, 2007.

[5] วิฑูรย์ มารมย์, กิตติ อัตถกิจมงคล และ อาทิตย์ ศรีแก้ว, การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (EECON-30)*. หน้า 769–792, 2550.

[6] Chang, S.-L., Chen, L.-S., Chung, Y.-C., and Chen, S.-W., Automatic license plate recognition, *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*. pages 42–53, 2004.

[7] Zhao, Z., Yang, S., and Ma, X., Chinese license plate recognition using a convolutional neural network. *Proceedings of the 2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application*. pages 27–30, 2008.

[8] Tirasaroj, N., and Aroonmanakun, W., Thai named entity recognition based on conditional random fields. *Proceedings 2009 Eighth International Symposium on Natural Language Processing*. pages 216–220, 2009.

[9] Andrew Kachites McCallum, MALLET: A Machine Learning for Language Toolkit. 2002. [Online] Available : http://mallet.cs.umass.edu/ [2011, March 16]

[10] Taku Kudo, CRF++: Yet Another CRF toolkit. Jan 2003. [Online] Available : http://crfpp.sourceforge.net/ [2010, June 14]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

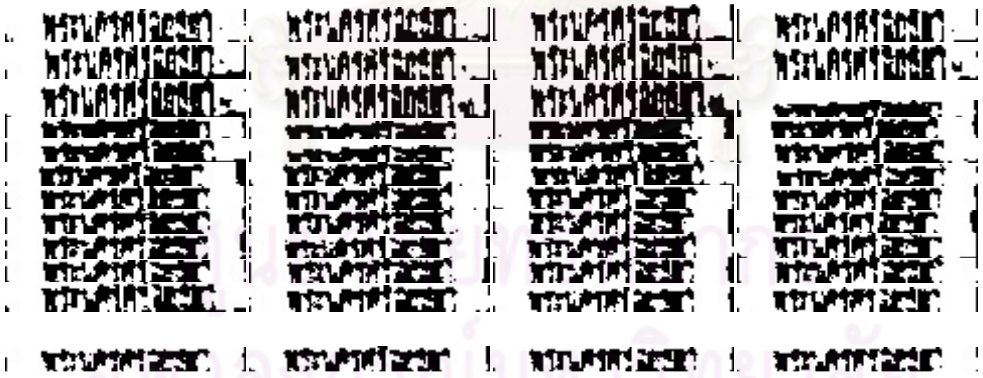
ภาคผนวก ก

ภาพป้ายทะเบียนที่ใช้รู้จำชื่อจังหวัดภายในงานวิจัย

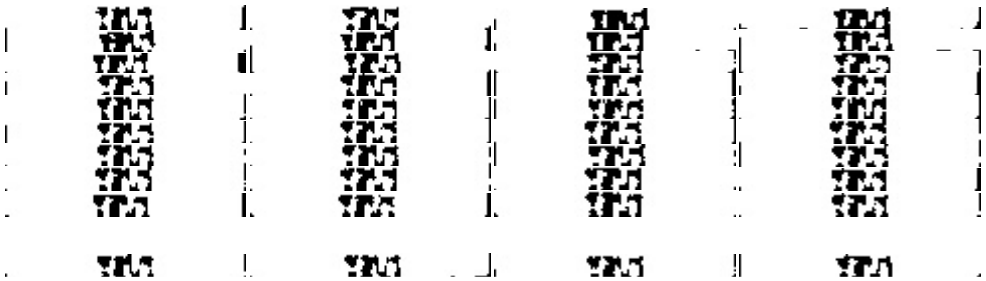
ข้อมูลภาพชื่อจังหวัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ถูกสกัดออกมาจากข้อมูลภาพเคลื่อนไหวชุดหนึ่ง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากการทางพิเศษแห่งประเทศไทยซึ่งข้อมูลภาพที่ได้นั้นได้ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 และทำการคัดเลือกภาพเพื่อทำเป็นข้อมูลฝึกให้กับแบบจำลองความน่าจะเป็น ตัวอย่างภาพชื่อจังหวัดต่างๆ ที่สกัดได้มีดังต่อไปนี้

จังหวัดอ่างทอง

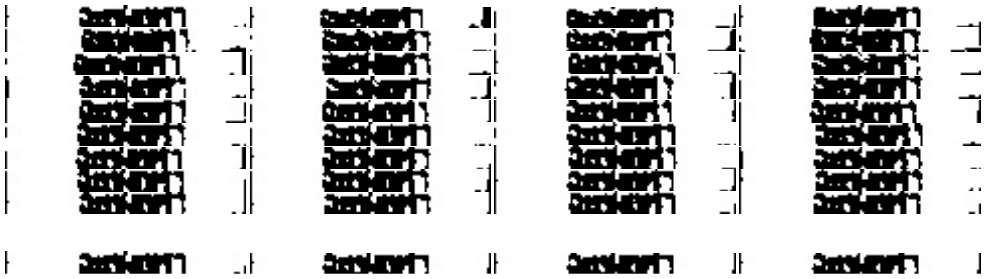
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



