การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น

นายวิฑูรย์ มารมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

LICENSE PLATE RECOGNITION USING WAVELET TRANSFORM AND PROBABILISTIC NEURAL NETWORK

Vitoon Marom

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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2008

การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต
และเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ศ. น.ท. ดร.สราวุฒิ สุจิตจร)
ประธานกรรมการ

_____

(รศ. ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิฑูรย์ มารมย์ : การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (LICENSE PLATE RECOGNITION USING WAVELET TRANSFORM AND PROBABILISTIC NEURAL NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล, 146 หน้า.

ระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์สามารถแยกออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ (1) การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ (2) การคัดแยกตัวอักษร และ (3) การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้ง 3 ส่วน โดยอัตโนมัติ ในส่วนของการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์และการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์นั้น อาศัยทฤษฎีการหาเส้นขอบวัตถุในภาพแนวตั้งและกระบวนการรูปร่างลักษณะ (Morphological Operation) ร่วมกับคุณลักษณะพิเศษของป้ายทะเบียนรถยนต์และตัวอักษร ในส่วนของการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์อาศัยทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) มาเป็นเครื่องมือในการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรและใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (Probabilistic Neural Network) มาเป็นเครื่องมือในการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยทำการทดสอบกับภาพถ่ายรถยนต์ที่มุมเอียง ความเข้มแสง สภาพแวดล้อมและขนาดของป้ายทะเบียนรถยนต์ที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถ ค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ คัดแยกตัวอักษรและรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

VITOON MAROM : LICENSE PLATE RECOGNITION USING WAVELET TRANSFORM AND PROBABILISTIC NEURAL NETWORK. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KITTI ATTAKITMONGCOL, Ph.D. 146 PP.

LICENSE PLATE RECOGNITION/WAVELET TRANSFORM

A license plate recognition system consists of three main parts : (1) license plate detection (2) character segmentation and (3) character identification. In this thesis, an automated license plate recognition system has been proposed. The license plate detection process is based on the features of a license plate using vertical edge detection and morphological operation. In the character segmentation algorithm, the projection method has been applied by exploiting the character features. Finally, the character identification process is achieved by using the wavelet transform to extract the features of each character and the probabilistic neural network to recognize the characters in the license plate. Experiments have been performed with different light intensity, different angles and distances between the car and the camera used. The results show that the proposed approach can effectively locate the license plate in the image gasped and identify the characters in license plate with the accuracy up to 90%.

School of Electrical Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2008 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นรวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.สราวุฒิ สุจิตจร และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณภาณุพงษ์ เพชรเลิศ ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณสุนันทา วิงสกุล ที่คอยดูแล เป็นกำลังใจและห่วงใยข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณอัญชุลี ด่านกลาง คุณภัทราวรรณ สิทธิกวินกุล และบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานของข้าพเจ้า ขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีต และปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อหมูน มารมย์ และ คุณแม่มยุรี มารมย์ รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใยการอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

วิฑูรย์ มารมย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย 2
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์ 3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 กล่าวนำ 5
2.2 รูปแบบป้ายทะเบียนรถยนต์ 5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
2.3.1 งานวิจัยการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ 8
2.3.2 งานวิจัยการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 13
2.3.3 งานวิจัยการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 17
2.4 สรุป 22

3 ทฤษฎีเบื้องต้น 23
3.1 กล่าวนำ 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การประมวลผลภาพ 23
3.2.1 แบบจำลองภาพระดับเทา 23
3.2.2 แบบจำลองภาพสี RGB 24
3.2.3 แบบจำลองภาพสี HSV 25
3.2.4 กระบวนการรูปร่างลักษณะ 26
3.3 การแยกส่วนภาพ 27
3.3.1 การตรวจหาเส้นขอบของภาพ 28
3.3.2 การหาขีดเริ่มเปลี่ยน 29
3.3.3 การแยกส่วนภาพโดยใช้หลักการแบ่งพื้นที่ 30
3.3.4 การแยกส่วนภาพจากการเคลื่อนที่ 32
3.4 เวฟเล็ต 33
3.4.1 ประวัติความเป็นมาของเวฟเล็ต 33
3.4.2 ภาพรวมของเวฟเล็ต 34
3.4.3 การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต 38
3.4.4 ตระกูล Wavelet 40
3.4.5 การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตหนึ่งมิติ 44
3.5 เครือข่ายประสาทเทียม 46
3.5.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม 47
3.5.2 เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ 49
3.5.3 เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น 51
3.6 สรุป 54
4 การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ 55
4.1 กล่าวนำ 55
4.2 โครงสร้างของระบบ 55
4.3 การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ 56
4.3.1 การหาเส้นขอบทางแนวตั้ง 56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 กระบวนการรูปร่างลักษณะ 58
4.3.3 คุณลักษณะพิเศษของป้ายทะเบียน 59
4.4 การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 61
4.4.1 วิธีการโปรเจคชัน 61
4.4.2 คุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร 63
4.5 การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 65
4.5.1 การดึงคุณลักษณะพิเศษ 65
4.5.2 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น 70
4.5.3 การรู้จำตัวอักษร ตัวเลขและจังหวัด 71
4.6 สรุป 72
5 ผลการทดสอบ 73
5.1 กล่าวนำ 73
5.2 รายละเอียดของข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดสอบ 73
5.3 การเก็บข้อมูลภาพ 73
5.4 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน 74
5.5 ผลการทดสอบการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 76
5.6 การทดสอบการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 77
5.7 ผลการทดสอบ เมื่อมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์
และขนาดของป้ายทะเบียนมีการเปลี่ยนแปลง 78
5.8 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์กับ
การใช้เครือข่ายประสาทเทียบแบบแพร่กลับ 80
5.9 สรุป 84
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 85
6.1 กล่าวนำ 85
6.2 สรุปผลการวิจัย 85
6.3 ข้อเสนอแนะ 86

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 87
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. กฎกระทรวง กำหนดลักษณะ ขนาดและสีของแผ่นป้ายทะเบียน 2547 91
ภาคผนวก ข. ภาพข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น 96
ภาคผนวก ค. ภาพผลการทดสอบระบบ 100
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา 138
ภาคผนวก จ. โปรแกรมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ 140
ประวัติผู้เขียน 146

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ขนาดตัวอักษร สีพื้นหลังและตัวอักษรของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ 6
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ 8
2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการคัดแยกตัวอักษร 13
2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการรู้จำตัวอักษร 17
4.1 ค่าที่ใช้ระบุขอบเขตของคุณลักษณะพิเศษป้ายของทะเบียน 60
4.2 ค่าที่ใช้ระบุขอบเขตของคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร 64
5.1 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ 76
5.2 ผลการทดสอบการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 76
5.3 ผลการทดสอบการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ 77
5.4 ผลการทดสอบ เมื่อมุมในแนวระดับระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกัน 78
5.5 ผลการทดสอบ เมื่อมุมในแนวดิ่งระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกัน 79
5.6 ผลการทดสอบ เมื่อขนาดของป้ายทะเบียนเปลี่ยนแปลง 80
5.7 ผลการเปรียบเทียบการรู้จำตัวอักษร
เมื่อมุมในแนวระดับของกล้องกับรถยนต์มีการเปลี่ยนแปลง 82
5.8 ผลการเปรียบเทียบการรู้จำตัวอักษร
เมื่อมุมในแนวดิ่งของกล้องกับรถยนต์มีการเปลี่ยนแปลง 82
5.9 ผลการเปรียบเทียบการรู้จำตัวอักษร เมื่อขนาดของป้ายทะเบียนเปลี่ยนแปลง 83
5.10 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอกับการใช้ BNN 83
ค. 1 ผลการทดสอบระบบ 101
ค. 2 คำอธิบายหมายเหตุ 136

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ 5

3.1 ค่าระดับเทา 24

3.2 ลูกบาศก์ของแบบจำลองภาพสี RGB 25

3.3 กรวยของแบบจำลองภาพสี HSV 26

3.4 แบบจำลองรูปลาดเอียงของขอบภาพ 27

3.5 ตัวอย่างการตรวจหาเส้นขอบของภาพโดยใช้วิธีต่าง ๆ

(ก) ภาพต้นแบบ 28

(ข) วิธี SB 28

(ค) วิธี PW 28

(ง) วิธี RB 28

(จ) วิธี LOG 28

(ฉ) วิธี ZC 28

(ช) วิธี CN 28

3.6 ตัวอย่างการหาขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ

(ก) ภาพต้นแบบ 30

(ข) ฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา 30

(ค) ภาพที่ทำการหาขีดเริ่มเปลี่ยนแล้ว 30

3.7 การแบ่งภาพออกตามหลักการการแบ่งแยกพื้นที่ 31

3.8 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพโดยใช้หลักการแบ่งพื้นที่

(ก) ภาพต้นแบบ 31

(ข) แบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน 31

(ค) แบ่งพื้นที่ออกเป็น 16 ส่วน 31

(ง) แบ่งพื้นที่ในส่วนที่ต้องการเป็น 4 ส่วน 31

(จ) แบ่งพื้นที่ในส่วนที่ต้องการเป็น 8 ส่วน 32

(ฉ) ผลการรวมกันของพื้นที่ 32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.9 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพจากการเคลื่อนที่
(ก) ภาพอ้างอิง 33
(ข) ภาพปัจจุบัน 33
(ค) ภาพแสดงบริเวณที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ 33
3.10 ระนาบเวลาและความถี่ สำหรับการแปลงสัญญาณแบบต่าง ๆ
(ก) Time Domain (Channon) 37
(ข) Frequency (Fourier) 37
(ค) STFT (Gabor) 37
(ง) Wavelet Analysis 37
3.11 ระนาบเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเล็ต 38
3.12 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต 2 ระดับ 39
3.13 กระบวนการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบดีสครีต 2 ระดับ 39
3.14 เวฟเล็ตแบบ Daubechies
(ก) db2 40
(ข) db3 40
(ค) db4 40
3.15 เวฟเล็ตแบบ Haar 41
3.16 เวฟเล็ตแบบ Coiflets
(ก) coif1 41
(ข) coif2 41
(ค) coif3 41
(ง) coif3 41
(จ) coif4 41
3.17 เวฟเล็ตแบบ Meyer 42
3.18 เวฟเล็ตแบบ Symlets
(ก) sym2 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

(ข) sym3 42
(ค) sym4 42
(ง) sym5 42
(จ) sym6 42
(ฉ) sym7 42
3.19 เวฟเล็ตแบบ Maxican Hat 43
3.20 เวฟเล็ตแบบ Biorthogonal 43
(ก) bior1.3 43
(ข) bior1.5 43
3.21 เวฟเล็ตแบบ Morlet 44
3.22 การคำนวณหาฟิลเตอร์ทั้งสี่ตัว 44
3.23 ตัวอย่างฟิลเตอร์ สำหรับการแปลงเวฟเล็ต db3 45
3.24 การคำนวณ cA_j และ cD_j 45
3.25 การคำนวณ cA_{j+i} และ cD_{j+i} 46
3.26 โครงสร้างแบบต้นไม้ที่ $j = 3$ 46
3.27 แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม 49
3.28 การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโครงข่าย N ชั้น 49
3.29 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น 53
4.1 ระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ 55
4.2 แผนผังการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ 56
4.3 การเปรียบเทียบการหาเส้นขอบในแต่ละวิธี
(ก) ภาพต้นแบบ 57
(ข) ภาพเส้นขอบวัตถุ 57
(ค) ภาพเส้นขอบวัตถุแนวตั้ง 57
(ง) ภาพเส้นขอบวัตถุแนวนอน 57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.4 การใช้กระบวนการ CNP
(ก) ก่อนใช้กระบวนการ CNP 58
(ข) หลังใช้กระบวนการ CNP 58
4.5 การใช้กระบวนการรูปร่างลักษณะ
(ก) ค่า se เท่ากับ 15 × 30 59
(ข) ค่า se เท่ากับ 30 × 35 59
(ค) ค่า se เท่ากับ 35 × 40 59
(ง) ค่า se เท่ากับ 40 × 45 59
4.6 ตัวอย่างการค้าหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์
(ก) ภาพการระบุตำแหน่งป้ายทะเบียน 61
(ข) ผลลัพธ์การหาตำแหน่งป้ายทะเบียน 61
4.7 การหาค่าความแปรปรวน 62
4.8 สัญญาณของข้อมูล เมื่อผ่านการทำ Threshold 63
4.9 ผลลัพธ์ของการคัดแยกตัวอักษร
(ก) บรรทัดบน 63
(ข) บรรทัดล่าง 63
4.10 แผนผังการใช้การแปลงเวฟเล็ตในการดึงคุณลักษณะพิเศษ 66
4.11 การแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ
(ก) ตัวอักษร 66
(ข) ชื่อจังหวัด 66
4.12 ตัวอย่างการดึงคุณลักษณะพิเศษ กรณีตัวเลข “ศูนย์”
(ก) สัญญาณที่ได้จากการแปลงเป็นเวกเตอร์ 67
(ข) สัญญาณที่ได้จากการใช้เวฟเล็ต 68
(ค) สัญญาณที่ได้จากการใช้หลักสถิติ 68
(ง) สัญญาณที่ได้จาก 2 วิธี 68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.13 ตัวอย่างการดึงคุณลักษณะพิเศษ กรณีชื่อจังหวัด “นครราชสีมา”
(ก) สัญญาณที่ได้จากการแปลงเป็นเวกเตอร์ 69
(ข) สัญญาณที่ได้จากการใช้เวฟเล็ต 69
(ค) สัญญาณที่ได้จากการใช้หลักสถิติ 69
(ง) สัญญาณที่ได้จาก 2 วิธี 70
4.14 การแบ่งเครือข่ายการรู้จำ 71
4.15 การรู้จำตัวอักษร ตัวเลขและจังหวัด 71
5.1 แบบจำลองการเก็บข้อมูลภาพ
(ก) ภาพจากด้านบน มุมตามแนวระดับ (

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

จ.1 หน้าต่างของโปรแกรมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ 142
จ.2 การเลือกรูปภาพต้นแบบ 143
จ.3 แสดงภาพต้นแบบ 143
จ.4 ผลการทำ License plate detection 144
จ.5 ผลการ Character Segmentation 144
จ.6 ผลการ Character Recognition 145

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$f(x,y)$	=	ค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x,y)
$i(x,y)$	=	องค์ประกอบความสว่าง (Illumination component)
$r(x,y)$	=	องค์ประกอบการสะท้อนของแสง (Reflectance component)
l_1	=	ระดับเทา (Gray level)
L_{min}	=	ค่าต่ำสุดของระดับเทา
L_{max}	=	ค่าสูงสุดของระดับเทา
H	=	ค่าสีสัน (Pure color)
S	=	ความอิ่มตัวสี(Saturation)
V	=	ค่าที่ใช้บอกระดับความสว่างของภาพ
T	=	ฟังก์ชันของเกณฑ์ของขีดเริ่มเปลี่ยน
t_i, t_j	=	ค่าเวลาที่ i และ j
$f(t)$	=	สัญญาณ ณ เวลา t
l, k	=	จำนวนเต็มใดๆ
a_l	=	สัมประสิทธิ์จำนวนจริง
$\psi_l(t)$	=	ฟังก์ชันพื้นฐานของ $f(t)$
$G_{a,b}(\omega)$	=	การแปลงกาบอร์
$g_a(t)$	=	ฟังก์ชันเกาเซียน
a	=	พารามิเตอร์การสเกล
b	=	พารามิเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง
$W(a,b)$	=	ฟังก์ชันเวฟเล็ต
$h(k)$	=	ตัวกรองความถี่ต่ำ
$g(k)$	=	ตัวกรองความถี่สูง
cA_j	=	สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของความถี่ต่ำ
cD_j	=	สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของความถี่สูง
α	=	ค่าคงที่การเรียนรู้
$\mathbf{W}$	=	เมตริกซ์น้ำหนักประสาท

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีของหน่วยประมวลผลกลางของเครื่องคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณภาพดิจิตอลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ประกอบกับแนวโน้มของราคาที่ลดลง ทำให้การพัฒนาระบบงานที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลสัญญาณภาพดิจิตอล (Digital Image Processing: DIP) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เทคโนโลยี DIP ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่าง ๆ เช่น การค้นหาและรู้จำใบหน้าของบุคคล การคัดแยกมือ การค้นหารถยนต์ การรู้จำเสียงพูด การรู้จำลายมือ การรู้จำตัวอักษรและวัตถุต่าง ๆ เป็นต้น งานการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ และรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติก็เป็นอีกงานหนึ่งที่ได้นำเทคโนโลยีของ DIP มาประยุกต์ใช้ และก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งในสภาวะปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่ารถยนต์ได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมาก

ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ก็จะมีจำนวนมากขึ้นตามจำนวนของรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาระบบควบคุมการจราจร (Traffic Control System) ปัญหาระบบการเก็บค่าจอดรถยนต์ ปัญหาระบบติดตามรถยนต์ที่สูญหาย รวมทั้งปัญหาระบบควบคุมรถยนต์ที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้าสู่พื้นที่อาคาร เป็นต้น ระบบต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้น โดยส่วนใหญ่แล้วถูกควบคุมโดยคน ซึ่งมักจะเกิดความล่าช้า และความผิดพลาดเกิดขึ้นบ่อยครั้ง เช่น ปัญหาระบบควบคุมการเข้า-ออกรถยนต์ ในบางสถานที่จำเป็นต้องมีการกำหนดตราสัญลักษณ์แสดงการเข้า - ออก แต่หากสัญลักษณ์นั้นถูกปลอมแปลงหรือถูกขโมยจากผู้อื่นบ่อยครั้งที่ผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบจะประมาทเลินเล่อ ไม่เคร่งครัดในการตรวจสอบหรือการรู้เห็นเป็นใจของเจ้าหน้าที่ ปัญหาระบบการเก็บค่าจอดรถยนต์ เช่น การเข้าจอดรถยนต์ตามศูนย์การค้าต้องมีการเก็บค่าจอดรถ เจ้าหน้าที่จะทำการออกบัตรอนุญาตให้จอดรถโดยการจดบันทึกป้ายทะเบียน ยี่ห้อ วัน และเวลาที่เข้าจอด เมื่อถึงเวลานำรถยนต์ออกจากศูนย์การค้าจะต้องให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องว่าเป็นข้อมูลของรถยนต์คันนั้นจริงหรือไม่ ข้อจำกัดของการทำงานของคนคือการอ่อนล้าจากการทำงานเป็นเวลานาน ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดหรือไม่มีการตรวจสอบที่แท้จริงและปัญหาระบบการป้องกันอาชญากรรม เช่น ในปัจจุบันรถยนต์มีจำนวนมากขึ้น ซึ่งถ้าให้เจ้าหน้าที่ทำหน้าที่จดป้ายทะเบียนอาจเกิดอาการอ่อนล้า เนื่องจากการทำงานเป็นเวลานานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ เป็นต้น แม้ว่าปัจจุบันจะมีการ

ปรับปรุงระบบรักษาความปลอดภัยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้การติดตั้งกล้องวงจรปิด แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการทำงานของคนได้ อีกทั้งการใช้กล้องวงจรปิดไม่สามารถเก็บข้อมูลไว้ในระยะเวลานาน เนื่องจากราคาสูงจึงมีการนำเทปหรือสื่อที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนำมาใช้อีกครั้งทำให้ข้อมูลบางส่วนนั้นหายไป

จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีแนวคิดการเกี่ยวกับการใช้คอมพิวเตอร์มาทำงานแทนเพื่อให้เกิดความแม่นยำ รวดเร็ว ถูกต้องรวมถึงมีประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือมากกว่า และยังสามารถทำงานร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการพัฒนาอัลกอริทึมที่ช่วยรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยีของ DIP ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อให้ระบบที่นำเสนอมีความฉลาดมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1) เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์

2) เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการคัดแยกตัวอักษรของป้ายทะเบียนรถยนต์

3) เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการรู้จำตัวอักษรของป้ายทะเบียนรถยนต์

4) เพื่อพัฒนาโปรแกรมต้นแบบที่สามารถรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยใช้วิธีการที่นำเสนอ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1) ภาพที่นำมาทดสอบต้องเป็นภาพที่สามารถอ่านได้ด้วยสายตาปกติ ซึ่งอย่างน้อยสามารถมองเห็นตัวเลข และตัวอักษรในภาพได้อย่างชัดเจนและครบถ้วน โดยในภาพมี 1 ป้ายทะเบียนเท่านั้น

2) ภาพแผ่นป้ายทะเบียนต้องมีรูปแบบตรงตามมาตรฐานที่ถูกกำหนด โดยกฎกระทรวงกำหนดลักษณะ ขนาด และสีของแผ่นป้ายทะเบียนรถ พ.ศ. 2547 ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ประเภท 1 รถยนต์ประเภท 2 และรถยนต์ประเภท 3

3) การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นการรู้จำอักษรแบบออฟไลน์ โดยภาพที่นำมาวิเคราะห์เป็นภาพจากกล้องดิจิตอลมีขนาด 480 × 640 จุดภาพ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1) พัฒนาระบบการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ ด้วยการหาเส้นขอบทางแนวตั้ง (Vertical Edge Detection) และกระบวนการรูปร่างลักษณะ (Morphological Operation) ร่วมกับคุณลักษณะพิเศษของป้ายทะเบียนรถยนต์

2) พัฒนาระบบการคัดแยกตัวอักษรของป้ายทะเบียนรถยนต์ ด้วยการหาเส้นขอบทางแนวตั้งและกระบวนการรูปร่างลักษณะร่วมกับคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร

3) พัฒนาระบบการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต (Discrete Wavelet Transform) และเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (Probabilistic Neural Network)

4) เขียนโปรแกรมจากอัลกอริทึมที่พัฒนามาแล้ว ด้วยการใช้โปรแกรม MATLAB และ Visual C++

5) จำนวนชื่อจังหวัดของป้ายทะเบียนรถยนต์ที่นำมาทำการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 20 จังหวัด

6) เปรียบเทียบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นด้วยเครือข่ายประสาทเทียมชนิดอื่น

7) ศึกษาหาช่วงของมุมที่ทำระหว่างกล้อง และรถยนต์ที่โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

8) พัฒนาอัลกอริทึมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ให้มีประสิทธิภาพมากกว่า 80 %

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้วิธีการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตร่วมกับเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น ซึ่งจะสามารถนำไปพัฒนาระบบที่ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

2) ได้ซอฟท์แวร์ สำหรับการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพ

3) ได้โปรแกรมต้นแบบที่สามารถนำพัฒนาใช้ในงานต่าง ๆ เช่น ระบบตรวจจับการฝ่าฝืนจราจร ระบบเก็บเงินอัตโนมัติและระบบป้องกันอาชญากรรมรถยนต์ เป็นต้น

1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท และ 5 ภาคผนวก

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมทั้งแนะนำเนื้อหาพอสังเขปที่เป็นองค์ประกอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงรูปแบบของป้ายทะเบียน ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวถึงประวัติการวิจัยที่ผ่านมาในเรื่องการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้ง 3 ส่วน คือ การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรและการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนางานวิจัยที่ผ่านมาและสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย การประมวลผลภาพการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งเป็นเครื่องมือในการหาคุณลักษณะพิเศษและเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์

บทที่ 4 กล่าวถึงระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้ง 3 ส่วน ซึ่งอธิบายถึงวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้อย่างละเอียด ไม่ว่าจะเป็นการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษร และการรู้จำตัวอักษร

บทที่ 5 กล่าวถึงการทดสอบระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ในสภาวะแสงสว่าง ช่วงของมุม และขนาดของป้ายทะเบียนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นจุดเด่นของวิธีการที่นำเสนอ รวมถึงผลกระทบของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และความรวดเร็วในการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์อย่างละเอียดและจะแสดงให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของการรู้จำป้ายทะเบียนแบบต่าง ๆ ในรูปของตารางและกราฟแสดงผลการทดสอบ

บทที่ 6 เป็นการสรุปและให้ข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก. กฎกระทรวง กำหนดลักษณะ ขนาดและสีของแผ่นป้ายทะเบียนรถ พ.ศ. 2547

ภาคผนวก ข. ภาพข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น

ภาคผนวก ค. ภาพผลการทดสอบระบบ

ภาคผนวก ง. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

ภาคผนวก จ. โปรแกรมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ พัฒนาอัลกอริทึมในการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติทั้งการค้นหาส่วนของแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรบนแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้งบรรทัดบนและบรรทัดล่างร่วมถึงการรู้จำตัวอักษรโดยใช้เทคนิคของ DIP และ AI ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัย ระเบียบวิธีที่เคยมีการใช้งานมาก่อน ผลการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณะนักวิจัยตั้งแต่อดีตเป็นต้นมา โดยใช้ฐานข้อมูลที่เป็นแหล่งสะสมรายงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอันได้แก่ฐานข้อมูลจาก IEEE IEE Scopus และ Science Direct เป็นต้น ผลการสำรวจสืบค้นงานวิจัยดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

2.2 รูปแบบป้ายทะเบียนรถยนต์

วิทยานิพนธ์นี้ใช้ภาพตัวอย่างป้ายทะเบียนรถยนต์ของประเทศไทยจริงที่ใช้ในปัจจุบัน โดยมีรูปแบบตรงตามกฎกระทรวง กำหนดลักษณะ ขนาดและสีของแผ่นป้ายทะเบียนรถ พ.ศ. 2547 โดยที่ป้ายทะเบียนรถยนต์จะประกอบไปด้วย 2 บรรทัด คือ บรรทัดบนและบรรทัดล่างดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์

สำหรับรูปแบบของป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นมีลักษณะเฉพาะดังนี้

1) ป้ายทะเบียนรถยนต์มีขนาด 15 × 34 ซม.

2) ป้ายทะเบียนรถยนต์มี 2 บรรทัด บรรทัดแรกเป็นตัวอักษรประจำหมวดที่หนึ่ง ตัวอักษรประจำหมวดที่สองและหมายเลขทะเบียน ส่วนบรรทัดที่สองเป็นตัวอักษรบอกชื่อจังหวัดยกเว้นอำเภอเบตงจังหวัดยะลาให้ใช้คำว่า เบตง

3) ลักษณะของตัวอักษรประจำหมวดและหมายเลขทะเบียนกว้างไม่น้อยกว่า 3.5 ซม. สูงไม่น้อยกว่า 6.2 ซม. ตัวอักษรบอกชื่อจังหวัดใช้ตัวเต็ม กว้างไม่น้อยกว่า 1.5 ซม. สูงไม่น้อยกว่า 2 ซม. และขอบแผ่นป้ายอัดเป็นรอยดุน

4) ตัวอักษรประจำหมวด ใช้ตัวอักษรไทยมาตรฐานโดยตัวแรกเป็นตัวบอกหมวดประเภทรถและตัวที่ 2 เป็นตัววิ่ง ซึ่งมีจำนวน 39 ตัว

5) หมายเลขทะเบียนรถยนต์ใช้ตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 9999 ในแต่ละหมวด

6) ในแผ่นป้ายมีเครื่องหมายเป็นตัวอักษร ขส. อยู่ภายในวงกลม อัดเป็นรอยดุนที่มุมล่างขวาของแผ่นป้าย สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้

ส่วนสีพื้นหลังของป้ายทะเบียน สีตัวอักษร ตัวเลขและสีขอบบนของแผ่นป้ายจะมีรูปแบบแตกต่างกันตามประเภทรถดังนี้

ตารางที่ 2.1 ขนาดตัวอักษร สีพื้นหลังและตัวอักษรของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ

ประเภทรถยนต์	ลักษณะของป้ายทะเบียน	ขนาด (ซม.)	พื้นหลัง	ตัวอักษร ตัวเลข และขอบ
1) รถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด		15 × 34	เหลือง	แดง
2) รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน		15 × 34	เหลือง	ดำ
3) รถยนต์รับจ้างสามล้อ		15 × 34	เหลือง	เขียว

ตารางที่ 2.1 ขนาดตัวอักษร สีพื้นหลังและตัวอักษรของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ (ต่อ)

ประเภทรถยนต์	ลักษณะของป้ายทะเบียน	ขนาด (ซม.)	พื้นหลัง	ตัวอักษร ตัวเลข และขอบ
4) รถยนต์ 4 ล้อเล็กรับจ้าง		15 × 34	เหลือง	น้ำเงิน
5) รถยนต์บริการให้เช่ารถยนต์บริการธุรกิจ รถยนต์บริการทัศนาจร		15 × 34	เขียว	ดำ
6) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน		15 × 34	ขาว	น้ำเงิน
7) รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล		15 × 34	ขาว	เขียว
8) รถยนต์สี่ล้อส่วนบุคคล		15 × 34	ขาว	ดำ
9) รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล		15 × 34	ขาว	เขียว
10)รถพ่วง รถบดถนน รถแทรกเตอร์		15 × 34	ส้ม	ดำ

ตารางที่ 2.1 ขนาดตัวอักษร สีพื้นหลังและตัวอักษรของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ (ต่อ)

ประเภทรถยนต์	ลักษณะของป้ายทะเบียน	ขนาด (ซม.)	พื้นหลัง	ตัวอักษร ตัวเลข และขอบ
11) รถยนต์ของบุคคลในคณะผู้แทนทางการฑูต		11 × 38.7	ขาว	ดำ
12) รถยนต์ของบุคคลในหน่วยงานพิเศษของสถานฑูตคณะผู้แทนของกงสุล		11 × 38.7	ฟ้า	ขาว

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์แบบอัตโนมัติ ซึ่งงานสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน งานทั้ง 3 ส่วนนี้ ได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและเพื่อลดข้อจำกัดด้านต่าง ๆ ของอัลกอริทึม

2.3.1 งานวิจัยการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นมีอยู่มากมายหลายวิธี ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นดังตารางที่ 2.2 โดยการจัดลำดับเรียบเรียงจากงานที่มีผู้ได้ดำเนินการก่อนไปสู่งานที่ใหม่กว่าได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2001	Jianlong Zhu and Yannan Zhao	ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตและการหาเส้นขอบหลายระดับมาเป็นตัวกำหนดบริเวณที่น่าจะเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ หลังจากนั้นใช้วิธีแผ่นแบบ (Template Matching Method) มาเป็นตัวระบุตำแหน่งที่แน่นอนของป้ายทะเบียน

ตารางที่ 2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2003	Fatih Kahram, Binnur Kurt and Muhittin Gokmen	ใช้ตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter) ในการสร้างบริเวณที่คาดว่าจะเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ หลังจากนั้นใช้เวกเตอร์ควอนไทเซชัน (Vector Quantization) ในการระบุตำแหน่งของป้ายทะเบียน
2004	Bai Hongliang and Liu Changping	ใช้หลักการสถิติของเส้นขอบ (Edge Statistics) และกระบวนการรูปร่างลักษณะ หลังจากนั้นใช้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบการเชื่อมต่อ (Connected Component Analysis) และใช้คุณสมบัติสมมาตรมาเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของป้ายทะเบียน
2004	Chung - Wei Liang and Po - Yueh Chen	เสนอการหาตัวหนังสือ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต กระบวนการรูปร่างลักษณะและแอนลอจิก (Logic AND)
2004	Balazs Enyedi, Lajos Konyha, Casba Szombathy and Kalman Fazekas	ใช้การแปลงเฮาท์ (Hough Transform) วิธีการโปรเจคชัน ตัวกรองท็อป - แฮท (Top - Hat Filter) และตัวกรองบอททอม - แฮท (Bottom - Hat Filter) เพื่อหาบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งของป้ายทะเบียน
2004	Shyang - Lih Chang, Li - Shien Chen, Yun - Chung Chung and Sei - Wan Chen	ใช้การแปลงภาพสีในระนาบ RGB ไปอยู่ระนาบ HIS และทำการหาเส้นขอบของวัตถุแล้วใช้ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) ในการสร้างบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งของป้ายทะเบียน
2005	Serkan Ozbay and Ergun Ercelebi	ใช้ Smearing Algorithm ในการสร้างบริเวณที่คาดว่าจะเป็นป้ายทะเบียน แล้วใช้กระบวนการขยายเข้ามาช่วยในการกำหนดแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์
2005	Premnath Dubey	เสนอเทคนิค Accumulative Intensity Morphing (AIM) โดยทำการหาเส้นขอบทางแนวตั้งต่อด้วยกระบวนการรูปร่างลักษณะ แล้วนำเทคนิค AIM มาใช้ทั้งตามแนวตั้งและแนวนอน เพื่อมากำหนดบริเวณที่น่าจะเป็นตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์

ตารางที่ 2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2005	Danian Zheng, Yannan Zhao and Jiaxin Wang	ใช้การหาเส้นขอบทางแนวตั้งแล้วนำเสนอเทคนิค Concerned Neighborhood Pixel (CNP) เพื่อมากำจัดส่วนที่เป็นพื้นหลังและสัญญาณรบกวนออก แล้วใช้กระบวนการคอนโวลูชันมาเป็นตัวช่วยกำหนดตำแหน่งของป้ายทะเบียน วิธีการนี้ต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน อันเป็นผลมาจากกระบวนการคอนโวลูชัน
2005	Feng Yang and Zheng Ma	ใช้การหาเกรเดียนต์แนวตั้ง (Vertical Gradient) ต่อด้วยการหาความแปรปรวนของข้อมูลในแนวแกนนอน พร้อมทั้งใช้ตัวกรองเกาส์ (Gauss Filter) ลดสัญญาณรบกวนของข้อมูลแล้วพิจารณาหาบริเวณที่น่าจะเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยพิจารณากราฟของความแปรปรวนของข้อมูลในแนวแกนนอน
2005	Ching - Tang Hsieh, Yu - Shan Juan and Kuo - Ming Hung	ใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต เพื่อลดขนาดของภาพเป็น 1/2 เท่า แล้วใช้ส่วนที่เป็นแบนด์ย่อย LH หาเส้นอ้างอิง เพื่อทำการลดขนาดของภาพที่ใช้ในการประมวลผล แล้วใช้คุณสมบัติความสมมาตร (Geometrical Property) มาเป็นตัวกำหนดตำแหน่งป้ายทะเบียน ข้อเสียของวิธีนี้ คือ เส้นอ้างอิงมีผลต่อระบบมากเกินไป
2005	Suryanarayana, Suman K. Mitra, Asim Banerjee and Anil K. Roy	ใช้การหาเส้นขอบแนวตั้งและกระบวนการรูปร่างลักษณะเพื่อมากำหนดบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งของป้ายทะเบียน แล้วใช้คุณสมบัติความสมมาตร (Geometrical Property) มาเป็นตัวกำหนดตำแหน่งป้ายทะเบียน
2005	XU Hong - ke, YU Fu - hua, JIAO Jia - hua and SONG Huan - sheng	ใช้การแปลงภาพสีจากระนาบ RGB ไปเป็นระนาบ YIQ แล้วค่อยแปลงภาพให้เป็นภาพระดับเทา พร้อมทั้งลดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองค่ากลาง (Median Filter) หลังจากนั้นใช้กระบวนการเกรเดียนต์ (Gradient Operation) เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพสองระดับ แล้วใช้กระบวนการที่เรียกว่า Transition Point Filter เพื่อมาขจัดส่วนที่เป็นพื้นหลังและสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นใช้การโปรเจคชันกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนของป้ายทะเบียน วิธีนี้จะมีกระบวนการที่ซับซ้อน

ตารางที่ 2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2006	Christos Nikolaos Anagnostopoulos, Anagnostopoulos, I. E., Loumos, V., and Kayafas, E.	นำเสนอวิธีการ Sliding Concentric Windows (SCWs) ซึ่งเป็นการค้นหาป้ายทะเบียน โดยการใช้วินโดส์ 2 วินโดส์ สแกนไปหมดทั้งภาพ แล้วหาอัตราส่วนของระหว่างค่าเฉลี่ยหรือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองวินโดส์ เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนและนำไปกำหนดบริเวณที่คาดว่าจะเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์แล้วใช้ Aspect Ratio Orientation และ Euler Number เป็นตัวกำหนดตำแหน่งป้ายทะเบียน
2006	Wu, Chen, Ruei - Jan and Day - Fann Shen	ใช้ตัวกรองท็อป - แฮทและกระบวนการรูปร่างลักษณะ เพื่อสร้างบริเวณที่น่าจะเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ แล้วใช้คุณสมบัติความสมมาตรมาช่วยกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนของป้ายทะเบียน
2006	Hamid Mahini, Shohreh Kasei, Faezeh Dorri and Fatemeh Dorri	นำเสนอหลักการของกระบวนรูปร่างลักษณะ เพื่อมาเป็นเครื่องมือในการระบุตำแหน่งของป้ายทะเบียน สำหรับการกำหนดตำแหน่งป้ายทะเบียนใช้คุณสมบัติความสมมาตรของป้ายทะเบียนและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis)

จากการสำรวจวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ สามารถช่วยให้ผู้ที่จะดำเนินการศึกษาหรือพัฒนาเกี่ยวกับงานวิจัยในส่วนนี้ พอมองภาพออกอย่างกว้าง ๆ ว่ามีคณะนักวิจัยใดได้ศึกษาสิ่งใดไปแล้วบ้าง แต่ก็ยังไม่สามารถแยกเป็นหมวดหมู่ตามวิธีการดำเนินงานศึกษาได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในส่วนถัดไปนี้ จึงได้ทำการเรียบเรียงและคัดสรรงานวิจัยหลัก ๆ ที่สำคัญและมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดจากหลาย ๆ ผลงานที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.2 โดยจะแสดงถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี

โดยใช้หลักการทางสถิติและกระบวนการรูปร่างลักษณะ ดังเช่นงานวิจัยของ P.V. Suryanarayana, S. K. Mitra, A. Banerjee, and A. K. Roy (2005) และงานวิจัยของ Hamid Mahini, Shohreh Kasei, Faezeh Dorri and Fatemeh Dorri (2005) โดยกระบวนการจะเริ่มจากการหาเส้นขอบแนวตั้ง แล้วใช้กระบวนการทางสถิตมากำจัดหรือมาปรับปรุงภาพเพื่อให้เหมาะกับวิธีการรูปร่างลักษณะ โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องสูงและใช้เวลาในการคำนวณน้อย แต่ในกระบวนการนี้ต้องมีการกำหนดสมาชิกโครงสร้าง (Structure Element: SE) ซึ่งจะสัมพันธ์กับขนาดของความสูงและความกว้างของป้ายทะเบียนรถยนต์ นอกจากนี้การใช้การหาเส้นขอบของวัตถุจะมีความไว (Sensitivity) ต่อ

ความเข้มแสง (Intensity) ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ เมื่อทั้งขนาดของป้ายทะเบียนและความเข้มแสงเปลี่ยนไป

การใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต ดังเช่นงานวิจัยของ Ching - Tang Hsieh, Yu - Shan Juan and Kuo - Ming Hung (2005) และงานวิจัยของ Chung - Wei Liang and Po - Yueh Chen (2004) ข้อดีของวิธีการนี้คือ สามารถค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนได้มากกว่า 1 ป้ายทะเบียนตามการแปลงเวฟเล็ตในแต่ละขนาด (Orientations) แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ เมื่อภาพถ่ายอยู่ไกลหรือใกล้มากเกินจะทำให้ระบบผิดพลาดและการหาเส้นอ้างอิง (Line Reference) จึงมีผลต่อความถูกต้องระบบค่อนข้างสูง

การใช้แผ่นแบบ (Template Matching) หรือ แผ่นแบบเปลี่ยนรูปได้ (Deformable Template Matching) ดังเช่นงานวิจัยของ Jianlong Zhu and Yannan Zhao (2004) การใช้แผ่นแบบจะเป็นการกระทำอยู่ในแกน x - y ซึ่งให้ผลลัพธ์ความถูกต้องสูง แต่ผลลัพธ์ความถูกต้องนั้นจะลดลง ถ้าภาพที่ได้มีสัญญาณรบกวนและเนื่องจากการทำแผ่นแบบเป็นการทำในแกน x - y ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก

การใช้วิธีการ Sliding Concentric Window (SCWs) ดังเช่นงานวิจัยของ Christos Nikolaos Anagnostopoulos, I. E., Anagnostopoulos, V. Loumos, and E. Kayafas (2006) งานวิจัยนี้สามารถลดปัญหาเรื่องแสงได้ในระดับหนึ่ง โดยการสร้างวินโดส์ 2 วินโดส์ สแกนไปทั้งภาพแล้วใช้ Aspect Ratio Orientation และ Euler Number มาเป็นตัวตรวจสอบความเป็นป้ายทะเบียน อย่างที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นว่างานวิจัยนี้ลดปัญหาเรื่องแสง แต่ก็ต้องเสียเวลาไปกับการคำนวณด้วยเช่นกัน

การใช้ Fuzzy Logic ดังเช่นงานวิจัยของ Shyang - Lih Chang, Li - Shien Chen, Yun - Chung Chung และ Sei - Wan Chen (2004) นำเสนอการค้นหาแผ่นป้ายทะเบียน โดยใช้ภาพสีในระนาบ HSI ร่วมกับการหาเส้นขอบของวัตถุ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องสูง แต่ต้องใช้การคำนวณค่อนข้างซับซ้อนทำให้ต้องเสียเวลาในการประมวลผล

การใช้การแปลงเฮาท์ (Hough Transform) ดังเช่นงานวิจัยของ Balazs Enyedi, Lajos Konyha, Casba Szombathy and Kalman Fazekas (2004) ใช้การแปลงเฮาท์ ค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องสูงและเหมาะกับการใช้แบบทันกาล (Real Time) แต่วิธีนี้จะมีความไวต่อขอบของป้ายทะเบียนทั้งในด้านตามแนวนอน (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) ซึ่งขึ้นอยู่กับการหาเส้นขอบ

การใช้ตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter) ดังเช่นงานวิจัยของ Fatih Kahram, Binnur Kurt and Muhittin Gokmen (2003) วิธีนี้สามารถหาป้ายทะเบียนได้ทุกขนาดและทุกทิศทาง แต่มีการใช้การคำนวณที่ซับซ้อนและต้องเสียเวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน

จากการสำรวจวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์สามารถพบปัญหาของแต่ละวิธีที่มีลักษณะที่คล้ายกันคือ ปัญหาของการเปลี่ยนแปลงขนาดของป้ายทะเบียนรถยนต์สามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยใช้การสแกนภาพไปทีละ 1 จุดภาพแล้วทำการปรับขนาดของภาพตามที่ต้องการแล้วส่งให้เครื่องมือทางปัญญาประดิษฐ์ทำการคัดแยก แต่ก็จะมีปัญหาตามมาคือ จะใช้เวลาในการประมวลผลนาน เนื่องจากเป็นการสแกนทีละ 1 จุดภาพนั้นเอง อีกวิธีหนึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย เนื่องจากมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในอัลกอริทึม แต่วิธีนี้ก็จะมีความถูกต้องลดลง เมื่อกรณีที่ขนาดของป้ายทะเบียนมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวทางการพัฒนาการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยการปรับปรุงให้อัลกอริทึมสามารถค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์ในทุกขนาด โดยที่ข้อมูลที่ได้นั้นยังสามารถนำไปทำการรู้จำตัวอักษรต่อไปได้ ในส่วนของเวลาในการประมวลผลนั้นจะทำการปรับปรุงเวลาให้การประมวลผลนั้นใช้เวลาน้อยที่สุด โดยที่อัลกอริทึมยังสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการคัดแยกตัวอักษร

สำหรับการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยกตัวตัวอักษรนั้น ผู้วิจัยจะทำการสำรวจตั้งแต่การคัดแยกตัวอักษรจากภาพทั่วไปและจากป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งมีอยู่มากมายหลายวิธีสามารถสรุปได้เป็นดังตารางที่ 2.3 โดยการจัดลำดับเรียบเรียงจากงานที่มีผู้ได้ดำเนินการก่อนไปสู่งานที่ใหม่กว่าได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการคัดแยกตัวอักษร

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1995	Yi Lu	ได้แสดงคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรไม่ว่าจะเป็น ระยะความสม่ำเสมอของการเว้นช่วงตัวอักษร ความไม่ซ้อนทับกันของตัวอักษรอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงและขอบเขตของบรรทัดบนและบรรทัดล่าง
2000	Jong - Eun, Dong - Joong, Mun - HO Jeomg and Wang - Heon Lee	ใช้การหาเส้นขอบ (Edge Detection) มาเป็นกระบวนการเริ่มต้นเพื่อกำหนดตัวอักษรอย่างคราว ๆ ก่อนที่จะใช้ไดนามิกโปรแกรม (Dynamic Programming) ซึ่งทำการทดสอบอัลกอริทึมภายใต้สภาพแสงที่แตกต่างกัน แต่เป็นการคัดแยกตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เกิดจากการเครื่องจักร ตัวอักษรจะมีลักษณะที่มีเป็นรอยลึกลงไป

ตารางที่ 2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการคัดแยกตัวอักษร (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2003	สุกัญญา จังเจริญจิตต์กุล	ใช้วิธีการโปรเจคชันในการแยกบรรทัดล่างและบรรทัดบน รวมทั้งการคัดแยกตัวอักษร และได้นำเสนอวิธีการกำจัดหมุดที่ติดอยู่กับป้ายทะเบียนและวิธีการปรับความเอียงของตัวอักษร
2003	Yungang Zhang and Chang Zhang	ได้นำเอา Object Enhancement Algorithm มาปรับปรุงคุณภาพของภาพแล้วนำการแปลงเฮาท์ (Hough Transform) ในการหาขอบเขตของตัวอักษรในแนวนอน ทั้งด้านบน - ล่างของตัวอักษร แล้วใช้หลักการการโปรเจคชันในการหาขอบในแนวตั้งของตัวอักษร
2005	Serkan Ozbay and Ergun Erecebi	นำเสนอการปรับปรุงคุณภาพของป้ายทะเบียนรถยนต์ ด้วยการกำจัดสัญญาณรบกวนและพื้นหลังทิ้งไป แล้วแปลงภาพให้เป็นภาพสองระดับ หลังจากนั้นใช้กระบวนการการขยาย (Dilation Operation) เพื่อให้ตัวอักษรแต่ละตัวเชื่อมกันหมดทุกส่วนพร้อมกับใช้วิธีโปรเจคชันทางแนวตั้งและแนวนอนเพื่อคัดแยกตัวอักษรอีกครั้งหนึ่ง
2005	Yusuf A Syed and Sarfraz	นำเสนอการใช้ฟัซซี่ ซี เฉลี่ย (Fuzzy C Means) พร้อมทั้งใช้การตรวจสอบความเป็นตัวอักษรด้วยค่าจุดศูนย์ถ่วง ความสูงและความกว้างของบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตัวอักษร
2005	ราตรี จันทนะทรัพย์	ทำการแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่าง โดยการทำโปรเจคชันด้วยผลรวมของพิกเซลในแนวนอน ในส่วนของการคัดแยกนั้นใช้การทำโปรเจคชันด้วยผลรวมทางแนวตั้ง
2006	Christos Nikolaos E. Anagnostopoulos	ใช้วิธีการ Sliding Concentric Windows (SCWs) แล้วใช้อัตราส่วนของความสูงต่อความกว้างของอักษรมาเป็นตัวกำหนดตัวอักษร
2006	Feng Yang, Zheng Ma and Mei Xie	นำหลักการของ Contrast - Stretching Transform มาเป็นเครื่องมือปรับปรุงคุณภาพของภาพ แล้วใช้การแปลงลาปาเซียน (Laplacian Transform) หาเส้นขอบของวัตถุในภาพ หลังจากนั้นใช้หลักการของ Region Growing Algorithm เพื่อระบุบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตัวอักษร

ตารางที่ 2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการคัดแยกตัวอักษร (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2006	Celine Mancas - Thillou and Bernard Gosselin	นำเสนอการใช้ตัวกรองล็อก - กาบอร์ (Log - Gabor Filters) ในการคัดแยกตัวอักษร พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นที่มีคนเคยทำมาแล้ว

จากการสำรวจวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยกตัวอักษรนั้น ทำให้ทราบว่าอัลกอริทึมส่วนใหญ่ยังมีการใช้ความรู้เรื่องของขนาดตัวอักษรทั้งความสูง ความกว้างของตัวอักษร ซึ่งแต่ละวิธีนั้นให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องค่อนข้างสูง แต่งานวิจัยในส่วนนี้ โดยส่วนใหญ่แล้วเป็นงานวิจัยของนักวิจัยต่างประเทศ ซึ่งบางอัลกอริทึมไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับตัวอักษรไทยได้ ซึ่งสามารถสรุปไว้ในตารางที่ 2.3 ลำดับต่อไปจะแสดงข้อดีและข้อเสียในแต่ละวิธีตามที่ได้สำรวจวรรณกรรมงานวิจัยของนักวิจัยท่านอื่น

งานวิจัยของ Jong-Eun, Dong-Joong, Mun-HO Jeomg and Wang-Heon Lee (2000) เป็นงานวิจัยจากประเทศเกาหลี ซึ่งเป็นการคัดแยกตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เกิดจากการเครื่องจักร ตัวอักษรจะมีลักษณะที่มีเป็นรอยลึกลงไป งานวิจัยนี้ใช้การหาเส้นขอบของวัตถุแล้วใช้วิธีการโปรเจคชันทางแนวตั้งและแนวนอน เพื่อมากำหนดตำแหน่งหรือขอบเขตของตัวอักษรอย่างคราว ๆ แล้วค่อยส่งให้ Dynamic Programming เป็นตัวระบุตำแหน่งที่แน่นอนของตัวอักษร ซึ่งวิธีนี้จะให้ผลลัพธ์ที่คงทนและยังได้ผลเฉลยเป็นแบบ Global Minimum แต่เนื่องจากการใช้การค้นหาด้วย Dynamic Programming นั้นอาจจะต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน

งานวิจัยของ Serkan Ozbay and Ergun Erecebi (2005) ทำการปรับปรุงคุณภาพของป้ายทะเบียนด้วยการกำจัดสัญญาณรบกวนและส่วนที่เป็นพื้นหลังทิ้งไป แล้วแปลงภาพให้เป็นภาพสองระดับ (Binary Image) หลังจากนั้นใช้กระบวนการขยายเพื่อให้ตัวอักษรแต่ละตัวเชื่อมกันหมดทุกส่วนพร้อมกับวิธีโปรเจคชันในทางแนวตั้งและแนวนอนเพื่อคัดแยกตัวอักษรอีกครั้งหนึ่ง สำหรับวิธีการนี้จะให้การคัดแยกตัวอักษรที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย เนื่องจากมีการกำหนดสมาชิกโครงสร้างของกระบวนการขยาย ซึ่งถือเป็นข้อเสียของวิธีการนี้

งานวิจัยของ สุกัญญา จังเจริญจิตต์กุล (2003) ใช้วิธีการโปรเจคชันทั้งการแยกบรรทัดล่างออกจากบรรทัดบนรวมทั้งการคัดแยกตัวอักษรและได้นำเสนอวิธีการกำจัดหมุดที่ติดอยู่กับป้ายทะเบียนและวิธีการปรับความเอียงของตัวอักษรให้อยู่ในแนวระดับ งานวิจัยนี้เป็นการคัดแยกตัวอักษรของภาษาไทย เมื่อตรวจสอบฐานข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบพบว่า ป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นภาพที่ปราศจากสัญญาณรบกวนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมามีความถูกต้องสูง

งานวิจัยของ Christos Nikolaos E. Anagnostopoulos (2006) ทำการปรับขนาดของป้ายทะเบียนให้มีขนาด 75 × 228 จุดภาพด้วยการใช้ Bicubic Interpolation แล้ววิธีการ Sliding Concentric Windows (SCWs) และต่อด้วยการใช้อัตราส่วนของความสูงและความกว้างของป้ายเป็นตัวกำหนดตัวอักษร วิธีการนี้จะให้ความถูกต้องสูง เนื่องจากวิธีการ SCWs เป็นการตัดปัญหาเรื่องของแสงออกไปและยังมีการปรับขนาดของป้ายทะเบียนแล้วใช้อัตราส่วน ความสูงต่อความกว้างของป้ายทะเบียนเป็นตัวกำหนดตัวอักษร สำหรับวิธีการนี้จะให้ความถูกต้องสูง ในกรณีที่การค้นหาและคัดแยกป้ายทะเบียนนั้นมีขนาดพอดีกับป้ายทะเบียน แต่ถ้าเกิดความผิดพลาดคือ มีขนาดใหญ่กว่าของป้ายทะเบียนจริงอาจทำให้การใช้อัตราส่วนนั้นเกิดความผิดพลาดได้

งานวิจัยของ Feng Yang, Zheng Ma and Mei Xie (2006) ได้นำหลักการของการใช้ Contrast - Stretching Transform มาปรับปรุงคุณภาพของภาพป้ายทะเบียนรถยนต์แล้วใช้ Laplacian Transform มาเป็นเครื่องมือในการหาเส้นขอบของวัตถุในภาพ หลังจากนั้นใช้หลักการของ Region Growing Algorithm เพื่อหาบริเวณที่จะเป็นตัวอักษร สำหรับวิธีการนี้จะใช้เวลาในการประมวลผลน้อย แต่การกำหนดพารามิเตอร์ของ Region Growing Algorithm ยังไม่เป็นแบบอัตโนมัติและงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการคัดแยกตัวอักษรภาษาจีน ซึ่งมีบางลักษณะไม่ตรงกับลักษณะของภาษาไทย

งานวิจัยของ Yi Lu (1995) ได้แสดงคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรไม่ว่าจะเป็นระยะความ สม่ำเสมอของการเว้นช่วง ความไม่ซ้อนทับกัน อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงและขอบเขตของบรรทัดบนและบรรทัดล่าง พร้อมแสดงการสำรวจวรรณกรรมงานวิจัยที่เกียวข้องกับการคัดแยกตัวอักษรจากอดีตจนถึงปี ค.ศ. 1995 จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงแนวทางในการพัฒนางานในส่วนของการคัดแยกตัวอักษร

งานวิจัยของ Celine Mancas - Thillou and Bernard Gosselin (2006) นำเสนอการใช้ตัวกรองล็อก - กาบอร์ (Log - Gabor Filters) ในการคัดแยกตัวอักษร พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นที่มีคนเคยทำมาแล้ว สำหรับวิธีการนี้เป็นการคัดแยกตัวอักษรจากภาพ

งานวิจัยของ Yusuf A. Syed and Sarfraz (2005) นำเสนอการใช้ฟัซซี่ ซี เฉลี่ย (Fuzzy C Means) พร้อมทั้งใช้การตรวจสอบความเป็นตัวอักษรด้วยค่าจุดศูนย์ถ่วง ความสูงและความกว้างของบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตัวอักษร เป็นการนำความรู้ทางปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ Fuzzy C Means แต่ก็ยังมีการใช้คุณลักษณะของตัวอักษร

งานวิจัยของ ราตรี จันทนะทรัพย์ (2003) เสนอการแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่างโดยการทำโปรเจคชันด้วยผลรวมของพิกเซลในแนวนอน ส่วนของการคัดแยกนั้นใช้การทำโปรเจคชันด้วยผลรวมทางแนวตั้ง วิธีการนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ดีในกรณีที่ป้ายทะเบียนไม่มีสัญญาณรบกวน ป้ายทะเบียนจะต้องผ่านกระบวนการเริ่มต้นก่อน อาจยังไม่ใช่ของผลลัพธ์ที่จากอัลกอริทึมจริง

งานวิจัยของ Yungang Zhang and Chang Zhang (2003) ได้นำเอาวิธีการของ Object Enhancement Algorithm มาปรับปรุงคุณภาพของภาพป้ายทะเบียน หลังจากนั้นนำหลักการของการแปลงเฮาท์ (Hough Transform) ในการหาขอบเขตของตัวอักษรในแนวนอนทั้งด้านบน - ล่างของตัวอักษร แล้วใช้หลักการการโปรเจคชันในการหาขอบเขตในแนวตั้งของตัวอักษร จากผลลัพธ์จากอัลกอริทึมแสดงให้เห็นว่ามีความถูกต้องสูง แต่ยังเป็นการคัดแยกตัวอักษรภาษาจีน ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากตังอักษรภาษาไทยค่อนข้างมาก

จากการสำรวจวรรณกรรมงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการคัดแยกตัวอักษรทำให้เราทราบแนวทางในการวิจัย งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ความรู้ทางตัวอักษรคุณลักษณะของตัวอักษรของแต่ละประเทศไม่ว่าจะเป็น ความสูง ความกว้าง อัตราส่วนความกว้างกับความสูง ระยะห่างของตัวอักษรและเปอร์เซ็นต์ความดำของตัวอักษร แนวทางการพัฒนางานในส่วนนี้จะทำการศึกษาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรของประเทศไทยและลดเวลาการประมวลผล เพื่อให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.3.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการรู้จำตัวอักษร

สำหรับการสำรวจงานวิจัยการรู้จำตัวอักษรนี้ ผู้วิจัยจะทำการสำรวจการรู้จำตัวอักษรจากป้ายทะเบียน การเขียนด้วยมือและจากการพิมพ์ ซึ่งแต่ละวิธีการที่ได้มาจะมีลักษณะตัวอักษรที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการรู้จำตัวอักษร

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1999	Nafiz Arica and Fatos T. Yarman - Vural	ได้นำเสนอการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบการรู้จำตัวอักษร สำหรับการเขียนด้วยมือแบบออฟไลน์ (Off - Line Handwriting) โดยแสดงถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี พร้อมกันนี้ได้เสนอแนวทางในการพัฒนาระบบการรู้จำตัวอักษรที่เขียนด้วยมือ
2001	เอกรัฐ เลากุลรัตน์ และวุฒิพงศ์ อารีกุล	เสนอการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ ด้วยการใช้วิธีตัดและจำแนกคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรภาษาไทยและใช้การตัดสินใจแบบโครงสร้างต้นไม้มาเป็นตัวรู้จำตัวอักษร แต่การรู้จำตัวอักษรเป็นการรู้จำเพียงบรรทัดบน ไม่มีการรู้จำชื่อจังหวัดในป้ายทะเบียน ซึ่งถือว่าเป็นการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไม่ทั้งแผ่นป้าย

ตารางที่ 2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการรู้จำตัวอักษร (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2002	Suzete E. N. Correia, Coao M. de Carvalho and Robert Sabourin	นำเสนอการวิเคราะห์การแปลงเวฟเล็ตในการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวเลข ก่อนส่งให้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับทำการรู้จำตัวเลข ซึ่งการวิเคราะห์นี้ได้แสดงการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวเลขทั้งหมด 4 วิธี
2002	Sirithinaphong, T. and Chamnongthai	เสนอวิธีการรู้จำแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ 4 ชั้น สำหรับการรู้จำตัวอักษรและตัวเลข ข้อจำกัดงานวิจัยนี้สามารถรู้จำตัวอักษรได้เพียง 20 ตัวอักษรและไม่มีการรู้จำชื่อจังหวัดในแผ่นป้ายทะเบียน
2003	Anthony Zaknich	ได้แสดงถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นกับเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi - layer Perceptron Neural Network) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน
2003	สุกัญญา จังเจริญจิตต์กุล	ทำการแบ่งตัวอักษรออกเป็น 6 กลุ่ม แล้วใช้การหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร โดยแบ่งเป็นส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่าง และใช้การตัดสินใจแบบโครงสร้างต้นไม้มาเป็นตัวรู้จำตัวอักษร
2004	Shyang - Lih Chang, Li - Shien Chen, Yun - Chung Chung and Sei - Wan Chen	นำเสนอการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแผนผังคุณลักษณะการจัดการตัวเอง (Self - Organized Feature Map: SOFM) มาเป็นเครื่องมือในการรู้จำตัวอักษร
2004	ราตรี จันทนะทรัพย์	นำเสนอการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร ด้วยการตีกริดของตัวอักษรแล้วหาค่าเฉลี่ย ก่อนที่จะใช้เฮาซดรอฟดิสแทนซ์ทำการรู้จำตัวอักษร แต่ป้ายทะเบียนรถยนต์ที่นำมาทดสอบนั้น ได้ผ่านกระบวนการ Preprocessing มาแล้ว
2004	Pan Xiang, Ye Xiuzi and Zhang Sanyuan	นำเสนอการใช้วิธีการทางสถิติในการรู้จำตัวอักษรพร้อมกันนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการรู้จำตัวอักษรที่คล้ายกันด้วยวิธีทางโครงสร้างและแสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าว ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ

ตารางที่ 2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการรู้จำตัวอักษร (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2004	Zhilu Wu, Guanhui Ren, Xuexia Wang and Yaqin Zhao	นำเสนอการใช้หาคุณลักษณะพิเศษ โดยการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตและใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ ทำการคัดแยกสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลทผลลัพธ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่สูง แต่การทดลองนั้นมีเพียง 7 รูปแบบเท่านั้น
2005	Serkan Ozbay and Ergun Ercelebi	นำเสนอการใช้แผ่นแบบ (Template Matching) ร่วมกับการใช้ Cross - Correlation ในการรู้จำตัวอักษร
2005	Yafeng Hu, Feng Zhu and Xianda Zhang	นำเสนอการใช้ Singular Value Decomposition มาช่วยในการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร ก่อนส่งให้เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น พร้อมกันนี้ยังได้แสดงว่าผลการทดสอบนั้นให้ผลดีกว่าการใช้แผ่นแบบ (Template Matching)
2006	Shutao Li, Chen Liao and James T. Kwok	นำเสนอวิธีการเลือกคุณลักษณะพิเศษ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตร่วมกับ Maximum Modulus Method แล้วใช้เครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุนทำการคัดแยกข้อมูลของ Micro - Array จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบตระกูลเวฟเล็ต (Mother Wavelet) ซึ่งการใช้ Bior2.6 ให้ผลลัพธ์สูงสุด และผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเลือกคุณลักษณะพิเศษ
2006	Kuihe Yang, Ganlin Shan and Lingling Zhso	นำเสนอการใช้การแปลงเวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น ในการตรวจจับความผิดพร่องของระบบไฟฟ้า และแสดงถึงข้อได้เปรียบที่มีเหนือกว่าการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ
2007	Kai Labusch, Udo Sieweet, Thomas Martinetz and Erhardt Barth	ได้นำเสนอการเปรียบเทียบการดึงคุณลักษณะพิเศษระหว่างการใช้ Gabor Filter กับการใช้ PCA ICA ร่วมกับ Spare Coding

จากการได้สำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในส่วนของการรู้จำตัวอักษรทำให้ทราบว่างานการรู้จำตัวอักษรนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วใช้เครื่องมือทางปัญญาประดิษฐ์มาทำการรู้จำตัวอักษร ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน งานวิจัยโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นงานวิจัยการรู้จำตัวอักษรของภาษาอังกฤษ ซึ่งสามารถทำการรู้จำได้ง่าย เนื่องจากลักษณะตัวอักษรไม่ซับซ้อนและมีจำนวนน้อยกว่าตัวอักษรของภาษาไทย จากการสำรวจวรรณกรรมยังพบอีกว่า สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการรู้จำตัวอักษรนั้นแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การดึงคุณลักษณะพิเศษและการเลือกเครื่องมือทางปัญญาประดิษฐ์ ลำดับต่อไปจะเสนอข้อดีและข้อเสียในแต่ละวิธีตามที่ได้สำรวจไว้ในตารางที่ 2.4

งานวิจัยของ Nafiz Arica and Fatos T. Yarman - Vural (1999) นำเสนอการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการรู้จำตัวอักษรที่เขียนด้วยมือ พร้อมทั้งเสนอวิธีการที่เหมาะสมในการรู้จำตัวอักษรที่เขียนด้วยมือ งานวิจัยนี้ทำให้ทราบแนวทางในการศึกษาในเบื้องต้นได้เป็นอย่างดีแต่การสำรวจงานวิจัยนี้ โดยส่วนใหญ่เป็นการสำรวจงานวิจัยของต่างประเทศทำให้วิธีการที่นำเสนอนั้นยังไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมสำหรับการรู้จำตัวอักษรไทย

งานวิจัยของ เอกรัฐ เลากุลรัตน์ และ วุฒิพงศ์ อารีกุล (2001) และงานวิจัยของสุกัญญา จังเจริญจิตต์กุล (2003) ทั้งสองงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการดึงคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรโดยใช้วิธีตัดและจำแนกและการแบ่งตัวอักษรออกเป็น 3 ส่วนตามลำดับ แล้วใช้การตัดสินใจแบบต้นไม้ทำการรู้จำตัวอักษร ซึ่งวิธีการนี้จะเกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายในกรณีที่ตัวอักษรนั้นมีสัญญาณรบกวนบริเวณที่มีความไวต่อการดึงคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร

งานวิจัยของ Suzete E. N. Correia, Joao M. de Carvalho and Robert Sabourin (2002) ดำเนินการวิเคราะห์การใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต สำหรับการดึงคุณลักษณะพิเศษของตัวเลข ซึ่งแสดงวิธีทั้งหมด 4 วิธี ก่อนส่งให้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับทำการรู้จำตัวเลขทั้งหมด 10 ตัวเลข สำหรับวิธีการนี้สามารถลดขนาดของข้อมูลลงได้จากการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต แต่การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับนั้นยังมีข้อเสียหลายอย่าง เช่น การฝึกสอนที่ต้องใช้เวลานาน การกำหนดชั้นของเครือข่าย เป็นต้น

งานวิจัยของ T. Sirithinaphong and Chamnongthai (2002) นำเสนอการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับในการรู้จำตัวอักษรแต่สามารถรู้จำตัวอักษรได้เพียง 20 ตัวอักษรเท่านั้น และยังมีข้อเสียของการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับดังได้กล่าวมาแล้วนั้น

งานวิจัยของ Anthony Zaknich (2003) แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับและเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น ข้อดีของเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น คือ การฝึกสอนเร็วกว่า ทนทานต่อความไม่เป็นเชิงเส้นมากกว่า สามารถพบเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบกับเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ

งานวิจัยของ Kai Labusch, Udo Sieweet, Thomas Martinetz and Erhardt Barth (2007) ทำการศึกษาผลกระทบของการดึงคุณลักษณะพิเศษของตัวเลข โดยใช้วิธี PCA ICA และ Spare Coding เปรียบเทียบกับการใช้ตัวกรองกาบอร์ แล้วใช้เครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุ่น (Support Vector Machines: SVM) ในการรู้จำตัวเลข ข้อดีสำหรับวิธีการนี้คือ แนวคิดของการรวมวิธีการของการดึงคุณลักษณะพิเศษ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมดีขึ้น แต่วิธีการนี้ยังเป็นแค่การรู้จำตัวเลขเท่านั้น

งานวิจัยของ Shyang - Lih Chang, Li - Shien Chen, Yun - Chung Chung and Sei-Wan Chen (2004) นำเสนอการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแผนผังลักษณะการจัดการตัวเอง(Self - Organized Feature Map: SOFM) ในการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอักษรที่มีสัญญาณรบกวน บิดเบี้ยวหรือตัวอักษรที่ไม่สมบูรณ์ยังให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องสูง แต่วิธีการนี้ต้องเสียเวลาในการประมวลผลนาน

งานวิจัยของ Pan Xiang, Ye Xiuzi and Zhang Sanyuan (2004) นำเสนอการใช้วิธีการทางสถิติ (Statistical Methods) ในการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียน พร้อมกันนี้ยังได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการรู้จำตัวอักษรที่คล้ายกันด้วยวิธีทางโครงสร้าง (Structural Methods) และแสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ แต่งานวิจัยนี้ป้ายทะเบียนที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรนั้นต้องผ่านกระบวนการเริ่มต้นก่อน

งานวิจัยของ ราตรี จันทนะทรัพย์ (2004) นำเสนอการหาคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรด้วยการตีกริดของตัวอักษรแล้วหาค่าเฉลี่ย ก่อนที่จะใช้เฮาซดรอฟดิสแทนซ์ทำการรู้จำตัวอักษร แต่ป้ายทะเบียนรถยนต์ที่นำมาทดสอบนั้นผ่านกระบวนการเริ่มต้นมาแล้ว และต้องใช้เวลาในการประ มวลผลนาน

งานวิจัยของ Zhilu Wu, Guanhui Ren, Xuexia Wang and Yaqin Zhao (2004) นำเสนอการใช้หาคุณลักษณะพิเศษโดยการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตและใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับทำการคัดแยกสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลท ผลลัพธ์ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่สูง แต่การทดลองนั้นมีเพียง 7 รูปแบบเท่านั้น สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการคัดแยกสัญญาณซึ่งแสดงให้เห็นข้อดีของการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตในการดึงคุณลักษณะพิเศษของสัญญาณ

งานวิจัยของ Serkan Ozbay and Ergun Ercelebi (2005) นำเสนอการใช้ Templates Matching ร่วมกับการใช้ Cross - Correlation ในการรู้จำตัวอักษร สำหรับวิธีการนี้มีการพิสูจน์แล้วว่าการใช้ Template Matching มีข้อเสีย เมื่อตัวอักษรมีลักษณะเปลี่ยนไปจึงทำให้ต้องมีฐานข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งเป็นข้อเสียอีกอย่างหนึ่ง

งานวิจัยของ Yafeng Hu, Feng Zhu and Xianda Zhang (2005) งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ Singular Value Decomposition มาช่วยในการหาลักษณะพิเศษของตัวอักษร ก่อนส่งให้เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นพร้อมกันนี้ยังได้แสดงว่าผลการทดสอบนั้นให้ผลดีกว่าการใช้วิธีการ Template Matching อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ป้ายทะเบียนต้องผ่านกระบวนการเริ่มต้นมาแล้ว

งานวิจัยของ Kuihe Yang, Ganlin Shan and Lingling Zhso (2006) งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ Wavelet Packet และ Probabilistic Neural Network ในการตรวจจับความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าและแสดงถึงข้อได้เปรียบที่มีเหนือกว่าการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ ข้อดีของวิธีการนี้คือ แสดงถึงประสิทธิภาพของการดึงคุณลักษณะพิเศษ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

งานวิจัยของ Shutao Li, Chen Liao and James T. Kwok (2006) นำเสนอการเลือกคุณลักษณะพิเศษ โดยการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตร่วมกับ Maximum Modulus Method แล้วใช้เครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุน (Support Vector Machines) ทำการคัดแยกข้อมูลของ Micro - Array ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบตระกูลของเวฟเล็ต (Mother Wavelet) ซึ่งการใช้ Bior2.6 ให้ผลลัพธ์สูงสุดและผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเลือกคุณลักษณะพิเศษ ข้อดีของวิธีการนี้คือแสดงถึงประสิทธิภาพของการดึงคุณลักษณะพิเศษ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและสามารถนำวิธีการอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต

จากการสำรวจงานวิจัยในส่วนของการรู้จำตัวอักษรนี้ ทำให้ทราบว่าสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งและมีผลต่อกระบวนการการรู้จำตัวอักษรคือ การดึงคุณลักษณะพิเศษเพื่อสร้างเป็นเวกเตอร์ก่อนส่งให้เครื่องมือทางปัญญาประดิษฐ์ทำการรู้จำตัวอักษร ซึ่งน่าจะเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนาประสิทธิภาพของโปรแกรม

2.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอรูปแบบต่าง ๆ ของป้ายทะเบียนรถยนต์ที่มีการใช้ในประเทศไทยและการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์และการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์พร้อมกับได้เสนอแนวทางการพัฒนางานวิจัยทั้ง 3 ส่วน

บทที่ 3
ทฤษฎีเบื้องต้น

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ การประมวลผลภาพ เวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งทฤษฎีเบื้องต้นของทั้ง 3 ส่วนนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจถึงกระบวนการ การดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

3.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงข้อมูลที่เป็นภาพเพื่อให้สามารถแปลความหมายได้ดีขึ้นและเพื่อเตรียมข้อมูลฉาก (Scene Data) สำหรับให้คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ ขบวนการประมวลผลภาพแบ่งออกได้เป็น 3 ขบวนการ คือ ขบวนการขั้นต้น เป็นการได้มาซึ่งภาพและการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้นได้แก่ การแปลงสัญญาณภาพ การเพิ่มความคมชัดของภาพ การกู้คืนสัญญาณภาพ เป็นต้น ขบวนการขั้นกลาง คือ ส่วนของการแยกองค์ประกอบและการดึงเอาคุณลักษณะที่สำคัญออกมาและขบวนการขั้นสูง คือ การตีความหมายและการจดจำภาพ

3.2.1 แบบจำลองภาพระดับเทา (Gray Scale Model)

ภาพระดับเทาสามารถเขียนแทนด้วย $f(x,y)$ โดยที่ขนาดของ f ที่ตำแหน่ง (x,y) คือค่าความเข้มของภาพที่จุดนั้น ๆ โดยที่ค่า $f(x,y)$ จะต้องไม่เป็นศูนย์และมีค่าจำกัดซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบความสว่าง (Illumination Component: $i(x,y)$) และองค์ประกอบการสะท้อนของแสง (Reflectance Component: $r(x,y)$) โดยที่ $f(x,y)$ เกิดจากการคูณกันขององค์ประกอบทั้งสองดังสมการที่ (3.1)

$$f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y) \tag{3.1}$$

โดยที่ $f(x,y)$ คือ ค่าความเข้มของภาพที่ตำแหน่ง (x,y)

$i(x,y)$ คือ องค์ประกอบความสว่างที่ตำแหน่ง (x,y)

$r(x,y)$ คือ องค์ประกอบการสะท้อนของแสงที่ตำแหน่ง (x,y)