จังหวัดชลบุรี



จังหวัดฉะเชิงเทรา



จังหวัดเชียงใหม่

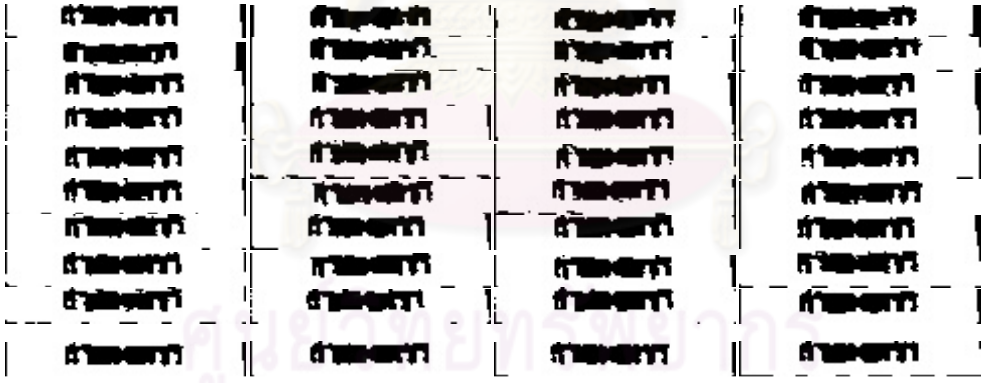
จังหวัดชัยภูมิ

จังหวัดจันทบุรี

จังหวัดขอนแก่น

จังหวัดกำแพงเพชร

จังหวัดกาญจนบุรี

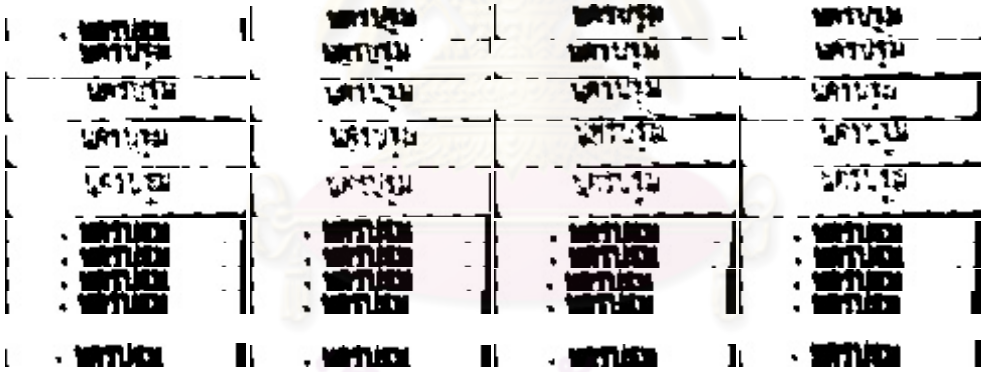


จังหวัดนนทบุรี

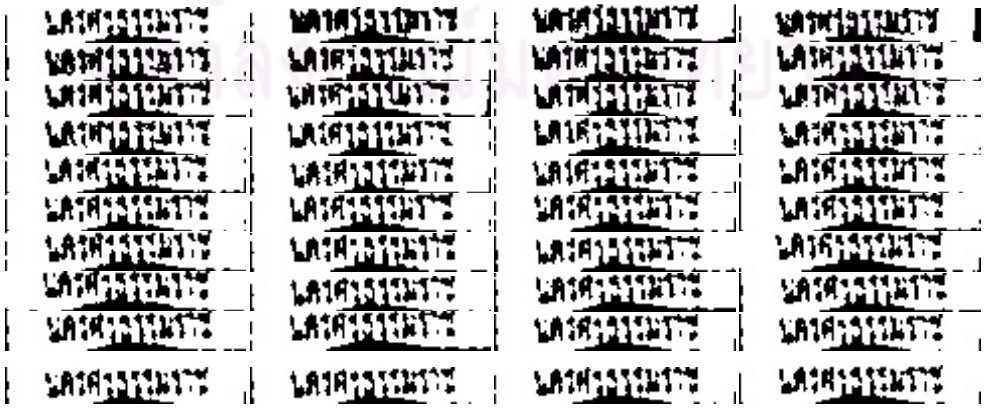
จังหวัดหนองคาย

จังหวัดนครราชสีมา

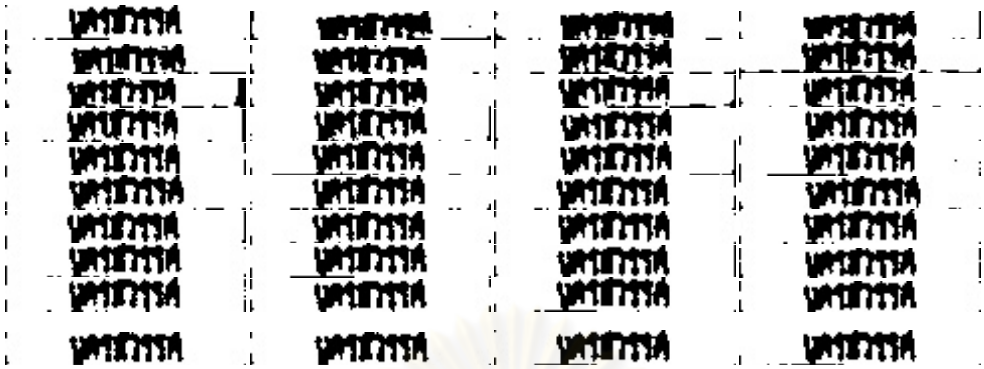
จังหวัดนครปฐม



จังหวัดนครศรีธรรมราช



จังหวัดนครสวรรค์

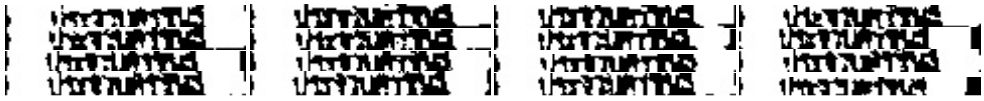


จังหวัดนราธิวาส

จังหวัดนครนายก

จังหวัดเพชรบุรี

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

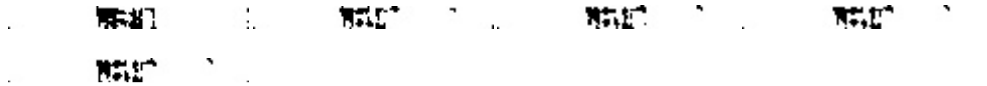


จังหวัดภูเก็ต

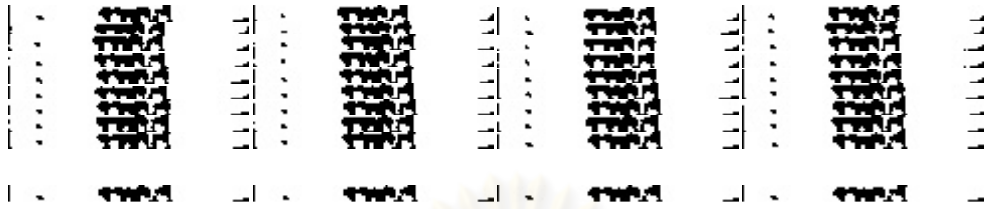
จังหวัดพิษณุโลก

จังหวัดปทุมธานี

จังหวัดพะเยา

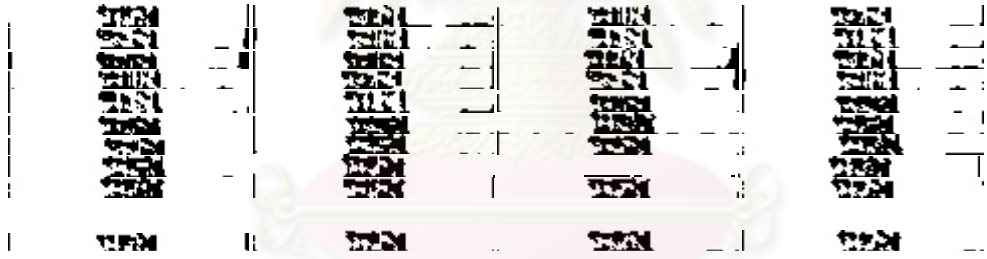


จังหวัดราชบุรี

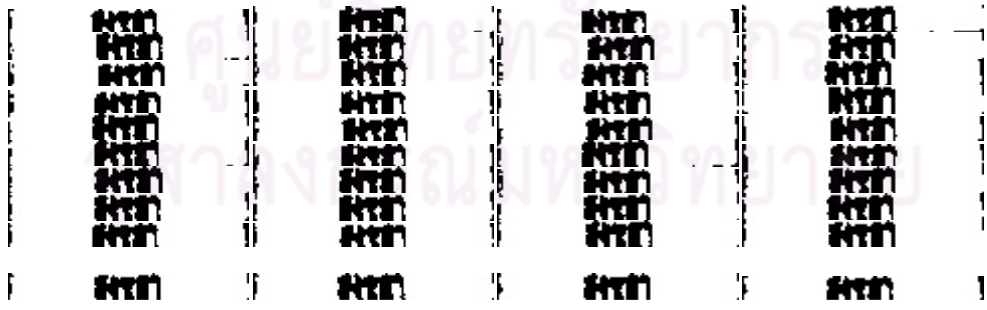


จังหวัดร้อยเอ็ด

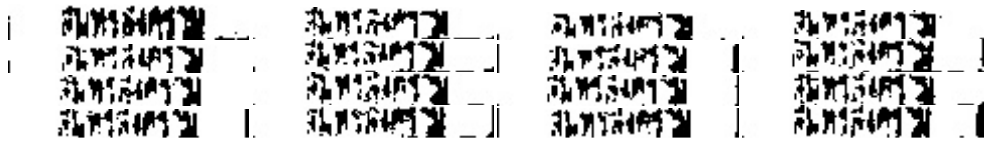
จังหวัดระยอง



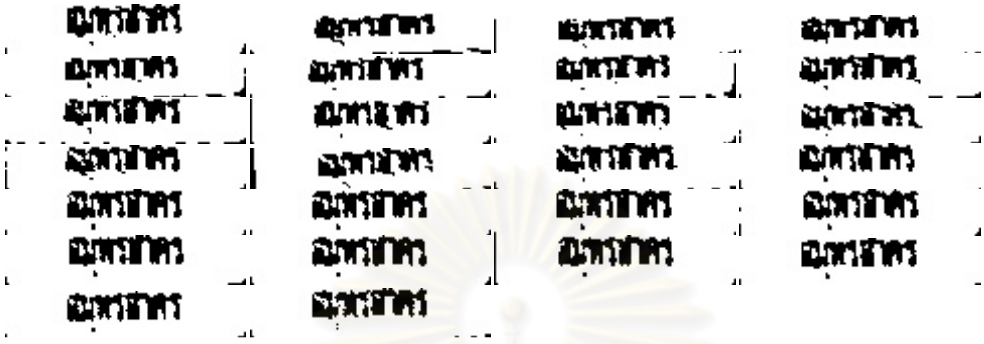
จังหวัดสงขลา



จังหวัดสมุทรสงคราม

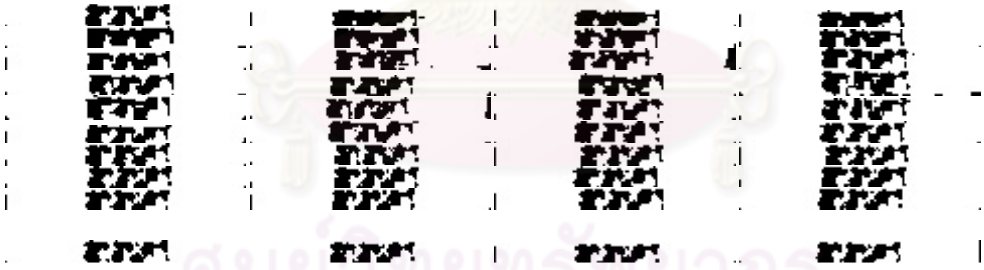


จังหวัดสมุทรสาคร

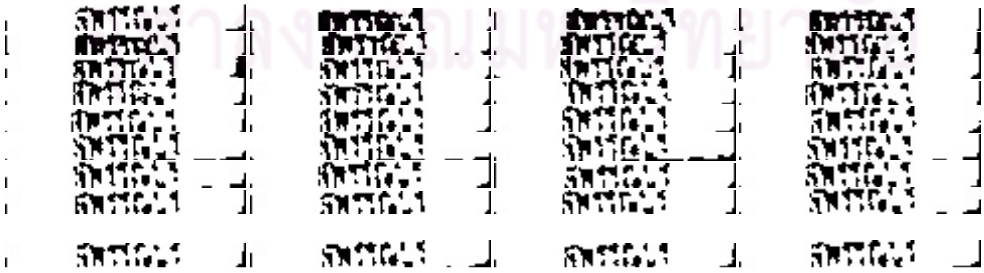


จังหวัดสุราษฎ์ธานี

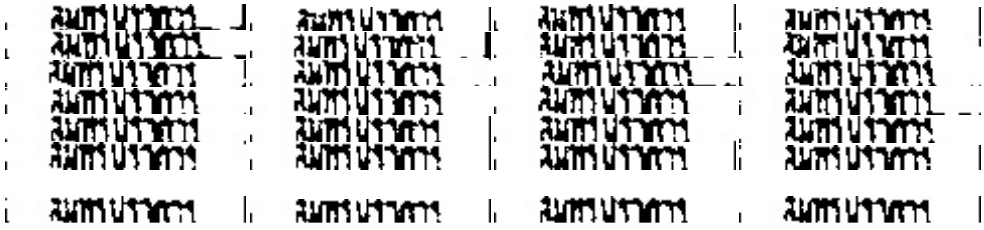
จังหวัดสกลนคร



จังหวัดสุพรรณบุรี



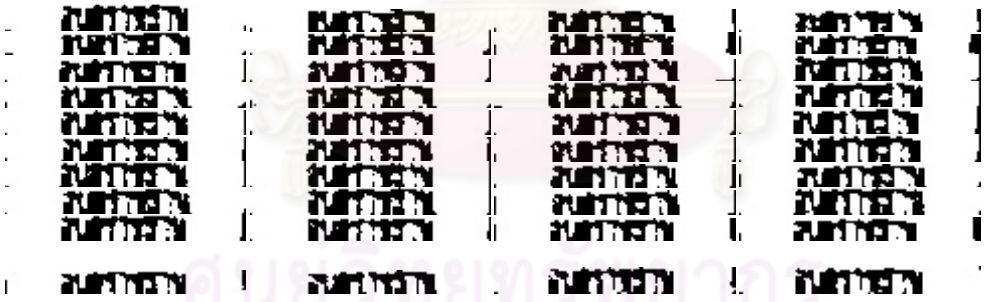
จังหวัดสมุทรปราการ



จังหวัดสระบุรี

จังหวัดสุรินทร์

จังหวัดอุบลราชธานี



จังหวัดอุดรธานี

อุตรามาน	อุตรามาน	อุตรามาน	อุตรามาน
อุตรามาน	อุตรามาน	อุตรามาน	อุตรามาน