(x,y) คือ จำนวนเต็มใด ๆ

โดยที่ $i(x,y)$ จะต้องมีค่ามากกว่าศูนย์และมีค่าจำกัด ส่วน $r(x,y)$ จะต้องมีค่ามากกว่าศูนย์และน้อยกว่าหนึ่ง ภาพ f เป็นภาพที่มีเฉดสีเดียว ดังนั้นความเข้มของ f ที่ตำแหน่ง (x, y) เรียกว่าระดับเทา (Gray Level: l_1) ของภาพในตำแหน่งนั้น โดยที่ระดับเทาจะอยู่ในช่วง

$$L_{min} \le l_1 \le L_{max} \tag{3.2}$$

โดยที่ l_1 คือ ค่าระดับเทา

L_{min} คือ ค่าต่ำสุดของค่าระดับเทา

L_{max} คือ ค่าสูงสุดของค่าระดับเทา

เรียกช่วง $[L_{\min}, L_{\max}]$ ว่าสเกลระดับเทา (Gray Scale) โดยปกติจะเลื่อนช่วงนี้ให้เป็น [0, L] โดยที่ l_1 เป็นศูนย์คือ จุดภาพที่มีสีดำและที่ l_1 เท่ากับ L คือจุดภาพที่มีสีขาว ส่วนจุดภาพที่มีค่า l_1 ระหว่างนี้จะแสดงระดับสีของสีเทาแสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ค่าระดับเทา

3.2.2 แบบจำลองภาพสี RGB

แบบจำลอง RGB เป็นแบบจำลองที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบสเปกตรัมของ 3 แม่สีปฐมภูมิ (Primary Spectral Components) ได้แก่ สีแดง (Red: R) สีเขียว (Green: G) และสีน้ำเงิน (Blue: B) ซึ่งแต่ละสีอยู่บนระนาบภาพ (Image Planes) ที่เป็นอิสระต่อกันบนพื้นฐานของระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังแสดงในรูปที่ 3.2 กล้องถ่ายภาพสีในระบบดิจิตอลที่นิยมใช้แบบจำลองภาพสี RGB เป็นรูปแบบในการรับภาพ ดังนั้น แบบจำลองภาพสี RGB จึงเป็นแบบจำลองที่สำคัญในการประมวลผลภาพ

3.2.3 แบบจำลองภาพสี HSV

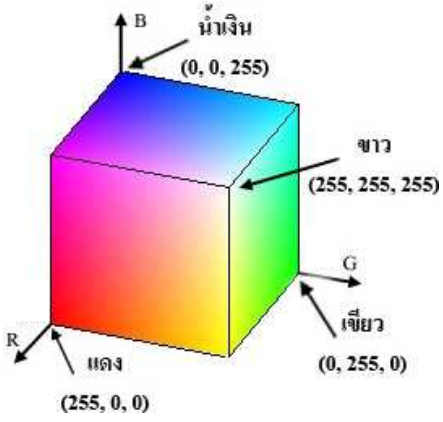
แบบจำลองภาพสี HSV เป็นแบบจำลองที่ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบคือ ค่า H (Hue) คือค่าสีสัน (Pure Color) ค่า S (Saturation) คือ ความอิ่มตัวสีเป็นตัวบอกระดับสีเมื่อเทียบกับค่าสีสันและค่า V (Value) คือค่าที่ใช้บอกระดับความสว่างของภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 แบบจำลองภาพสี HSV นี้สามารถหาได้โดยการแปลงมาจากแบบจำลองภาพสี RGB ดังสมการที่ (3.3) - (3.5)

$$H = \begin{cases} H_1 & \text{ถ้า } B \le G \\ 360^\circ - H_1 & \text{ถ้า } B > G \end{cases} \tag{3.3}$$

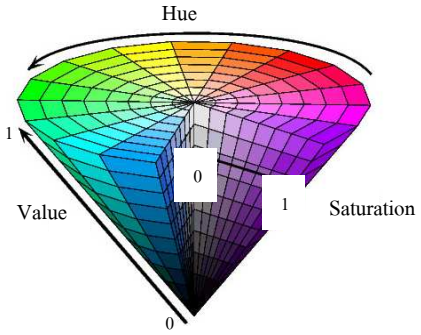
โดยที่ $$H_1 = \cos^{-1}\left\{\frac{0.5[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)(R-G)+(R-B)(G-B)}}\right\} \tag{3.4}$$

$$S = \frac{max(R,G,B) - min(R,G,B)}{max(R,G,B)} \tag{3.5}$$

$$V = \frac{max(R,G,B)}{255} \tag{3.6}$$



รูปที่ 3.2 ลูกบาศก์ของแบบจำลองภาพสี RGB



รูปที่ 3.3 กรวยของแบบจำลองภาพสี HSV

หมายเหตุ : ภาพที่ 3.2 และ3.3 จาก MATLAB 7.0 โดย The Math Works, 2004

3.2.4 กระบวนการรูปร่างลักษณะ (Morphological Processing)

ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะการทำกระบวนการรูปร่างลักษณะเฉพาะสัญญาณภาพไบนารี ซึ่งมีเฉพาะสีขาวและสีดำเท่านั้น การทำกระบวนการรูปร่างลักษณะจะคล้ายกับการทำคอนโวลูชัน (Convolution) ที่ต้องมีหน้ากาก (Mask Coefficient) แต่ในการทำกระบวนการรูปร่างลักษณะจะเรียกว่า องค์ประกอบโครงสร้าง (Structure Element) กระบวนการรูปร่างลักษณะมีได้หลายแบบด้วยกัน เช่นการขยายขนาดข้อมูลภาพ (Dilation) การกร่อนลดขนาดข้อมูลภาพ (Erosion) เป็นต้น

1) การขยายขนาดข้อมูลภาพ

การขยายขนาดของวัตถุในภาพเพื่อจุดประสงค์บางประการ เช่น เพื่อปิดรูเล็ก ๆ ในวัตถุหรือใช้เพื่อช่วยให้วัตถุ 2 วัตถุที่ไม่มีสมาชิกร่วมกันแต่อยู่ใกล้กันสามารถเชื่อมต่อกันได้ เป็นต้น การขยายขนาดทำได้โดยวางสมาชิกโครงสร้างลงบนภาพแล้วเลื่อนสมาชิกโครงสร้างมีขั้นตอนดังนี้

- ถ้าจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างตรงกับค่า ‘0’ ในภาพ ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ และให้เลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
- ถ้าจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างตรงกับค่า ‘1’ ในภาพให้ดำเนินการด้วยตัวดำเนินการทางตรรกะออร์ (Or) ระหว่างภาพกับสมาชิกโครงสร้าง

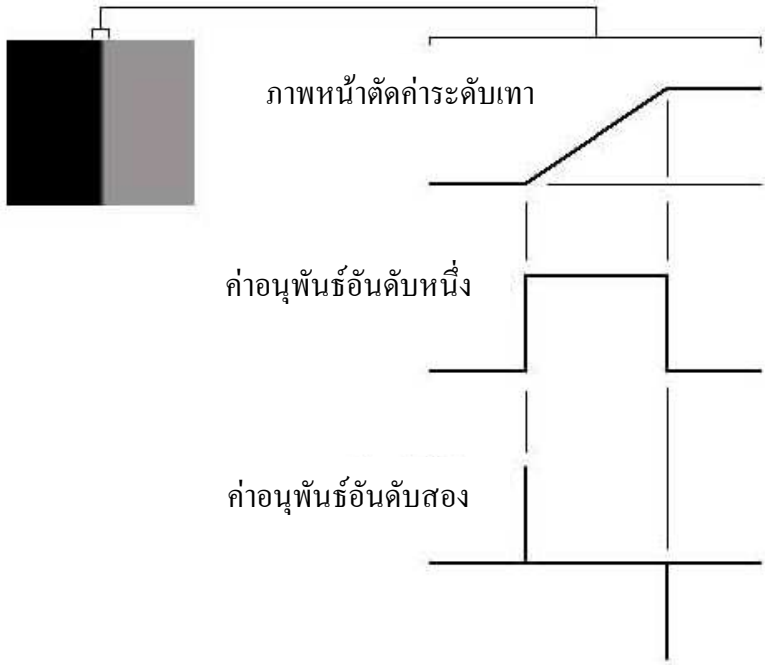
2) การกร่อนลดขนาดข้อมูลภาพ

เป็นการดำเนินการเช่นเดียวกับการขยายขนาด แต่ให้ลักษณะตรงกันข้ามนั่นคือ การกร่อนจะลดขนาดของวัตถุให้เล็กลง ขั้นตอนการประมวลผลทำเช่นเดียวกับการขยายขนาด แต่ดำเนินการต่างกันดังนี้

- ถ้าจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างตรงกับค่า ‘0’ ในภาพ ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ และให้เลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
- ถ้าจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างตรงกับค่า ‘1’ ในภาพให้พิจารณาว่าถ้ามีจุดภาพค่า ‘1’ ในสมาชิกโครงสร้างเลยออกมาจากวัตถุ ซึ่งมีค่า ‘1’ ในภาพให้เปลี่ยนค่า ‘1’ ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์กลางในภาพเป็นค่า ‘0’

3.3 การแยกส่วนภาพ (Image Segmentation)

ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการประมวลผลภาพ (Image Processing) คือการแยกส่วนต่าง ๆ ของรูปภาพออกจากกันตามลักษณะสำคัญที่เราพิจารณา เพื่อลดจำนวนข้อมูลในรูปภาพที่ไม่จำเป็นในการวิเคราะห์ จัดระเบียบข้อมูลในรูปภาพให้เป็นกลุ่มและแสดงข้อมูลในรูปที่เข้าใจง่าย หลักการที่ใช้ในการแยกส่วนภาพมี 2 หลักการ หลักการแรกคือ แยกส่วนภาพจากความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ขององค์ประกอบภาพ โดยดูจากความเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของความเข้มขององค์ประกอบภาพ เช่น บริเวณที่เป็นเส้นขอบของภาพ หลักการที่สองคือการแยกส่วนภาพตามความคล้ายกัน (Similarity) ขององค์ประกอบภาพ โดยแยกส่วนภาพตามคุณสมบัติของจุดภาพ (Pixel) ภายในพื้นที่เดียวกันที่มีความเหมือนกันเทคนิคที่ใช้ในการแยกส่วนภาพมีดังต่อไปนี้

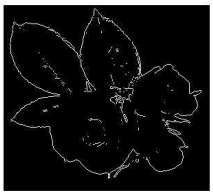


รูปที่ 3.4 แบบจำลองรูปลาดเอียงของขอบภาพ

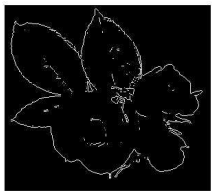
3.3.1 การตรวจหาเส้นขอบของภาพ (Edge Detection)

เส้นขอบ (Edge) คือ ชุดของจุดภาพที่เชื่อมต่อกันวางตัวบนขอบระหว่าง 2 พื้นที่ (Region) ที่มีค่าระดับเทาต่างกัน แบบจำลองของเส้นขอบหาได้จากการเปลี่ยนค่าระดับเทา (Gray Levels) ของจุดภาพ มีลักษณะของแบบจำลองเป็นรูปลาดเอียง (Ramplike) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

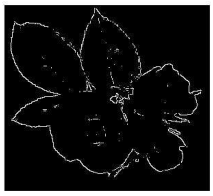
(ก) ภาพต้นแบบ



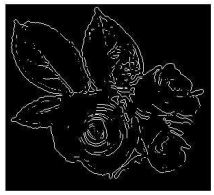
(ข) วิธี SB



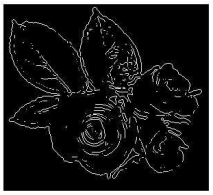
(ค) วิธี PW



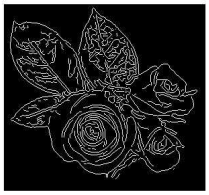
(ง) วิธี RB



(จ) วิธี LOG



(ฉ) วิธี ZC



(ช) วิธี CN

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการตรวจหาเส้นขอบของภาพโดยใช้วิธีต่าง ๆ

จากรูปแสดงให้เห็นค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งและค่าอนุพันธ์อันดับสองของค่าระดับเทา ซึ่งค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งสามารถใช้ในการตรวจจับเส้นขอบในภาพและเครื่องหมายของอนุพันธ์อันดับสอง สามารถใช้ในการตรวจสอบว่า จุดภาพทางด้านไหนของเส้นขอบมีค่าระดับเทา

สูงกว่าหรือต่ำกว่าหรือจุดภาพทางด้านไหนเป็นจุดภาพที่สว่างกว่าหรือมืดกว่า อัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจหาเส้นขอบของภาพที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธีดังนี้ วิธีของโซเบล (Sobel Method: SB) วิธีของพรีวิตต์ (Prewitt Method: PW) วิธีของโรเบริตส์ (Roberts Method: RB) วิธีลาปาเชียนของเกาส์ (Laplacian of Gaussian Method: LOG) วิธีตัดขวางศูนย์ (Zero - Cross Method: ZC) วิธีของแคนนี (Canny Method: CN) หรือ CN เป็นต้น

3.3.2 การหาขีดเริ่มเปลี่ยน (Thresholding)

การหาขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ เป็นกระบวนการในการสร้างพื้นที่ที่มีความเป็นเอกรูป (Uniformity) ในรูปภาพออกเป็นส่วน ๆ ตามเกณฑ์ของขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Criterion: T) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (3.7)

$$T = T\{x, y, A(x, y), f(x, y)\} \tag{3.7}$$

โดยที่ T คือ ฟังก์ชันของเกณฑ์ของขีดเริ่มเปลี่ยน

$f(x, y)$ คือ ค่าระดับเทาของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x,y)

$A(x, y)$ คือ คุณสมบัติของจุดภาพข้างเคียงที่ตำแหน่ง (x,y)

ภาพที่ทำการหาขีดเริ่มเปลี่ยนแล้ว $g(x,y)$ มีค่าดังสมการที่ (3.8)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{ถ้า } f(x, y) \leq T \end{cases} \tag{3.8}$$

ค่าของฟังก์ชัน T สามารถแบ่งได้ 3 วิธีด้วยกันดังนี้

1) ขีดเริ่มเปลี่ยนวงกว้าง (Global Threshold) ค่าของ T ขึ้นอยู่กับค่าระดับเทาของแต่ละจุดภาพที่ (x,y) เท่านั้น

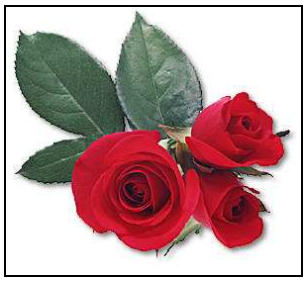
$$T = T\{f(x, y)\} \tag{3.9}$$

2) ขีดเริ่มเปลี่ยนเฉพาะที่ (Local Threshold) ค่าของ T ขึ้นอยู่กับจุดภาพข้างเคียงและค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x,y)

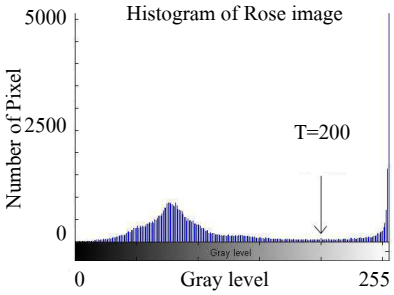
$$T = T\{A(x,y), f(x,y)\} \tag{3.10}$$

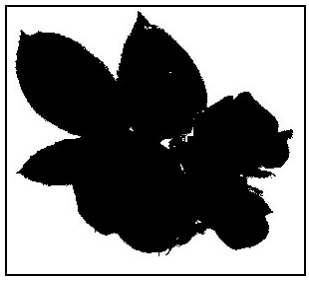
3) ขีดเริ่มเปลี่ยนพลวัต (Dynamic Threshold) ค่าของ T ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพ จุดภาพข้างเคียงและค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x,y)

$$T = T\{x, y, A(x,y), f(x,y)\} \tag{3.11}$$



(ก) ภาพต้นแบบ





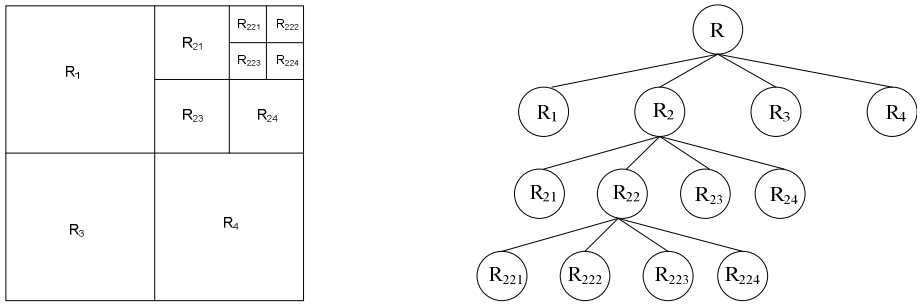
(ข) ฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา (ค) ภาพที่ทำการหาขีดเริ่มเปลี่ยนแล้ว

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการหาขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ

3.3.3 การแยกส่วนภาพโดยใช้หลักการแบ่งพื้นที่ (Region - Based Segmentation)

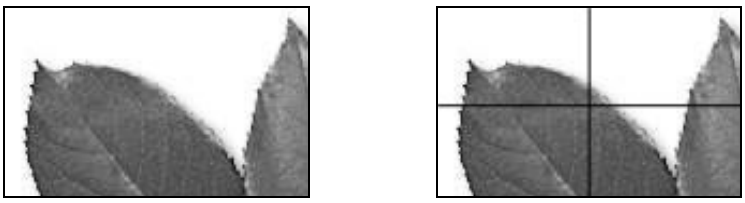
หลักการแบ่งพื้นที่จะเป็นการแยกส่วนภาพโดยการสร้างพื้นที่ขึ้นมา โดยการจัดกลุ่มของจุดภาพที่มีลักษณะสำคัญเหมือนกันเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีหลักการสำคัญ 2 หลักการคือ การแบ่งแยกพื้นที่ (Region Splitting) ซึ่งมีหน้าที่ทำการแบ่งภาพต้นแบบที่มีลักษณะไม่เหมือนกันและ

ไม่ต่อเนื่องออกจากกัน หลักการต่อมาคือ การรวมกันของพื้นที่ (Region Merging) ทำหน้าที่รวมพื้นที่ตามเงื่อนไขที่ต้องการเข้าไว้ด้วยกัน เช่น พื้นที่ที่มีค่าเป็นสีดำก็จัดให้เป็นบริเวณเดียวกันซึ่งจะเป็นโครงสร้างแบบต้นไม้ดังรูปที่ 3.7(ก) - 3.7(ข) เป็นต้น ตัวอย่างการแยกส่วนภาพโดยใช้หลักการแบ่งพื้นที่กล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 3.8(ก) - 3.8(ฉ)

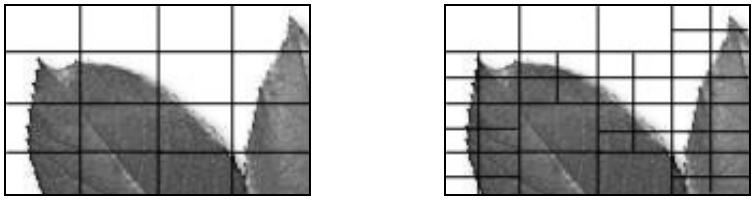


(ก) หลักการแบ่งแยกพื้นที่ (ข) แผนภาพโครงสร้างต้นไม้

รูปที่ 3.7 การแบ่งภาพออกตามหลักการการแบ่งแยกพื้นที่

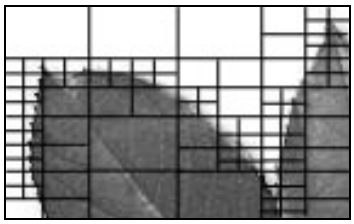


(ก) ภาพต้นแบบ (ข) แบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน



(ค) แบ่งพื้นที่ออกเป็น 16 ส่วน (ง) แบ่งพื้นที่ในส่วนที่ต้องการเป็น 4 ส่วน

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพโดยใช้หลักการแบ่งพื้นที่



(จ) แบ่งพื้นที่ในส่วนที่ต้องการเป็น 8 ส่วน

(ฉ) ผลการรวมกันของพื้นที่

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพโดยใช้หลักการแบ่งพื้นที่ (ต่อ)

3.3.4 การแยกส่วนภาพจากการเคลื่อนที่ (Motion - Based Segmentation)

การแยกส่วนภาพจากการเคลื่อนที่ใช้หลักการการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงระหว่าง 2 กรอบภาพ (Image Frame) คือ $f(x,y,t_i)$ และ $f(x,y,t_j)$ ที่เวลา t_i และ t_j โดยทำการเปรียบเทียบจุดภาพต่อจุดภาพ ซึ่งในการเปรียบเทียบจำเป็นต้องมีภาพอ้างอิง (Reference Image) ที่ภายในภาพมีเฉพาะวัตถุที่อยู่นิ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพอ้างอิงกับภาพลำดับถัดมาที่มีสิ่งแวดล้อมเหมือนกันแต่มีวัตถุที่เคลื่อนที่อยู่ในภาพจุดภาพต่อจุดภาพ โดยที่จุดภาพใดที่ไม่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นส่วนของภาพของวัตถุที่อยู่นิ่งและจุดภาพใดที่แตกต่างกันแสดงว่าเป็นส่วนของวัตถุที่เคลื่อนที่ ซึ่งความแตกต่างระหว่าง 2 กรอบภาพที่เวลา t_i และ t_j เป็นดังสมการที่ (3.12)

$$d_{ij}(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } \left|f(x,y,t_i) - f(x,y,t_j)\right| > \theta \\ 0 & \text{นอกเหนือจากนั้น} \end{cases} \tag{3.12}$$

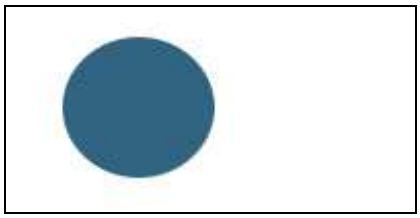
โดยที่ $d_{ij}(x,y)$ คือ จุดภาพที่ตำแหน่ง (x,y) ที่มีการเคลื่อนที่

t_i, t_j คือ เวลาที่กรอบภาพ i, j

i, j คือ จำนวนเต็มใด ๆ

θ คือ เป็นขีดเริ่มเปลี่ยนที่ต้องการ

จากสมการ (3.12) ทุกจุดภาพที่ $d_{ij}(x,y)$ มีค่าเป็น 1 แสดงว่าเกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพขึ้น อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวจะใช้ได้เฉพาะกรณีที่กล้องนิ่งและสภาวะแสงสว่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง



(ก) ภาพอ้างอิง

(ข) ภาพปัจจุบัน

(ค) ภาพแสดงบริเวณที่วัตถุมีการเคลื่อนที่

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพจากการเคลื่อนที่

3.4 เวฟเล็ต

3.4.1 ประวัติความเป็นมาของเวฟเล็ต

นับตั้งแต่ Joseph Fourier ได้คิดค้นทฤษฎีสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณขึ้นในช่วง ค.ศ. ที่ 19 ทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ของเขาได้รับความนิยมอย่างมากมายและเป็นประโยชน์อย่างเห็นได้ชัดในหลาย ๆ ด้าน ในยุคต่อมาจึงมีการศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ร่วมกับการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลา ซึ่งให้ผลดีกับการวิเคราะห์สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ รวมถึงสัญญาณที่มีการรบกวนสูง ซึ่งพบได้ในทางปฏิบัติและในปัจจุบันเรียกทฤษฎีดังกล่าวว่า “เวฟเล็ต” ทฤษฎีเวฟเล็ตได้ถูกบันทึกเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1909 ในวิทยานิพนธ์ของ Alfred Haar ในวิทยานิพนธ์นี้ได้อ้างถึงการนำเสนอนิยามและทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณที่คิดค้นโดย Jean Morlet และทีมงานที่ Marseille Theoretical Physics Center ประเทศฝรั่งเศส ภายใต้การควบคุมของ Alex Grossmann

การวิเคราะห์เวฟเล็ตถูกพัฒนาอย่างมากโดย Y. Meyer และทีมนักวิจัย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในรูปแบบใหม่ที่ยังไม่มีการเผยแพร่มาก่อน โดยอาศัยการพัฒนาจากอัลกอริทึมหลักที่ได้

จากงานวิจัยของ Stephane Mallat ในปี ค.ศ. 1988 นับแต่นั้นเป็นต้นมา เวฟเล็ตก็เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายและถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะผลงานวิจัยในประเทศอังกฤษ ซึ่งมีนักวิจัยที่สำคัญมากมาย เช่น Ingrid Daubechies Ronald Coifman และ Victor Wickerhauser (MATLAB Computer program 2002)

3.4.2 ภาพรวมของเวฟเล็ต

เมื่อกล่าวถึงคลื่นในทางคณิตศาสตร์มักนึกถึงรูปแบบฟังชันก์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในโดเมนเวลา การแปลงฟูริเยร์เป็นการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นอีกแบบหนึ่ง โดยการแปลงสัญญาณให้ไปอยู่ในรูปของสัญญาณซายน์หรือโคซายน์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในสาขาต่าง ๆ ได้เป็นอย่างมาก ส่วนการแปลงวฟเล็ต (Wavelet Transform) ใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis) โดยการแปลงเวฟเล็ตเป็นคลื่นขนาดเล็กที่มีพลังงานจำกัดจึงมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณที่เป็นสภาวะชั่วครู่และมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งมีความแตกต่างจากการแปลงฟูริเยร์ตรงที่รูปสัญญาณซายน์หรือโคซายน์จะมีพลังงานไม่จำกัด

เมื่อพิจารณาสัญญาณ $f(t)$ ให้อยู่ในรูปการแตกกระจายเชิงเส้นดังสมการ (3.13)

$$f(t)=\sum_{l} a_l \psi_l(t) \tag{3.13}$$

โดยที่ $f(t)$ คือ สัญญาณใด ๆ
a_l คือ สัมประสิทธิ์จำนวนจริง
$\psi_l(t)$ คือ ฟังก์ชันพื้นฐานของ $f(t)$
l คือ เป็นจำนวนเต็มใด ๆ
t คือ เป็นจำนวนเต็มใด ๆ

จากสมการ (3.13) ถ้าฟังก์ชันมูลฐานดังกล่าวมีคุณสมบัติเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) จะได้

$$\langle \psi_k(t), \psi_l(t) \rangle = \int \psi_k(t)\ \psi_l(t)\ dt = 0 \qquad k \neq l \tag{3.14}$$

เราจะสามารถคำนวณคำนวณสัมประสิทธิ์ได้ตามสมการ (3.15)

$$a_k = \langle f(t), \psi_k(t) \rangle = \int f(t)\ \psi_k(t)\ dt \tag{3.15}$$

สำหรับการแปลงฟูริเยร์ ฟังชันก์มูลฐานที่มีคุณสมบัติเชิงตั้งฉาก คือ ฟังก์ชันของซายน์และโคซายน์ ดังนั้นเราสามารถสรุปคุณสมบัติเด่น ๆ ของเวฟเล็ตได้ดังนี้

1) เวฟเล็ตเป็นเซตที่ใช้อธิบายสัญญาณหรือฟังก์ชันที่มีหนึ่งมิติหรือสูงกว่าขึ้นไป ถ้าเวฟเล็ต คือ $\psi_{j,k}(t)$ โดยที่ j,k เป็นจำนวนเต็มบวก เราสามารถแสดงสัญญาณได้ในรูปการกระจายเชิงเส้น

$$f(t) = \sum_k \sum_j a_{j,k}\ \psi_{j,k}(t) \tag{3.16}$$

โดยที่ $\psi_{j,k}(t)$ คือ ฟังก์ชันพื้นฐานของ $f(t)$ ที่ตำแหน่ง j,k

$a_{j,k}(t)$ คือ สัมประสิทธิ์การกระจายของ $f(t)$ ที่ตำแหน่ง j,k

j,k คือ จำนวนเต็มบวกใด ๆ

2) เวฟเล็ตสามารถกระจายสัญญาณให้อยู่ในรูปของ Time - Frequency Location ซึ่งพลังงานของสัญญาณส่วนใหญ่จะสามารถแสดงอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การกระจาย $a_{j,k}$ เพียงไม่กี่ค่าเท่านั่น ซึ่งเป็นผลดีอย่างมากในการบีบอัดสัญญาณ การลดสัญญาณรบกวนและการตรวจจับสัญญาณ

3) การคำนวณสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต สำหรับการแปลงเวฟเล็ตใช้การคำนวณเท่ากับ $O(N)$ ครั้ง ซึ่งหมายความว่าจำนวนของการคำนวณจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น เมื่อสัญญาณมีความยาวมากขึ้น โดยทั่วไปการแปลงเวฟเล็ตจะใช้การคำนวณเทียบเท่ากับการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (FFT)

จากสมการ (3.1) ข้อมูลที่ได้จากการแปลงฟูริเยร์จะปรากฏตลอดย่านความถี่ $-\infty$ ถึง $+\infty$ ดังนั้น เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุทใด ๆ ในช่วงเวลาสั้น ๆ จะส่งผลกระทบไปตลอดย่านของสเปกตรัม $F(w)$ ซึ่งเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าการแปลงฟูริเยร์นั้นให้ข้อมูลที่มากเกินความจำเป็น นอกจากนี้สมการฟูริเยร์ไม่สามารถวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงใด ๆ ได้ ถ้าสัญญาณอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ (Non - Stationary Signal) การแปลงฟูริเยร์มีความจำเป็นต้องกลับไปทำการคำนวณใหม่ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเวลาเป็นอย่างมาก ดังนั้นการแปลงฟูริเยร์จึงเหมาะกับการวิเคราะห์สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ (Stationary Signal)

จากข้อจำกัดของการแปลงฟูริเยร์ทำให้มีการพัฒนาการแปลงกาบอร์ ซึ่งเป็นการแปลงฟูริเยร์อีกแบบหนึ่งที่สามารถกำหนดช่วงเวลาและความถี่ที่ได้ โดยอาศัยฟังก์ชันหน้าต่าง (Window Function) ที่เป็นฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Function) จากสมการที่ (3.13) เราจะได้

$$G_{a,b}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} exp(-j\omega t) f(t) g_a(t-b)\ dt \tag{3.17}$$

โดยที่ $G_{a,b}(\omega)$ คือ การแปลงกาบอร์ที่ความถี่ a และตำแหน่ง b

$f(t)$ คือ สัญญาณ ณ เวลา t ใด ๆ

ω คือ ความถี่ใด ๆ

a คือ ความถี่ที่ต้องการในการวิเคราะห์สัญญาณ

b คือ ตำแหน่งที่ต้องการในการวิเคราะห์สัญญาณ

โดยที่ฟังก์ชันเกาเซียน คือ

$$g_a(t) = \frac{1}{2\sqrt{a\pi}} exp\left(\frac{-t^2}{4a}\right) \tag{3.18}$$

การแปลงกาบอร์แบบนี้ สามารถเลือกความถี่ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ โดยการกำหนดพารามิเตอร์ a และสามารถเลือกตำแหน่งการวิเคราะห์สัญญาณได้ โดยการกำหนดพารามิเตอร์ b แต่ฟังก์ชันหน้าต่างแบบเกาส์เซียนแบบเดียว จึงไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้กับสัญญาณในด้านต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการแปลงฟูริเยร์ช่วงเวลาสั้น (STFT) ขึ้น ดังสมการที่ (3.19) ซึ่งสามารถเปลี่ยนฟังก์ชันหน้าต่างให้เหมาะสมกับสัญญาณอินพุทที่ต้องการวิเคราะห์ได้ดีขึ้น

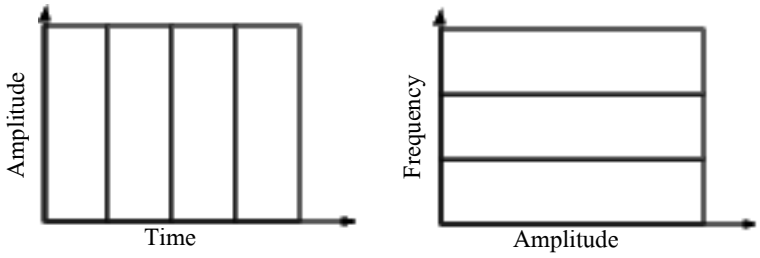
$$G_{a,b}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} (exp(-j\omega t)) f(t)) \overline{w(t-b)dt} \tag{3.19}$$

โดยที่ $\overline{w(t-b)}$ คือ ฟังก์ชันหน้าต่างที่มีช่วงเวลาและช่วงความถี่เป็นแบบคงที่

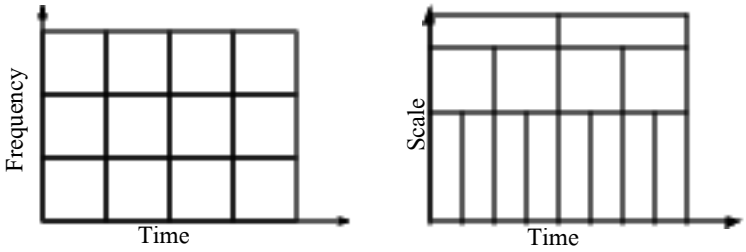
w คือ ฟังก์ชันหน้าต่าง (Window Function)

จะเห็นว่าการแปลงสัญญาณทั้งสองแบบดังกล่าวมีลักษณะช่วงของการวิเคราะห์ทั้งช่วงเวลาและช่วงความถี่เป็นแบบคงที่ (Fixed Resolution Transform) ทำให้ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากที่ความถี่สูงจะมีช่วงเวลาที่แคบและในขณะที่ความถี่ต่ำมีช่วงเวลาที่กว้าง

จากรูปที่ 3.10 ข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณทั้งสองแบบนี้ยังไม่สอดคล้องกับการวิเคราะห์สัญญาณมากนัก



(ก) Time Domain (Channon) (ข) Frequency (Fourier)



(ค) STFT (Gabor) (ง) Wavelet Analysis

รูปที่ 3.10 ระนาบเวลาและความถี่ สำหรับการแปลงสัญญาณแบบต่าง ๆ

จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงมีการพัฒนาการแปลงเวฟเล็ตโดยฟังชันหน้าต่างสามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนความกว้างของช่วงเวลาให้เหมาะสมกับความถี่ของสัญญาณที่จะนำมาวิเคราะห์ได้ โดยช่วงความถี่สูงจะใช้ช่วงเวลาที่สั้นในขณะที่ช่วงความถี่ต่ำจะใช้ช่วงเวลาการวิเคราะห์ที่ยาวขึ้น ซึ่งสามารถเขียนฟังก์ชันเวฟเล็ตได้เป็น

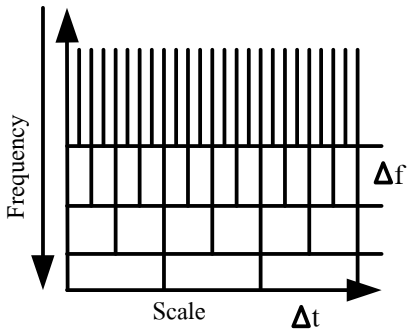
$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\frac{1}{\sqrt{a}}\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \qquad (3.20)$$

โดยที่ $W(a,b)$ คือ ฟังก์ชันเวฟเล็ตที่ถูกสเกลด้วย a และเลื่อนตำแหน่งด้วย b

เมื่อ $\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ โดยการสเกลด้วยพารามิเตอร์ a และเลื่อนตำแหน่งด้วยพารามิเตอร์ b ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.11 ในช่วงเวลาความถี่สูงนั้นจะใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียงสั้น ๆ ซึ่งจะให้รายละเอียดที่ดี ในขณะที่ช่วงความถี่ต่ำใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่ยาวกว่า ซึ่งถือว่าเหมาะสมกับลักษณะการวิเคราะห์สัญญาณในทางปฏิบัติ

นอกจากคุณสมบัติที่ดีของเวฟเล็ตในการวิเคราะห์สัญญาณดังกล่าวแล้ว เวฟเล็ตยังสามารถเลือกฟังก์ชันเวฟเล็ตหรือฟังก์ชันหน้าต่างให้เหมาะสมกับสัญญาณที่พบได้ในทางปฏิบัติ อีกทั้ง การคำนวณการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต (DWT) ยังสอดคล้องกับการทำงานของการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากไม่มีแคลคูลัส การหาอนุพันธ์หรือการอินทริกรัลจะมีก็เพียงแต่การบวกและการคูณเท่านั้น



รูปที่ 3.11 ระนาบเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเล็ต

3.4.3 การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตในทุกค่าของสเกลและความถี่ทำให้สูญเสียเวลาและได้ปริมาณข้อมูลที่มากเกินไป หากพิจารณาการแปลงเวฟเล็ตแล้วจะมีลักษณะคล้ายกับกระบวนการฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ (Two - Channel Filter Banks) สัญญาณอินพุทจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ หรือ $h(k)$ และตัวกรองความถี่สูงหรือ $g(k)$ สัมประสิทธิ์ของตัวกรองจะสัมพันธ์กับเวฟเล็ตแม่ ซึ่งค่าที่ได้จากตัวกรองความถี่ คือค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตนั่นเอง เอาท์พุทที่ได้จากตัวกรองความถี่ต่ำจะผ่านการลดอัตราสุ่มของข้อมูลลงสองเท่าแล้วจะถูกนำมาเป็นอินพุทให้กับส่วนต่อไป ดังนั้นสัญญาณหนึ่ง ๆ สามารถแยกออกไปได้อีก ซึ่งจะได้ส่วนประกอบที่มีรายละเอียดที่ต่ำกว่า ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่ได้ในแต่ละระดับจะมีจำนวนที่ลดลงเรื่อย ๆ เราเรียกกระบวนการนี้ว่าการแยกองค์ประกอบหลายระดับ (Multi - Level Decomposition)

ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างแบบต้นไม้ (Tree Structure) ดังรูปที่ 3.12 ลักษณะกระบวนการวิเคราะห์เหล่านี้เรียกว่า การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต (DWT) ดังนั้น เราสามารถแยกองค์ประกอบสัญญาณไปสู่ระดับสเกลที่หยาบกว่าได้ดังสมการ (3.21)

$$f(t) = \sum_{k} c_j(k)\phi_{j,k}(t) + \sum_{j}\sum_{k} d_j(k)\psi_{j,k}(t) \tag{3.21}$$

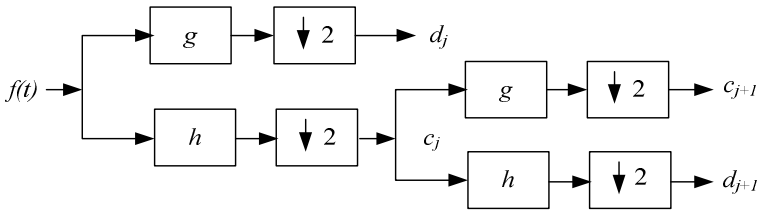
โดยที่ $f(t)$ คือ สัญญาณ ณ เวลา t ใด ๆ

$c_j(k)$ คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในส่วน Approximation

$\phi_{j,k}(t)$ คือ เวฟเล็ตฟังก์ชัน (Wavelet Function)

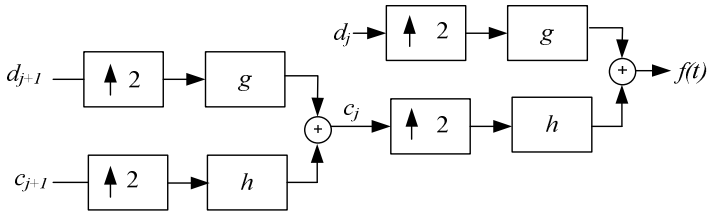
$d_j(k)$ คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในส่วน Detail

$\psi_{j,k}(t)$ คือ สเกลลิงฟังก์ชัน(Scaling Function)



รูปที่ 3.12 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต 2 ระดับ

กระบวนการแปลงกลับเวฟเล็ต (IDWT) เพื่อสังเคราะห์ให้ได้สัญญาณอินพุทกลับคืนมา โดยที่จะนำสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตและสเกลลิงฟังก์ชันในระดับรายละเอียดที่หยาบมาสร้างเป็นสัญญาณในระดับรายละเอียดที่สูงกว่า ดังรูปที่ 3.13 โดยเพิ่มอัตราสุ่มเป็นสองเท่าดังสมการ (3.22)



รูปที่ 3.13 กระบวนการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบดีสครีต 2 ระดับ

$$f(t) = \sum_m c_j(m)h(k-2m) + \sum_m d_j(m)g(k-2m) \qquad (3.22)$$

โดยที่ $c_j(m)$ คือ Approximation Coefficients ระดับที่ j

$d_j(m)$ คือ Detail Coefficients ระดับที่ j

$h(k-2m)$ คือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low - pass filter)

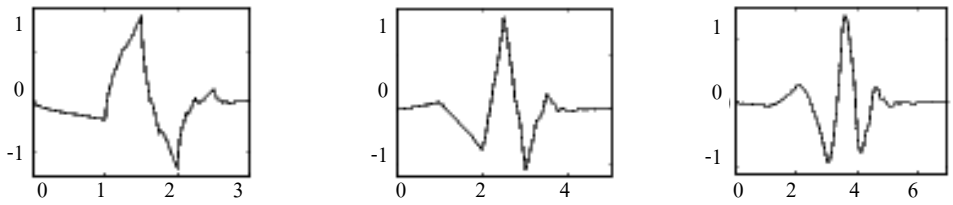
$g(k-2m)$ คือ ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High - pass filter)

m, k คือ จำนวนเต็มบวกใด ๆ

3.4.4 ตระกูลเวฟเล็ต

เนื่องจากฟังก์ชันหน้าต่างหรือตระกูลของเวฟเล็ต สามารถมีได้หลายรูปแบบเพื่อให้สามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม ในหัวข้อนี้จะแสดงลักษณะของเวฟเล็ตในตระกูลต่าง ๆ ดังนี้

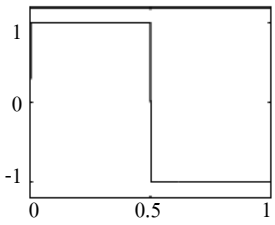
● Daubechies Wavelet เวฟเล็ตตระกูลนี้ ถูกพัฒนาขึ้น โดย Ingrid Daubechies เป็นเวฟเล็ตแบบ Orthogonal Wavelet ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยที่สมาชิกในเวฟเล็ตตระกูลนี้เขียนแทนด้วย dbN โดยที่ N คือลำดับของเวฟเล็ตและนำหน้าด้วย db



(ก) db2 (ข) db3 (ค) db4

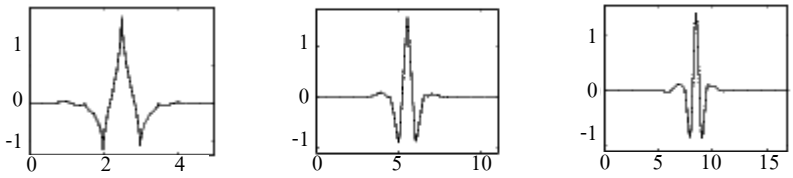
รูปที่ 3.14 เวฟเล็ตแบบ Daubechies (MATLAB Computer Program 2002)

● Haar Wavelet เวฟเล็ตหลายชนิดถูกพัฒนาขึ้น โดยอาศัยพื้นฐานของเวฟเล็ตแบบ Haar ซึ่งเป็นเวฟเล็ตที่มีความไม่ต่อเนื่องและมีความคล้ายกับฟังก์ชันขั้นบันไดดังแสดงในรูปที่ 3.15 เวฟเล็ตแบบ Haar นี้เป็นตัวเดียวกันกับเวฟเล็ตแบบ Daubechies1, db1

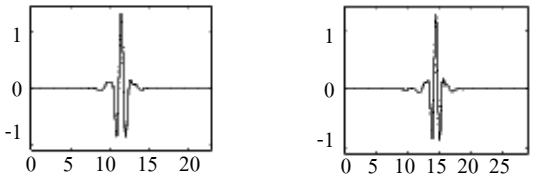


รูปที่ 3.15 เวฟเล็ตแบบ Haar (MATLAB Computer Program 2002)

● Coiflets Wavelet เวฟเล็ตตระกูลนี้ถูกพัฒนาโดย I. Daubechies โดยความต้องการของ R. Coifman โดยมีสัญญาณดังรูปที่ 3.16



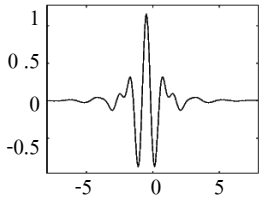
(ก) coif1 (ข) coif2 (ค) coif3



(ง) coif3 (จ) coif4

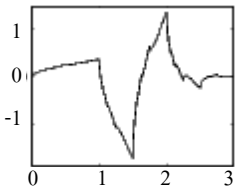
รูปที่ 3.16 เวฟเล็ตแบบ Coiflets (MATLAB Computer Program 2002)

● Meyer Wavelet เวฟเล็ตชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นในโดเมนความถี่มีแค่ตัวเดียวและไม่มีสเกลลิงฟังก์ชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.17

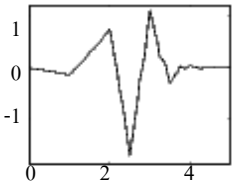


รูปที่ 3.17 เวฟเล็ตแบบ Meyer (MATLAB Computer Program 2002)

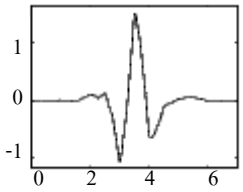
● Symlets Wavelet เวฟเล็ตตระกูล Symlets เป็นเวฟเล็ตแบบเกือบสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 3.18 ถูกพัฒนามาจากเวฟเล็ตตระกูล Daubechies โดย Ingrid Daubechies ซึ่งทำให้เวฟเล็ตทั้งสองตระกูลมีทฤษฎีพื้นฐานที่คล้ายกัน



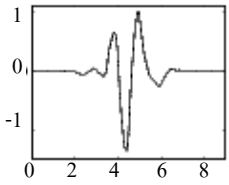
(ก) sym2



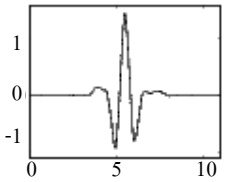
(ข) sym3



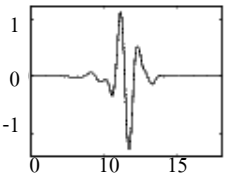
(ค) sym4



(ง) sym5



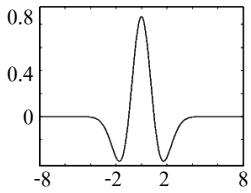
(จ) sym6



(ฉ) sym7

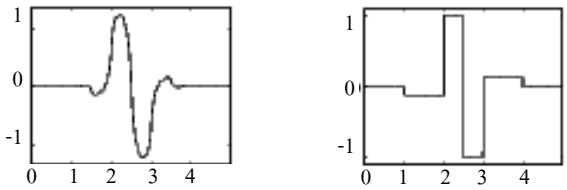
รูปที่ 3.18 เวฟเล็ตแบบ Symlets (MATLAB Computer Program 2002)

● Maxican Hat Wavelet เวฟเล็ตตระกูล Maxican Hat เวฟเล็ตชนิดนี้ได้มาจากการหาอนุพันธ์อันดับสองของ Gaussian Probability Density Function เวฟเล็ตชนิดนี้มีแค่ตัวเดียวและไม่มีสเกลลิงฟังก์ชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.19

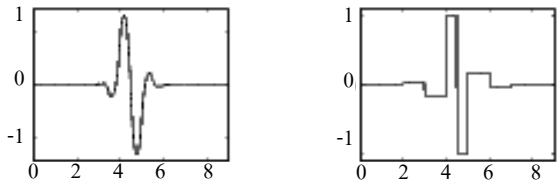


รูปที่ 3.19 เวฟเล็ตแบบ Maxican Hat (MATLAB Computer Program 2002)

● Biorthogonal Wavelet เวฟเล็ตตระกูลนี้มีคุณสมบัติแบบ Linear phase ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการสร้างเวฟเล็ตตระกูลนี้แบ่งออกเป็นสองเวฟเล็ตย่อย สำหรับการแยกกระจายเวฟเล็ต (ฝั่งซ้าย) และสร้างสัญญาณขึ้นใหม่ (ฝั่งขวา) ดังแสดงในรูปที่ 3.20



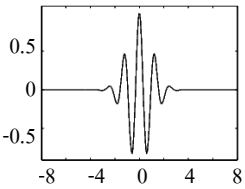
(ก) bior1.3



(ข) bior1.5

รูปที่ 3.20 เวฟเล็ตแบบ Biorthogonal (MATLAB Computer Program 2002)

● Morlet Wavelet เวฟเล็ตชนิดนี้มีแค่ตัวเดียวและไม่มีสเกลลิงฟังก์ชัน โดยมีคลื่นสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เวฟเล็ตแบบ Morlet (MATLAB Computer Program 2002)

3.4.5 การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตหนึ่งมิติ

การวิเคราะห์เวฟเล็ตแบบหลายระดับความละเอียดกับเวฟเล็ตแบบออโทโกนัล เริ่มจากการหาค่า cA_j และ cD_j จากสัญญาณ S โดยจำเป็นต้องรู้สเกลลิงฟิลเตอร์แทนด้วย W ที่ได้จากสเกลลิงฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติเป็น FIR มีความยาว $2N$ โดย N คือ ลำดับของเวฟเล็ตมีคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ดังตัวอย่าง เช่น dbN โดย N = 3 มีค่าสัมประสิทธิ์ 2N = 6 ตัวดังนี้ 0.2352, 0.5706, 0.3252, -0.0955, -0.0604 และ 0.249 เราสามารถสร้างฟิลเตอร์สำหรับการแยกองค์ประกอบและการรวมกลับได้ดังรูปที่ 3.22 และได้ผลดังรูปที่ 3.23

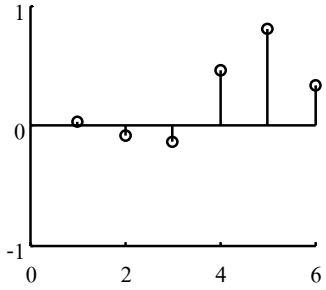
$$W \downarrow \quad Lo_R = \frac{W}{norm(w)} \quad \rightarrow \quad Lo_D = wrev(Lo_R)$$

$$\downarrow \quad Hi_R = qmf(Lo_R) \quad \rightarrow \quad Hi_D = wrev(Hi_R)$$

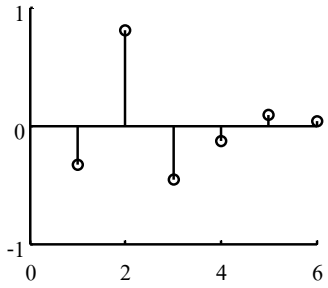
รูปที่ 3.22 การคำนวณหาฟิลเตอร์ทั้งสี่ตัว

จากรูปที่ 3.22 กำหนดให้ qmf คือ การกลับลำดับเวกเตอร์จากซ้ายเป็นขวาพร้อมกับเปลี่ยนเครื่องหมายของสัมประสิทธ์เลขคี่ และ wrev คือ การกลับลำดับเวกเตอร์จากซ้ายเป็นขวา

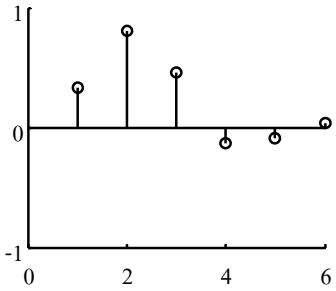
สัญญาณที่มีความยาว N จะถูกแบ่งย่อยออกเป็นสองส่วน คือ Approximation Coefficients หรือ cA_j ซึ่งได้จากการทำเซอร์คูลาคอนโวลูชันระหว่างสัญญาณ S กับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lo_D) และDetail Coefficients หรือ cD_j ซึ่งได้จากการทำเซอร์คูลาคอนโวลูชันระหว่างสัญญาณ S กับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (Hi_D) แล้วทำการลดอัตราสุ่มลงสองเท่าดังรูปที่ 3.24



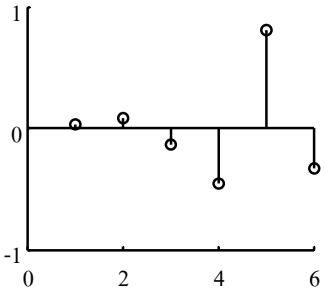
(ก) Lo_D



(ข) Hi_D

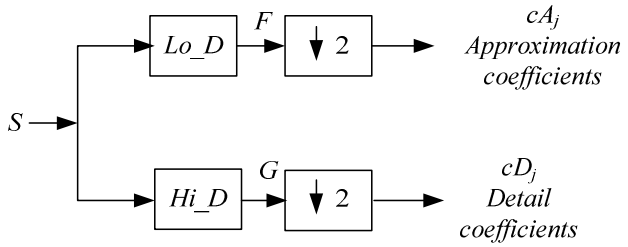


(ค) Lo_R



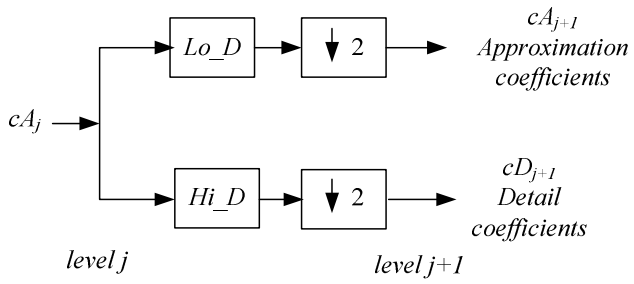
(ง) Hi_R

รูปที่ 3.23 ตัวอย่างฟิลเตอร์ สำหรับการแปลงเวฟเล็ต db3



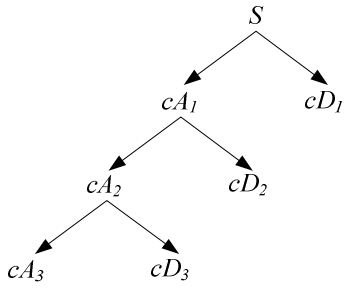
รูปที่ 3.24 การคำนวณ cA_j และ cD_j

สัญญาณ F และ G จะมีขนาด N ส่วน cA_j และ cD_j จะได้จากการลดอัตราสุ่ม F และ G ลงสองเท่าตามลำดับ สำหรับการเพิ่มระดับความละเอียดของการวิเคราะห์สัญญาณสามารถทำได้โดยการทำซ้ำขั้นตอนเดิมที่กล่าวมาแล้วนั่น โดยการแทน $S = cA_j$ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การคำนวณ cA_{j+1} และ cD_{j+1}

ดังนั้น ถ้า $j = 3$ เราสามารถเขียนโครงสร้างแบบต้นไม้ได้ดังรูปที่ 3.26 โดยที่โครงสร้างของสัมประสิทธิ์คือ $[cA_1, cD_1, cD_2, cD_3]$



รูปที่ 3.26 โครงสร้างแบบต้นไม้ที่ $j = 3$

3.5 เครือข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2546) เป็นโครงข่ายที่สามารถปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองของอินพุทตามกฎการเรียนรู้ (Learning Rule) หลังจากที่โครงข่ายได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องการแล้ว โครงข่ายจะสามารถทำงานที่กำหนดไว้ได้ โครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์ โดยสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่าเซลล์ประสาทเทียม (Neuron) จำนวนเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์มีอยู่ประมาณ 10^{11} และมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย สมองมนุษย์จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง ไม่เป็นเชิงเส้นและทำงานแบบขนานในการดูแลจัดการการทำงานร่วมกันของเซลล์ประสาทในสมอง ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมที่เลียนแบบมาจากการทำงานของสมองมนุษย์นี้ จึงมีความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่างและการทำให้เป็นกรณีทั่วไป (Generalize) ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะสำคัญของ

โครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงข่ายจะถูกฝึกสอนโดยการแสดงรูปแบบต่าง ๆ ที่ต้องการให้โครงข่ายเรียนรู้ด้วยกฎการเรียนรู้ ขบวนการเรียนรู้ได้ของโครงข่ายนี้ทำให้มีความแตกต่างไปจากการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่น ๆ การที่โครงข่ายถูกทำให้เป็นกรณีทั่วไปทำให้ตัวโครงข่ายสามารถจำแนกแยกแยะรูปแบบของอินพุทแบบใหม่ ๆ ที่ตัวโครงข่ายไม่รู้จักมาก่อนได้ ตัวโครงข่ายประสาทเทียมทำการเก็บข้อมูลความรู้ในระหว่างขั้นตอนของการเรียนรู้ ซึ่งเก็บไว้ที่จุดประสาท (Synaptic Weights) โครงสร้างของตัวเซลล์ประสาทเทียมภายในโครงข่ายมีอยู่หลายชนิด ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะต่าง ๆ ของโครงข่ายแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางเรียงตัวของเซลล์ประสาทเทียม กฎการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนค่าของจุดประสาทและเงื่อนไขในการฝึกฝนของโครงข่าย อย่างไรก็ตามโครงข่ายชนิดต่าง ๆ มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่เชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมาก เหมือนกับสมองของมนุษย์ ความไม่เป็นเชิงเส้นก็เป็นคุณลักษณะร่วมกันของโครงข่ายเกือบทุกแบบ นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมยังมีข้อดีอีกมากมาย เช่น มีความทนทานต่อความบกพร่อง เพราะข้อมูลภายในโครงข่ายได้ถูกกระจายไปทั้งโครงข่ายตามเซลล์ประสาทเทียมต่าง ๆ การจะทำให้ทั้งระบบไม่สามารถทำงานได้นั้นจะต้องทำให้เกิดความเสียหายอย่างหนักเท่านั้นและโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการโต้ตอบและตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมได้ โดยเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป ตัวโครงข่ายจะสามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ แล้วทำการฝึกฝนให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่ได้

3.5.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Architecture)

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบไปด้วยสองส่วนใหญ่ ๆ คือ แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียมและสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายของเซลล์ประสาทเทียม แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียมแสดงดังรูปที่ 3.27 เซลล์ประสาทเทียมมี R อินพุท แต่ละอินพุทย่อย $p_1, p_2, p_3, \ldots, p_R$ ถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักประสาท (Weight) ของแต่ละตัว $w_{11}, w_{12}, \ldots, w_{1R}$ และไบอัส b (bias) เป็นอีกหนึ่งอินพุทที่มีค่าน้ำหนักประสาทคงที่เท่ากับ 1 โดยอินพุททั้งสองถูกรวม (Sum) ได้เอาท์พุทเป็น n เรียกว่าเน็ตอินพุท (Net Input) ซึ่งจะเป็นอินพุทให้กับฟังก์ชันถ่ายโอน f (Transfer Function) และได้เอาท์พุทของเซลล์ประสาทเทียมคือ y โดยเอาท์พุทของเซลล์ประสาทเทียมสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$y = f(\mathbf{W}\mathbf{p} + \mathbf{b}) \tag{3.23}$$

โดยที่ y คือ เอาท์พุทของเซลล์ประสาทเทียม

$\mathbf{W}$ คือ ค่าน้ำหนักประสาท

p คือ อินพุทย่อย

b คือ ไบอัสเวกเตอร์

เอาท์พุทของเซลล์ประสาทเทียมขึ้นอยู่กับน้ำหนักประสาท **W** และ **b** ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนถูกออกแบบเลือกโดยผู้ใช้และพารามิเตอร์ **W** และ **b** จะถูกปรับค่าจากกฎการเรียนรู้ ปกติ ในทางปฏิบัติ โครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างหลายชั้น (Multiple Layer) จำนวนเซลล์ประสาทเทียมของแต่ละชั้นคือ R - S^1 - S^2- ... - S^N โดยปกติชั้นแรกเป็นชั้นอินพุท (Input Layer) ซึ่งทำหน้าที่รับอินพุทจากภายนอกโครงข่าย ในชั้นสุดท้ายจะเป็นชั้นเอาท์พุทสำหรับส่งค่าเอาท์พุทออกไปจากโครงข่าย ส่วนชั้นระหว่างอินพุทและเอาท์พุทเรียกว่าชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) ซึ่งแต่ละชั้นมีเมตริกซ์น้ำหนักประสาท **W** ไบอัสเวกเตอร์ **b** เน็ตเอาท์พุท n และเอาท์พุท y ของชั้นนั้นและแต่ละชั้นสามารถมีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมแตกต่างกันได้ จากรูป 3.28 พิจารณาโครงข่าย N ชั้น เอาท์พุทของในแต่ละชั้นจะเป็นอินพุทให้กับชั้นถัดไป สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$y^{l+1} = f^{l+1}(W^{l+1}y^{l} + b^{l+1}) \tag{3.24}$$

โดยที่ y^{l+1} คือ เอาท์พุทของเซลล์ประสาทเทียมที่ชั้น $l+1$

W^{l+1} คือ ค่าน้ำหนักประสาทที่ชั้น $l+1$

y^{l} คือ เอาท์พุทของเซลล์ประสาทเทียมที่ชั้น l

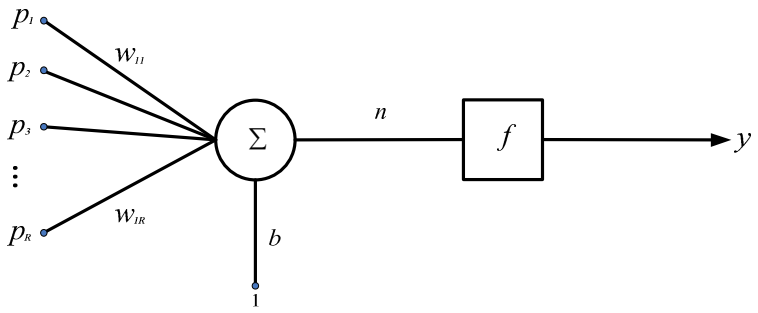
b^{l+1} คือ ไบอัสเวกเตอร์ที่ชั้น $l+1$

l คือ 0, 1, 2, …, N-1

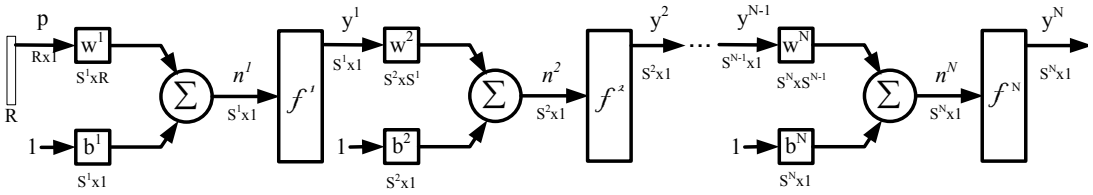
ในชั้นแรกเป็นชั้นอินพุท ซึ่งรับอินพุทโดยตรงจากภายนอกโครงข่าย คือ

$$y^{0} = p \tag{3.25}$$

ในขณะที่เอาท์พุทในชั้นสุดท้าย คือ y^N โครงข่ายหลายชั้นมีพารามิเตอร์ค่อนข้างมาก ดังนั้น สิ่งแรกที่จะนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ จึงต้องทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น จำนวนชั้น จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในแต่ละชั้น จำนวนอินพุท จำนวนเอาท์พุท ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน ฯลฯ ให้เหมาะสม



รูปที่ 3.27 แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม



รูปที่ 3.28 การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโครงข่าย N ชั้น

3.5.2 เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ (Backpropagation Neuron Network)

เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ เป็นเครือข่ายแบบหลายชั้น มีการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) คือ เรียนรู้ที่จะสร้างผลลัพธ์ที่ต้องการให้ได้ตามตัวอย่างที่ได้รับ และใช้วิธีลดค่าความผิดพลาดของเอาท์พุทให้น้อยที่สุด โดยเทียบกับน้ำหนักประสาท อัลกอริทึมดั้งเดิมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับใช้หลักการเดียวกันกับอัลกอริทึม Least Mean Squares: LMS ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) เช่นเดียวกัน ในอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ มีการนำเสนอคู่อินพุทและเป้าหมายให้โครงข่ายเรียนรู้ดังนี้

$$\{\mathbf{p}_1,\mathbf{t}_1\},\{\mathbf{p}_2,\mathbf{t}_2\},\ldots,\{\mathbf{p}_Q,\mathbf{t}_Q\} \tag{3.26}$$

โดยที่ $\mathbf{p}_Q$ คือ ข้อมูลอินพุทที่ตำแหน่ง Q

$\mathbf{t}_Q$ คือ เป้าหมายที่ตำแหน่ง Q

Q คือ ขนาดของข้อมูลอินพุท

เมื่อป้อนแต่ละอินพุทให้กับโครงข่ายเอาท์พุทที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเป้าหมาย อัลกอริทึมจะทำการปรับพารามิเตอร์ของเครือข่าย ซึ่งได้แก่น้ำหนักประสาทและไบอัส เพื่อให้ค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองเฉลี่ยของเอาท์พุทและเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุดจะได้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Performance Index) คือ

$$F(\mathbf{x}) = E[(\mathbf{t}-\mathbf{y})^T(\mathbf{t}-\mathbf{y})] \tag{3.27}$$

โดยที่ $F(\mathbf{x})$ คือ ฟังก์ชันตัวชี้วัดประสิทธิภาพ
$\mathbf{x}$ คือ เป็นเมตริกซ์ของน้ำหนักประสาท
$\mathbf{y}$ คือ ค่าเอาท์พุทของเครือข่าย
$\mathbf{t}$ คือ เป้าหมาย

ไบอัสอัลกอริทึมแบบแพร่กลับสำหรับการปรับค่าน้ำหนักประสาทและไบอัส ณ รอบที่ *k+1* และค่าคงที่การเรียนรู้ α คือ

$$w_{ij}^m(k+1) = w_{ij}^m(k) - \alpha\delta_i^m(k)y_j^{m-1}(k) \tag{3.28}$$

โดยที่ $w_{ij}^m(k+1)$ คือ เมตริกซ์ของน้ำหนักประสาท ณ รอบที่ $k+1$ ณ ชั้น m
$w_{ij}^m(k)$ คือ เมตริกซ์ของน้ำหนักประสาท ณ รอบที่ k ณ ชั้น m
$\delta_i^m(k)$ คือ ค่าความไวของค่าความผิดพลาด ณ ชั้น m
$y_j^{m-1}(k)$ คือ เอาท์พุท ณ รอบที่ k ณ ชั้น $m-1$
α คือ ค่าคงที่การเรียนรู้

และ

$$b_i^m(k+1) = b_i^m(k) - \alpha\delta_i^m(k) \tag{3.29}$$

โดยที่ $b_i^m(k+1)$ คือ ค่าไบอัส ณ รอบที่ $k+1$ ณ ชั้น m
$b_i^m(k)$ คือ ค่าไบอัส ณ รอบที่ k ณ ชั้น m

โดยที่ δ_i^m เป็นค่าความไวของค่าความผิดพลาด ณ ชั้น m ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 กรณีคือ กรณีชั้นที่ m เป็นชั้นเอาท์พุท จะได้

$$\delta_i^N = -2(t_i - y_i^N) f'(n_i^N) \tag{3.30}$$

โดยที่ δ_i^N คือ เป็นค่าความไวของค่าความผิดพลาด ณ ชั้น N
t_i คือ เป้าหมาย
y_i^N คือ เอาท์พุทของเครือข่าย ณ ชั้น N
n_i^N คือ อินพุทของ Transfer Function ณ ชั้น N

และในกรณีชั้นที่ m เป็นชั้นซ่อนเร้น จะได้

$$\delta_i^m = f'(n_i^m) \sum_{l=1}^{S^{m+1}} \delta_l^{m+1} w_{il}^{m+1} \tag{3.31}$$

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าความไวของค่าความผิดพลาดที่ได้ในชั้นที่พิจารณาสามารถคำนวณได้จากองค์ประกอบในชั้นถัดไป ซึ่งองค์ประกอบฟังก์ชันค่าความไว เป็นส่วนที่ทำให้อัลกอริทึมแบบแพร่กลับแตกต่างไปจากอัลกอริทึม LMS การปรับค่าน้ำหนักประสาทและไบอัสยังเป็นไปในแบบลงชันสุด (Steepest Descent) ซึ่งจะนำเครือข่ายไปในทิศทางที่ทำให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด

3.5.3 เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (Probabilistic Neural Networks)

เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าเป็น (Probabilistic Neural Networks: PNN) เป็นเครือข่ายแบบ 4 ชั้น มีการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) ถูกนำเสนอโดย Specht โดยแบบจำลองที่นำเสนอในครั้งแรกนั้น ใช้สำหรับแก้ปัญหาบางอย่างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ (Backpropagation Neural Network) เช่น การฝึกสอนที่ใช้เวลานาน ไม่พบค่าตามเงื่อนไขหรือค่าที่เหมาะสมที่สุด เป็นต้น เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นประกอบไปด้วยเครือข่ายแบบไปข้างหน้าจำนวน 4 ชั้น ใช้หลักการตัดสินใจของเบส์ (Bayes's Decision) และใช้การประมาณค่าของความน่าจะเป็นแบบนอนพาราเมตริก (Non - Parametric)

เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นคือ การประมาณค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลการฝึกสอนแบบนอนพาราเมตริกของพาร์เซน (Parzen) และใช้การตัดสินใจของเบส์ในการ

ตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูล กำหนดให้ j_{th} เป็นข้อมูลสำหรับการฝึกสอนสำหรับคลาส i_{th} คือ x_j แล้วจะทำการประมาณค่าความน่าจะเป็นของพาร์เซน (Parzen Estimate) ของคลาส i_{th} สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$F_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{m/2}\sigma^m n}\sum_{j=1}^{n} exp\left[-\frac{(x-x_j)^T(x-x_j)}{2\sigma^2}\right] \tag{3.32}$$

โดยที่ n คือ จำนวนของข้อมูลที่ทำการฝึกสอน

m คือ ขนาดของข้อมูลอินพุท

σ คือ Smooth Parameter

T คือ การทรานโพส

x คือ ข้อมูลอินพุท

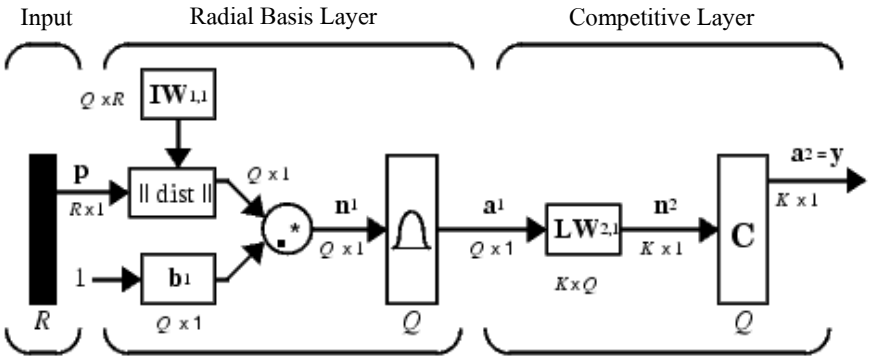
สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นประกอบด้วยเครือข่ายแบบไปข้างหน้าจำนวน 4 ชั้น ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.29 ซึ่งสามารถอธิบายชั้นต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) ชั้นของอินพุท (Input Layer) จะมีจำนวนนิวรอนเท่ากับขนาดของข้อมูลอินพุท

2) ชั้นของเรเดียนไบอัส (Radial Bias Layer) จะมีจำนวนนิวรอนเท่ากับจำนวนของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนและค่าของเมทริกซ์น้ำหนักประสาท คือค่าของเมทริกซ์ที่ได้จากการฝึกสอนแล้วทำการทรานสโพส อินพุทของชั้นนี้ คือ ค่าของเวกเตอร์ระยะทาง (Vector Distance) ระหว่างค่าเวกเตอร์น้ำหนักประสาท (Weight Vector: w) กับค่าอินพุทเวกเตอร์ (Input Vector: x) คูณกับค่าไบอัส (Bias: b) ซึ่งสามารถคำนวณเอาท์พุทได้ดังสมการ (3.33)

3) Summation Layer จำนวนชั้นของนิวรอนจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนของชุดข้อมูลที่ทำการฝึกสอนและเป็นการรับเอาท์พุทจาก Radial Basis Layer

4) Output Layer ชั้นนี้จะทำการเลือกชุดข้อมูลที่มีความน่าจะเป็นมากที่สุดเพื่อมาเป็นเอาท์พุทของเครือข่าย



รูปที่ 3.29 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (MATLAB 2004)

จากรูปที่ 3.29 สามารถอธิบายสัญลักษณ์และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

R	คือ	ขนาดข้อมูลที่จะส่งให้เครือข่าย
P	คือ	ข้อมูลอินพุทซึ่งมีขนาด $R \times 1$
IW1,1	คือ	Input Weights Matrix ซึ่งมีขนาด $Q \times R$
$\|\|dist\|\|$	คือ	Euclidean Distance
b1	คือ	ค่าไบอัสของเครือข่าย
	คือ	การคูณแบบจุดต่อจุด
n1	คือ	อินพุทเวกเตอร์ของชั้นที่ 1 ซึ่งมีขนาด $Q \times 1$
	คือ	Radial Basis Function มีค่าเป็นเท่ากับ $exp(-n^2)$
a1	คือ	เอาท์พุทเวกเตอร์ซึ่งมีขนาด $Q \times 1$
LW2,1	คือ	Second layer weights Matrix ซึ่งมีขนาด $K \times Q$
K	คือ	จำนวนของคลาสที่ต้องการคัดแยก
n2	คือ	อินพุทเวกเตอร์ของชั้นที่ 1 ซึ่งมีขนาด $K \times 1$
	คือ	Competitive Function จะทำการเลือกชุดข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด
y	คือ	เอาท์พุทของเครือข่าย

$$Y = exp(-n^2) \tag{3.33}$$

โดยที่ Y คือ ค่าเอาท์พุทของ Radial Basis Layer

n คือ $b \bullet \|w - x\|$

b คือ ไบอัส , $\sqrt{-\log(-0.5)} / Spread$

$\|w - x\|$ คือ Euclidean Distance ระหว่างเวกเตอร์ w และเวกเตอร์ x

$Spread$ คือ ค่าการขยาย

3.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวทฤษฎีเบื้องต้นที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์อย่างละเอียดทั้งการประมวลผลภาพการแยกส่วนภาพเวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเข้าใจในวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