จังหวัดยะลา

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

แผ่นแบบของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข

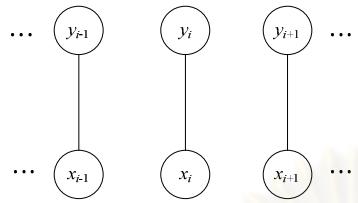
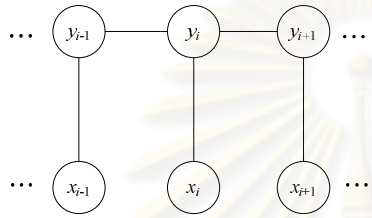
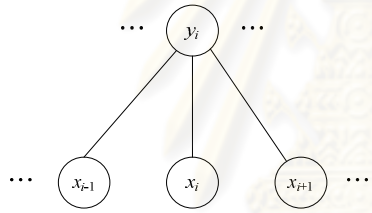
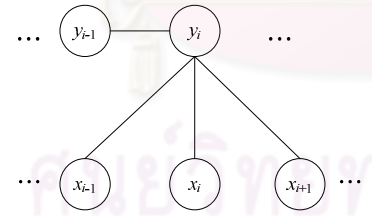
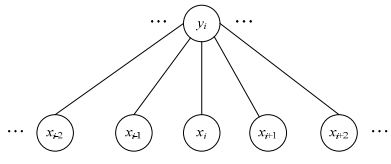
เนื่องจากโครงสร้างของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขนั้นสามารถปรับได้อย่างหลากหลายมาก ซึ่งมีโอกาสที่จะทำให้เกิดความเข้าใจผิด หรือสับสนได้ ด้วยเหตุนี้ จึงนำแผ่นแบบที่ใช้ในการสร้างเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขในแต่ละแบบที่แสดงไว้ดังในบทที่ 4 โดยใช้โปรแกรม CRF++ มาแสดงไว้ในส่วนนี้

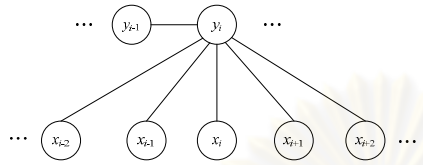
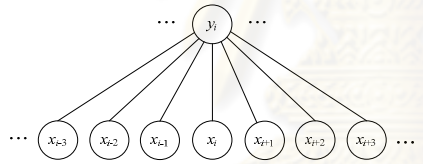
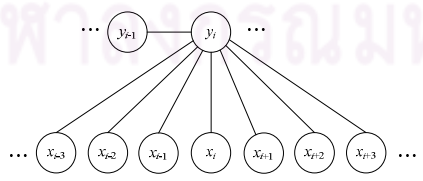
โปรแกรม CRF++ นั้นจะสามารถกำหนดฟังก์ชันลักษณะที่จะใช้ได้ ซึ่งการกำหนดนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ ได้แก่ แผ่นแบบยูนิแกรม (Unigram) เป็นแผ่นแบบที่ใช้กำหนดฟังก์ชันลักษณะระหว่างสถานะผลลัพธ์และลักษณะแต่ละชนิดในเวกเตอร์ลักษณะ ซึ่งจะใช้ตัวอักษร U นำหน้าและมีรูปแบบในการอ้างอิงเป็นลักษณะคือ %x[แถว, หลัก] โดยจะอ้างอิงตัวแถวและหลักในลักษณะมีความสัมพันธ์ (relative) กันกับเวกเตอร์ลักษณะที่กำลังจะทำนายสถานะผลลัพธ์ โดยการกำหนดแผ่นแบบยูนิแกรมนั้นจะมีตัวเลขกำกับไว้ด้วย อีกแบบหนึ่งคือแผ่นแบบไบแกรม (Bigram) เป็นแผ่นแบบที่ใช้กำหนดฟังชันลักษณะระหว่างสถานะผลลัพธ์ปัจจุบันกับสถานะผลลัพธ์ก่อนหน้า โดยจะใช้ตัวอักษร B เพียงตัวอักษรเดียวในการกำหนดว่าให้มีการพิจารณาในลักษณะดังกล่าวนี้ด้วย

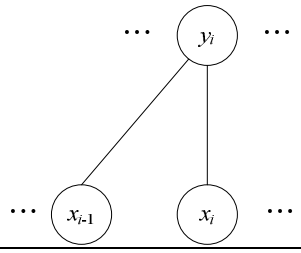
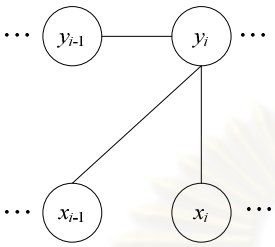
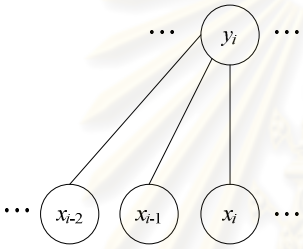
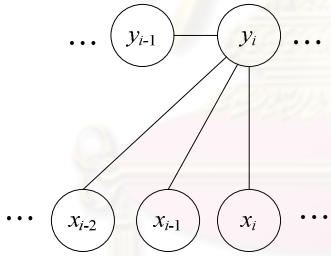
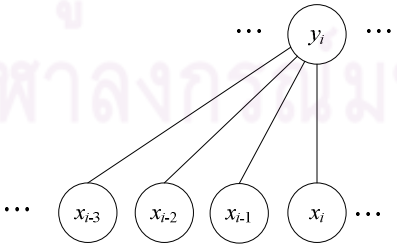
การสร้างเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแต่ละแบบด้วย CRF++ ในงานวิจัยนี้ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 จะเป็นการสร้างโดยใช้เวกเตอร์ลักษณะที่มีลักษณะทั้งสิ้น 4 ชนิด ซึ่งสามารถกำหนดแผ่นแบบได้เป็นดังตารางที่ 11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

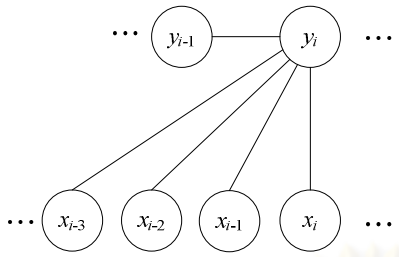
ตารางที่ 11 แผ่นแบบและแผนภาพของแต่ละเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข

เขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข	แผนภาพกราฟ	แผ่นแบบ
CRF0		U01:%x[0,0] U02:%x[0,1] U03:%x[0,2] U04:%x[0,3]
CRF0B		U01:%x[0,0] U02:%x[0,1] U03:%x[0,2] U04:%x[0,3] B
CRF1		U01:%x[-1,0] U07:%x[0,2] U02:%x[-1,1] U08:%x[0,3] U03:%x[-1,2] U09:%x[1,0] U04:%x[-1,3] U10:%x[1,1] U05:%x[0,0] U11:%x[1,2] U06:%x[0,1] U12:%x[1,3]
CRF1B		U01:%x[-1,0] U07:%x[0,2] U02:%x[-1,1] U08:%x[0,3] U03:%x[-1,2] U09:%x[1,0] U04:%x[-1,3] U10:%x[1,1] U05:%x[0,0] U11:%x[1,2] U06:%x[0,1] U12:%x[1,3] B
CRF2		U01:%x[-2,0] U11:%x[0,2] U02:%x[-2,1] U12:%x[0,3] U03:%x[-2,2] U13:%x[1,0] U04:%x[-2,3] U14:%x[1,1] U05:%x[-1,0] U15:%x[1,2] U06:%x[-1,1] U16:%x[1,3] U07:%x[-1,2] U17:%x[2,0] U08:%x[-1,3] U18:%x[2,1]