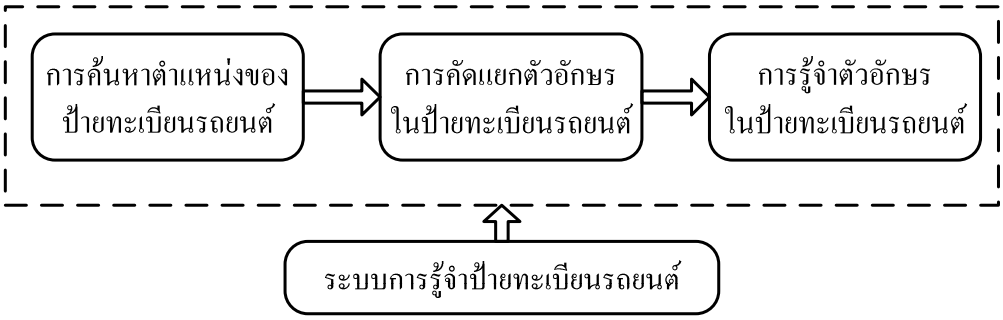
บทที่ 4
การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

4.1 กล่าวนำ

สำหรับวิทยานิพนธ์ในบทนี้จะนำเสนอแนวทางการพัฒนาการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้ง 3 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรและการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์รวมทั้งโครงสร้างของระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยที่วิทยานิพนธ์นี้ ใช้ภาพตัวอย่างป้ายทะเบียนรถยนต์ของประเทศไทยจริง โดยรูปแบบตรงตามโดยกฎกระทรวงการกำหนดลักษณะ ขนาดและสีของแผ่นป้ายทะเบียนรถ พ.ศ. 2547 ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

4.2 โครงสร้างของระบบ

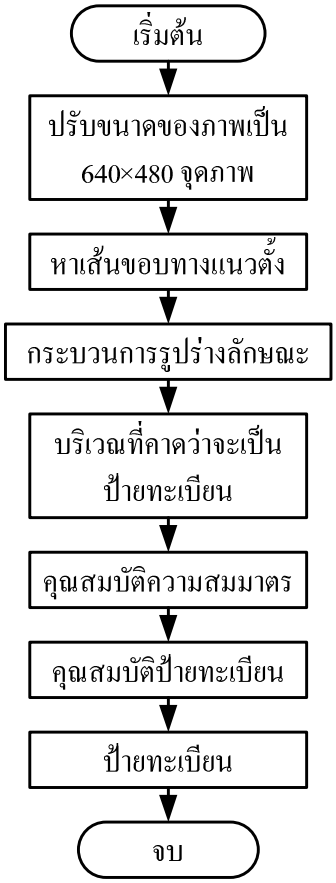
โครงสร้างของระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จะประกอบไปด้วยกัน 3 ส่วน คือ การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์และการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งงานในแต่ละส่วนมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากัน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งเกิดทำงานผิดพลาดขึ้นมา ระบบการรู้จำป้ายทะเบียนนี้ก็จะถือว่าทำงานผิดพลาดด้วยเช่นกัน ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและพัฒนางานทั้ง 3 ส่วนนี้



รูปที่ 4.1 ระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

4.3 การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์

การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ถือเป็นงานอีกส่วนที่มีความสำคัญมากเพราะว่าเป็นกระบวนการแรกของระบบการรู้จำป้ายทะเบียนดังแสดงในรูปที่ 4.1 ลำดับต่อไปจะนำเสนอขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์โดยละเอียด โดยที่ขั้นตอนการค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์มีขั้นตอนดังแผนผังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนผังการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์

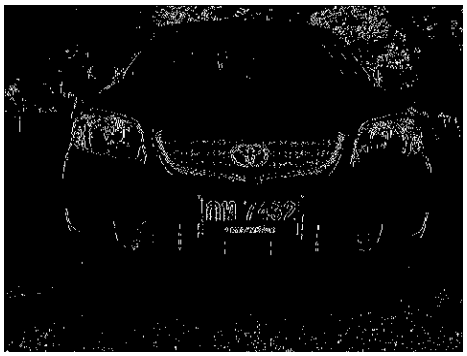
4.3.1 การหาเส้นขอบทางแนวตั้ง (Vertical Edge Detection)

งานวิจัยนี้ เริ่มจากการปรับขนาดของภาพให้มีขนาด 480 × 640 จุดภาพ เนื่องจากภาพขนาด 480 × 640 จุดภาพ (Pixel) ยังให้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการรู้จำตัวอักษรและใช้เวลาในการประมวลผลน้อย เมื่อแปลงภาพมายังขนาดที่ต้องการเสร็จเรียบร้อยแล้วต่อด้วยการแปลงภาพจากภาพสี (Color Image) เป็นภาพระดับเทา (Gray Scale Image) และจากงานวิจัยของ Bai Hongliang และ Liu Changping (2004) ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า การหาเส้นขอบทางแนวตั้งนั้นให้ข้อมูลของป้าย

ทะเบียนมากกว่าการหาเส้นขอบทางแนวนอนดังแสดงในรูปที่ 4.3 และการหาเส้นขอบนี้สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์

(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพเส้นขอบวัตถุ



(ค) ภาพเส้นขอบวัตถุแนวตั้ง

(ง) ภาพเส้นขอบวัตถุแนวนอน

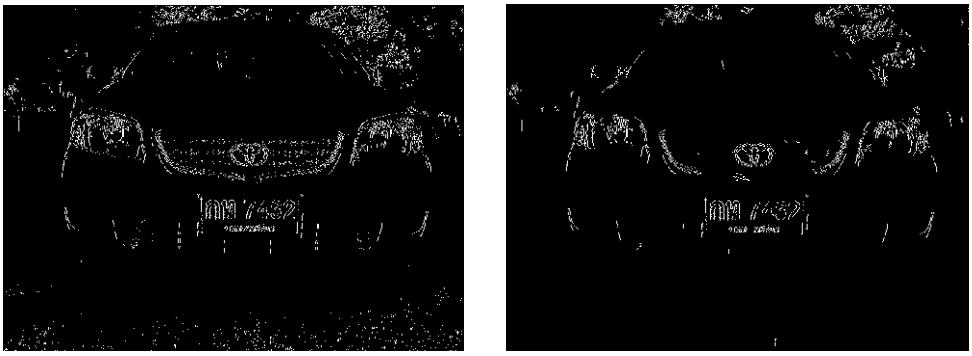
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบการหาเส้นขอบในแต่ละวิธี

จากรูปที่ 4.3(ข) จะเห็นว่าการหาเส้นขอบวัตถุทั้งแนวตั้งและแนวนอนให้ข้อมูลมากเกินไปและยังมีข้อมูลส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนและพื้นหลังเข้ามาด้วย รวมทั้งการหาเส้นขอบแนวนอนก็ยังทำให้ข้อมูลของป้ายทะเบียนหายไปและยังได้ข้อมูลที่เป็นสัญญาณรบกวนและพื้นหลังเข้ามาอีกด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ง) ดังนั้นการหาเส้นขอบแนวตั้งจึงมีความเหมาะสม

มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ค) เนื่องจากให้ข้อมูลของป้ายทะเบียนมากที่สุดและยังให้ข้อมูลที่ไม่จำเป็นไม่มากเกินไป โดยที่งานวิจัยนี้ใช้การหาเส้นขอบแบบโซเบล (Sobel Operator)

4.3.2 กระบวนการรูปร่างลักษณะ (Morphological Operation)

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างบริเวณที่คาดว่าน่าจะเป็นตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยงานวิจัยนี้จะทำการลดส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนและพื้นหลังออกด้วยกระบวนการ Concerned Neighborhood Pixel (CNP) ดังได้แสดงในรูปที่ 4.4 โดยที่รูปที่ 4.4(ก) เป็นการใช้การหาเส้นขอบทางแนวตั้งและรูปที่ 4.4(ข) เป็นผลที่ได้จากการใช้ CNP ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนและพื้นหลังบางส่วนหายไป



(ก) ก่อนใช้กระบวนการ CNP (ข) หลังใช้กระบวนการ CNP

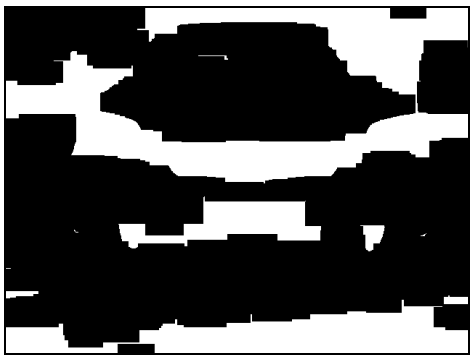
รูปที่ 4.4 การใช้กระบวนการ CNP

หลังจากนั้น ใช้กระบวนการรูปร่างลักษณะ เพื่อเชื่อมระหว่างพิกเซล โดยเลือกค่าสมาชิกโครงสร้าง (Structure Element: se) เป็นแบบสี่เหลี่ยมพื้นผ้าขนาด 15 × 30 แต่เพื่อให้ระบบสามารถสร้างบริเวณที่คาดว่าจะเป็นป้ายทะเบียนให้มากเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าสมาชิกโครงสร้างเป็น 30 × 35, 35 × 40 และ 40 × 45 ด้วยวิธีการนี้ เราจะได้บริเวณที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งของป้ายทะเบียนขนาดที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากรูปที่ 4.5(ก) - 4.5(ง) จะเห็นว่าบริเวณที่เป็นจุดภาพมีสีขาว (Pixel = 1) มีความแตกต่างกันและมีบริเวณที่มากขึ้นตามค่าสมาชิกโครงสร้าง ซึ่งก็หมายถึงบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งป้ายทะเบียนจะมีความแตกต่างกันมากขึ้น

(ก) ค่า se เท่ากับ 15 × 30

(ข) ค่า se เท่ากับ 30 × 35

(ค) ค่า se เท่ากับ 35 × 40



(ง) ค่า se เท่ากับ 40 × 45

รูปที่ 4.5 การใช้กระบวนการรูปร่างลักษณะ

4.3.3 คุณลักษณะพิเศษของป้ายทะเบียน

เมื่อได้บริเวณที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์แล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปเป็นการค้าหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยการตีกรอบบริเวณที่เป็นพิกเซลสีขาว (Pixel = 1) แล้วใช้คุณลักษณะพิเศษของป้ายทะเบียนทั้งหมด 6 คุณลักษณะ เพื่อตรวจสอบความเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งส่วนที่เป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ต้องผ่านเงื่อนไขทั้ง 6 คุณลักษณะ

1) ขอบเขตความสูงของป้ายทะเบียนรถยนต์ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ขอบเขตความสูงของป้ายทะเบียนรถยนต์มีค่าไม่น้อยกว่า 50 จุดภาพและไม่มากกว่า 380 จุดภาพ ซึ่งขนาดภาพที่ได้นั้นยังมีข้อมูลที่เพียงพอต่อการรู้จำตัวอักษร

2) อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของป้ายทะเบียนรถยนต์ เนื่องจากป้ายทะเบียนรถยนต์มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมพื้นผ้าดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เราจึงสามารถกำหนดอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงนี้ได้ โดยงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงไม่น้อยกว่า 1 เท่าและไม่มากกว่า 4 เท่า

3) เปอร์เซ็นต์ความดำของป้ายทะเบียนรถยนต์ เมื่อแปลงภาพเป็นภาพไบนารีแล้ว เราจะนับจำนวนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือจำนวนความดำแล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ว่าอยู่ในช่วงใด ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความดำของป้ายทะเบียนอยู่ไม่น้อยกว่า 0.3 และไม่มากว่า 0.8

4) ความสม่ำเสมอของช่องว่างระหว่างตัวอักษร เนื่องจากตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์จะไม่มีการเกิดการซ้อนทับกันของตัวอักษร จึงเป็นคุณลักษณะพิเศษอีกข้อหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง

5) เปอร์เซ็นต์ความดำของบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตัวอักษร คุณลักษณะตัวอักษรก็เป็นคุณลักษณะหนึ่งที่มีความสำคัญ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความดำของบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตัวอักษรไม่น้อยกว่า 0.3 และไม่มากกว่า 0.75

6) จำนวนของตัวอักษรที่คัดแยกได้ เนื่องจากจำนวนตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์มีจำนวนที่แน่นอน ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดขอบเขตของตัวอักษรที่คัดแยกออกมาได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่าไม่น้อยกว่า 2 ตัวอักษรและไม่มากกว่า 6 ตัวอักษร

ค่าตัวเลขที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตคุณลักษณะพิเศษ ซึ่งได้มาจากการทดลองและสามารถสรุปไว้ในตารางที่ 4.1 เมื่อผ่านการตรวจสอบความเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วยคุณลักษณะทั้ง 6 คุณลักษณะแล้ว เราก็จะได้ภาพในส่วนที่เป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยที่รูปที่ 4.6(ก) เป็นภาพการระบุตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ในภาพต้นแบบและรูปที่ 4.6(ข) เป็นผลลัพธ์สุดท้ายของกระบวนการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์

ตารางที่ 4.1 ค่าที่ใช้ระบุขอบเขตของคุณลักษณะพิเศษของป้ายทะเบียน

คุณลักษณะพิเศษ	ขอบเขต
ความสูงของป้ายทะเบียนรถยนต์	50 - 380
อัตราส่วนความกว้างต่อความสูง	1 - 4
เปอร์เซ็นต์ความดำของป้ายทะเบียนรถยนต์	0.3 - 0.8
ความสม่ำเสมอของช่องว่างระหว่างตัวอักษร	ไม่มีการซ้อนทับกัน
เปอร์เซ็นต์ความดำของตัวอักษร	0.3 - 0.75
จำนวนของตัวอักษรที่คัดแยกได้	2 - 6

(ก) ภาพการระบุตำแหน่งป้ายทะเบียน (ข) ผลลัพธ์การหาตำแหน่งป้ายทะเบียน

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการค้าหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์

4.4 การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์

สำหรับการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์นี้เป็นการคัดแยกทั้งตัวอักษร ตัวเลข และชื่อจังหวัด จุดประสงค์ของงานส่วนนี้คือ การแยกตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัด ออกมาจากป้ายทะเบียน โดยห้ามเกิดความผิดพลาด เช่น กระบวนการอาจจะคัดแยกได้บริเวณที่เป็นขอบของป้ายทะเบียนถือว่ากระบวนการนี้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น ดังนั้นกระบวนการนี้จึงเป็นส่วนที่สำคัญเป็นอย่างมากและกระบวนการนี้จะมีผลต่อกระบวนการรู้จำตัวอักษร

4.4.1 วิธีการโปรเจคชัน

วิธีการโปรเจคชันนี้ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง จึงเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการคัดแยกตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัดที่อยู่ในป้ายทะเบียนรถยนต์ แต่วิธีการโปรเจคชันนี้จะมีความไวต่อการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ที่มีตัวอักษรที่ติดกัน สำหรับกรณีการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์จะไม่มีกรณีที่ตัวอักษรติดกันหรือซ้อนทับกัน แต่จะเป็นการเชื่อมกันของตัวอักษร อันเนื่องมาจากหมุดของป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดความผิดพลาดของโปรแกรม

การคัดแยกตัวอักษรในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการแปลงภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพระดับเทาไปเป็นภาพไบนารี แล้วทำการหาค่าความแปรปรวนของแต่ละแถวของป้ายทะเบียน ซึ่งจะได้สัญญาณมีลักษณะเป็นแบบ 2 รูปเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 4.7 สำหรับการหาค่าความแปรปรวนในแต่ละแถวของป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นใช้สมการ (4.1)

$$s^2 = \frac{\sum_{n-1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1} \quad (4.1)$$

โดยที่ s^2 คือ ค่าความแปรปรวน

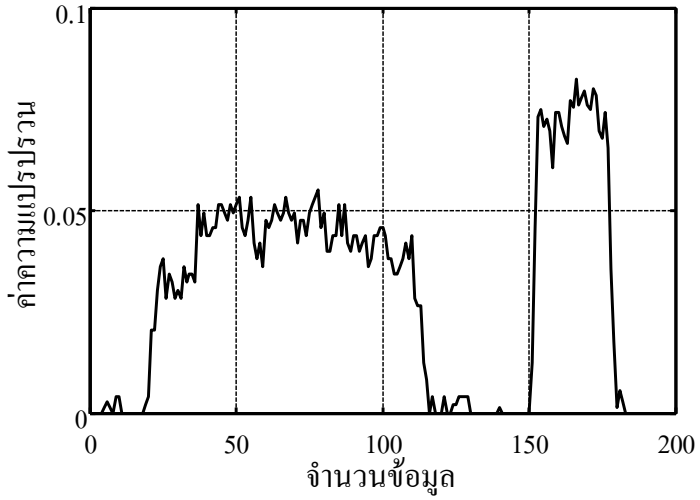
n คือ จำนวนของข้อมูล

x_i คือ ข้อมูล

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าบริเวณเส้นโค้งทั้งสองเส้นนั้น เป็นขอบเขตของบรรทัดบนและบรรทัดล่าง ซึ่งเราสามารถหาขอบเขตนี้ได้ โดยการหาขีดช่วงเริ่มเปลี่ยน (Threshold, T) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่าขีดช่วงเริ่มเปลี่ยนมีค่าดังสมการ (4.2) โดยที่ตัวเลข 0.2 ได้จากการทดลอง

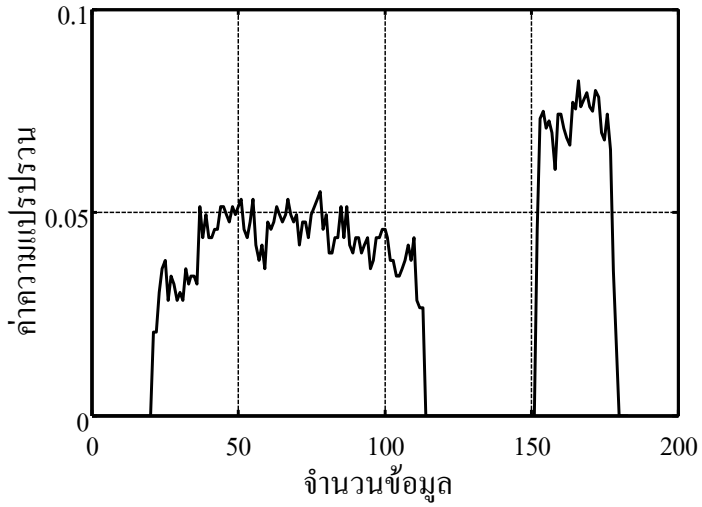
$$T = \text{ค่าต่ำสุดของข้อมูล} + (0.2) \times \text{ค่าสูงสุดของข้อมูล} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.7 การหาค่าความแปรปรวน

เมื่อเรานำข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ 4.7 ไปผ่านการทำ Threshold เราก็จะได้สัญญาณของข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนอย่างชัดเจน ซึ่งก็คือ ส่วนที่เป็นบรรทัดบนและบรรทัดล่างดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อมาถึงขั้นตอนนี้เราสามารถนำข้อมูลที่ได้มาทำการแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่างออก

จากกันโดยการหาค่าขอบเขตของบรรทัดบนดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งจะทำการตรวจสอบจำนวนของข้อมูลว่าช่วงของข้อมูลในช่วงใดมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ติดต่อมากที่สุด ช่วงนั้นก็จะเป็นขอบเขตของบรรทัดบน ในส่วนของบรรทัดล่างก็จะดำเนินการในลักษณะเดียวกัน เมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าวมาแล้วนั้น จะได้ภาพในส่วนที่เป็นบรรทัดบนและบรรทัดล่างดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 สัญญาณของข้อมูล เมื่อผ่านการทำ Threshold

(ก) บรรทัดบน (ข) บรรทัดล่าง

รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์ของการคัดแยกตัวอักษร

4.4.2 คุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า งานวิจัยนี้จะทำการคัดแยกตัวอักษรที่ละตัวอักษรและทำการคัดแยกชื่อจังหวัดทั้งจังหวัด เมื่อเราได้ส่วนที่เป็นบรรทัดบนและบรรทัดล่างดังรูปที่ 4.9 ขั้นตอนต่อไปเป็นการคัดแยกตัวอักษรของบรรทัดบน ซึ่งในกระบวนการนี้ เราจะนำเอากระบวนการรูปร่างลักษณะมาช่วยในการลบสัญญาณรบกวนและพื้นหลังออก แล้วใช้คุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรในการคัดแยกตัวอักษร ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้คุณลักษณะพิเศษทั้งหมด 5 คุณลักษณะดังนี้

1) อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของตัวอักษร ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของตัวอักษร โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างไม่น้อยกว่า 0.15เท่าและไม่มากกว่า 1 เท่า

2) ความสูงของตัวอักษร เมื่อเทียบกับความสูงของบรรทัดบน สำหรับการคัดแยกบรรทัดบน ตัวอักษรจะต้องอยู่ในแนวเดียวกันหรือมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งงานวิจัยนี้ ใช้ค่าความสูงของตัวอักษรเป็น 0.7 เท่าของความสูง ในส่วนที่คัดแยกมาได้ของบรรทัดบน ดังแสดงในรูปที่ 4.9(ก)

3) ความกว้างของตัวอักษร สำหรับความกว้างของตัวอักษรจะถูกใช้เฉพาะในกรณีที่เป็นการคัดแยกตัวอักษรเท่านั้น ไม่ใช้กับกรณีที่เป็นตัวเลข เนื่องจากตัวอักษรมีลักษณะความกว้างที่แตกต่างจากตัวเลข ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่าความกว้างเป็น 0.4 เท่าของความสูงของตัวอักษร

4) เปอร์เซ็นต์ความดำของตัวอักษร เมื่อทำการแปลงภาพเป็นภาพไบนารีแล้ว เราจะนับจำนวนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือจำนวนความดำ แล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับขนาดของภาพว่าอยู่ในช่วงใด ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความดำของตัวอักษรไม่น้อยกว่า 0.15 และไม่มากกว่า 0.73

5) จำนวนของตัวอักษรที่คัดแยกได้ ตัวอักษรก็เป็นคุณลักษณะหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากป้ายทะเบียนรถยนต์ในประเทศไทยมีความเป็นไปได้ทั้งหมด 3 ถึง 6 ตัวอักษร ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้จำนวนของตัวอักษรไม่น้อยกว่า 3 และไม่มากกว่า 6

ตัวเลขที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรนี้ ได้มาจากการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าที่ใช้ระบุขอบเขตของคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร

คุณลักษณะพิเศษ	ขอบเขต
อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของตัวอักษร	0.15 - 1
ความสูงของตัวอักษร	0.7 เท่าของความสูงของบรรทัดบน
ความกว้างของตัวอักษร	0.4 เท่าของความสูงของตัวอักษร
เปอร์เซ็นต์ความดำของตัวอักษร	0.15 - 0.73
จำนวนของตัวอักษรที่คัดแยกได้	3 - 6

4.5 การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์

การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนนั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่จะต้องทำการรู้จำคือ การรู้จำตัวอักษร การรู้จำตัวเลขและการรู้จำชื่อจังหวัด งานวิจัยนี้ ใช้การดึงลักษณะพิเศษด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตและใช้หลักการทางสถิติ แล้วใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นทำการรู้จำตัวอักษร โดยในหัวข้อนี้จะนำเสนอในส่วนของการดึงคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษร การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นและการรู้จำตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัด

4.5.1 การดึงคุณลักษณะพิเศษ

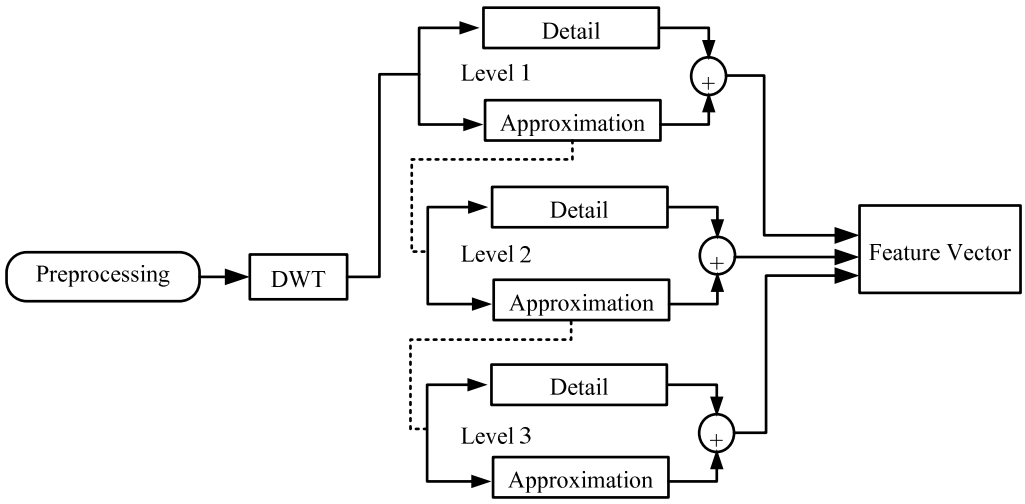
สำหรับการดึงคุณลักษณะพิเศษในงานวิจัยนี้ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตและใช้หลักการทางสถิติ โดยการแปลงเวฟเล็ตเป็นการแปลงสัญญาณให้ไปอยู่ในย่านความถี่และขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงอยู่ในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ข้อดีของการใช้การแปลงเวฟเล็ต คือ สามารถเลือกย่านของข้อมูลในการวิเคราะห์สัญญาณได้ไม่ว่าจะเป็นความถี่สูงและความถี่ต่ำรวมถึงข้อดี ในข้ออื่น ๆ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3

เมื่อผ่านกระบวนการคัดแยกตัวอักษรมาแล้วนั้น ขั้นตอนแรกของการดึงคุณลักษณะพิเศษคือ การแปลงภาพตัวอักษรและชื่อจังหวัดให้มีขนาด 40 × 30 จุดภาพ และ 40 × 300 จุดภาพ ตามลำดับแล้วแปลงให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์

กรณี ตัวอักษรและตัวเลข การดึงคุณลักษณะพิเศษของตัวอักษรและตัวเลขจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีแล้วนำค่าที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมารวมกัน เพื่อเป็นอินพุทของเครือข่ายประสาทเทียม

1) การดึงคุณลักษณะพิเศษ โดยการใช้เวฟเล็ต เมื่อได้สัญญาณอินพุทที่เป็นแบบเวกเตอร์ที่มีขนาด 1 × 1200 ดังแสดงในรูปที่ 4.12(ก) แล้วจะทำการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตทั้งหมด 3 ระดับ งานวิจัยนี้ใช้ตระกูลของเวฟเล็ตเป็นแบบ Daubechies12: db12 โดยการนำเอาค่าสัมประสิทธิ์ในส่วน Approximation และ Detail ของในแต่ละระดับมาบวกกัน ซึ่งสามารถทำให้การรู้จำตัวอักษรมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แล้วนำมาเรียงกันเป็นเวกเตอร์ เริ่มจากระดับที่ 1ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งเราจะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.12(ข) แผนผังการใช้การแปลงเวฟเล็ตในการดึงคุณลักษณะพิเศษแสดงในรูปที่ 4.10

2) การดึงคุณลักษณะพิเศษโดยการใช้หลักทางสถิติ เมื่อได้ภาพจากการปรับขนาดของภาพเป็น 40 × 30 จุดภาพ หลังจากนั้นทำการแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ ส่วนละ 8 × 6 จุดภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.11(ก) ต่อด้วยการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนดังสมการ (4.3) แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละส่วนมาเรียงกันเป็นเวกเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.12(ค)



รูปที่ 4.10 แผนผังการใช้การแปลงเวฟเล็ตในการดึงคุณลักษณะพิเศษ

เมื่อได้สัญญาณจาก 2 วิธีดังกล่าวมาแล้วนั้น เราก็จะนำสัญญาณที่ได้จาก 2 วิธีมาเรียงกัน โดยเริ่มจากการใช้เวฟเล็ตและการใช้หลักสถิติดังแสดงในรูปที่ 4.12(ง) เพื่อส่งให้เครือข่ายประสาทเทียม

(ก) ตัวอักษร (ข) ชื่อจังหวัด

รูปที่ 4.11 การแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m} f(i,j)}{m*n} \tag{4.3}$$

โดยที่ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

n, m คือ ขนาดของข้อมูล

i, j คือ ตำแหน่งของข้อมูล

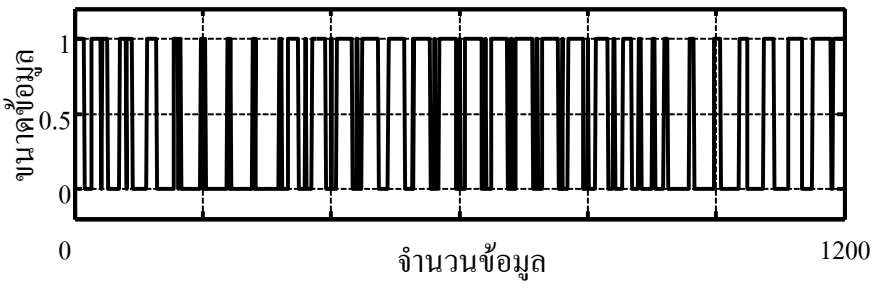
$f(i, j)$ คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง i, j

กรณี ชื่อจังหวัด การดึงคุณลักษณะพิเศษของชื่อจังหวัดก็จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด เช่นเดียวกันกับกรณีของตัวอักษรและตัวเลข

1) การดึงคุณลักษณะพิเศษโดยการใช้เวฟเล็ต เมื่อได้สัญญาณอินพุทที่เป็นแบบเวกเตอร์ที่มีขนาด 1 × 12000 ดังแสดงในรูปที่ 4.13(ก) แล้วเราจะทำการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตทั้งหมด 3 ระดับ งานวิจัยนี้ใช้ตระกูลของเวฟเล็ตเป็นแบบ Daubechies12 โดยการนำเอาสัมประสิทธิ์ในส่วน Approximation และ Detail ของในแต่ละระดับมาบวกกัน แล้วนำมาเรียงกันเป็นให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.13(ข) เช่นเดียวกันกับกรณีที่เป็นตัวอักษรและตัวเลข

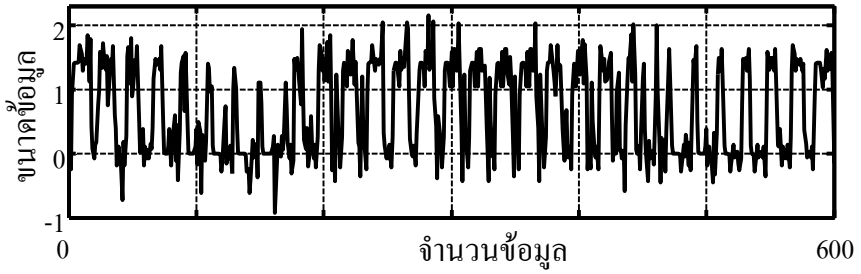
2) การดึงคุณลักษณะพิเศษโดยการใช้หลักทางสถิติ เมื่อได้ภาพจากการปรับขนาดของภาพเป็น 40 × 300 จุดภาพ หลังจากนั้นทำการแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ ทีละ 40 × 30 จุดภาพดังแสดงในรูปที่ 4.11(ข) แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนต่อด้วยการนำค่าที่ได้ในแต่ละส่วนมาเรียงกันเป็นเวกเตอร์และต่อด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต 1 ระดับ แล้วจะได้สัญญาณดังแสดงในรูปที่ 4.13(ค)

เมื่อได้สัญญาณจาก 2 วิธี เราก็จะนำสัญญาณที่ได้จาก 2 วิธีนี้มาเรียงกัน โดยเริ่มจากการใช้เวฟเล็ตและการใช้หลักสถิติดังแสดงในรูปที่ 4.13(ง) เพื่อส่งให้เครือข่ายประสาทเทียม

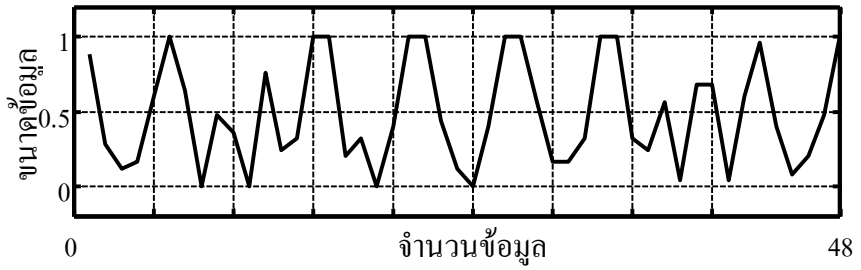


(ก) สัญญาณที่ได้จากการแปลงเป็นเวกเตอร์

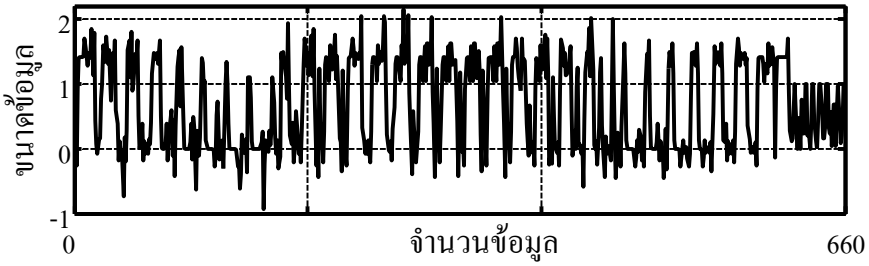
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการดึงคุณลักษณะพิเศษ กรณีตัวเลข “ศูนย์”



(ข) สัญญาณที่ได้จากการใช้เวฟเล็ต

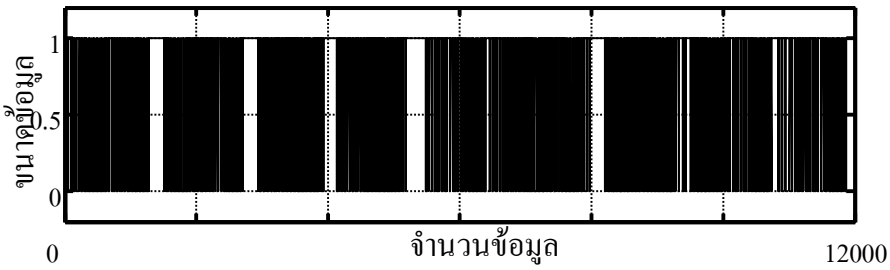


(ค) สัญญาณที่ได้จากการใช้หลักสถิติ

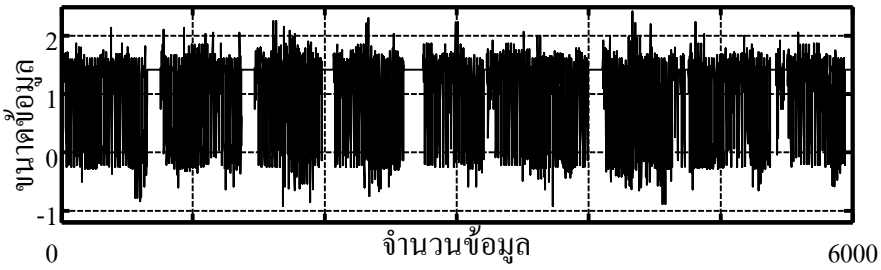


(ง) สัญญาณที่ได้จาก 2 วิธี

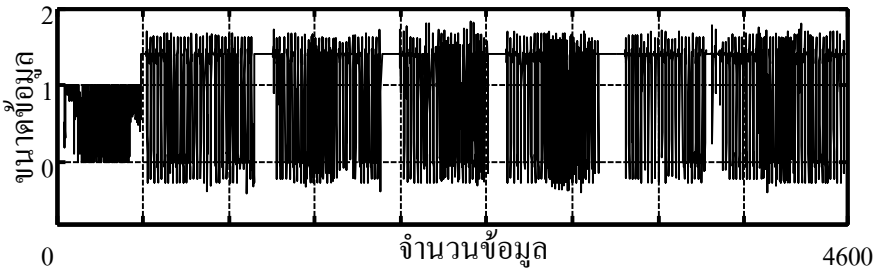
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการดึงคุณลักษณะพิเศษ กรณีตัวเลข “ศูนย์” (ต่อ)



(ก) สัญญาณที่ได้จากการแปลงเป็นเวกเตอร์

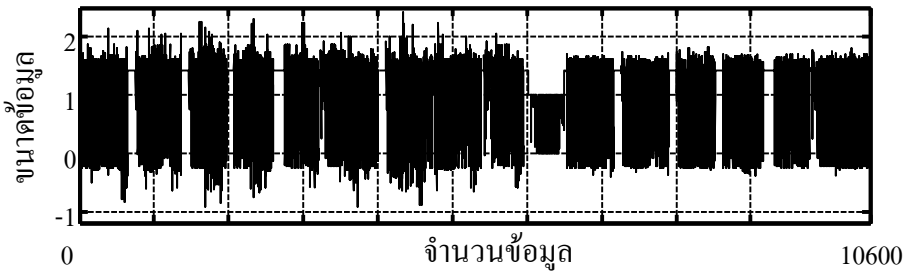


(ข) สัญญาณที่ได้จากการใช้เวฟเล็ต



(ค) สัญญาณที่ได้จากการใช้หลักสถิติ

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการดึงคุณลักษณะพิเศษ กรณีชื่อจังหวัด “นครราชสีมา”