		U09:%x[0,0] U19:%x[2,2] U10:%x[0,1] U20:%x[2,3]
CRF2B		U01:%x[-2,0] U11:%x[0,2] U02:%x[-2,1] U12:%x[0,3] U03:%x[-2,2] U13:%x[1,0] U04:%x[-2,3] U14:%x[1,1] U05:%x[-1,0] U15:%x[1,2] U06:%x[-1,1] U16:%x[1,3] U07:%x[-1,2] U17:%x[2,0] U08:%x[-1,3] U18:%x[2,1] U09:%x[0,0] U19:%x[2,2] U10:%x[0,1] U20:%x[2,3] B
CRF3		U01:%x[-3,0] U11:%x[-1,2] U21:%x[2,0] U02:%x[-3,1] U12:%x[-1,3] U22:%x[2,1] U03:%x[-3,2] U13:%x[0,0] U23:%x[2,2] U04:%x[-3,3] U14:%x[0,1] U24:%x[2,3] U05:%x[-2,0] U15:%x[0,2] U25:%x[3,0] U06:%x[-2,1] U16:%x[0,3] U26:%x[3,1] U07:%x[-2,2] U17:%x[1,0] U27:%x[3,2] U08:%x[-2,3] U18:%x[1,1] U28:%x[3,3] U09:%x[-1,0] U19:%x[1,2] U10:%x[-1,1] U20:%x[1,3]
CRF3B		U01:%x[-3,0] U11:%x[-1,2] U21:%x[2,0] U02:%x[-3,1] U12:%x[-1,3] U22:%x[2,1] U03:%x[-3,2] U13:%x[0,0] U23:%x[2,2] U04:%x[-3,3] U14:%x[0,1] U24:%x[2,3] U05:%x[-2,0] U15:%x[0,2] U25:%x[3,0] U06:%x[-2,1] U16:%x[0,3] U26:%x[3,1] U07:%x[-2,2] U17:%x[1,0] U27:%x[3,2] U08:%x[-2,3] U18:%x[1,1] U28:%x[3,3] U09:%x[-1,0] U19:%x[1,2] U10:%x[-1,1] U20:%x[1,3] B

CRF1 BO		U01:%x[-1,0] U05:%x[0,0] U02:%x[-1,1] U06:%x[0,1] U03:%x[-1,2] U07:%x[0,2] U04:%x[-1,3] U08:%x[0,3]
CRF1B BO		U01:%x[-1,0] U05:%x[0,0] U02:%x[-1,1] U06:%x[0,1] U03:%x[-1,2] U07:%x[0,2] U04:%x[-1,3] U08:%x[0,3] B
CRF2 BO		U01:%x[-2,0] U07:%x[-1,2] U02:%x[-2,1] U08:%x[-1,3] U03:%x[-2,2] U09:%x[0,0] U04:%x[-2,3] U10:%x[0,1] U05:%x[-1,0] U11:%x[0,2] U06:%x[-1,1] U12:%x[0,3]
CRF2B BO		U01:%x[-2,0] U07:%x[-1,2] U02:%x[-2,1] U08:%x[-1,3] U03:%x[-2,2] U09:%x[0,0] U04:%x[-2,3] U10:%x[0,1] U05:%x[-1,0] U11:%x[0,2] U06:%x[-1,1] U12:%x[0,3] B
CRF3 BO		U01:%x[-3,0] U09:%x[-1,0] U02:%x[-3,1] U10:%x[-1,1] U03:%x[-3,2] U11:%x[-1,2] U04:%x[-3,3] U12:%x[-1,3] U05:%x[-2,0] U13:%x[0,0] U06:%x[-2,1] U14:%x[0,1] U07:%x[-2,2] U15:%x[0,2] U08:%x[-2,3] U16:%x[0,3]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CRF3B BO		U01:%x[-3,0] U09:%x[-1,0] U02:%x[-3,1] U10:%x[-1,1] U03:%x[-3,2] U11:%x[-1,2] U04:%x[-3,3] U12:%x[-1,3] U05:%x[-2,0] U13:%x[0,0] U06:%x[-2,1] U14:%x[0,1] U07:%x[-2,2] U15:%x[0,2] U08:%x[-2,3] U16:%x[0,3] B

นอกจากนี้ ถ้าหากต้องการกำหนดให้แผ่นแบบให้มีการเปรียบเทียบอัตราส่วนจุดขาวจุดดำในแต่ละเวกเตอร์ลักษณะนั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มแผ่นแบบยูนิแกรมเพิ่มเข้าไป โดยระบุลักษณะตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4 ของเวกเตอร์ลักษณะนั้นๆ โดยตัวอย่างการอ้างอิงเช่น U20:%x[0,3] / %x[0,4] คือกำหนดให้มีแผ่นแบบยูนิแกรมที่ระบุตัวเลขใหม่ที่ไม่ซ้ำแผ่นแบบเดิม โดยให้ตรวจอัตราส่วนจุดขาวจุดดำในเวกเตอร์ลักษณะที่กำลังสนใจอยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix)

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการทดลองเปรียบเทียบการรู้จำชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้แบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรงและเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแบบเส้นตรง ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ในการรู้จำชื่อจังหวัดจากระบบรู้จำในงานวิจัยนี้โดยละเอียดได้ด้วยเมทริกซ์ความสับสน โดยจะแสดงเมทริกซ์ความสับสนที่ทดสอบกับแบบจำลองทั้งสองที่ฝึกด้วยข้อมูลฝึกที่มีสถานะผลลัพธ์เชิงบวกเท่านั้น ค่าในแต่ละช่องจะเป็นค่าที่คำนวณเป็นร้อยละ ซึ่งเป็นผลรวมของเมทริกซ์ความสับสนทั้ง 10 พับที่ได้จากการทดสอบด้วยการตรวจสอบไขว้ 10 พับมารวมกัน

เมทริกซ์ความสับสนนั้นจะมีลักษณะเป็นตาราง แต่ละสดมภ์นั้นจะเป็นชื่อจังหวัดที่ระบบรู้จำตอบออกมา ส่วนในแต่ละแถวนั้นจะเป็นชื่อจังหวัดที่ถูกต้อง ดังนั้น คำตอบที่ระบบรู้จำตอบได้ถูกต้องนั้นจะอยู่ในแนวทแยงเท่านั้น ส่วนที่อยู่นอกแนวทแยงจะมีความหมายคือตอบผิด โดยภายในเมทริกซ์ความสับสนนั้นจะแทนชื่อจังหวัดด้วยตัวอักษรย่อภาษาอังกฤษ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ทั้งตัวอักษรย่อของชื่อจังหวัดและเมทริกซ์ความสับสนเป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 12 ตัวอักษรย่อภาษาอังกฤษของชื่อจังหวัดไทยที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อจังหวัด	ตัวอักษรย่อ
ภูเก็ต	PKT
ยะลา	YLA
ชลบุรี	CBI
ชัยภูมิ	CPM
นนทบุรี	NBI
ราชบุรี	RBR
พะเยา	PYO
จันทบุรี	CTI
ระยอง	RYG
สงขลา	SKA
สระบุรี	SRI
สุรินทร์	SRN
เพชรบุรี	PBI
ปทุมธานี	PTE

ชื่อจังหวัด	ตัวอักษรย่อ
ร้อยเอ็ด	RET
สกลนคร	SNK
ขอนแก่น	KKN
พิษณุโลก	PLK
อ่างทอง	ATG
นครปฐม	NPT
อุดรธานี	UDN
เชียงใหม่	CMI
กาญจนบุรี	KRI
หนองคาย	NKI
นราธิวาส	NWT
นครนายก	NYK
สุพรรณบุรี	SPB

ชื่อจังหวัด	ตัวอักษรย่อ
นครสวรรค์	NSN
สมุทรสาคร	SKN
ฉะเชิงเทรา	CCO
นครราชสีมา	NMA
กำแพงเพชร	KPT
สุราษฎร์ธานี	SNI
อุบลราชธานี	UBN
สมุทรปราการ	SPK
สมุทรสงคราม	SKM
ประจวบคีรีขันธ์	PKN
กรุงเทพมหานคร	BKK
นครศรีธรรมราช	NRT
พระนครศรีอยุธยา	AYA

เมทริกซ์ความสับสนของแบบจำลองฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเส้นตรง

	PKT	YLA	CBI	CPM	NBI	RBR	PYO	CTI	RYG	SKA	SRI	SRN	PBI	PTE	RET	SNK	KKN	PLK	ATG	NPT
PKT	53	0	14	0	0	3	0	0	0	0	0	18	0	0	0	6	0	8	0	0
YLA	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	30	0	0	0	0	0	30	0	0
CBI	0	0	88	1	1	5	0	0	1	1	0	4	0	0	0	1	2	1	0	0
CPM	0	0	7	65	0	21	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0
NBI	0	0	15	0	63	4	0	0	0	5	0	3	0	0	0	3	0	7	0	0
RBR	0	0	5	0	1	84	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	2	4	1	0
PYO	0	0	46	0	0	4	4	0	0	13	0	16	0	0	0	0	7	16	0	0
CTI	0	0	49	1	2	13	0	12	0	5	0	6	0	0	0	1	2	6	1	0
RYG	0	0	26	0	0	9	0	2	26	6	0	18	0	0	0	3	4	9	0	0
SKA	0	0	0	0	0	8	0	0	0	78	0	9	0	0	0	1	0	6	0	0
SRI	0	0	35	0	5	15	0	0	0	15	0	5	0	0	0	5	10	10	0	0
SRN	0	0	4	0	0	3	0	0	0	3	0	88	0	0	0	0	0	4	1	0
PBI	0	0	28	0	0	8	0	0	0	2	0	2	27	0	0	0	0	25	0	2
PTE	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	4	0	63	0	0	0	4	0	0
RET	0	0	32	0	0	5	0	0	0	0	0	7	0	0	40	5	5	9	0	0
SNK	0	0	16	0	1	2	0	0	0	4	0	5	0	0	0	67	1	8	0	0
KKN	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	85	5	0	0
PLK	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0
ATG	0	0	19	0	0	5	0	0	0	3	0	4	0	0	0	7	0	16	47	0
NPT	0	0	20	0	0	15	0	0	0	6	0	2	0	0	0	0	0	7	0	53
UDN	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	0	10	0	0
CMI	0	0	23	0	0	6	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	7	5	0	0
KRI	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16	0	0
NKI	0	0	60	0	0	7	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	7	15	0	0
NWT	0	0	25	0	0	13	0	0	0	2	0	8	0	2	0	0	2	10	0	0
NYK	0	0	7	0	0	14	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	3	0	0
SPB	0	0	45	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	8	0	0
NSN	0	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
SKN	0	0	4	0	0	89	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0
CCO	0	0	44	0	0	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	8	0	3
NMA	0	0	39	0	0	34	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	12	0	0
KPT	0	0	8	0	0	16	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	13	0	0
SNI	0	0	69	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0
UBN	0	0	68	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	0	0
SPK	0	0	26	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0
SKM	0	0	5	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0
PKN	0	0	19	0	0	7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
BKK	0	0	36	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
NRT	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0
AYA	0	0	29	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0