(ง) สัญญาณที่ได้จาก 2 วิธี

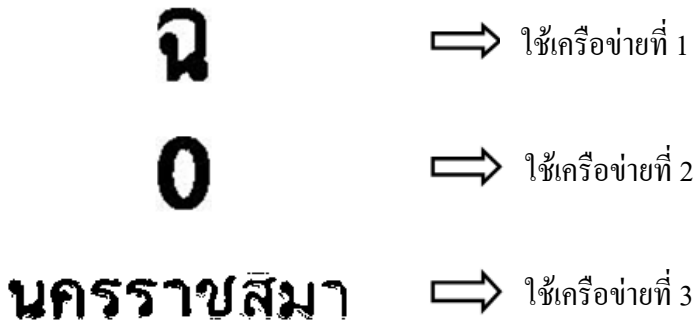
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการดึงคุณลักษณะพิเศษ กรณีชื่อจังหวัด “นครราชสีมา” (ต่อ)

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 จะเห็นได้ว่าระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาท์พุทมีความแตกต่างกันและมีคุณลักษณะพิเศษเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้การรู้จำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

4.5.2 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น

การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นของงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบเครือข่ายขึ้นมาทั้งหมด 3 เครือข่าย เพื่อสำหรับการรู้จำ ตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัดดังแสดงในรูปที่ 4.14 เนื่องจากจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์มากยิ่งขึ้น ซึ่งในเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นจะมีพารามิเตอร์ 1 พารามิเตอร์ โดยที่ผู้วิจัยจะต้องกำหนดค่าให้กับเครือข่าย คือ ค่าการขยาย (Spread) ซึ่งจะได้จากการทดลองเท่านั้นและสามารถหาค่าที่ทำให้เครือข่ายเกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดหรือค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการปรับค่าการขยายไปจนพบค่าที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งงานวิจัยนี้ เครือข่ายการรู้จำตัวอักษร ตัวเลขและจังหวัดใช้ค่าเป็น 2, 1, 2 และ 5 ตามลำดับ

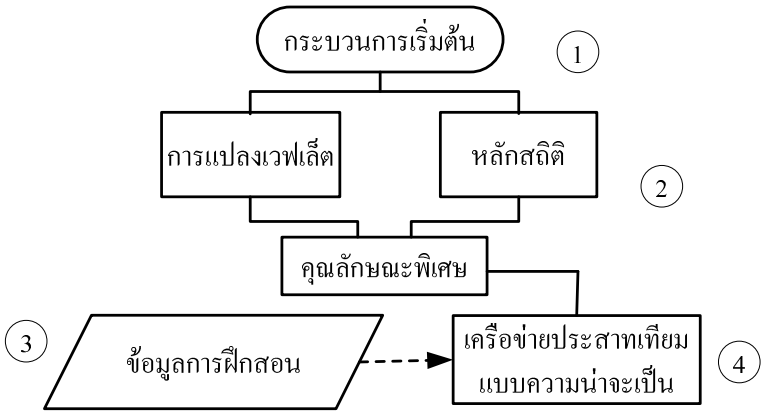
สำหรับการฝึกสอนเครือข่ายของแต่ละตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัด ผู้วิจัยใช้ภาพตัวอย่าง 5 ภาพ โดยที่ภาพตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายนั้น ผู้วิจัยได้ทำการก็บภาพตัวอย่างจากสภาพแวดล้อม ความเข้มแสง สถานที่ ที่แตกต่างกันภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เช่น ลานจอดรถอาคารเครื่องมือ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ลาดจอดรถอาคารบรรณสาร เป็นต้น



รูปที่ 4.14 การแบ่งเครือข่ายการรู้จำ

4.5.3 การรู้จำตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งจะเริ่มจากการหาคุณลักษณะพิเศษการออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.15 ราสามารถแบ่งระบบการรู้จำตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัดออกเป็นส่วน ๆ ได้ทั้งหมด4ส่วน โดยที่ ส่วนที่ 1 เป็นกระบวนการปรับขนาดของภาพให้มาอยู่ในขนาดที่ต้องการแล้วแปลงให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ ส่วนที่ 2 เป็นกระบวนการหาคุณลักษณะพิเศษ โดยงานวิจัยนี้ใช้อยู่ 2 วิธีคือ เวฟเล็ตและสถิติ ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้จากสองวิธีมาเรียงกันเป็นเวกเตอร์เพื่อส่งให้เครือข่ายประสาทเทียม ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของการฝึกสอนเครือข่าย ในที่นี้จะหมายถึงการฝึกสอนทั้ง 3 เครือข่าย คือ เครือข่ายการรู้จำตัวอักษร เครือข่ายการรู้จำตัวเลขและเครือข่ายการรู้จำชื่อจังหวัดและในส่วนที่ 4 เป็นการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นรู้จำทั้งในส่วนตัวอักษร ตัวเลขและชื่อจังหวัด



รูปที่ 4.15 การรู้จำตัวอักษร ตัวเลขและจังหวัด

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์อย่างละเอียด ทั้งวิธีการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรและการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ ทั้งการนำเสนอในรูปของแผนผัง ตารางและผลการทดลองบางส่วนและได้บอกข้อดีของแต่ละวิธีการที่นำเสนอ

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

5.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยจะเริ่มจากอธิบายรายละเอียดของภาพที่นำมาทดสอบว่าภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพชนิดไหนและมีขนาดเท่ากับเท่าไรรวมถึงลักษณะการเก็บข้อมูลภาพหรือการเก็บภาพตัวอย่างที่นำมาทดสอบ โดยจะเสนออยู่ในรูปของแผนผัง ตาราง ลำดับต่อไปจะเป็นผลการทดสอบระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้งในส่วนการค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรและการรู้จำตัวอักษร ซึ่งจะแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์ และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของขนาดของป้ายทะเบียน ในลำดับสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์กับการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ รวมถึงการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ สำหรับผลการทดสอบงานทั้ง 3 ส่วนได้แสดงในภาคผนวก ค. โดยที่งานวิจัยนี้ได้ทำการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ที่มีชื่อจังหวัดต่างกันจำนวนมากกว่า 20 จังหวัด

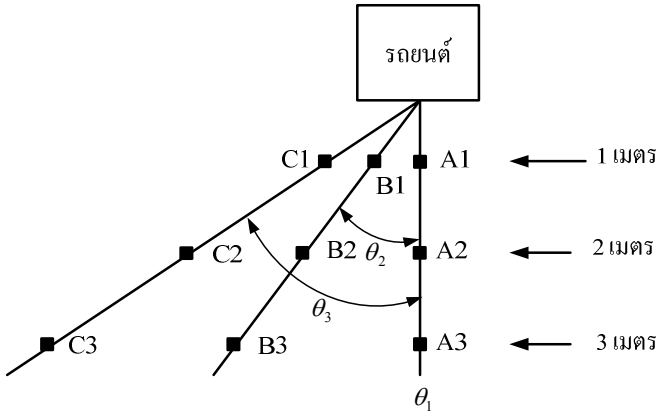
5.2 รายละเอียดของข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับภาพที่นำมาทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ต้องเป็นภาพดิจิตอลและยังสามารถใช้ได้กับภาพทุกขนาด แต่ต้องมีการปรับขนาดของภาพให้มีขนาด 480 × 640 จุดภาพ โดยภาพที่ทำการปรับขนาดมานั้นต้องมีรายละเอียดมากพอที่จะสามารถนำไปทำการรู้จำป้ายทะเบียนได้

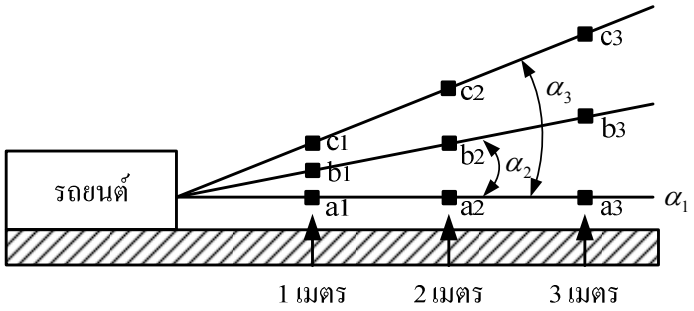
5.3 การเก็บข้อมูลภาพ

การเก็บข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบจะแยกออกเป็นจุด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบของมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์ ในรูปที่ 5.1(ก) นั้นเป็นภาพจำลองการเก็บข้อมูลทางด้านบนเพื่อศึกษาผลของมุมในแนวระดับ โดยมุมจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 องศา (θ_1) 45 องศา (θ_2) และ 60 องศา (θ_3) และในส่วนรูปที่ 5.1(ข) เป็นการจำลองการเก็บข้อมูลทางด้านข้างเพื่อศึกษาผลของมุมในแนวดิ่ง โดยมุมจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 องศา (α_1) 30 องศา (α_2) และ 45 องศา (α_3) สำหรับการเก็บข้อมูลภาพในงานวิจัยนี้จะเป็นการเก็บข้อมูลภาพในสภาพแวดล้อม

ปกติและเก็บข้อมูลภาพในเวลากลางวันเท่านั้น สำหรับข้อมูลภาพที่ได้มานั้นผู้วิจัยทำการเก็บตามบริเวณของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เช่น ลานจอดรถอาคารเครื่องมือ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ลานจอดรถอาคารบรรณสาร เป็นต้น รูปที่ 5.2 เป็นภาพตัวอย่างรถยนต์ที่ทำการเก็บข้อมูลมาตามรูปภาพที่ 5.1(ก) ซึ่งทำให้เห็นภาพรถยนต์ในมุมทั้งในแนวระดับ (θ) และแนวดิ่ง (α)



(ก) ภาพจากด้านบน มุมตามแนวระดับ (θ)



(ข) ภาพจากด้านข้าง มุมตามแนวดิ่ง (α)

รูปที่ 5.1 แบบจำลองการเก็บข้อมูลภาพ

5.4 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน

สำหรับผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนจะนำเสนอผลการทดสอบในรูปของตารางประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง พร้อมทั้งอภิปรายผลการทดสอบในส่วนของการค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์ ทั้งในส่วนแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ทำการ

ค้นหาผิดพลาดนั้น เกิดจากสาเหตุใด โดยภาพที่นำมาทดสอบทั้งหมด 244 ภาพ ดังที่ได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ค. รวมทั้งเป็นการแสดงถึงผลการทดสอบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้ง 3 ส่วน

(ก) จุด A1

(ข) จุด B1

(ค) จุด C1

(ง) จุด A2

(จ) จุด B2

(ฉ) จุด C2

(ช) จุด A3

(ซ) จุด B3

(ฌ) จุด C3

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลบางจุด

สำหรับผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนสามารถแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์

การทดสอบ	ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง
การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน	96.18%

จากการทดสอบการค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งประสิทธิภาพการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์มีค่าประมาณ 96% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยความผิดพลาด 4% ที่เกิดขึ้น เกิดจากสาเหตุจากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์มีระยะห่างจากกล้องมาก ทำให้ข้อมูลของป้ายทะเบียนรถยนต์เหลือน้อยมากและอีกสาเหตุหนึ่งคือ มุมเอียงระหว่างกล้องกับรถยนต์ เมื่อมุมเอียงระหว่างกล้องกับรถยนต์มีค่ามากขึ้น ก็จะเกิดการซ้อนทับกันของตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยที่ความผิดพลาดประมาณ 4% ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดบริเวณจุด a3, b3, c3, A3, B3 และ C3 ซึ่งเป็นจุดที่ข้อมูลของป้ายทะเบียนรถยนต์เหลือน้อยมากที่สุด

5.5 ผลการทดสอบการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์

การคัดแยกตัวอักษรในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบภาพทั้งหมด 244 ภาพ ซึ่งได้จากขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยที่ภาพไหนที่เกิดความผิดพลาดก็จะไม่นำมาพิจารณาและถือว่าระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นเกิดความผิดพลาด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ซึ่งจะแยกย่อยออกเป็นในส่วนของบรรทัดบน (ตัวอักษรและตัวเลข) และชื่อจังหวัด

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์

การทดสอบ	ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง
การค้นคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียน	
บรรทัดบน	87.18%
บรรทัดล่าง	91.03%

จากการทดสอบการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งจะแบ่งออกเป็นบรรทัดบนและบรรทัดล่างดังได้กล่าวมาแล้ว ประสิทธิภาพของการคัดแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่างมีค่าประมาณ 87% และ 91% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการคัดแยกตัวอักษรในบรรทัด

บนมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการคัดแยกตัวอักษรในบรรทัดล่าง เนื่องจากการคัดแยกตัวอักษรในบรรทัดล่าง ซึ่งก็คือ ชื่อจังหวัดจะเป็นการคัดแยกทั้งจังหวัดทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยในขณะที่การคัดแยกตัวอักษรเป็นการคัดแยกที่ละตัวอักษร ซึ่งสามารถมีได้ตั้งแต่ 3 ถึง 6 ตัวอักษร ในส่วนของความผิดพลาด 13% ในส่วนของบรรทัดบน โดยส่วนใหญ่เกิดจากผลของความเอียงของกล้องกับรถยนต์ ในส่วนของบรรทัดล่างความผิดพลาด 9% ก็เกิดจากการผลของความเอียงของกล้องกับรถยนต์เช่นกัน

5.6 ผลการทดสอบการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์

สำหรับการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งจะทำการรู้จำทั้ง 3 ส่วน คือ ตัวเลข ตัวอักษรและชื่อจังหวัดดังกล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยจะนำเสนอไว้ในตารางที่ 5.3 โดยที่ภาพไหนที่เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนที่ผ่านมา (การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนและการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์) ก็จะไม่นำมาพิจารณาและถือว่าระบบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์เกิดความผิดพลาด เนื่องจากเป็นการทำงานของแต่ละส่วนกัน

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์

การทดสอบ	ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง
การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียน	
ตัวอักษร	94.81%
ตัวเลข	98.58%
ชื่อจังหวัด	86.79%

จากการทดสอบการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ซึ่งจะแบ่งออกเป็นการรู้จำตัวอักษร การรู้จำตัวเลขและการรู้จำชื่อจังหวัด โดยที่ประสิทธิภาพของการรู้จำตัวเลขมีค่าประมาณ 98% ซึ่งมีค่าสูงสุด รองลงมาเป็นการรู้จำตัวอักษรโดยมีค่าประมาณ 94% สุดท้ายเป็นการรู้จำชื่อจังหวัดมีค่าประมาณ 86% การประสิทธิภาพของการรู้จำตัวเลขมีค่าสูงสุดเนื่องจากเป็นการรู้จำรูปแบบเพียง 10 รูปแบบเท่านั้นคือ 0 ถึง 9 และการรู้จำชื่อจังหวัดมีค่าประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ เนื่องจากข้อมูลของชื่อจังหวัดมีค่าใกล้เคียงกันมากและข้อมูลบางส่วนยังหายไปเนื่องจากการถ่ายภาพจากระยะไกล ส่วนการรู้จำตัวอักษรอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้น เนื่องจากตัวอักษรบางตัวอาจมีลักษณะที่คล้ายกัน

5.7 ผลการทดสอบ เมื่อมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์และขนาดของป้ายทะเบียนมีการเปลี่ยนแปลง

สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม เมื่อมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาถึงผลกระทบนี้ได้ออกแบบการทดลองการเก็บข้อมูลดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 ผลการทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5 โดยที่ตารางที่ 5.4 เป็นผลการทดสอบ เมื่อมุมในแนวระดับระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกันและตารางที่ 5.5 เป็นผลการทดสอบ เมื่อมุมในแนวดิ่งระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกัน โดยที่ขนาดของป้ายทะเบียนจะมีขนาดตั้งแต่ 10% - 80% เมื่อเทียบกับความยาวของภาพตามแนวแกนนอน (640 จุดภาพ) เช่น ที่มุมการทดสอบที่ 45 องศาตามแนวระดับก็จะมีขนาดของป้ายทะเบียนที่นำมาทดสอบตั้ง 10% - 80% เป็นต้น

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบ เมื่อมุมในแนวระดับระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกัน

การทดสอบ	ขนาดของมุมในแนวระดับ (θ)		
	0 องศา (θ_1)	45 องศา (θ_2)	60 องศา (θ_3)
การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน	99.15%	87.50%	92.59%
การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียน			
บรรทัดบน	93.83%	79.17%	62.50%
บรรทัดล่าง	96.30%	83.33%	75.00%
การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียน			
ตัวอักษร	94.53%	79.17%	72.22%
ตัวเลข	94.53%	83.33%	83.33%
ชื่อจังหวัด	92.19%	80.00%	77.78%

จากการทดสอบผลกระทบของมุมในแนวระดับระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 โดยเป็นการทดสอบงานทั้ง 3 ส่วน จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของงานทั้ง 3 ส่วนมีค่าสูงสุดที่ขนาดของมุมที่ 0 องศาตามแนวระดับและมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จากมุม 0 องศา 45 องศาและ 60 องศา ตามลำดับ โดยมีค่าความถูกต้องในกรณีการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์มีค่าอยู่ในช่วง 92.59% - 99.15% การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ กรณีบรรทัดบนมีค่าอยู่ในช่วง 62.50% - 93.83% กรณีบรรทัดล่างมีค่าอยู่ในช่วง 75.00% - 96.30% และการรู้จำตัวอักษร กรณีการรู้จำตัวอักษรมีค่าอยู่ในช่วง 72.22% - 94.53% กรณีการรู้จำตัวเลขมีค่าอยู่ในช่วง

83.33% - 94.53% และกรณีการรู้จำชื่อจังหวัดมีค่าอยู่ในช่วง 77.87% - 92.19% ซึ่งแสดงเห็นได้ว่าผลกระทบของมุมในแนวระดับระหว่างกล้องกับรถยนต์จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์มีค่อนข้างมาก เนื่องจากถ้ามุมเอียงมากขึ้นเท่าไหร่ ตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถยนต์ก็จะมีการบิดเบี้ยวไปจากตัวอักษรต้นแบบและถ้าเป็นกรณีของชื่อจังหวัดก็จะเกิดการซ้อนทับกันจนโปรแกรมไม่สามารถระบุชื่อจังหวัดได้ถูกต้อง

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบ เมื่อมุมในแนวดิ่งระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกัน

การทดสอบ	ขนาดของมุมในแนวดิ่ง (α)		
	0 องศา (α_1)	30 องศา (α_2)	45 องศา (α_3)
การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน	99.15%	96.36%	95.83%
การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียน			
บรรทัดบน	93.83%	91.67%	91.67%
บรรทัดล่าง	96.30%	95.83%	87.50%
การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียน			
ตัวอักษร	94.53%	91.67%	89.65%
ตัวเลข	94.53%	91.67%	90.83%
ชื่อจังหวัด	92.19%	86.36%	83.33%

จากการทดสอบผลกระทบของมุมในแนวดิ่งระหว่างกล้องกับรถยนต์แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.5 โดยเป็นการทดสอบงานทั้ง 3 ส่วนจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของงานทั้ง 3 ส่วนมีค่าสูงสุดที่ขนาดของมุมที่ 0 องศาตามแนวดิ่งและจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จากมุม 0 องศา 30 องศาและ 45 องศา ตามลำดับ โดยมีค่าความถูกต้องในกรณีการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์มีค่าอยู่ในช่วง 95.83% - 99.15% การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ กรณีบรรทัดบนมีค่าอยู่ในช่วง 91.67% - 93.83% กรณีบรรทัดล่างมีค่าอยู่ในช่วง 87.50% - 96.30% และการรู้จำตัวอักษรกรณีการรู้จำตัวอักษรมีค่าอยู่ในช่วง 89.65% - 94.53% กรณีการรู้จำตัวเลขมีค่าอยู่ในช่วง 90.83% - 94.53% และกรณีการรู้จำชื่อจังหวัดมีค่าอยู่ในช่วง 83.33% - 92.19% แสดงเห็นได้ว่าผลกระทบของมุมในแนวดิ่งระหว่างกล้องกับรถยนต์ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของมุมในแนวระดับ เนื่องจากมุมในแนวดิ่งจะไม่มีการซ้อนทับกันของตัวอักษรเหมือนกับมุมในแนวระดับ

สำหรับผลการทดสอบผลกระทบของขนาดป้ายทะเบียนแตกต่างกัน ได้แสดงในตารางที่ 5.6 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ 10% - 19%, 20% - 49% และ 50% - 80% เมื่อเทียบกับขนาดของภาพตามแนวแกนนอน (640 จุดภาพ) โดยที่ในแต่ละขนาดการทดสอบของป้ายทะเบียนก็จะประกอบไปด้วยภาพถ่ายที่ทำมุมตั้งแต่ 0 องศา 30 องศา 45 องศา และ 60 องศากับกล้องทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง ซึ่งการทดสอบแสดงให้เห็นว่าขนาดของป้ายทะเบียนรถยนต์มีค่า 10% - 19% ประสิทธิภาพความถูกต้องของการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์มีค่าน้อยสุด แต่ในส่วนของขนาดของป้ายทะเบียนที่มีค่า 20% - 49% และ 49% - 80% ประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน เช่น การรู้จำตัวเลข กรณี 20% - 49% มีค่าเท่ากับ 97.87% และกรณี 50% - 80% มีค่าเท่ากับ98.47% เป็นต้น เนื่องจากในช่วงขนาดป้ายทะเบียนเท่ากับ 20% - 49% และ 50% - 80% มีข้อมูลที่เพียงพอต่อการนำไปทำการรู้จำตัวอักษร ในขณะที่กรณีขนาดป้ายทะเบียนเท่ากับ 10% - 19% มีข้อมูลของตัวอักษรน้อยมาก

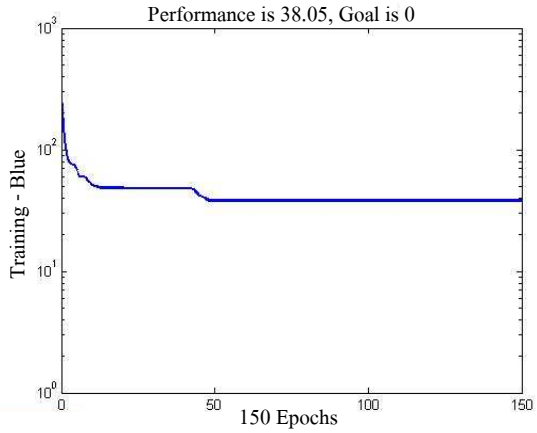
ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบ เมื่อขนาดของป้ายทะเบียนเปลี่ยนแปลง

การทดสอบ	ขนาดป้ายทะเบียนเทียบกับภาพตามแนวแกนนอน (640 จุดภาพ)		
	10% - 19%	20% - 49%	50% - 80%
การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน	87.15%	97.36%	99.15%
การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียน			
บรรทัดบน	66.67%	91.67%	94.42%
บรรทัดล่าง	75.00%	91.67%	97.83%
การรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียน			
ตัวอักษร	88.89%	91.30%	93.13%
ตัวเลข	91.67%	97.87%	98.47%
ชื่อจังหวัด	83.33%	86.96%	88.55%

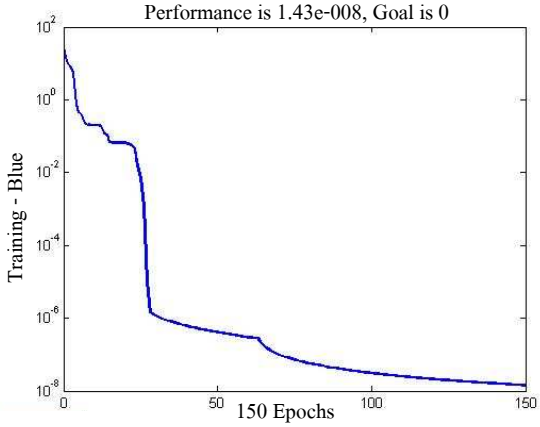
5.8 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการที่นำเนอในวิจัยวิทยานิพนธ์กับการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ

งานวิจัยนี้ได้การเปรียบวิธีการที่นำเสนอในส่วนของการรู้จำตัวอักษร กับการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ (Backpropagation Neuron Network: BNN) ซึ่งเป็นวิธีที่นักวิจัยท่านอื่นได้ดำเนินการมาแล้ว ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบเครือข่ายเป็นแบบ 3 ชั้น ทำการฝึกสอนจำนวน 150 รอบ

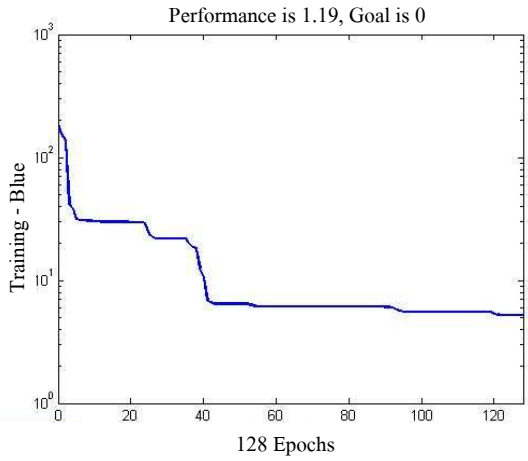
ตั้งค่า MSE เท่ากับ 0 และทำการฝึกสอนเครือข่ายเหมือนกันกับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นทุกอย่าง ผลของการฝึกสอนของเครือข่าย การรู้จำตัวอักษร การรู้ตัวเลขและการรู้ชื่อจังหวัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.3, 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ ในส่วนของการเปรียบเทียบนครั้งนี้จะเป็นการเปรียบเทียบในเรื่องของประสิทธิภาพของโปรแกรม เวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งการทดสอบจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ผลกระทบของมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์ทั้งในแนวระดับและในแนวดิ่งดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.6 และตารางที่ 5.7 ตามลำดับ และผลกระทบของขนาดของป้ายทะเบียนที่แตกต่างกันดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.8



รูปที่ 5.3 ผลการฝึกสอนของเครือข่ายการรู้จำตัวอักษร



รูปที่ 5.4 ผลการฝึกสอนของเครือข่ายการรู้จำตัวเลข



รูปที่ 5.5 ผลการฝึกสอนของเครือข่ายการรู้จำชื่อจังหวัด

ตารางที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบการรู้จำตัวอักษร เมื่อมุมในแนวระดับของกล้องกับรถยนต์มีการเปลี่ยนแปลง

การทดสอบ	ขนาดของมุมในแนวระดับ (θ)					
	0 องศา (θ_1)		45 องศา (θ_2)		60 องศา (θ_3)	
	PNN	BNN	PNN	BNN	PNN	BNN
ตัวอักษร	94.53%	90.53%	79.17%	77.23%	72.22%	70.05%
ตัวเลข	94.53%	89.23%	83.33%	80.15%	83.33%	81.24%
ชื่อจังหวัด	92.19%	88.98%	80.00%	76.32%	77.78%	75.62%

ตารางที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบการรู้จำตัวอักษร เมื่อมุมในแนวดิ่งของกล้องกับรถยนต์มีการเปลี่ยนแปลง

การทดสอบ	ขนาดของมุมในแนวดิ่ง (α)					
	0 องศา (α_1)		30 องศา (α_2)		45 องศา (α_3)	
	PNN	BNN	PNN	BNN	PNN	BNN
ตัวอักษร	94.53%	90.53%	91.67%	88.22%	89.65%	75.03%
ตัวเลข	94.53%	89.23%	91.67%	86.94%	90.83%	82.35%
ชื่อจังหวัด	92.19%	88.98%	86.36%	85.45%	83.33%	80.01%

จากข้อมูลในตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของการใช้วิธี PNN มีค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้วิธี BNN อยู่จุดละประมาณ 3% - 4% ทั้งมุมในแนวระดับและแนวดิ่งแต่ประสิทธิภาพจะมีค่าลดลง เมื่อมุมระหว่างกล้องกับรถยนต์เพิ่มขึ้นและจะลดลงถึง 70% ที่มุมเอียง 60 องศาในแนวระดับในกรณีของการรู้จำตัวอักษร

ตารางที่ 5.9 ผลการเปรียบเทียบการรู้จำตัวอักษร เมื่อขนาดของป้ายทะเบียนเปลี่ยนแปลง

การทดสอบ	ขนาดป้ายทะเบียน เทียบกับภาพตามแนวแกนนอน (640 จุดภาพ)					
	10% - 19%		20% - 49%		50% - 80%	
	PNN	BNN	PNN	BNN	PNN	BNN
ตัวอักษร	88.89%	85.42%	91.30%	90.05%	93.13%	92.85%
ตัวเลข	91.67%	88.35%	97.87%	92.63%	98.47%	96.72%
ชื่อจังหวัด	83.33%	79.91%	86.96%	80.23%	88.55%	85.22%

จากตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการใช้วิธี PNN มีค่าประสิทธิภาพมากกว่าการใช้วิธี BNN ทุกช่วงขนาดของป้ายทะเบียน แต่จะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น เมื่อขนาดของป้ายทะเบียนมีค่ามากขึ้น ซึ่งแต่ละช่วงขนาดของป้ายทะเบียนนั้น การใช้วิธี PNN มีค่าประสิทธิภาพดีกว่าการใช้วิธี BNN ประมาณ 1% - 6%

สำหรับการทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลนั้นจะเปรียบเทียบในส่วนของเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนและเวลาที่ใช้รู้จำตัวอักษร ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอกับการใช้ BNN

วิธีการ	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่าย			เวลาที่ใช้ในการรู้จำ
	กรณีตัวอักษร	กรณีตัวเลข	กรณีชื่อจังหวัด	
วิธีการที่นำเสนอ (วินาที)	0.375	0.312	0.734	11.98
การใช้ BNN (วินาที)	23068.39	16251.02	18482.07	12.63

ในส่วนของการทดสอบการใช้เวลาในการประมวลผล ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นใช้เวลาไม่ถึง 1 วินาที

ในขณะเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับต้องใช้เวลาประมาณ 6.47 ชั่วโมง แต่เวลาที่ใช้ในการทดสอบกลับมีค่าใกล้เคียงกันคือ เวลาที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษร กรณีการใช้วิธี PNN ใช้เวลาประมาณ 11.98 วินาที ในขณะการใช้วิธี BNN ใช้เวลาประมาณ 12.63 วินาที

5.9 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงถึงการเก็บข้อมูลสำหรับการฝึกสอนลักษณะการเก็บข้อมูลสำหรับนำมาทดสอบโปรแกรมและกล่าวถึงผลทดสอบการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้ง การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์และการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของประสิทธิภาพของโปรแกรม ในส่วนของผลการทดสอบทั้ง 3 ส่วนนี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. พร้อมกันนี้ยังได้แสดงการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์กับวิธีการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ ซึ่งเป็นวิธีที่ผู้วิจัยท่านอื่นเคยดำเนินการมาแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอนี้ให้ผลการทดสอบที่ดีกว่า

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัยการทดสอบงานทั้ง 3 ส่วน คือ การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรและการรู้จำตัวอักษร รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

6.2 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพดิจิตอล โดยอาศัยรูปแบบแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ตามมาตรฐานที่ถูกกำหนดโดยกฎกระทรวงการกำหนดลักษณะ ขนาดและสีของแผ่นป้ายทะเบียนรถ พ.ศ. 2547 ประเภทของข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบเป็นแบบ JPEG ขนาด 640 × 480 จุดภาพ โดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพสี (Color Image) หรือ ภาพระดับเทา (Gray Scale Image) โดยที่กระบวนการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์นั้น จะเริ่มจากการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งใช้วิธีการหาเส้นขอบทางแนวตั้ง (Vertical Edge Detection) โดยเลือกใช้การหาเส้นขอบแบบโซเบล (Sobel Edge Detection) และใช้กระบวนการ Concerned Neighborhood Pixel ซึ่งเป็นกระบวนการสำหรับการลดสัญญาณรบกวนและพื้นหลังออกแล้วใช้กระบวนการรูปร่างลักษณะ(Morphological Operation) เพื่อสร้างบริเวณที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ แต่ทั้ง 2 กระบวนการนี้ ต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับกระบวนการและเพื่อให้สามารถค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนให้ได้หลายขนาดจึงต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่านั้นออกมาหลายชุด สำหรับการตรวจสอบความเป็นป้ายทะเบียนรถยนต์ใช้คุณลักษณะพิเศษของป้ายทะเบียนทั้งหมด 6 คุณลักษณะ คือ ความสูงของป้ายทะเบียนรถยนต์ อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของป้ายทะเบียนรถยนต์ เปอร์เซ็นต์ความดำของป้ายทะเบียนรถยนต์ ความสม่ำเสมอของช่องว่างระหว่างตัวอักษร เปอร์เซ็นต์ความดำของตัวอักษรและจำนวนของตัวอักษรที่คัดแยกได้ สำหรับการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ใช้วิธีการโปรเจคชัน เพื่อแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่างออกจากกัน หลังจากนั้นใช้การตรวจสอบความเป็นตัวอักษรด้วยคุณลักษณะพิเศษทั้งหมด 5 คุณลักษณะคือ อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของตัวอักษร ความสูงของตัวอักษร ความกว้างของตัวอักษรเปอร์เซ็นต์ความดำของตัวอักษรและจำนวนของตัวอักษรที่คัดแยกได้ สำหรับการ

รู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นใช้การดึงคุณลักษณะพิเศษด้วยการแปลงเวฟเล็ตและหลักสถิติก่อนจะส่งให้เครือข่ายประสาทเทียมรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียน โดยแบ่งออกเป็น 3 เครือข่าย คือ เครือข่ายการรู้จำตัวอักษร เครือข่ายการรู้จำตัวเลขและเครือข่ายการรู้จำชื่อจังหวัด

ผลการทดสอบจากภาพถ่ายดิจิตอลจำนวน 244 ภาพ จากการทดสอบ การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ การคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์และการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ จะได้ผลการทดสอบค่อนข้างดี เมื่อส่วนของภาพป้ายทะเบียนไม่ใกล้และไกลจนเกินไปกล่าวคือ ขนาดความยาวของป้ายทะเบียนควรมีขนาด 20% - 80% ของความยาวภาพและมุมเอียงระหว่างกล้องกับรถยนต์อยู่ระหว่าง 0 องศา - 45 องศาทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง ซึ่งถ้านำข้อมูลภาพดังกล่าวมาข้างต้นนี้ โปรแกรมต้นแบบสามารถค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนได้ถูกต้องเฉลี่ย 95% จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ถูกต้องจากกระบวนการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์มาผ่านกระบวนการคัดแยกตัวอักษรซึ่งสามารถคัดแยกตัวอักษรได้ถูกต้องเฉลี่ย 92% หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ถูกต้องจากกระบวนการคัดแยกตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์ มาผ่านกระบวนการรู้จำตัวอักษร ซึ่งรู้จำตัวอักษรได้ถูกต้องเฉลี่ย 92% รู้จำตัวเลขได้ถูกต้องเฉลี่ย 94% และรู้จำชื่อจังหวัดได้ถูกต้องเฉลี่ย 88%

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมาการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ทำให้ทราบว่ายังบางจุดที่ควรปรับปรุงหรือนำไปพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นดังนี้

1) การค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ได้กับข้อมูลของป้ายทะเบียนรถยนต์ที่มีพื้นหลังเป็นสีขาวเท่านั้น ดังนั้นถ้าหากต้องการครอบคลุมแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ประเภทอื่นควรมีการพัฒนาเรื่องของการแบ่งแยกด้วยสี

2) เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ได้กับขนาดของป้ายทะเบียนที่มีขนาด 20% - 80% ของความยาวภาพและมุมเอียงระหว่างกล้องกับรถยนต์อยู่ระหว่าง 0 องศา - 45 องศาทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดของของวิธีการที่นำเสนอ

รายการอ้างอิง

ราตรี จันทนะทรัพย์. (2548). การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วยเทคนิคเฮาซดรอฟดิสแทนส์. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.**

สุกัญญา จังเจริญจิตต์กุล. (2547). การรู้จำแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพดิจิทัลแบบทันกาล. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**

อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2546). การคำนวณเชิงนิวรอล. **เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2546). ปัญญาประดิษฐ์สำหรับวิศวกร. **เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

เอกรัฐ เลากุลรัตน์ และ วุฒิพงศ์ อารีกุล. (2544). การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยโดยใช้วิธีการตัดแยกและจำแนก. **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมฟ้า ครั้งที่ 24.**: 1260-1265.

A. Syed, Y., and M, S. (2005). Color Edge Enhancement based Fuzzy Segmentation of License Plates. **Proceeding of the 9th International Conference on Information Visualization (IV2005).**: 1-6.

Anagnostopoulos, C. N. E., Anagnostopoulos, I. E., Loumos, V., and Kayafas, E. (2006). A License Plate Recognition Algorithm for Intelligent Transportation System Applications. **IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems.**: 377-391.

Arica, N., and Yarman-Vural, F. T. (2001). An Overview of Character Recognition Focused On Off-Line Handwriting. **Applications and Reviews Systems, Man and Cybernetics, Part C.**: 216-232.

Chang, S.-L., Chen, L.-S., Chung, Y.-C., and Chen, S.-W. (2004). Automatic License Plate Recognition. **IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems.**: 42-53.

Correia, S. E. N., Carvalho, J. M., and Sabourin, R. (2002). On Perfromance of Wavelet for Handwritten Numberals Recognition. **Proceedings of the 16 th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2002).**: 127-130.

Dubey, P. (2005). Heuristic Approach for License plate Detection. **IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance 2005 (AVSS 2005).**: 366-370.

Enyedi, B., Konyha, L., Szombathy, C., and Fazekas, K. (2004). Strategies for Fast License Plate Number Localization. **46th International Symposium Electronics in Marine.**: 579-584.

Hong-ke, X., Fu-hua, Y. Jia-hua, J. and Huan-sheng, S. (2005). A New Approach of Vehicle License Plate Location. **Proceeding of the 6th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT 2005).**: 1055-1057.

Hongliang, B. and Changping, L. (2004). A hybrid License Plate Extraction Method Based On Edge Statistic and Morphology. **Proceedings of the 17th International Conference on Pattern recognition (ICPR2004).**: 831-834.

Hsieh, C.-T., Juan, Y.-S., and Hung, K.-M. (2005). Multiple License Plate Detection for ComplexBackground. **Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2005).**: 389-392.

Hu, Y., Zhu, F., and Zhang, X. (2005). A Novel Approach for License Plate Recognition Using Subspace Projection and Probabilistic Neural Network. **International symposium on neural networks 2005.**: 216-221

Jong-Eun, Dong-Joong, Jeomg, M.-H., and Lee, W.-H. (2006). Robust Segmentation of Characters Marked on Surface. **Intelligent computing in signal processing and pattern recognition (ICIC2006).**: 478-487.

Kahraman, F., Kurt, B., and Gokmen. (2003). License Plate Character Segmentation Based on the Gabor Transform and Vector Quantization. **Computer and Information Sciences (ISCIS 2003).**: 381-388.

Labush, K., Siewert, U., Martneztz, T. and Barth, E. (2007). Learning optimal feature for visual pattern recognition. **Proceedings of the SPIE.**: 6492-6500.

Li, S., Liao, C. and Kwok, T. (2006). Wavelet-Based Feature Extraction for Microarry Data Classification. **2006 International Joint Conference on Neural Networks.**: 5028-5033.

Liang, C.-W., and Chen, P.-Y. (2004). DWT Based Text Localization. **International Journal of Applied Science and Engineering 2004.**: 105-116.

Lu, Y. (1995). Machine Printed Character Segmentation-An Overview. **Pattern Recognition.**: 67-80.

Mahini, H., Kasaei, S., Dorri, F., and Dorri, F. (2006). An Efficient Features-Based License Plate Localization Method. **Proceedings of the 18th International Conference on Pattern recognition (ICPR2006).**: 841-844.

Mancas-Thillou, C., and Gosselin, B. (2006). Character Segmentation-by-Recognition Using Log-Gabor Filters. **Proceedings of the 18th International Conference on Pattern recognition (ICPR2006).**: 901-904.

Ozbay, S., and Ercelebi, E (2005). Automatic Vehicle Identification by Plate Recognition. **Transaction on Engineering, Computing and Technology.**: 222-225.

P. Wu, H.-H., Chen, H.-H., Wu, R.-J., and Shen, D.-F. (2006). License Plate Extraction in Low Resolution Video. **Proceedings of the 18th International Conference on Pattern recognition (ICPR2006).**: 824-827.

Sirithinaphong, T., and Chamnongthai, K. (1998). Extracting of car license extraction of car license plate using motor vehicle regulation and character pattern recognition. **Proceeding of IEEE APCCAS 1998.**: 559-562.

Suryananrayana, P. V., Mitra, S. K., Banerjee, A., and Roy, A. K. (2005). A Morphology Based Approach for Car License Plate Extraction. **IEEE Indicon 2005 Conference.**: 24-27.

Wu, Z., Ren, G., Wang, X., and Zhao, Y. (2004). Automatic Digital Modulation Recognition Using Wavelet Transform and Neural Networks. **Advances in Neural Networks.**: 936-940.

Xiang, P., Xiuzi, Y., and Sanyuan, Z. (2004). A Hybrid Method fro Robust Car Character Recognition. **2004 IEEE International Conference on Systems.**: 4733-4737.

Yang, F., and Ma, Z. (2005). Vehicle License Plate Location Based on Histogramming and Mathematical Morphology. **Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies 2005.**: 89-94.

Yang, F., Ma, Z., and Xie, M. (2006). A Novel Approach for License Plate Character Segmentation. **2006 1ST IEEE conference on Industrial Electronics and Applications.**: 1-6.

Yang, K., Shan, G., and Zhao, L. (2006). Application of Wavelet Packet Analysis and Probabilistic Neural Networks in Fault Diagnosis. **Proceeding of 6th world Congress on Intelligent Control and Automation.**: 4378-4381.

Zaknich, A. (2003). Neural network for intelligent signal processing. **Series on Innovative Intelligence.**: 157-166.

Zhang, Y., and Zhang, C. (2003). A New Algorithm for Character Segmentation of License Plate. **Proceeding IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2003.**: 106-109.

Zheng, D., Zhao, Y., and Wang, J (2005). An efficient method of license plate location. **Pattern Recognition Letters 26.**: 2431-2438.

Zhu, J., and Zhao, Y. (2001). Vehicle License Image Segmentation Using Wavelet Transform. **Proceeding of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing.**: 267-270.

ภาคผนวก ก

กฎกระทรวง กำหนดลักษณะ ขนาด และสีของแผ่นป้ายทะเบียนรถ พ.ศ. 2547

ชนิดของแผ่นป้ายทะเบียนรถ

กฎกระทรวง กำหนดลักษณะ ขนาด และสีของแผ่นป้ายทะเบียนรถ พ.ศ. 2547

ก.1 ลักษณะและขนาด

1) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด รถยนต์รับจ้าง รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกินเจ็ดคน รถยนต์รับจ้างสามล้อ รถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้าง รถยนต์บริการธุรกิจ รถยนต์บริการทัศนาจร รถยนต์บริการให้เช่า รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคน รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล รถพ่วง รถบดถนน รถแทรกเตอร์และรถใช้งานเกษตรกรรมมีขาดกว้าง 15 ซม. ยาว 34 ซม. แผ่นป้ายแบ่งออกเป็นสองบรรทัด บรรทัดที่หนึ่ง เป็นตัวอักษรประจำหมวดตัวที่หนึ่ง ตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สองและหมายเลขทะเบียน บรรทัดที่สองเป็นตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัด เว้นแต่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ให้ใช้คำว่า เบตง ลักษณะของตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียนตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดและขอบแผ่นป้ายอัดเป็นรอยดุนตัวอักษรประจำหมวดและหมายเลขทะเบียนต้องมีขนาดสูงไม่น้อยกว่า 6.5 ซม. และต้องกว้างไม่น้อยกว่า 3.5 ซม. ตัวอักษรชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดมีขนาดสูงไม่น้อยกว่า 2 ซม. กว้างไม่น้อยกว่า 1.5ซม. เว้นตัวอักษรประจำหมวดและชื่อของจังหวัดที่ใช้ตัวอักษร ข ง ช ซ ฌ ญ ฎ ฏ ฐ ฒ ณ ป ฝ ศ ษ ส ฬ ฮ สระ วรรณยุกต์และหมายเลข 1 อาจมีขนาดสูงหรือกว้างมากหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ได้ตามความเหมาะสม ในแผ่นมีเครื่องหมายเป็นตัวอักษร ขส อยู่ในวงกลมอันเป็นรอยดุนที่มุมล่างด้านขวาของแผ่นป้ายสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ตัวอักษรประจำหมวดให้ใช้อักษรไทยโดยจะใช้ตัวอักษรใดเป็นตัวอักษรประจำหมวดตัวที่หนึ่งให้เป็นไปตามที่กรมการขนส่งทางบกประกาศกำหนด ตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สองให้เริ่มตั้งแต่ ก ถึง ฮ หมายเลขทะเบียนให้ใช้เลขอารบิคและให้เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง 9999 เมื่อใช้หมายเลขทะเบียนจนถึงหมายเลข 9999 แล้ว ให้เปลี่ยนตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สองโดยให้ใช้พยัญชนะตัวถัดไป เว้นแต่ เว้นแต่กรณีที่กรมการขนส่งทางบกประกาศกำหนดให้ใช้พยัญชนะตัวอื่นและให้เริ่มหมายเลขทะเบียนตั้งแต่ 1 ถึง 9999 ใหม่ เมื่อใช้หมายเลขทะเบียนจนถึงกำหนด 9999 แล้ว ให้ใช้วิธีดังกล่าวซ้ำอีกจนครบพยัญชนะตัวสุดท้ายของตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สอง ทั้งนี้ เว้นแต่หมายเลขทะเบียนที่มีกฎกระทรวงกำหนดให้เป็นหมายเลขทะเบียน ซึ่งเป็นที่ต้องการหรือเป็นที่นิยมและเมื่อใช้ตัวอักษรประจำหมวดตัวที่หนึ่งแก่รถประเภทหรือชนิดใดแล้ว ให้ใช้ตัวอักษรนั้นสำหรับรถประเภทหรือชนิดนั้นจนกว่าจะครบพยัญชนะตัว

สุดท้ายของตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สองแล้ว จึงให้ใช้ตัวประจำหมวดตัวที่หนึ่งตัวอื่นสำหรับรถประเภทหรือชนิดนั้นต่อไปได้

2) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถจักรยานยนต์มีขนาดกว้าง 17.20 ซม. ยาว 22ซม. แผ่นป้ายแบ่งออกเป็นสามบรรทัด บรรทัดที่หนึ่งเป็นตัวอักษรประจำหมวดตัวที่หนึ่งตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สองและตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สาม บรรทัดที่สองเป็นตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัด เว้นแต่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ให้ใช้คำว่า เบตง บรรทัดที่สามเป็นหมายเลขทะเบียน ลักษณะของตัวอักษรประจำหมวด ตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัด หมายเลขทะเบียนและขอบแผ่นป้ายอัดเป็นรอยดุน ตัวอักษรประจำหมวดและหมายเลขทะเบียนมีขนาดสูงไม่น้อยกว่า 4 ซม. กว้างไม่น้อยกว่า 3 ซม. ตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานคร หรือจังหวัดมีขนาดสูงไม่น้อยกว่า 2 ซม. กว้างไม่น้อยกว่า 1.3 ซม. เว้นแต่ตัวอักษรประจำหมวดและชื่อของจังหวัดที่ใช้ตัวอักษร ข ง ช ซ ฌ ญ ฎ ฏ ฐ ฒ ณ ป ฝ ฟ ศ ษ ส พ ฮ สระ วรรณยุกต์และหมายเลข 1 อาจมีขนาดสูงหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ ได้ตามความเหมาะสม ในแผ่นป้ายมีเครื่องหมายเป็นตัวอักษร ขส อยู่ภายในวงกลมอัดเป็นรอยดุนที่มุมล่างด้านขวาของแผ่นป้าย สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้และตัวอักษรประจำหมวดทุกตัวที่ใช้อักษรไทย โดยให้เริ่มตั้งแต่ ก ถึง ฮ หมายเลขทะเบียนให้ใช้เลขอารบิคและเริ่มตั้งแต่ 1 ถึง 999 เมื่อใช้หมายเลขทะเบียนจนถึงหมายเลข 999 แล้วให้เปลี่ยนตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สามโดยให้ใช้พยัญชนะตัวถัดไป เว้นแต่กรณีที่กรมขนส่งทางบกประกาศกำหนดให้ใช้พยัญชนะตัวอื่นและให้เริ่มหมายเลขทะเบียนตั้งแต่ 1 ถึง 999 ใหม่ เมื่อใช้หมายเลขทะเบียนจนถึงหมายเลข 999 แล้วให้ใช้วิธีดังกล่าวซ้ำอีกจนครบพยัญชนะตัวสุดท้ายของตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สาม แล้วจึงให้เปลี่ยนตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สอง โดยใช้พยัญชนะตัวถัดไป เว้นแต่กรณีที่กรมการขนส่งทางบกประกาศกำหนดให้ใช้พยัญชนะตัวอื่นและให้เริ่มหมายเลขทะเบียนตั้งแต่ 1 ถึง 999 ใหม่ เมื่อใช้หมายเลขทะเบียนจนถึงหมายเลข 999 แล้วก็ให้ใช้วิธีดังกล่าวซ้ำอีกจนครบพยัญชนะตัวสุดท้ายของอักษรประจำหมวดตัวที่สอง แล้วจึงให้เปลี่ยนตัวอักษรประจำหมวดตัวที่หนึ่งโดยใช้พยัญชนะตัวถัดไป เมื่อใช้หมายเลขทะเบียนจนถึงหมายเลข 999 หรือตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สามหรือตัวอักษรประจำหมวดตัวที่สองจนครบพยัญชนะตัวสุดท้าย แล้วแต่กรณีให้ใช้วิธีดังกล่าวซ้ำอีก

3) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์ของบุคคลในคณะผู้แทนทางการทูตให้มีขนาดกว้าง 11 ซม. ยาว 38.7 ซม. ตัวอักษร ตัวเลขและขีดเป็นรอยดุน ตอนหน้า แถวบนมีตัวอักษร ท ขนาดสูง 4 ซม. ใต้ตัวอักษร ท มีตัวเลขอารบิคเริ่มตั้งแต่ 1 ขนาดสูง 4 ซม. เป็นรหัสแทนชื่อประเทศระหว่างตัวอักษรและตัวเลขดังกล่าวมีขีดตามความยาวขนาดกว้าง 1.1 ซม. ยาว 4 ซม. เหนือขีดมีเครื่องหมายเป็นตัวอักษร ขส อยู่ภายในวงกลมอัดเป็นรอยดุน สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ หลังขีดมีหมายเลขทะเบียนเป็นเลขอารบิคขนาดสูง 7.2 ซม. หมายเลขทะเบียนให้เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง 9999

4) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์ของบุคคลในหน่วยงานพิเศษของสถานทูตต่าง ๆ ให้มีลักษณะและขนาดเช่นเดียวกับแผ่นป้ายตามข้อ 3 เว้นแต่ตัวอักษรให้ใช้ตัวอักษร ก

5) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์ของบุคคลในคณะผู้แทนทางกงสุลให้มีลักษณะและขนาดเช่นเดียวกับแผ่นป้ายตามข้อ 3 เว้นแต่ตัวอักษรให้ใช้ตัวอักษร ก

6) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์ของบุคคลในองค์การระหว่างประเทศหรือทบวงการชำนัญแห่งสหประชาชาติ ซึ่งประจำอยู่ในประเทศไทยให้มีลักษณะและขนาดเช่นเดียวกับแผ่นป้ายตามข้อ 3 เว้นแต่ตัวอักษรให้ใช้ตัวอักษร อ ตัวเลขอารบิคใต้ตัวอักษร อ เป็นรหัสแทนชื่อองค์การหรือทบวงการชำนัญพิเศษ

ก.2 สี

1) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกินเจ็ดคน รถยนต์รับจ้างสามล้อ และรถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้าง พื้นแผ่นป้ายเป็นสีเหลืองสะท้อนแสง ตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียน ตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานคร หรือจังหวัดและขอบแผ่นป้ายของรถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัดเป็นสีแดง รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกินเจ็ดคนเป็นสีดำรถยนต์รับจ้างสามล้อเป็นสีเขียวและรถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้างเป็นสีน้ำเงิน

2) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์บริการธุรกิจ รถยนต์บริการทัศนาจรและรถยนต์บริการให้เช่า พื้นแผ่นป้ายเป็นสีเขียวสะท้อนแสง ตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียน ตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดและขอบแผ่นป้ายเป็นสีขาว

3) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคน รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคลและรถยนต์สามล้อส่วนบุคคล พื้นแผ่นป้ายเป็นสีขาวสะท้อนแสงตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียน ตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดและขอบแผ่นป้ายของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคนเป็นสีดำรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคนเป็นสีน้ำเงิน รถยนต์ยนต์บรรทุกส่วนบุคคลเป็นสีเขียวและรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ดคนและรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคลที่ใช้หมายเลขทะเบียนที่มีกฎกระทรวงกำหนดให้เป็นหมายเลขทะเบียน ซึ่งเป็นที่ต้องการหรือเป็นที่นิยมจะมีสีของพื้นแผ่นป้าย ตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียนตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดและขอบแผ่นป้ายแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ก็ได้ ทั้งนี้ตามที่กรมการขนส่งทางบกประกาศกำหนด

4) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถจักรยานยนต์ พื้นแผ่นป้ายเป็นสีขาว ตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียน ตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดและขอบแผ่นป้ายเป็นสีดำ

5) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถพ่วง รถบดถนน รถแทรกเตอร์และรถใช้งานเกษตรกรรม พื้นแผ่นป้ายเป็นสีส้มสะท้อนแสง ตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียน ตัวอักษรบอกชื่อกรุงเทพมหานครหรือจังหวัดและขอบแผ่นป้ายป้ายสีดำ

6) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถจักรยานยนต์ ที่ใช้รับจ้างบรรทุกคนโดยสาร พื้นแผ่นป้ายเป็นสีเหลืองสะท้อนแสง ตัวอักษรประจำหมวด หมายเลขทะเบียน ตัวอักษรบอกชื่อจังหวัดและขอบแผ่นป้ายเป็นสีดำ

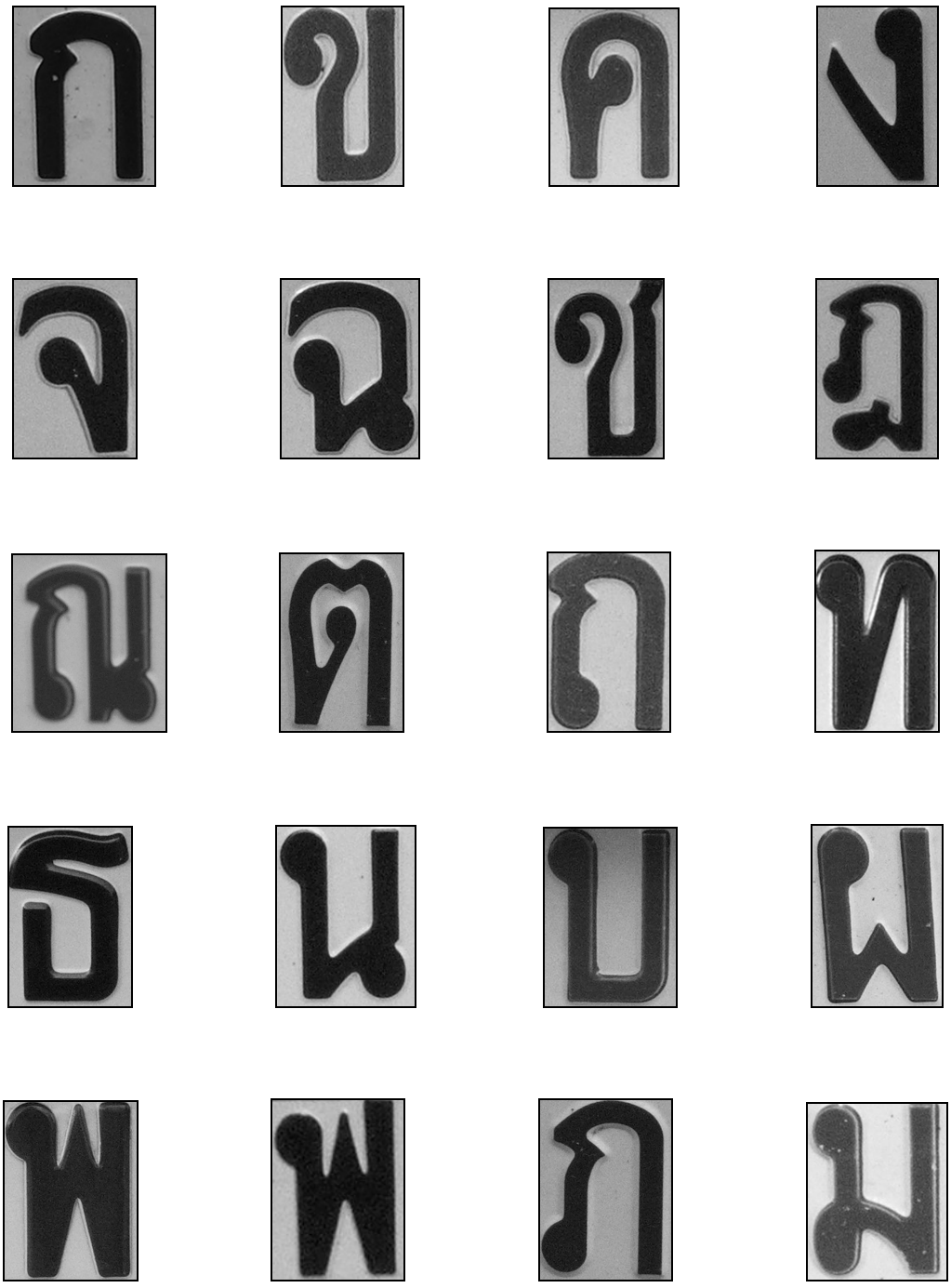
7) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับของรถยนต์ของบุคคลในคณะผู้แทนทางการทูตพื้นแผ่นป้ายเป็นสีขาว ตัวอักษร ตัวเลขและขีดเป็นสีดำ

8) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถยนต์ของส่วนบุคคลในหน่วยงานพิเศษของสถานทูตต่าง ๆ บุคคลในคณะผู้แทนทางกงสุลและรถยนต์ของบุคคลในองค์การระหว่างประเทศหรือทบวงการชำนัญพิเศษแห่งสหประชาชาติ ซึ่งประจำอยู่ในประเทศไทย พื้นแผ่นป้ายเป็นสีฟ้าตัวอักษร ตัวเลขและขีดเป็นสีขาว

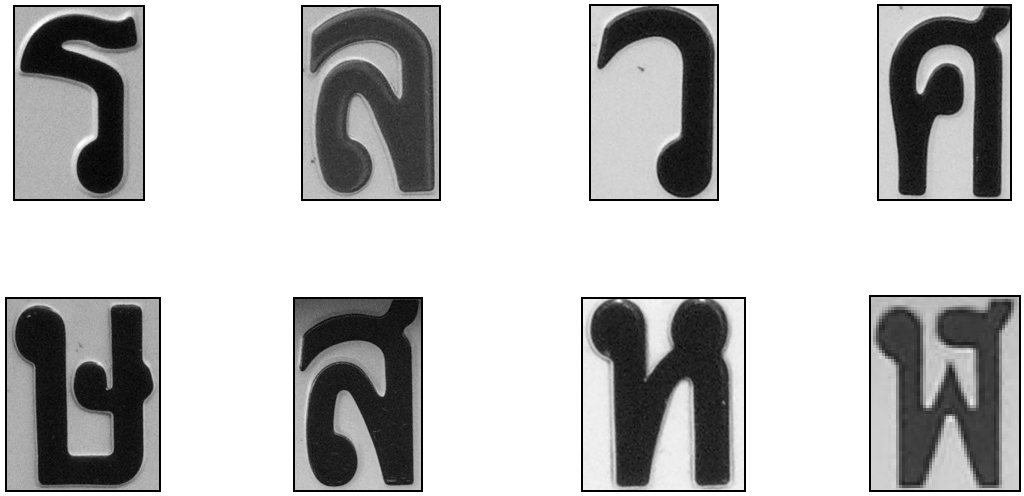
9) แผ่นป้ายทะเบียนรถสำหรับรถจักรยานยนต์ ของบุคคลในคณะผู้แทนทางการทูตบุคคลในหน่วยงานพิเศษของสถานทูตต่าง ๆ บุคคลในคณะผู้แทนทางกงสุลและบุคคลในองค์การระหว่างประเทศหรือทบวงการชำนัญพิเศษแห่งสหประชาชาติ ซึ่งประจำอยู่ในประเทศไทย ให้มีสีเช่นเดียวกับข้อ 7 หรือ 8 แล้วแต่ กรณีพื้นแผ่นป้ายทะเบียนรถประเภทใดจะมีรูปภาพที่สามารถอธิบายหรือมองเห็นความหมายในภาพที่ปรากฏเสมือนของแท้จริง (Graphic) นั้นเองได้ ให้เป็นไปตามที่กรมการขนส่งทางบกประกาศกำหนด

ภาคผนวก ข

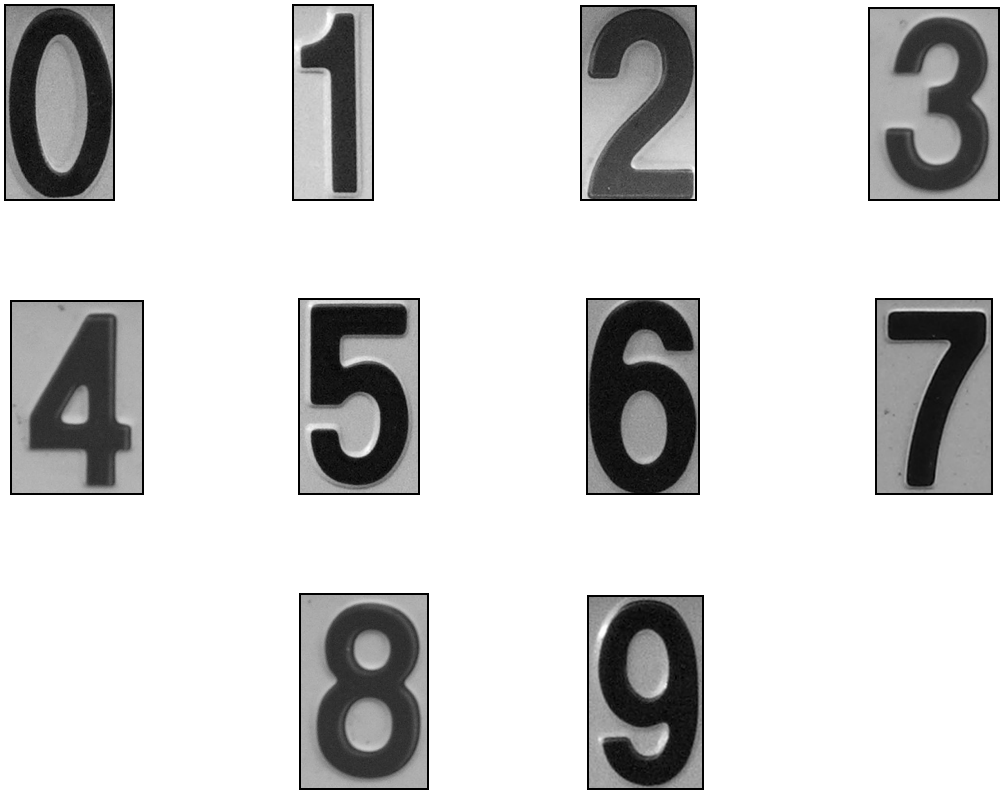
ภาพข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (ภาพตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายบางส่วน)



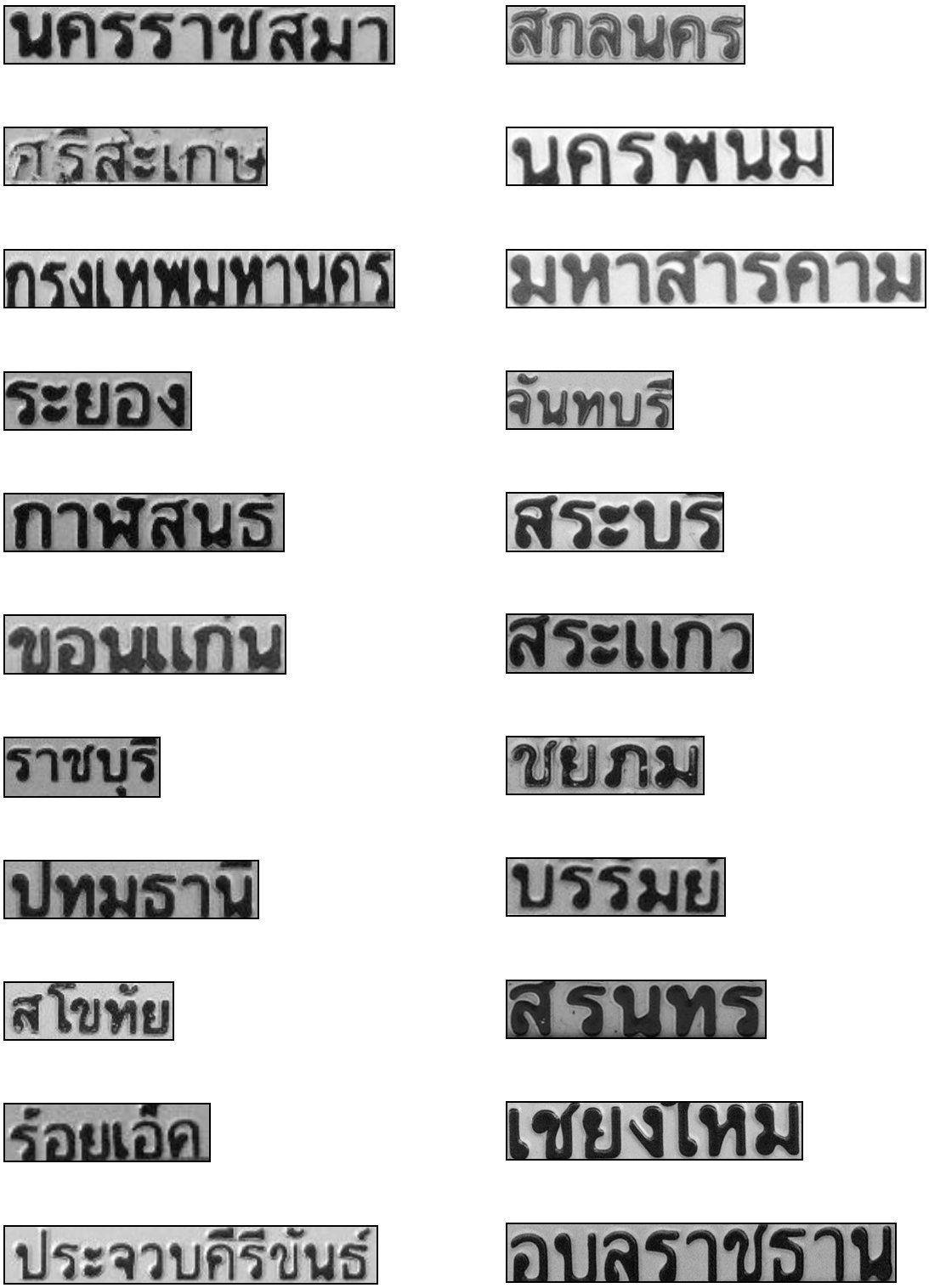
รูปที่ ข.1 ภาพที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายการรู้จำตัวอักษร



รูปที่ ข.1 ภาพที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายการรู้จำตัวอักษร (ต่อ)



รูปที่ ข.2 ภาพที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายการรู้จำตัวเลข



รูปที่ ข.3 ภาพที่ใช้ในการฝึกสอนเครือข่ายการรู้จำชื่อจังหวัด

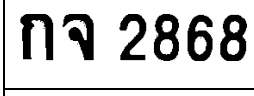
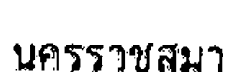
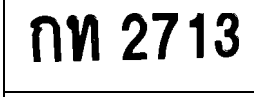
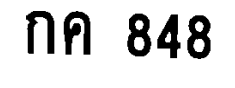
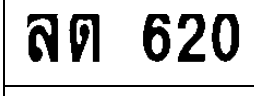
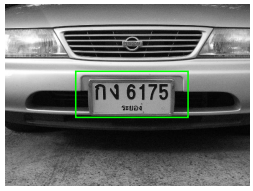
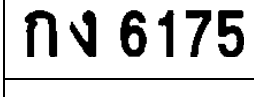
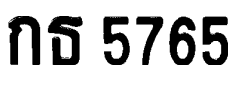
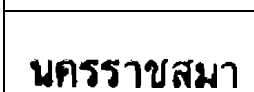
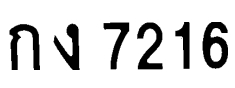
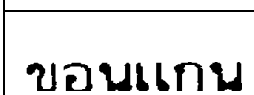
ภาคผนวก ค

ตัวอย่างผลการทดสอบ

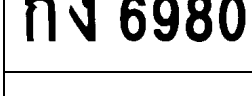
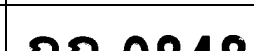
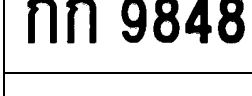
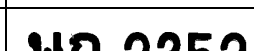
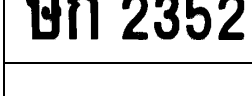
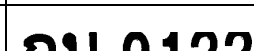
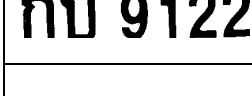
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กต 8687	
			นครราชสีมา	
			ณค 4483	
			กรุงเทพมหานคร	
			กข 7316	
			ประจวบครขนธ	
			ผก 5655	
			นครราชสีมา	
			ชร 7578	
			กรุงเทพมหานคร	
			กข 6979	
			สุรินทร์	
			กน 2336	
			นครราชสีมา	

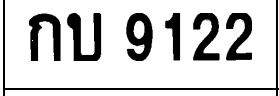
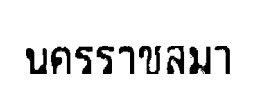
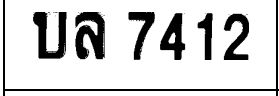
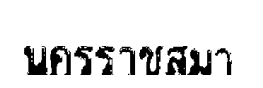
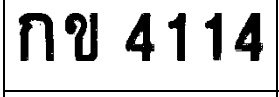
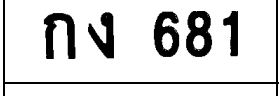
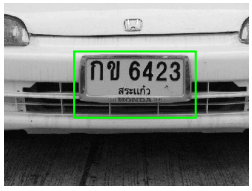
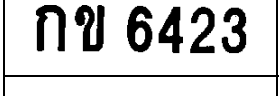
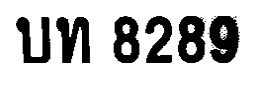
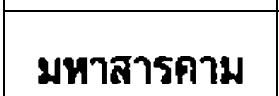
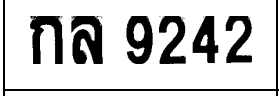
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 2868	
			นครราชสีมา	
			กท 2713	
			นครราชสีมา	
			กค 848	
			ชัยภูมิ	
			ลต 620	*1
			กรุงเทพมหานคร	
			กง 6175	
			ระยอง	
			กธ 5765	
			นครราชสีมา	
			กง 7216	
			ขอนแก่น	

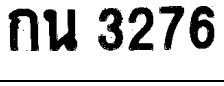
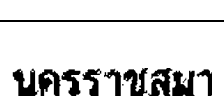
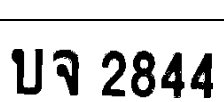
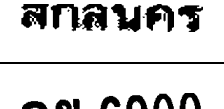
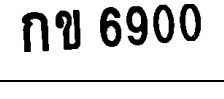
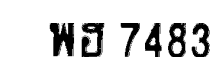
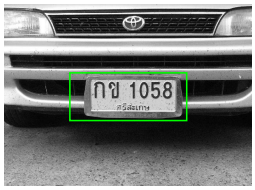
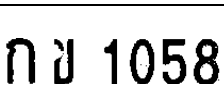
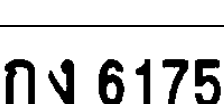
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			บล 1535	
			ขอนแก่น	
			กง 6980	
			ราชบุรี	
			กก 9848	
			นครราชสีมา	
			ษก 2352	
			กรุงเทพมหานคร	
			กจ 1240	
			ปทุมธานี	
			กพ 47	
			นครราชสีมา	
			กบ 9122	*2
			ประจวบคีรีขันธ์	

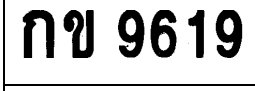
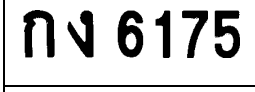
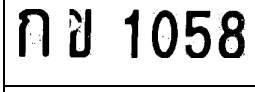
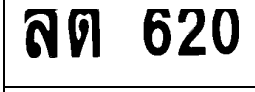
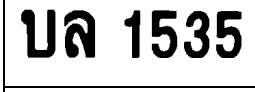
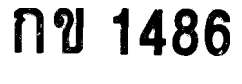
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กบ 9122	
			นครราชสีมา	
			บล 7412	
			นครราชสีมา	
			กข 4114	
			ชัยภูมิ	
			กง 681	
			อุบลราชธานี	
			กข 6423	
			สระแก้ว	
			บท 8289	
			มหาสารคาม	
			กล 9242	
			เชียงใหม่	

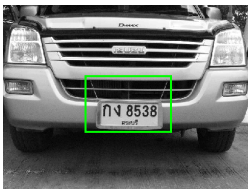
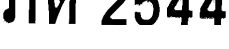
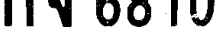
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			บร 2017	
			นครราชสีมา	
			บจ 2844	
			สกลนคร	
			กข 6900	
			นครพนม	
			พฮ 7483	
			กรุงเทพมหานคร	
			กช 1058	*3
			ศรีสะเกษ	
			กง 6175	
			ระยอง	

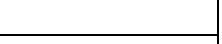
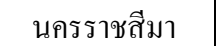
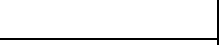
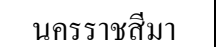
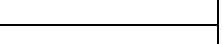
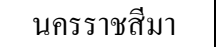
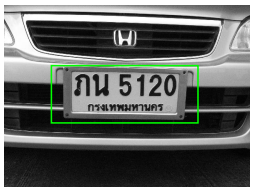
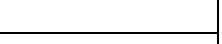
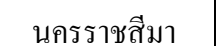
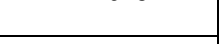
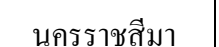
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กข 9619	
			การสินธ์	
			กง 6175	
			ระยอง	
			กช 1058	*4
			ศรีสะเกษ	
			ลต 620	
			กรุงเทพมหานคร	
			บล 1535	
			ขอนแก่น	
			กจ 1240	
			ปทุมธานี	
			กข 1486	
			สุโขทัย	

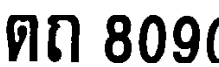
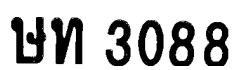
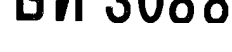
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กน 5158	
			นครราชสีมา	
			กง 8538	
			สระบุรี	
			กท 1624	
			นครราชสีมา	
			ผก 3292	
			นครราชสีมา	
			ภต 2544	
			กรุงเทพมหานคร	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กบ 139	
			นครราชสีมา	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
		 	กน 8710 นครราชสีมา	
		 	ผข 9192 นครราชสีมา	
		 	บษ 4194 นครราชสีมา	
		 	ภน 5120 กรุงเทพมหานคร	
		 	คว 3215 กรุงเทพมหานคร	*5
		 	กน 7932 นครราชสีมา	
		 	กฉ 648 นครราชสีมา	

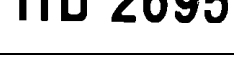
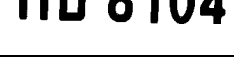
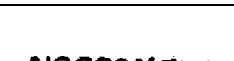
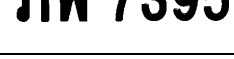
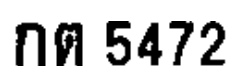
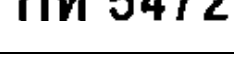
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กฉ 2107	
			นครราชสีมา	
			ลน 7188	
			กรุงเทพมหานคร	
			กท 1125	
			นครราชสีมา	
			กธ 8154	
			นครราชสีมา	
			ตถ 8090	
			กรุงเทพมหานคร	
			ษท 3088	
			กรุงเทพมหานคร	
			กฉ 8590	
			นครราชสีมา	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
		กฉ 5849	กฉ 5849	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		ภษ 340	ภษ 340	
		กรงเทพมหานคร	กรุงเทพมหานคร	
		ศล 7336	ศล 7336	
		กรงเทพมหานคร	กรุงเทพมหานคร	
		วย 4614	วย 4614	
		กรงเทพมหานคร	กรุงเทพมหานคร	
		ผค 5636	ผค 5636	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		ษก 2352	ษก 2352	
		กรงเทพมหาบคร	กรุงเทพมหานคร	
		พท 6891	พท 6891	
		กรงเทพมหานคร	กรุงเทพมหานคร	

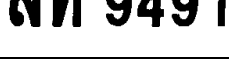
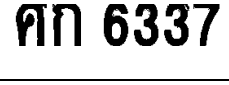
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กธ 2695	
			นครราชสีมา	
			กธ 8104	
			นครราชสีมา	
			ภพ 7395	
			กรุงเทพมหานคร	
			กฉ 7186	
			นครราชสีมา	
			ขจ 3119	
			กรุงเทพมหานคร	
			คข 5860	*6
			กรุงเทพมหานคร	
			กต 5472	
			นครราชสีมา	

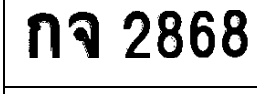
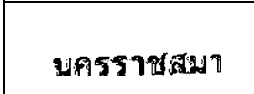
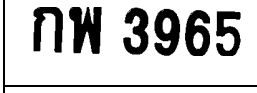
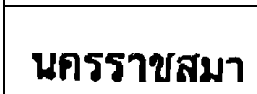
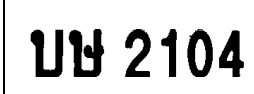
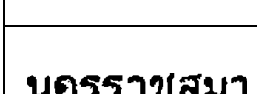
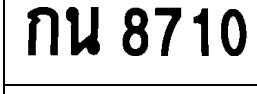
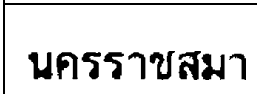
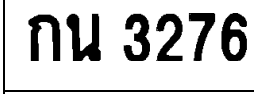
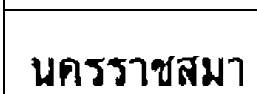
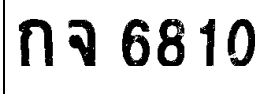
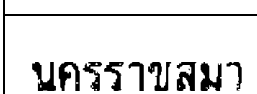
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
		2950	2950	*7
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		ผก 767	ผก 767	*8
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กต 6621	กต 6621	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		บบ 3792	บบ 3792	
		จันทบรี	จันทบุรี	
		กข 6900	กข 6900	
		นครพนม	นครพนม	
		กบ 4957	กบ 4957	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กจ 4397	กจ 4397	*9
		นครศรธรรมราช	นครราชสีมา	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กค 2912	
			บุรีรัมย์	
			ชฎ 4811	
			กรุงเทพมหานคร	
			วค 8557	
			กรุงเทพมหานคร	
			กฉ 1769	
			ขอนแก่น	
			สท 9491	
			กรุงเทพมหานคร	
			ศก 6337	
			กรุงเทพมหานคร	
			กธ 3032	
			นครราชสีมา	

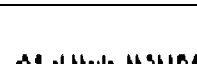
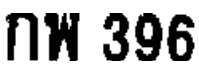
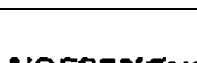
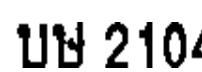
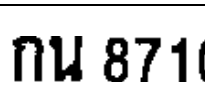
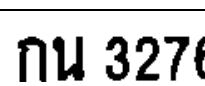
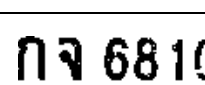
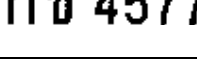
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 2868	
			นรครราชสีมา	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

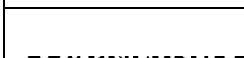
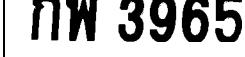
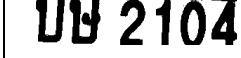
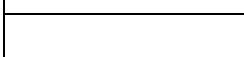
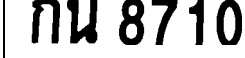
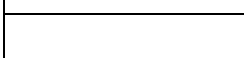
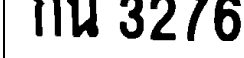
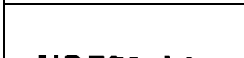
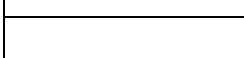
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
		ลต 620	ลต 620	*10
		กรงเทพมหานคร	กรุงเทพมหานคร	
		กพ 3965	กพ 3965	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		บษ 2104	บษ 2104	*11
		*	**	
		กน 8710	กน 8710	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 3276	กน 3276	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กจ 6810	กจ 6810	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กข 4577	กข 4577	
		กาฬสินธ	กาฬสินธ์	

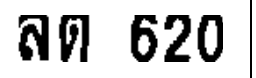
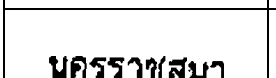
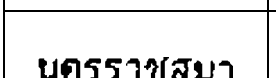
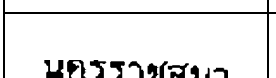
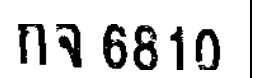
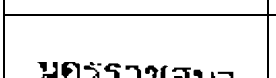
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			สต 620	*12
			นครราชสีมา	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธุ์	

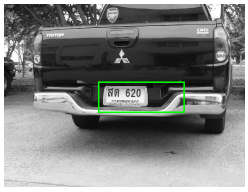
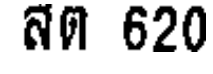
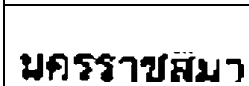
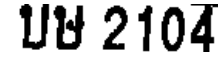
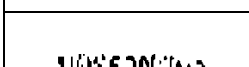
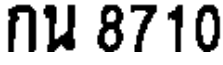
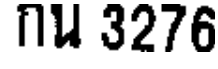
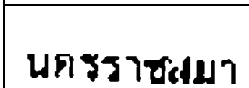
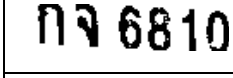
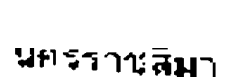
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			ลต 620	*13
			กรุงเทพมหานคร	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสมา	
			กน 3276	
			นครราชสมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

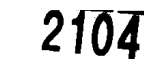
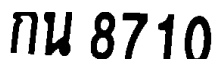
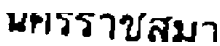
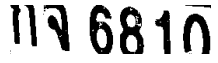
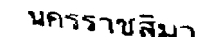
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			ลต 620	*14
			กรุงเทพมหานคร	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6816	*15
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

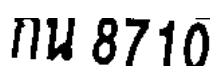
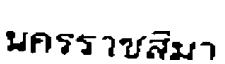
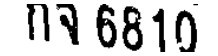
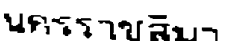
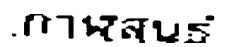
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			สต 620	
			กรุงเทพมหานคร	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	*16
			ระยอง	

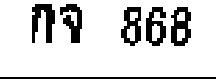
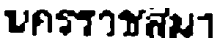
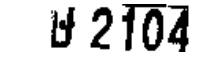
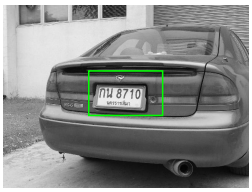
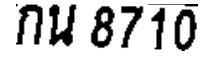
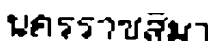
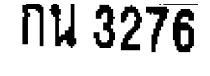
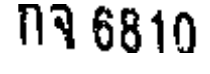
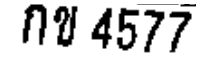
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			ลต 620	*17
			**	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			2104	*18
			**	
			กน 8710	
			นครราชสมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6816	*19
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

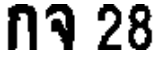
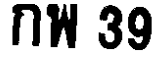
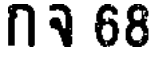
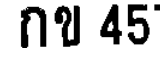
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			ลต 620	*20
			**	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			2 04	*21
			**	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

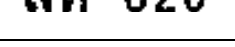
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 868	*22
			**	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			ษ 2104	*23
			**	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	*24
		*	**	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 2868	
			นครราชสีมา	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			สต 620	
			กรุงเทพมหานคร	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			ลต 620	
			นครราชสีมา	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
		*	**	*25
		*	**	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธุ์	

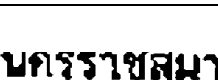
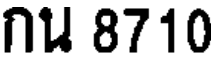
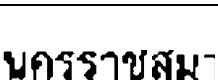
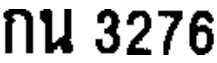
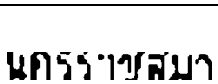
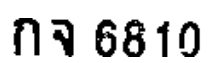
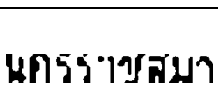
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
		กจ 2868	กจ 2868	
		นครราชสีมา	นครราชสีมา	
		กพ 3965	กพ 3965	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		บษ 2104	บษ 2104	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 8710	กน 8710	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 3276	กน 3276	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กจ 6810	กจ 6810	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กข 4577	กข 4577	
		กาฬสินธ์	กาฬสินธ์	

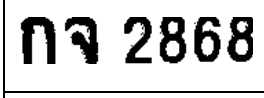
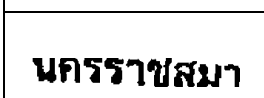
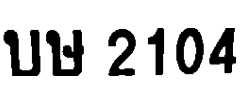
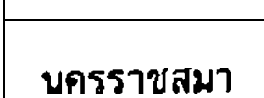
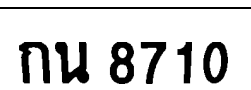
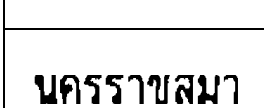
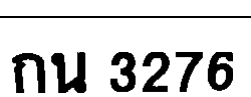
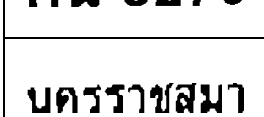
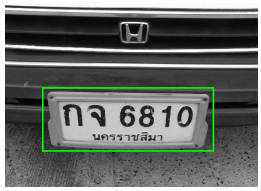
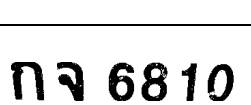
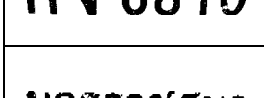
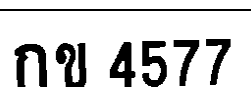
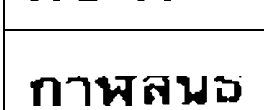
ตารางที่ ค. 1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
		กจ 2868	กจ 2868	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กพ 3965	กพ 3965	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		บษ 2104	บษ 2104	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 8710	กน 8710	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 3276	กน 3276	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กจ 6810	กจ 6810	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กข 4577	กข 4577	
		กาฬสินธ์	กาฬสินธ์	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 2868	
			นครราชสีมา	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	

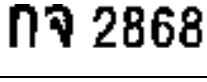
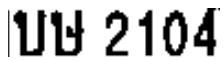
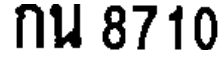
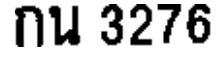
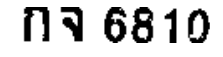
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 2868	
			นครราชสีมา	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

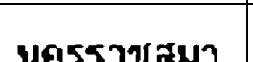
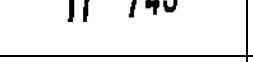
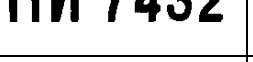
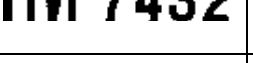
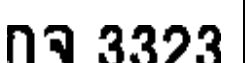
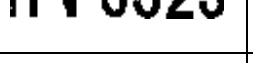
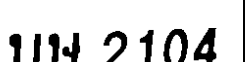
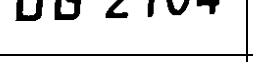
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
		กจ 2868	กจ 2868	
		นครราชสีมา	นครราชสีมา	
		กพ 3965	กพ 3965	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 3276	กน 3276	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 8710	กน 8710	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กน 3276	กน 3276	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กจ 6810	กจ 6810	
		นครราชสมา	นครราชสีมา	
		กข 4577	กข 4577	
		กาฬสินธ์	กาฬสินธ์	

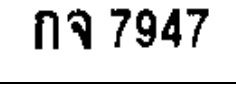
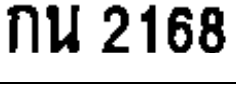
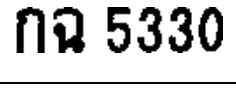
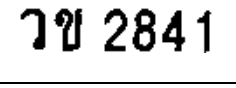
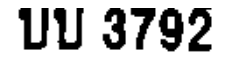
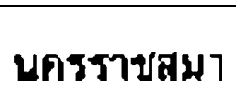
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 2868	*26
			**	
			กพ 3965	
			นครราชสีมา	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กน 8710	
			นครราชสีมา	
			กน 3276	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กข 4577	
			กาฬสินธ์	

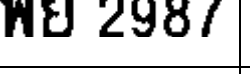
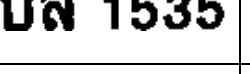
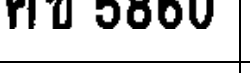
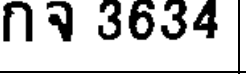
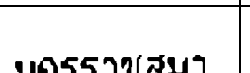
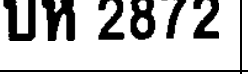
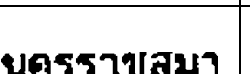
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กต 385	
			นครราชสีมา	
			ก 743	*27
			**	
			กท 7432	
			นครราชสีมา	
			กท 7432	
			นครราชสีมา	
			กจ 3323	*28
			ชัยภูมิ	
			บษ 2104	
			นครราชสีมา	
			กง 681	
			อุบลราชธานี	

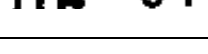
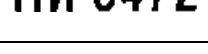
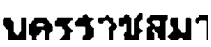
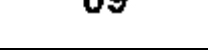
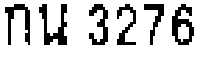
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กจ 7947	
			ขอนแก่น	
			กน 2168	
			นครราชสีมา	
			กฉ 5330	
			นครราชสีมา	
			วข 2841	
			กรุงเทพมหานคร	
			บบ 3792	
			จันทบุรี	
	***	*	**	*29
		*	**	
			กน 4436	
			นครราชสีมา	

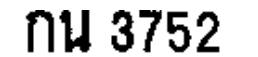
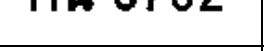
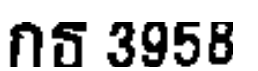
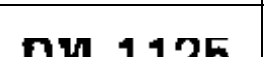
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			พย 2987	
			กรุงเทพมหานคร	
			บล 1535	
			ขอนแก่น	
			คข 5860	
			กรุงเทพมหานคร	
			กจ 3634	
			นครราชสีมา	
			บห 2878	
			นครราชสมา	
			ภง 7882	
			กรุงเทพมหานคร	
		จ 8 62	จ 8 62	*30
			**	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กฉ 51	
			นครราชสีมา	
			กต 5472	
			นครราชสีมา	
			ผ 7 00	*31
			ระยอง	
			บล 169	
			นครราชสีมา	
			9 2 43	*32
			**	
			69	*33
			นครราชสีมา	
			กน 3276	*34
		*	**	

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระบบ (ต่อ)

ภาพต้นแบบ	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	การคัดแยกตัวอักษร	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ
			กฉ 7419	
			นครราชสีมา	
			กน 3752	
			นครราชสีมา	
			บษ 4149	
			นครราชสีมา	
			กธ 3958	
			นครราชสีมา	
			ผก 5323	
			นครราชสีมา	
			กจ 6810	
			นครราชสีมา	
			กท 1125	
			นครราชสีมา	

ตารางที่ ค.2 คำอธิบายหมายเหตุ

หมายเหตุ	คำอธิบาย
*1	รู้จำตัวอักษรผิดจาก “ส” เป็น “ล”
*2	รู้จำชื่อจังหวัดผิดจาก “นครราชสีมา” เป็น “ประจวบคีรีขันธ์”
*3	รู้จำตัวอักษรผิดจาก “ข” เป็น “ช”
*4	รู้จำตัวอักษรผิดจาก “ข” เป็น “ช”
*5	คัดแยกตัวอักษรผิดจาก “ศ” เป็น “ค” ทำให้รู้จำได้ “ค”
*6	รู้จำตัวอักษรผิดจาก “ศ” เป็น “ค”
*7	คัดแยกตัวอักษรผิดพลาด
*8	คัดแยกตัวอักษรผิดพลาด
*9	รู้จำชื่อจังหวัดผิดจาก “นครศรีธรรมราช” เป็น “นครราชสีมา”
*10	รู้จำตัวอักษรผิดจาก “ส” เป็น “ล”
*11	ไม่สารถคัดแยกชื่อจังหวัดได้
*12	รู้จำชื่อจังหวัดผิดจาก “กรุงเทพมหานคร” เป็น “นครราชสีมา”
*13	รู้จำตัวอักษรผิดจาก “ส” เป็น “ล”
*14	รู้จำตัวอักษรผิดจาก “ส” เป็น “ล”
*15	รู้จำตัวเลขผิดจาก “0” เป็น “6”
*16	รู้จำจังหวัดผิดจาก “กาฬสินธ์” เป็น “ระยอง”
*17	การคัดแยกชื่อจังหวัดผิด
*18	การคัดแยกทั้งตัวอักษรและชื่อจังหวัดผิด
*19	รู้จำตัวเลขผิดจาก “0” เป็น “6”
*20	การคัดแยกชื่อจังหวัดผิดจากและรู้จำตัวอักษรผิดจาก “ส” เป็น “ล”
*21	การคัดแยกตัวอักษรและชื่อจังหวัดผิด
*22	การคัดแยกตัวอักษรและชื่อจังหวัดผิด
*23	การคัดแยกตัวอักษรและชื่อจังหวัดผิด
*24	การคัดแยกตัวอักษรและชื่อจังหวัดผิด
*25	การคัดแยกตัวอักษรเกิดความผิดพลาด
*26	การคัดแยกชื่อจังหวัดเกิดความผิดพลาด
*27	การคัดตัวอักษรและการรู้จำเกิดความผิดพลาด
*28	รู้จำชื่อจังหวัดผิดจาก “นครสวรรค์” เป็น “ชัยภูมิ”

ตารางที่ ค.2 คำอธิบายหมายเหตุ (ต่อ)

หมายเหตุ	คำอธิบาย
*29	การค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนผิดพลาด
*30	การคัดแยกตัวอักษรและการรู้จำเกิดความผิดพลาด
*31	การรู้จำชื่อจังหวัดผิดจาก “ลำพูน”เป็น ระยอง
*32	การคัดแยกตัวอักษรเกิดความผิดพลาด
*33	การคัดแยกตัวอักษรมาไม่ครบ
*34	การคัดแยกชื่อจังหวัดเกิดความผิดพลาด
*	ไม่สามารถค้นหาป้ายทะเบียนได้
**	ไม่สามารถการคัดแยกตัวอักษรได้
***	ไม่สามารถรู้จำได้

ภาคผนวก ง

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

วิฑูรย์ มารมย์ กิตติ อัตถกิจมงคล และ อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2550). **การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและเครือข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (EECON - 30) ณ โรงแรมเฟลิกซ์ริเวอร์แควรีสอร์ท จังหวัดกาญจนบุรีวันที่ 25 - 26 ตุลาคม พ.ศ. 2550 : 769 - 772

ภาคผนวก จ

โปรแกรมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

จ.1 กล่าวนำ

ภาคผนวก จ. นี้จะกล่าวถึงการติดตั้ง โปรแกรมOpenCv ซึ่งตัวโปรแกรม เราสามารถดาวน์โหลดได้ฟรี วิธีการ Configuration ระหว่าง OpenCvกับโปรแกรม Microsoft Visual Studio 6.0 และขั้นตอนการใช้โปรแกรมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์อย่างละเอียด

จ.2 การดาวน์โหลดโปรแกรม OpenCv และวิธีการ Configuration ระหว่าง OpenCv กับโปรแกรม Microsoft Visual Studio 6.0

โปรแกรม OpenCv เป็นไลบารี่ สำหรับการประมวลผลภาพ ซึ่งเราสามารถเข้าไปดาวน์โหลดโปรแกรมได้ฟรีที่ http://www.sourceforge.net และปัจจุบันมีเวอร์ชันล่าสุด คือ OpenCv1.1 สำหรับการการ Configuration สามารถดำเนินการได้ดังนี้

เมื่อเราติดตั้ง โปรแกรม OpenCv เสร็จเรียบร้อย แล้วเราก็จะมาทำการ Configuration เพื่อใช้ในเขียนโปรแกรม ผู้วิจัยเลือกใช้ Microsoft Visual Studio 6.0 โดยการเริ่มจากการเปิดโปรแกรม Microsoft Visual Studio 6.0 แล้วทำการเพิ่มไลบาลี่ของ OpenCv ลงไปในตัวของ Microsoft Visual Studio 6.0 ซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังนี้

ทำการเปิดโปรแกรม Microsoft Visual Studio 6.0 แล้วเลือกที่ Tools เลือก Options จากนั้น เลือกที่ Directories เลือกค่า Platform ให้เป็น Win32 แล้วส่วนของ Show directories เป็น include files จากนั้น เราก็ Include ตามไดเรคทอรี่ด้านล่าง ดังนี้

C:\Program Files\OpenCV\ CVAUX\INCLUDE

C:\Program Files\OpenCV\ CV\INCLUDE

C:\Program Files\OpenCV\ CXCORE\INCLUDE

C:\Program Files\OpenCV\otherlibs\highgui

C:\Program Files\OpenCV\ OTHERLIBS\CVCAM\INCLUDE

C:\Program Files\OpenCV\lib

C:\Program Files\OpenCV\otherlibs

C:\Program Files\OpenCV\otherlibs\cvcam

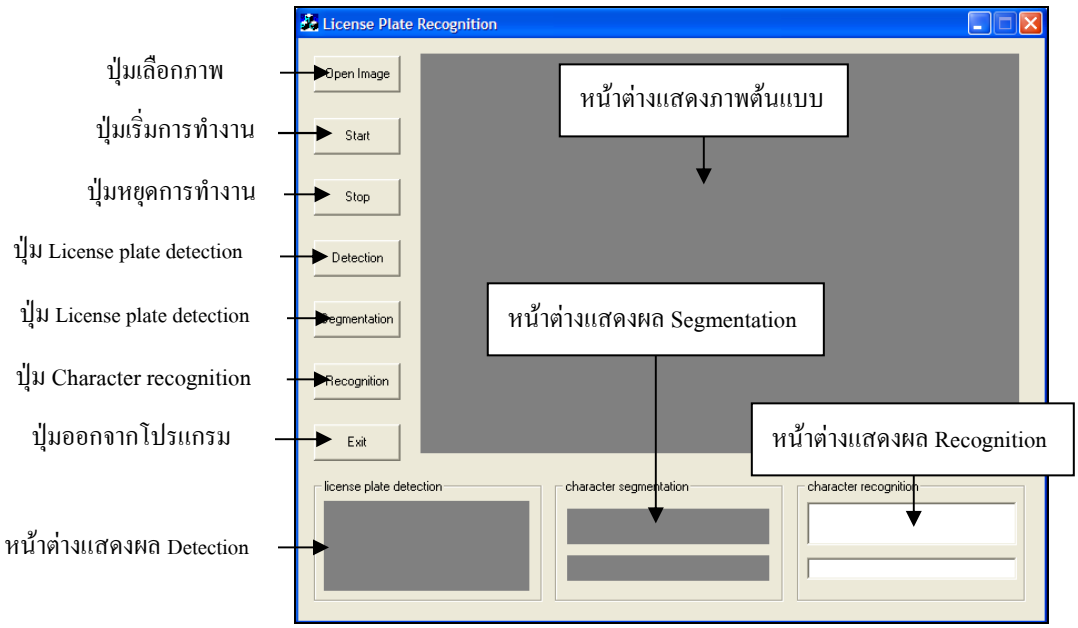
C:\Program Files\OpenCV\otherlibs\highgui

ในลำดับต่อไป ทำการเลือก Show directories เป็น Library Files จากนั้น เพิ่มไดเรคทอรี่ C:\Program Files\OpenCv\Lib แล้วคลิ้ก Ok เพื่อที่จะให้ Project ของเรารู้จัก Library ตัวใหม่ด้วย โดยที่เราต้องเข้าไปที่ Project -> settings แล้วทำการเพิ่ม Library cv.lib, highgui.lib, cvaux.lib และ cxcore.lib ลงไปในช่อง Link แล้วคลิ้ก Ok

จ.3 การใช้โปรแกรมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

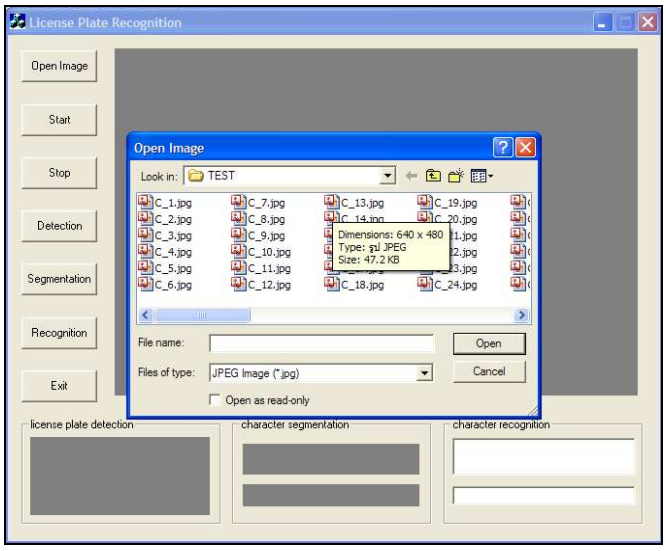
เมื่อรันโปรแกรมจะได้หน้าต่างของโปรแกรมดังรูปที่ จ.1 โดยมีปุ่มควบคุมการทำงานทั้งหมด 7 ปุ่มและ 4 หน้าต่างแสดงผล คือ

1) ปุ่ม Open Image เป็นปุ่มสำหรับเลือกภาพให้มาแสดงที่หน้าต่างแสดงภาพต้นแบบ
2) ปุ่ม Start เป็นปุ่มเริ่มการทำงานทั้ง 3 ขั้นตอน คือ การ detection การ segmentation และการ recognition
3) ปุ่ม Stop เป็นปุ่มหยุดการทำงานของโปรแกรม
4) ปุ่ม Detection เป็นปุ่มสั่งให้โปรแกรมทำการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน
5) ปุ่ม Segmentation เป็นปุ่มสั่งให้โปรแกรมแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่างออกจากกัน
6) ปุ่ม Recognition เป็นปุ่มสั่งให้โปรแกรมทำการรู้จำตัวอักษรในป้ายทะเบียนรถยนต์
7) ปุ่ม Exit เป็นปุ่มออกจากโปรแกรม
8) หน้าต่างแสดงภาพต้นแบบ
9) หน้าต่างแสดงผลการค้นหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์
10) หน้าต่างแสดงแสดงผลการ Segmentation
11) หน้าต่างแสดงผลการ Recognition



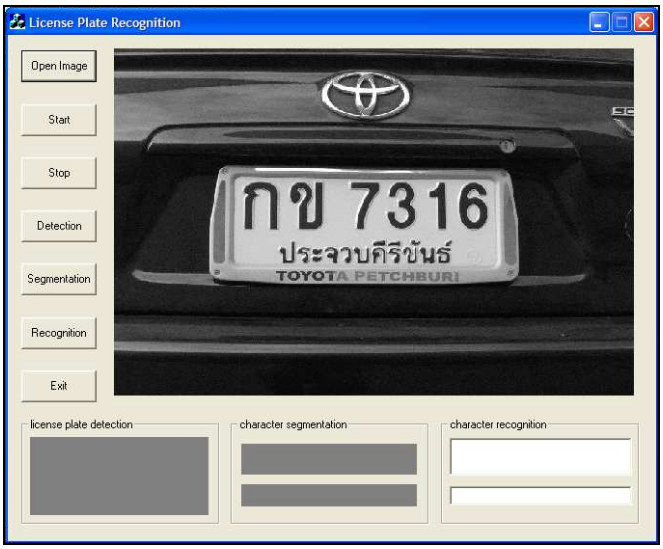
รูปที่ จ.1 หน้าต่างของโปรแกรมการรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์

ทำการเลือกรูปภาพต้นแบบ โดยการคลิกปุ่มเลือกภาพดังแสดงในรูปที่ จ.2



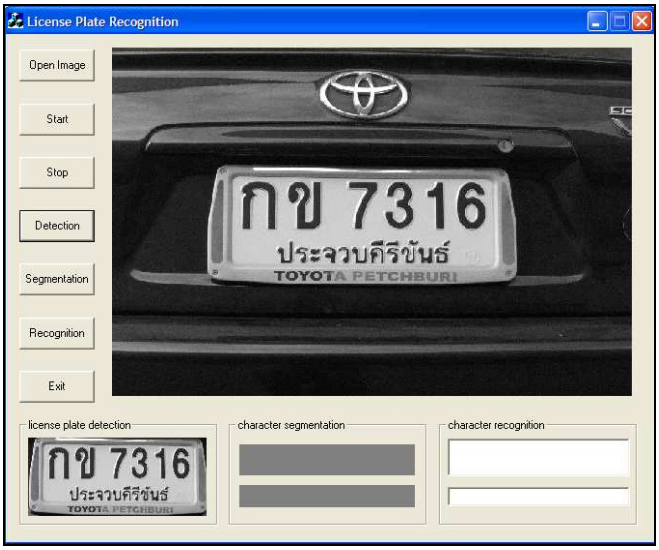
รูปที่ จ.2 การเลือกรูปภาพต้นแบบ

เมื่อเลือกรูปภาพเสร็จเรียบร้อยทำการคลิก Open แล้วภาพต้นแบบจะแสดงในหน้าต่างแสดงภาพต้นแบบดังรูปที่ จ.3

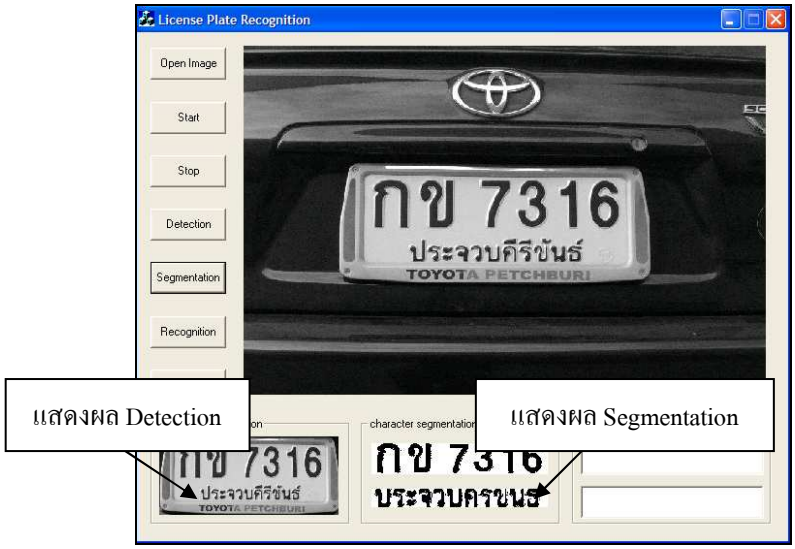


รูปที่ จ.3 แสดงภาพต้นแบบ

เมื่อทำการเลือกภาพต้นแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น ให้ทำการกดปุ่ม Detection เพื่อสั่งให้โปรแกรมทำการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนนถยนต์ แล้วรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ก็จะแสดงที่หน้าต่างแสดงผล Detection ดังแสดงในรูปที่ จ.4



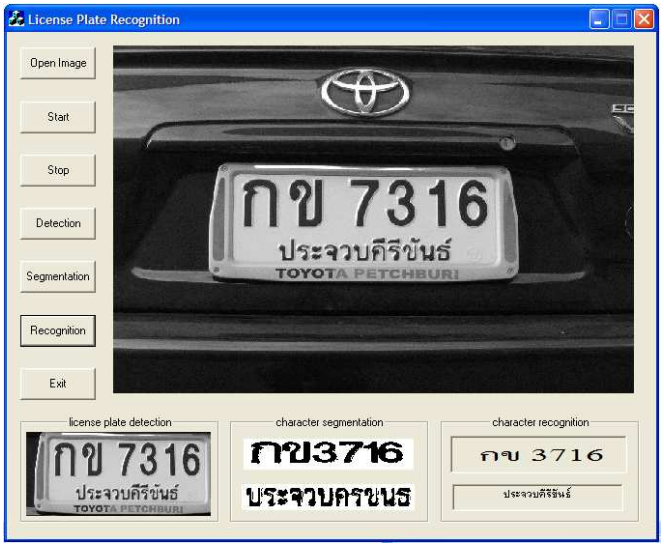
รูปที่ จ.4 ผลการทำ License plate detection



รูปที่ จ.5 ผลการ Character Segmentation

เมื่อทำการ Detection ป้ายทะเบียนเสร็จเรียบร้อย ขั้นตอนต่อไปเป็นการคัดแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่างออกจากกัน โดยการคลิกปุ่ม Segmentation แล้วจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ จ.5

เมื่อทำการ Segmentation ป้ายทะเบียนเสร็จเรียบร้อย ซึ่งเป็นการคัดแยกบรรทัดบนและบรรทัดล่างออกจากกัน ขั้นตอนต่อไปเป็นการรู้จำตัวอักษร ซึ่งจะรู้จำทั้งแผ่นป้ายทะเบียนโดยการคลิกปุ่ม Recognition แล้วจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ จ.6



รูปที่ จ.6 ผลการ Character Recognition

ประวัติผู้เขียน

นายวิฑูรย์ มารมย์ เกิดเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2525 ที่อำเภอพนา จังหวัดอำนาจเจริญ เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านอุ่มยางประชาวิทย์ ตำบลจานลาน อำเภอพนา จังหวัดอำนาจเจริญ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น - ตอนปลาย ที่โรงเรียนศรีคูณวิทยบัลลังค์ ตำบลจานลาน อำเภอพนา จังหวัดอำนาจเจริญ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2548 ขณะที่ศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้ปฏิบัติงานในตำแหน่งคณะกรรมการหอพักประจำปีการศึกษา 2547 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ สถาบันเดิม ขณะที่ศึกษาในระดับปริญญาโท ได้เป็นผู้สอนวิชาปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 7 รายวิชา ได้แก่ (1) ปฏิบัติการวงจรและอุปกรณ์ (2) ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า 1 (3) ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า 2 (4) ปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 (5) ปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 2 (6) ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง 1 และ (7) ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง 2 เป็นระยะเวลา 3 ปี และมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา ดังรายชื่อที่ปรากฏในภาคผนวก ง. ผู้วิจัยมีความสนใจทางด้านการประมวลผลสัญญาณภาพ การมองเห็นของคอมพิวเตอร์