	UDN	CMI	KRI	NKI	NWT	NYK	SPB	NSN	SKN	CCO	NMA	KPT	SNI	UBN	SPK	SKM	PKN	BKK	NRT	AYA
PKT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
YLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CBI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NBI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PYO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
RYG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SRI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SRN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PBI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
PTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
SNK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KKN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
ATG	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UDN	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
CMI	0	55	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KRI	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0
NKI	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NWT	0	0	0	0	38	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NYK	0	0	0	0	0	74	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SPB	0	0	0	0	0	2	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NSN	0	0	0	0	0	3	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
NMA	0	1	1	0	0	4	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KPT	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0
SNI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0
UBN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2
SPK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	57	0	1	0	0	0
SKM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
PKN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	0	0	7
BKK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0
NRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0
AYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	55

เมทริกซ์ความสับสนของเขตข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขแบบเส้นตรง

	PKT	YLA	CBI	CPM	NBI	RBR	PYO	CTI	RYG	SKA	SRI	SRN	PBI	PTE	RET	SNK	KKN	PLK	ATG	NPT
PKT	62	0	26	3	0	2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
YLA	10	0	50	10	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CBI	0	0	92	2	0	1	0	3	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
CPM	0	0	10	81	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
NBI	0	0	4	0	79	1	0	3	0	3	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1
RBR	0	0	1	0	0	94	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
PYO	0	0	25	10	0	0	31	16	4	0	0	0	0	0	0	4	0	7	0	4
CTI	0	0	21	5	2	2	0	45	3	1	0	0	0	0	0	2	4	3	2	4
RYG	3	0	25	2	0	2	0	11	49	2	0	2	0	0	0	0	3	0	0	3
SKA	0	0	1	0	0	1	0	1	0	92	0	1	0	0	0	0	0	2	0	3
SRI	5	0	30	0	5	0	0	5	5	10	0	0	0	0	0	10	0	5	0	15
SRN	0	0	1	0	1	2	0	1	0	2	0	90	0	0	0	3	0	2	0	0
PBI	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	50	0	0	2	0	4	2	5
PTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	0	2	0	0
RET	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	59	5	19	0	0	5
SNK	0	0	3	0	4	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	85	2	1	0	2
KKN	0	0	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	94	0	0	0
PLK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0
ATG	0	0	13	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	64	6
NPT	0	0	3	1	0	0	0	5	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	80
UDN	0	0	5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	4
CMI	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	3
KRI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
NKI	0	0	9	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	3	0	3	9	0	0	15
NWT	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	2	0	2	10
NYK	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
SPB	0	0	16	0	0	0	0	3	0	12	0	0	0	0	0	3	0	2	0	6
NSN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0
SKN	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	4
CCO	0	0	9	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	2	0	3	0	0	0	11
NMA	0	0	3	0	1	0	0	3	0	2	0	0	0	1	0	3	2	2	0	5
KPT	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	3	0	2
SNI	0	0	4	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	4	14	2	0	9
UBN	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	30	2	0	4
SPK	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
SKM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	10
PKN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1
BKK	0	0	6	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	2	8	0	0	2
NRT	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1	1
AYA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	2	0

	UDN	CMI	KRI	NKI	NWT	NYK	SPB	NSN	SKN	CCO	NMA	KPT	SNI	UBN	SPK	SKM	PKN	BKK	NRT	AYA
PKT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
YLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CBI	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CPM	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
NBI	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PYO	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
CTI	0	2	1	0	0	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
RYG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
SKA	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SRI	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
SRN	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PBI	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	4	30	0	0	2	0	0	0	0	0
PTE	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0
RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	0	3
SNK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
KKN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	2	0	0
PLK	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
ATG	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	3
NPT	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0
UDN	77	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
CMI	0	83	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	1
KRI	0	0	81	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0
NKI	0	11	0	23	0	5	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	5	5	0	5
NWT	2	4	0	0	53	2	0	0	0	3	12	7	0	0	2	0	0	2	0	0
NYK	0	1	0	0	0	83	0	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0
SPB	0	2	0	0	0	0	52	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	2
NSN	0	0	3	0	0	0	0	63	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKN	20	8	0	0	0	0	0	0	31	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
CCO	0	0	0	2	0	0	0	0	0	55	9	5	0	0	0	0	2	2	0	2
NMA	0	7	2	0	2	4	0	0	0	1	51	8	0	0	3	0	1	3	0	5
KPT	0	2	5	0	1	0	0	0	0	0	3	85	0	0	0	0	0	1	0	0
SNI	0	4	0	2	4	0	2	0	0	0	17	5	22	0	0	0	0	2	0	5
UBN	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	24	2	0	0	4	0	6
SPK	0	6	0	0	1	2	0	0	0	0	21	1	0	0	60	0	0	1	0	3
SKM	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	19	50	0	0	0	0	0	0	0	0
PKN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	83	2	0	10
BKK	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	3	69	0	7
NRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	89	0
AYA	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	2	0	7	6	0	69

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฉัตรชัย บวรธำรงชัย เกิดวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ.2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในสาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่โรงเรียนนนทรีวิทยา กรุงเทพมหานคร จากนั้นศึกษาต่อและจบการศึกษาด้วยเกียรตินิยมอันดับสองในระดับชั้นปริญญาตรีที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อดีตเคยทำงานเป็นพนักงานชั่วคราวที่บริษัท ไอบีเอ็ม ประเทศไทย จำกัด ในแผนกการประมวลภาษาแห่งชาติ และปัจจุบันเป็นพนักงานชั่วคราวที่บริษัท สยาม กูรู จำกัดในตำแหน่งโปรแกรมเมอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย