



การจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน

โดย

นางสาวมณีรัตน์ บุญวงษ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

ภาควิชาคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน

โดย

นางสาวมณีรัตน์ บุญวงษ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

ภาควิชาคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

VEHICLE CLASSIFICATION USING FOURIER-MELLIN TRANSFORM

By

Miss Maneerat Boonwong

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Science Program in Curriculum and Supervision

Department of Computing

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2011

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “การจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน ” เสนอโดย นางสาวมณีนรัตน์ บุญวงษ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

อาจารย์ ดร.วิสรา รอดเหตุภัย

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จันทนา จันทราพรชัย)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุนีย์ พงษ์พินิจภิญโญ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิสรา รอดเหตุภัย)

...../...../.....

50309304 : สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คำสำคัญ : ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม/ ฟูเรียร์เมลลิน/ กระบวนการจำแนกวัตถุในภาพ

มณีนรัตน์ บุญวงษ์ : การจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน. อาจารย์ที่
ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : อ.ดร.วิสรุภา รอดเหตุภัย. 123 หน้า.

การค้นคว้าอิสระ เรื่อง “การจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล หาแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้ส่วนประกอบที่เด่นชัดของภาพและหาแนวทางการนำเอาทฤษฎีการหาลักษณะเด่นของวัตถุในภาพและทฤษฎีการประมวลผลข้อมูลภาพมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ นอกจากนี้งานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์แก่สังคมทางด้านนิติวิทยาศาสตร์อีกด้วย โดยการจำแนกรุ่นของรถยนต์ซึ่งใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลินเข้ามาช่วยเพื่อนำคุณลักษณะของข้อมูลภาพที่ต้องการออกมาเป็นข้อมูลในเชิงความถี่ซึ่งคงทนต่อการเคลื่อนตำแหน่ง การหมุน และการปรับขนาดของภาพและใช้วิธีการ two dimensional (2-D) correlation หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่เก็บในฐานข้อมูลและคุณลักษณะที่ได้จากการนำภาพมาทดสอบ การทดลองมีการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ กระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งเป็นชุดของคุณลักษณะที่มีการเรียนรู้แล้วถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล ได้แก่ คุณลักษณะจากส่วนของกระจกหน้า ไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้าของรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า จำนวน 200 ภาพ โดยที่แต่ละภาพมีขนาด 256x256 พิกเซล ส่วนที่สอง คือ กระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์ โดยภาพที่นำมาทดลองเป็นภาพที่มีความแตกต่างกัน จำนวน 100 ภาพ จากรุ่น 5 รุ่น (20 ภาพ/1 รุ่น) ในทดลองมีการเปรียบเทียบคุณลักษณะออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ กระจกหน้า ไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้า ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่าการจำแนกรุ่นรถยนต์มีประสิทธิภาพความถูกต้องสูงสุดร้อยละ 86 เป็นคุณลักษณะที่ได้มาจากกระจกหน้า

ภาควิชาคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ.....

50309304 : MAJOR : (INFORMATION TECHNOLOGY)

KEY WORD : FOURIER TRANSFORM/ FOURIER MELLIN/ CLASSIFICATION OF OBJECTS IN
THE PICTURE

MANEERAT BOONWONG : VEHICLE CASSIFICATION USING FOURIER-MELLIN
TRANSFORM. INDEPENDENT STUDY ADVISOR : WASARA RODHETBHAI, Ph.D. 123 pp.

An independent research under an article “Vehicle Classification Using Fourier-Mellin Transform” proposes a technigue for vehicle classification which find guidelines for developing a vehicle classification using an explicit component. The image processing and characteristics of image data are used to develop the vehicle classification. In addition, the research can be applied to benefit forensic science. The method uses the Fourier-Mellin transform to extract translation, rotation and scale invariant features and then use two dimensional (2-D) to find the correlation coefficient between features in the database and features derived from the test image. The experimental work is divided into 2 parts: the first part is a process of learning which image features from a training set are stored — the feature from the part of the front grille, front headlight and front grille in a combination with the headlight of 200 Toyota car images which have a size of 256x256 pixels. The second part is the process of vehicle classification of the test image set which are derived from different 100 images of five series (20 images per a serie). In the experiment, feature comparison of the 3 sections- the front grille, front headlight and front grille in combination with the headlight- are investigated. In the conclusion, the highest accuracy of verhicle classification is 86 percents which is derived from features of the front grille part.

Department of Computing

Graduate School, Silpakorn University

Student's signature.....

Academic Year 2011

Independent Study Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่คุณศึกษาใคร่ขอกราบพระคุณคือ อ.ดร.วิสราร อดเหตุภัย อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าอิสระที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนรายงานค้นคว้าอิสระฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระที่ได้ให้คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนรายงานค้นคว้าอิสระฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูล แลกเปลี่ยนความรู้ ความคิด สอนเขียนโปรแกรม ตรวจสอบความถูกต้อง และให้กำลังใจในการศึกษาค้นคว้าตลอดมา

ขอขอบพระคุณคุณแม่ และครอบครัว ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพประกอบ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์การศึกษา.....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
จำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....	4
2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	36
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	40
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	40
โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย.....	41

	กระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง.....	41
	กระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์	46
	การประเมินผล	51
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	52
5	สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	55
	บรรณานุกรม.....	57
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก	60
	ภาคผนวก ข.....	64
	ประวัติผู้วิจัย.....	123

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจังหน้า.....	52
4.2 การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากไฟหน้า.....	53
4.3 การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจังหน้าร่วมกับไฟหน้า.....	53
ข.1 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Altis.....	65
ข.2 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Camry.....	68
ข.3 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Vios.....	72
ข.4 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Wish.....	76
ข.5 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Yaris.....	80
ข.6 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Altis.....	84
ข.7 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Camry.....	88
ข.8 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Vios.....	92
ข.9 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Wish.....	96
ข.10 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Yaris.....	100
ข.11 ผลการจำแนกข้อมูลไฟ รุ่น Altis.....	104
ข.12 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Camry.....	107
ข.13 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Vios.....	111
ข.14 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Wish.....	115
ข.15 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Yaris.....	119

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Yaris.....	6
2.2 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Altis	6
2.3 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Vios.....	7
2.4 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Wish	7
2.5 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Camry	8
2.6 แสดงภาพรถยนต์ที่แปลงจากภาพสีไปเป็น gray scale.....	9
2.7 แสดงภาพ function linear.....	10
2.8 แสดงภาพฟังก์ชันการแปลงระดับโทนสีเทาเป็นขาวดำ	12
2.9 แสดงภาพรายละเอียดสีขาวเพิ่มฝังตัวอยู่ในภูมิภาคที่มีดที่มีการใช้งานในการถ่ายภาพ	13
2.10 แสดงฟังก์ชันการแปลงระดับโทนเทา 3 รูปแบบซึ่งนำมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงภาพ	14
2.11 แสดง Power-Law Transformations	15
2.12 การสลายคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) โดยการใช้การแปลงฟูเรียร์ (fourier transform).....	18
2.13 คุณสมบัติของการเคลื่อนที่ของภาพที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไปของเฟส	20
2.14 คุณสมบัติของการเป็น modulation ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไปของความถี่.....	21
2.15 คุณสมบัติของการหมุนภาพที่ส่งผลให้สเปกตรัมมีการหมุนตาม.....	23
2.16 คุณสมบัติของการเป็นคาบซึ่งแสดงออกมาในรูปของกราฟฟูเรียร์ที่มีลักษณะสมมาตร.....	24
2.17 แสดง (a) Cartesian to Polar form of an image; (b) Log-polar form of an Image.....	26
2.18 แสดงภาพที่ผ่านกระบวนการ lowpass filter.....	28
2.19 แสดงแนวความคิดของฟังก์ชันการกรองแบบ lowpass filter	29
2.20 Highpass Filter Functions.....	31
2.21 แสดง Bandpass, Band-reject และ Notch Filter	32
2.22 แผนภาพขั้นตอนการแปลงฟูเรียร์เมลลิน	33

3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง	42
3.2 แสดงการแปลงภาพจากสีเป็นโทนเทา.....	43
3.3 แสดงการแปลงภาพจากโทนเทาเป็นภาพเชิงความถี่โดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์	43
3.4 แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธีตัวกรองแบบแถบผ่านความถี่ (bandpass filter)	44
3.5 แสดงการพล็อตลงในกราฟ log.....	45
3.6 แสดงการนำกราฟ log กลับมาแปลงแบบฟูเรียร์ (fourier transform).....	45
3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์	46
3.8 แสดงการแบ่งส่วนของภาพด้วยมือในส่วนกระจิง	48
3.9 แสดงภาพที่ทำการแบ่งส่วนของภาพออกไปใส่ไว้ในบล็อกขนาด 256x256 พิกเซล.....	48
4.1 แสดงตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์.....	54
ก.1 แสดงการรันโปรแกรม	61
ก.2 แสดงการเลือก Select image เพื่อนำภาพเข้ามาทดสอบ	61
ก.3 แสดงภาพที่ต้องการทดสอบเข้ามายังระบบ	62
ก.4 แสดงภาพที่ผ่านการแปลงจาก RGB เป็น Grayscale.....	62
ก.5 แสดงการแบ่งส่วนของภาพด้วยมือ ในส่วนของกระจิงหน้า	63
ก.6 แสดงผลการจำแนกรุ่นรถยนต์	63

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มีการเติบโตอย่างรวดเร็วและถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานด้านต่างๆ อย่างมากมาย และระบบการรู้จำวัตถุในภาพ (image recognition) ถือได้ว่าเป็นงานวิจัยที่สำคัญชิ้นงานหนึ่ง เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติเพื่อคัดแยกปลายทางของจดหมายที่มีจำนวนมากในแต่ละวันโดยใช้ภาพถ่ายของรหัสไปรษณีย์ที่อยู่บนซองระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้าและออกอาคารโดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัยระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนนโดยการนับจำนวนรถบนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมากและเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้ หากให้มนุษย์วิเคราะห์เองมักต้องใช้เวลามากและใช้แรงงานสูง อีกทั้งผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดการล้าส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

ดังนั้น คอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ และเป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่าคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้ในเวลาอันสั้นจึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ในต่างประเทศมีผู้คิดค้น พัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวกับการรู้จำวัตถุในภาพอย่างต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยบางงานทำการศึกษาการจำแนกวัตถุในภาพ การจำแนกประเภทของวัตถุ การรู้จำวัตถุในภาพ และการหาสิ่งแปลกปลอมในภาพ

เนื่องด้วยปัจจุบันในประเทศไทยมีประชาชนจำนวนมากใช้รถยนต์เป็นพาหนะในการเดินทางจนเป็นสาเหตุทำให้บริษัทต้องผลิตหรือนำเข้ารถยนต์เป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีการจัดเก็บ จำแนกประเภท ยี่ห้อ รุ่น ราคา และปีผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีปริมาณมาก อีกทั้งรถยนต์แต่ละประเภท แต่ละรุ่น จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป และเป็นที่ทราบกันดีว่าปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับรถยนต์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

เช่น การติดตามรถยนต์ที่ถูกโจรกรรมหรือรถยนต์ที่คนร้ายใช้เป็นเครื่องมือแต่ไม่สามารถทราบรุ่นรถยนต์
 ใดๆ ที่ปรากฏภาพรถยนต์ดังกล่าวในกล้องวงจรปิดหรือภาพถ่ายในที่เกิดเหตุ เป็นต้น

งานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์แก่สังคมทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในการ
 เก็บและพิสูจน์หลักฐาน วัตถุพยานเพื่อช่วยในการค้นหาความจริงและเพื่อประโยชน์ในการสืบสวน และ
 ดำเนินคดีทางกฎหมายเพื่อช่วยกระบวนการยุติธรรมในการพิสูจน์หลักฐานและชี้นำไปสู่ผู้กระทำความผิด
 อาญาปัจจุบันมีการนำนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ควบคู่กับกระบวนการยุติธรรม ซึ่งมีความสำคัญมากขึ้นใน
 ต่างประเทศ เพื่อลดการโต้แย้งความหวาดระแวงระหว่างผู้ควบคุมกฎหมายกับผู้ถูกกล่าวหา เนื่องจาก
 วิทยาศาสตร์เป็นเรื่องหลักการและเหตุผลที่เป็นจริงสามารถพิสูจน์ได้ (นิติวิทยาศาสตร์, 2010)

ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่า การนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจำแนกประเภท
 ของวัตถุในภาพมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยผู้วิจัยมุ่งความสนใจไปที่กระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์
 ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จึงมุ่งศึกษาและหาแนวทางในการนำเอาทฤษฎีการหาลักษณะเด่นของวัตถุ
 ในภาพ และทฤษฎีการประมวลผลข้อมูลภาพ มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์
 ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์การศึกษา

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1.2.2 เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้ส่วนประกอบ
 ที่เด่นชัดของภาพ

1.2.3 เพื่อหาแนวทางการนำเอาทฤษฎีการหาลักษณะเด่นของวัตถุในภาพและทฤษฎีการ
 ประมวลผลข้อมูลภาพมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 พัฒนาระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ โดยใช้ฐานข้อมูลภาพรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า ประเภท
 รถยนต์นั่งส่วนบุคคลในรุ่นดังต่อไปนี้เป็นกรณีศึกษา

- รุ่น Yaris ปี 2006

- รุ่น Altis ปี 2008
- รุ่น Vios ปี 2007
- รุ่น Wish ปี 2004
- รุ่น Camry ปี 2006

1.3.2 ภาพที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นภาพถ่ายขนาดกว้าง 500 พิกเซล เต็มคั่นทางหน้าในแนวระนาบที่ปรากฏกระจกและไฟหน้าทั้งสองข้าง ทั้งนี้ภาพรถยนต์ดังกล่าวไม่ใช่รถยนต์ที่มีการแต่งสีหรือรูปทรงรถเพิ่มเติม

1.3.3 การประเมินผลโดยการทดสอบระบบ จำนวน 5 รุ่น รุ่นละ 20 ภาพ โดยแบ่งการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้คุณลักษณะที่ได้จากส่วนต่างๆ ของตัวรถออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ กระจกหน้า ไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้า ในการประเมินความถูกต้องของการทดสอบการจำแนกรุ่นรถยนต์ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยคำนวณค่าร้อยละความถูกต้องในการจำแนกรุ่นรถยนต์แต่ละรุ่น และค่าร้อยละความถูกต้องในการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยรวม

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.4.1 รวบรวมภาพรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล
- 1.4.2 ศึกษาลักษณะของรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล
- 1.4.3 ศึกษาขั้นตอนวิธี (algorithms) ที่ใช้ในการจำแนกวัตถุในภาพ
- 1.4.4 พัฒนาโปรแกรมการจำแนกรุ่นรถยนต์
- 1.4.5 ทดสอบโปรแกรม และประเมินผลการทำงานของโปรแกรม
- 1.4.6 แก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรม
- 1.4.7 สรุปผลและนำเสนอผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถพัฒนาโปรแกรมที่สามารถระบุรูปร่างรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยอาศัยลักษณะเด่นของส่วนของรถยนต์ในภาพมาใช้ในกระบวนการระบุรูปร่างรถยนต์

1.5.2 สามารถนำแนวคิดและกระบวนการจากโปรแกรมไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการระบุชนิดวัตถุในภาพได้

1.6 จำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1.6.1 ฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์ม (fourier transform)

1.6.2 ฟูเรียร์เมลลิน (fourier mellin)

1.6.3 กระบวนการจำแนกวัตถุในภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลให้สามารถจำแนกรุ่นของรถยนต์ได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อมาใช้ในการดำเนินงานวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 รูปแบบรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

บริษัทโตโยต้ามอเตอร์ ประเทศไทยจำกัดผลิตรถยนต์นั่งส่วนบุคคลหลายประเภท สำหรับรุ่นรถยนต์ที่ใช้ในการระบุรุ่นในครั้งนี้ ได้แก่

2.1.1.1 ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Yaris ดังภาพที่ 2.1

2.1.1.2 ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Altis ดังภาพที่ 2.2

2.1.1.3 ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Vios ดังภาพที่ 2.3

2.1.1.4 ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Wish ดังภาพที่ 2.4

2.1.1.5 ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Camry ดังภาพที่ 2.5

โดยที่รุ่นของรถยนต์ดังกล่าวจะมีลักษณะเด่นของกระจังหน้าและไฟหน้าที่มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 2.1 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Yaris

ที่มา : <http://www.one2car.com/CarInfor/cardetails.aspx?caridx=L17090265&row=2>, 2010



ภาพที่ 2.2 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Altis

ที่มา : <http://www.car2care.com/forum/viewtopic.aspx?page=2&t=7039>, 2010



ภาพที่ 2.3 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Vios

ที่มา : <http://www.one2car.com/CarInfor/cardetails.aspx?caridx=I30090249&row=2>, 2010



ภาพที่ 2.4 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Wish

ที่มา : <http://www.one2car.com/CarInfor/cardetails.aspx?caridx=H12090483&row=2>, 2010



ภาพที่ 2.5 แสดงประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลรุ่น Camry

ที่มา : <http://cars.gidblog.com/2007/08/04/camry-price-increase/>, 2010

2.1.2 การอธิบายรูปภาพ (Image Analysis) เป็นการตรวจสอบจากข้อมูลภาพในการแก้ปัญหาภาพถ่ายในคอมพิวเตอร์ ซึ่งกระบวนการที่สำคัญของการอธิบายรูปภาพ มี 4 กระบวนการ ดังนี้

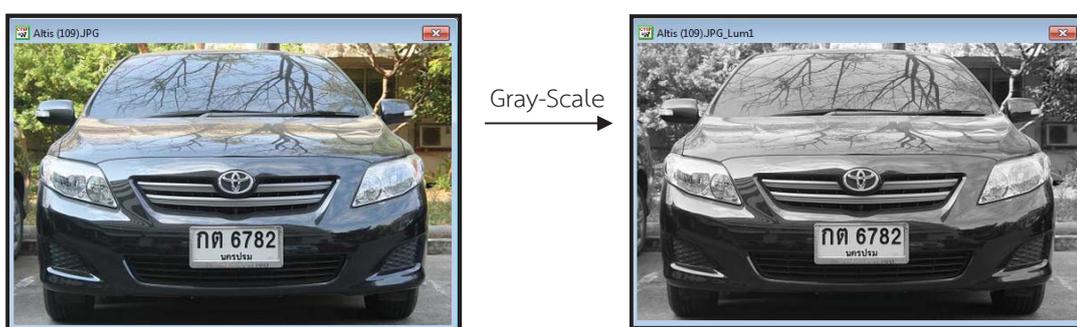
2.1.2.1 การแบ่งส่วนของภาพ (Image Segmentation) เป็นการทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้วิธีการพื้นฐานสำหรับการแบ่งส่วนของภาพ คือ การพิจารณาความสว่างของภาพสำหรับภาพแบบ gray scale และความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี นอกจากนี้ขอบของภาพและลักษณะของพื้นผิว ก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งส่วนของภาพ ได้สะดวกยิ่งขึ้น

2.1.2.2 การแยกคุณลักษณะ (Feature Extraction) เป็นการดึงข้อมูลหรือส่วนสำคัญออกจากข้อมูลภาพเช่น shape หรือ color ของวัตถุ

2.1.2.3 การแปลงข้อมูลรูปภาพ (Image Transforms) ซึ่งอาจจะใช้ในการแยกคุณลักษณะโดยการหา spatial frequency

2.1.2.4 การจำแนกรูปแบบ (Pattern Classification) มีจุดประสงค์ในเพื่อการจำแนกวัตถุออกเป็นประเภทตามรูปแบบของวัตถุ

2.1.3 ภาพโทนสีระดับเทา (Gray-Scale Image) หรือ monochrome เป็นภาพที่ประกอบด้วยโทนสีในระดับเทา ภาพพวกนี้จะมีส่วนประกอบมากกว่าภาพขาวดำทำให้เห็นรายละเอียดด้านแสงเงา ความชัดลึกมากขึ้นกว่าเดิม มีจำนวนบิตทั้งหมด 8 บิต ต่อ 1 พิกเซล ของข้อมูล มีค่าความแตกต่าง 256 ค่า (0-255) ซึ่งเป็นค่าความละเอียดที่เพียงพอต่อการมองเห็นของมนุษย์



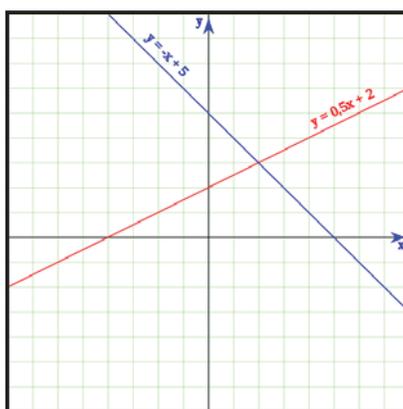
ภาพที่ 2.6 แสดงภาพรถยนต์ที่แปลงจากภาพสีไปเป็น gray scale

2.1.4 การแบ่งส่วนของภาพ (Segmentation) เพื่อให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้วิธีการพื้นฐานสำหรับการแบ่งส่วนของภาพคือการพิจารณาความสว่างของภาพสำหรับภาพแบบ gray scale และความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี นอกจากนี้ขอบของภาพและลักษณะของพื้นผิวก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งส่วนของภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น

ในการทำการแบ่งส่วนของภาพของงานวิจัยนี้จะใช้หลักในการหาสมการเชิงเส้น คือ สมการที่แต่ละพจน์มีเพียงค่าคงตัวหรือเป็นผลคูณระหว่างค่าคงตัวกับตัวแปรยกกำลังหนึ่งซึ่งจะมีดีกรีของพหุนามเท่ากับ 0 หรือ 1 สมการเหล่านี้เรียกว่า "เชิงเส้น" เนื่องจากสามารถวาดกราฟของฟังก์ชันบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้เป็นเส้นตรงรูปแบบทั่วไปของสมการเชิงเส้นในตัวแปร x และ y คือ

$$y = mx + b \quad (2.1)$$

โดยที่ m คือค่าคงตัวที่แสดงความชันหรือเกรเดียนต์ของเส้นตรง และพจน์ b แสดงจุดที่เส้นตรงนี้ตัดแกน y สำหรับสมการที่มีพจน์ x^2 , $y^{1/3}$, xy ฯลฯ ที่มีดีกรีมากกว่าหนึ่งไม่เรียกว่าเป็นสมการเชิงเส้น



ภาพที่ 2.7 แสดงภาพ function linear

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี <http://th.wikipedia.org/สมการเชิงเส้น>

2.1.5 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

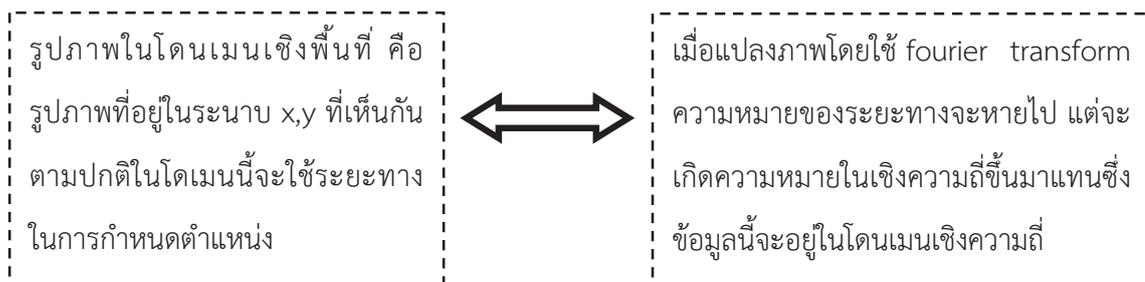
การปรับปรุงภาพ คือ การปรับปรุงหรือการทำให้ดีขึ้นกว่าเดิมแต่สำหรับในทางคอมพิวเตอร์ หรือว่าทางกระบวนการทางรูปภาพจะเน้นความหมายในแง่ที่ว่าทำให้รูปภาพที่อยู่ในกระบวนการวิเคราะห์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเฉพาะด้านที่ต้องการซึ่งการใช้งานในแต่ละด้านนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องใช้การปรับปรุงรูปภาพต้นแบบที่แตกต่างกันหากเป็นกระบวนการทางรูปภาพอย่างอื่น เช่น การทำโปรแกรมปรับปรุงภาพที่มีความเบลอให้มีความชัดเจนขึ้นนั้นกระบวนการทางรูปภาพจะเน้นทางด้านการปรับปรุงโทนสีที่อยู่ในพิกเซลให้มีความชัดเจนขึ้นซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเลือกกระบวนการทำ การปรับปรุงภาพนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการไม่มีรูปแบบตายตัวดังนั้นเมื่อได้โครงการวิจัยใดๆ มา ก็ตามต่อนี้ก็ให้ออกกว่าจะจัดการกับภาพดังกล่าวอย่างไร ข้อมูลอะไรเป็นสิ่งที่ต้องการจากภาพและ ข้อมูลนั้นๆ มีวิธีใดที่จะเก็บได้บ้าง (อนง กิจฉลอง, 2553: 7)

วิธีการของการปรับปรุงภาพแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. โดเมนเชิงพื้นที่ (Spatial Domain)
2. โดเมนเชิงความถี่ (Frequency Domain)

โดเมนเชิงพื้นที่ หมายถึง ที่ตั้งอยู่หรือระนาบของพิกเซลที่ประกอบขึ้นเป็น ภาพซึ่งสามารถระบุตำแหน่งของพิกเซลในความหมายของระยะทางได้ กล่าวคือ ในโดเมนเชิงพื้นที่สามารถแทนภาพด้วย $f(x,y)$ เมื่อ x และ y คือระยะทางในแนวแกนตั้งและแกนนอนวัดจากจุดจุดกำเนิด

ตัวอย่างที่เป็นของคู่กัน คือ โดเมนเชิงพื้นที่กับโดเมนเชิงความถี่



ประเภทของการปรับปรุงภาพในโดเมนเชิงพื้นที่

- Single Pixel Methods

- Gray Level Transformations เช่น histogram equalization และ contrast stretching
- Arithmetic/Logic Operations เช่น image subtraction และ image averaging

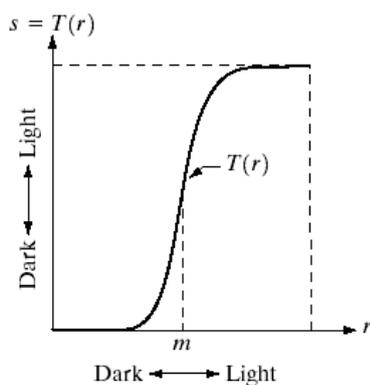
- Multiple Pixel Methods

- Spatial Filtering เช่น smoothing filters และ sharpening filters

Gray Level Transformation เป็นการแปลง intensity ของภาพตั้งต้นไปเป็น intensity ของภาพผลลัพธ์โดยใช้ function

$$s = T(r) \quad (2.2)$$

โดย r คือ input intensity และ s คือ output intensity



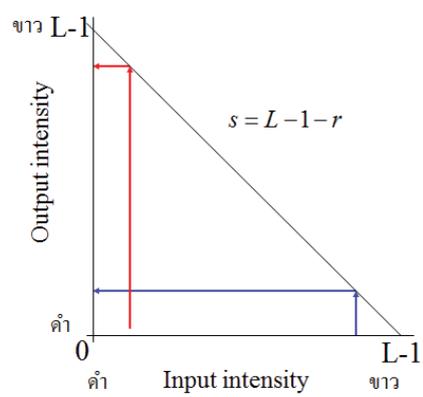
ตัวอย่าง :
contrast enhancement

ภาพที่ 2.8 แสดงภาพฟังก์ชันการแปลงระดับโทนสีเทาเป็นขาวดำ

ที่มา : ISAN-DSP Group. Image Enhancement in the Spatial Domain, 6

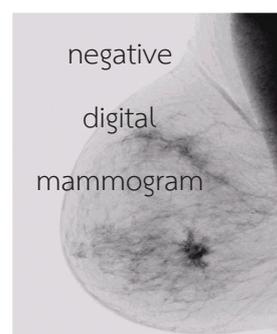
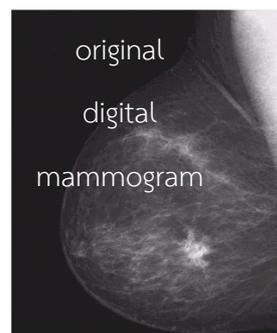
การปรับปรุงภาพ ขั้นแรกที่จะกระทำคือการเปลี่ยนระดับโทนสีเทาให้เป็นขาว - ดำ โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุดสำหรับเทคนิคการปรับปรุงภาพโดยทำการปรับค่าของความเข้มโทนสีพิกเซล ก่อนและหลังกระบวนการนั้นกำหนดให้มีค่าเป็น r และ s ตามลำดับซึ่งพบว่า $s = T(r)$ คือ สมการเชิงเส้นตรงจากนั้นทำการแปลงค่าระดับโทนสีจากความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นดังกล่าว เพื่อเป็นการพูดให้เห็นภาพของการแปลงระดับโทนเทาไปเป็นขาว - ดำ ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นฟังก์ชันพื้นฐาน 4 แบบ โดยเป็นการใช้ความถี่เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงภาพคือแบบเส้นตรง (linear) แบบลอการิทึม (log transformations) และกฎพลังงาน (Power-law transformations)

Image Negative



L = จำนวนระดับของสีเทา

Application



ภาพที่ 2.9 แสดงภาพรายละเอียดสีขาวเพิ่มฝังตัวอยู่ในภูมิภาคที่มีดที่มีการใช้งานในการถ่ายภาพทางการแพทย์

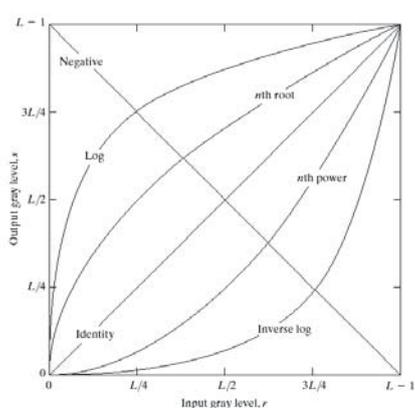
ที่มา : ISAN-DSP Group. Image Enhancement in the Spatial domain, 7

Log Transformations รูปแบบทั่วไปของ Log Transformations ให้พิจารณาภาพที่

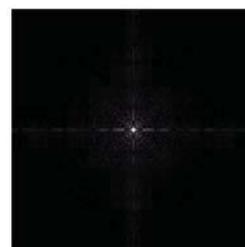
2.10

$$s = c \log(r + 1) \quad (2.3)$$

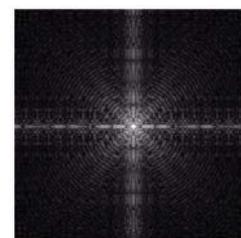
โดย r คือ input intensity และ s คือ output intensity



Fourier
spectrum



Log Tr. of
Fourier
spectrum



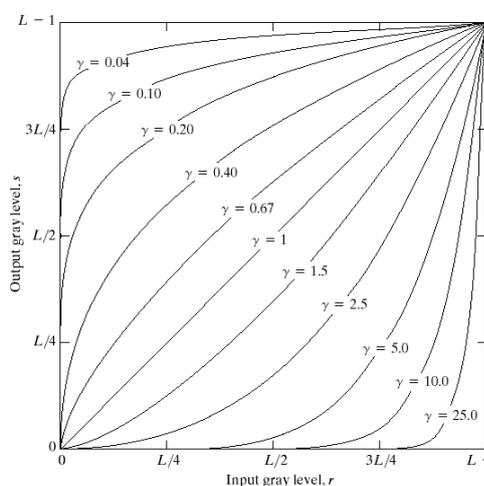
ภาพที่ 2.10 แสดงฟังก์ชันการแปลงระดับโทนเทา 3 รูปแบบซึ่งนำมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงภาพ
ที่มา : ISAN-DSP Group. Image Enhancement in the Spatial domain, 8

เมื่อ c เป็นค่าคงที่และให้ $r \geq 0$ รูปร่างของ log curve อยู่ในรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นแผนภาพ
การแปลงระดับโทนเทาที่เป็นช่วงแคบๆ ของข้อมูลเข้าจากตรงนี้จะเห็นว่าเป็นการขยายค่าของ ข้อมูลเข้า
เดิมที่เป็นช่วงแคบๆ ให้ไปกระจายอยู่ในกราฟความถี่ที่เป็นช่วงกว้างๆ และทำการบีบระดับข้อมูลออกที่
เป็นช่วงกว้างให้มาอยู่ในกราฟล็อกการิทึมทำให้สามารถมองเห็นค่าต่างๆ ได้ครอบคลุมมากขึ้นเพื่อสะดวก
ในการดูข้อมูล

เส้นโค้งของกราฟบางตัวนั้นมีรูปร่างดังภาพที่ 2.10 ซึ่งเป็นการกระจายและบีบอัดของระดับโทนเทาของภาพความจริงแล้วการแปลงแบบนี้สามารถเรียกว่าเป็นการแปลงแบบพลังงานต่ำ (the power-law transformations) ดังภาพที่ 2.11 เนื่องจากภาพโทนเทาเป็นภาพที่ถือว่ามีระดับพลังงานต่ำกว่าภาพสีต่อไปให้ดูการใช้งานของฟังก์ชันบางตัวที่นิยมใช้กันคือการใช้ฟูเรียร์สเปกตรัมกับค่าพิคเซลซึ่งค่าพิคเซลสามารถกระจายค่าพลังงานของตัวเองออกเป็นช่วงของพลังงานที่กว้างๆ ซึ่งจะอธิบายต่อไปแต่จุดนี้จะนำสเปกตรัมมาทำการวิเคราะห์ภาพให้เห็นคุณสมบัติของภาพนั้นโดยจะทำการพล็อตภาพสเปกตรัมให้อยู่ในช่วง 0 - 106 Hz ก็เพียงพอหากเป็นภาพโทนเทา

Power-Law Transformations

$$S = cr^\gamma \quad (2.4)$$



ภาพที่ 2.11 แสดง Power-Law Transformations

ที่มา : ISAN-DSP Group. Image Enhancement in the Spatial Domain, 9

- โดยที่
- ถ้า $\gamma < 1$: แผนที่ช่วงแคบของค่าที่ป้อนเข้าไปในที่มีช่วงกว้างของค่าเอาต์พุต
 - ถ้า $\gamma > 1$: ตรงข้ามของผลกระทบดังกล่าวข้างต้น
 - กระบวนการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหานี้ได้เรียกว่า gamma correction

โดเมนเชิงความถี่ หมายถึง ค่าที่ใช้ในการอธิบายการวิเคราะห์ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับความถี่หรือสัญญาณเชิงความถี่ โดยบริเวณที่มีความถี่ของข้อมูลมากจะทำให้สายตาของมนุษย์นั้นเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างยากแต่บริเวณที่มีความถี่ของข้อมูลน้อยทำให้สายตาของมนุษย์สามารถตรวจจับหรือเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงได้ง่าย การทำงานในโดเมนเชิงความถี่ต้องมีการแปลงข้อมูลภาพที่อยู่ในระนาบ (x,y) หรือว่าระนาบพิกเซลนั่นเองให้เป็นข้อมูลเชิงความถี่โดยใช้การแปลงหรือตัวช่วยในการแปลงที่รู้จักกันดีในวงการคณิตศาสตร์หรือวิศวกรรมที่ชื่อว่า การแปลงฟูเรียร์ การทำงานของฟูเรียร์นั้นเปรียบได้ดังปริซึมที่เมื่อแสงส่องผ่านไปจะกระจายเป็นเฉดสีต่างๆ กันส่วนฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์มจะทำการกระจายภาพที่ต้องการออกเป็นความถี่ที่ต่างๆ กันไปซึ่งสามารถสรุปหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวกับโดเมนเชิงพื้นที่และโดเมนเชิงความถี่ได้ดังนี้

1. คาบเวลาในโดเมนเชิงพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนกับโดเมนเชิงความถี่สามารถแปลงกลับไปกลับมาระหว่างสองโดเมนนี้ได้
2. กระบวนการทางรูปภาพ (image processing) ส่วนมากจะเหมาะกับการทำงานในโดเมนเชิงความถี่มากกว่าในโดเมนเชิงพื้นที่ ซึ่งตรงจุดนี้เป็นเรื่องที่ลึกซึ้งไปจะต้องมีความเข้าใจความหมายของความถี่มากขึ้น

การจะทำให้ภาพซึ่งก็คือ $f(x,y)$ ที่อยู่ในโดเมนเชิงพื้นที่แปลงไปเป็นข้อมูลทางความถี่ในโดเมนเชิงความถี่จะใช้ fourier transform เป็นเครื่องมือในการแปลงภาพดังกล่าวซึ่งความหมายเชิงพิกัดหรือว่าระยะทางตามแกน (x,y) จะหายไปแต่จะเกิดความหมายในเชิงความถี่ขึ้นมาแทน

2.1.6 การแปลง (Transform) หรือการเข้ารหัสแบบเปลี่ยนแปลงโดเมน เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดเมนเดิมที่เป็นโดเมนเชิงพื้นที่ไปสู่โดเมนใหม่ ที่เป็นโดเมนเชิงความถี่โดยการแปลงโดเมนนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการบีบอัดข้อมูลภาพซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลง ย้อนกลับมาสู่โดเมนเดิมได้ซึ่งปกติข้อมูลภาพส่วนใหญ่มีรายละเอียดอยู่ที่ย่านความถี่ต่ำหากตัดข้อมูลย่านความถี่สูง

ออกไปแล้วทำให้ตามนุษย์มองเห็นน้อยมากและทำให้สามารถแยกส่วนที่มีข้อมูลมากและน้อยของภาพได้ ซึ่งการเข้ารหัสแบบแปลงโดเมนนี้มีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการคือ

คุณสมบัติที่หนึ่ง “Energy Compaction Property” เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ หลังจากการแปลงที่มีพลังงานสูงจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มซึ่งสามารถเลือกเฉพาะสัมประสิทธิ์กลุ่มที่มีพลังงานสูงซึ่งมีความสำคัญต่อการแปลงกลับในขั้นตอนการเข้ารหัสภาพมาเข้ารหัสแทนการเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ทุกตัวจึงมีผลทำให้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลและเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลน้อยลง

คุณสมบัติที่สอง “Correlation Reduction Property” คือ ลดความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลง การแปลงส่วนมากสามารถนำมาใช้กับงานด้านการบีบอัดข้อมูลภาพและนำผลมาเปรียบเทียบกันในทางประสิทธิภาพและความสามารถในการนำภาพกลับมาให้เหมือนหรือใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมากที่สุดซึ่งการแปลงในแต่ละแบบให้ผลแตกต่างกัน

2.1.7 ความถี่ (Frequency)

ปกติข้อมูลภาพมีหลายความถี่ในที่นี้พิจารณาแบบกว้างๆ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

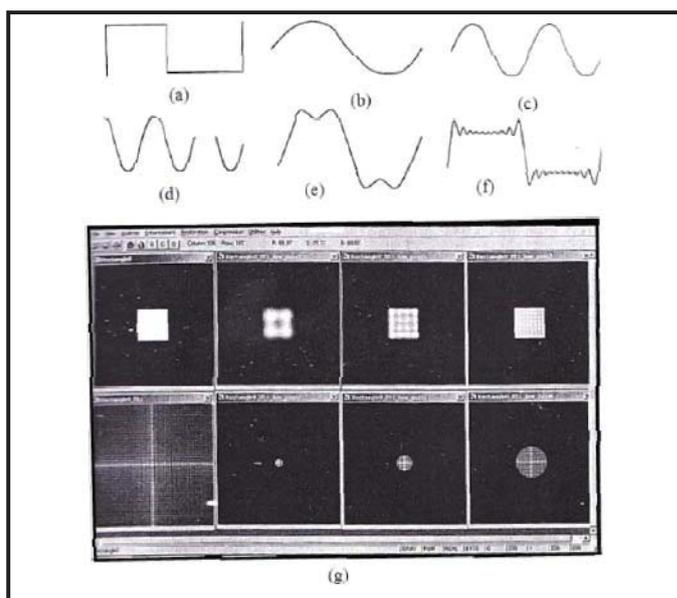
1. ความถี่สูง (High Frequency) เป็นความถี่ที่ตามนุษย์มองเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงได้ แต่เมื่อภาพมีการเปลี่ยนแปลง ยากที่มนุษย์จะตรวจจับถึงความเปลี่ยนแปลงได้

2. ความถี่ต่ำ (Low Frequency) เป็นความถี่ที่ตามนุษย์สัมผัสได้ หรือหากมีการเปลี่ยนแปลง จะสามารถสังเกตเห็นทันที

2.1.8 การแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform)

การแปลงฟูรีเยร์นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลกซึ่งได้ถูกพัฒนาโดย Baptiste Joseph Fourier ปี 1768-1830 เพื่ออธิบายการแพร่ของอุณหภูมิและการนำพาความร้อนตั้งแต่นั้นมาการแปลงแบบฟูรีเยร์ได้ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลก รวมถึงใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนทางวิศวกรรมเครื่องกลวงจรไฟฟ้าสำหรับงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและทางด้านการวิเคราะห์รูปภาพทางด้านคอมพิวเตอร์ การแปลงฟูรีเยร์จะช่วยคลายความซับซ้อนสัญญาณเป็นผลรวมนำหนักของเทอมความถี่เป็นศูนย์และเทอมของคลื่นไซน์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย harmonic ของสัญญาณ fundamental โดยที่ fundamental คือ ความถี่ที่มีค่าต่ำที่สุดส่วน harmonic นั้นก็คือความถี่ที่ไม่ใช่ความถี่หลักคุณกับความถี่

fundamental หรือบางครั้งอาจจะเรียกความถี่ที่เป็น fundamental ว่าเป็น first harmonic ก็ได้ (Umbaugh, 2005: 207) ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 การสลายคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) โดยการใช้การแปลงฟูเรียร์ (fourier transform)
 (a) คลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) (b) คลื่นความถี่หลัก (fundamental) (c) คลื่นฮาร์โมนิกที่ 1 (first harmonic) (d) คลื่นฮาร์โมนิกที่ 2 (second harmonic) (e) การรวมกันของคลื่น fundamental และคลื่นฮาร์โมนิกอื่นอีก 3 คลื่น (f) การรวมกันของคลื่นฮาร์โมนิกทั้ง 20 อันดับ (g) ภาพของการแปลงฟูเรียร์ (fourier transform)

ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5, Discrete Transforms, 2005: 207

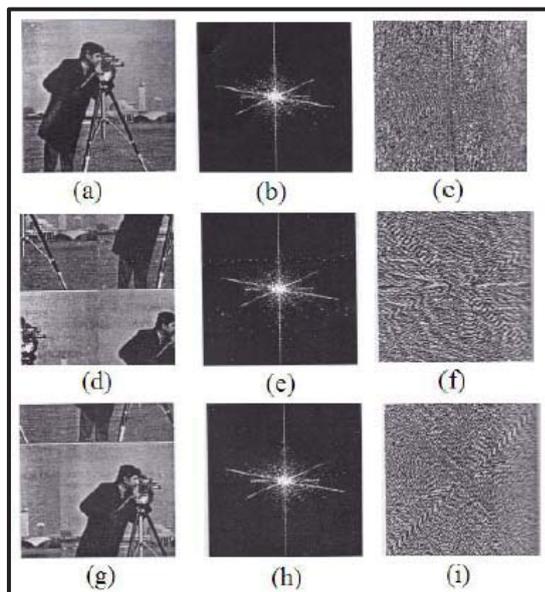
บ่อยครั้งนั้นการคำนวณ discrete fourier transform ในทางปฏิบัติจึงมีการใช้ Fast Fourier Transform (FFT) มาช่วยในการคำนวณเพื่อประโยชน์ในการคัดเลือกเทอมที่จะคำนวณซึ่งจริงๆ แล้วนั้นมีอัลกอริทึมหลายแบบที่สามารถช่วยในด้านการคำนวณได้ซึ่งโดยหลักการแล้วอัลกอริทึมเหล่านี้จะมีประโยชน์มากในเรื่องการตัดการคำนวณที่มากมายออกไป

คุณสมบัติของฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์ม (Fourier Transform Properties)

สำหรับฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์มนั้นจะมีสมการที่อ้างอิงในคู่โดเมนต่างๆ กันไม่ว่าจะเป็นทั้งที่โดเมนแบบเชิงพื้นที่และสเปกตรัมโดยที่ทั้งสองโดเมนนี้จะมีสมการที่คล้ายๆ กันในการแปลงกลับไปกลับมาระหว่างทั้ง 2 โดเมนด้วยเหตุผลนี้เอง ถ้ารู้ว่ากำลังทำอะไรกับโดเมนหนึ่งก็จะรู้ว่าเกิดอะไรขึ้นกับอีกหนึ่งโดเมน

- คุณสมบัติของการเคลื่อนที่ (Translation)

คุณสมบัติการเคลื่อนที่ของฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์ม (the translation property of the fourier transform) คือ ถ้าภาพถูกเลื่อนไปผลลัพธ์ของฟูเรียร์สเปกตรัมก็จะมีการเคลื่อนที่ตามของเฟสไปด้วยแต่ว่าขนาดของสเปกตรัมนั้นยังคงเท่าเดิมดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 คุณสมบัติของการเคลื่อนที่ของภาพที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตามไปของเฟส

(a) ภาพดั้งเดิม

(b) ขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมในภาพ (a)

(c) ภาพเฟสของสเปกตรัมในภาพ (a)

(d) ที่เกิดการเคลื่อนจากภาพเดิมไปในแนวแถว (row) และคอลัมน์ (column) อย่างละเท่ากับ 128

(e) ภาพขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมของภาพ (d)

(f) ภาพที่แสดงเฟสของภาพ (d)

(g) ภาพดั้งเดิมที่เกิดการเคลื่อนจากภาพเดิมไปในแนวแถวและคอลัมน์อย่างละเท่ากับ 64

(h) ขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมของภาพ (g)

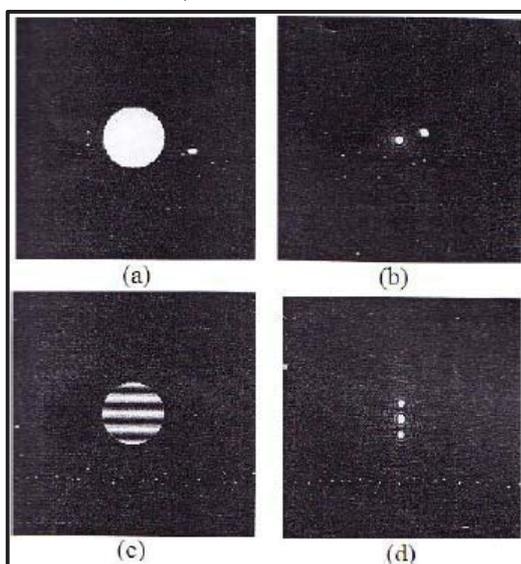
(i) เฟสของฟูรีเยร์สเปกตรัมของภาพ (g)

ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5, Discrete Transforms, 2005: 216

จากภาพทั้งหมดที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อภาพๆ หนึ่งเกิดการเคลื่อนของตำแหน่งไปจากเดิมสิ่งที่ยังคงเดิมของภาพนั้นคือค่าทางขนาดของฟูรีเยร์แต่ว่าสิ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ไปก็คือภาพทางเฟสของฟูรีเยร์

- **คุณสมบัติการเคลื่อนตำแหน่ง (Modulation)**

คุณสมบัติเคลื่อนตำแหน่งสามารถเรียกได้ว่าเป็นการเคลื่อนตำแหน่งของความถี่ซึ่งจะทำให้เกิดการเลื่อนไปของสเปกตรัมโดยคุณสมบัตินี้จะเป็นไปดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 คุณสมบัติของการเป็น modulation ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไปของความถี่

(a) ภาพดั้งเดิม

(b) ภาพทางขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมของ (a)

(c) ภาพดั้งเดิมที่ถูกคูณด้วยสัญญาณโคไซน์แนวตั้งที่มีความถี่สัมพันธ์เท่ากับ 16

(d) ขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมของ (c) และให้จำไว้ว่าสเปกตรัมจะถูกเคลื่อนไปด้วย 16 ทั้งบนและล่าง

ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5, Discrete Transforms, 2005: 217

- คุณสมบัติของการหมุน (Rotation)

คุณสมบัติของการหมุนนั้นสามารถที่จะแสดงให้เห็นภาพง่ายๆ ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$r = x \cos \theta, c = x \sin \theta \quad (2.5)$$

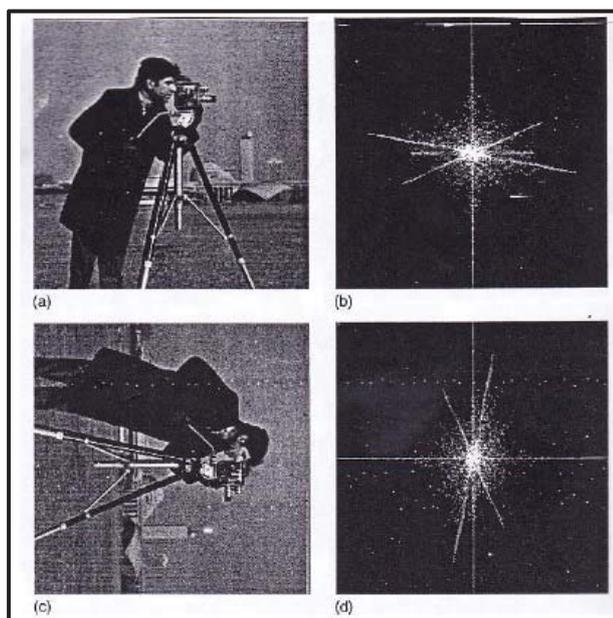
$$u = w \cos(\phi), v = w \sin(\phi) \quad (2.6)$$

คู่ของการแปลงฟูเรียร์คือ $I(r, c)$ และ $F(u, v)$ จะกลายมาเป็น $I(x, \theta)$ และ $F(w, \phi)$ ตามลำดับและต่อมาสามารถเขียนคู่การแปลงฟูเรียร์เพื่อทำให้เห็นถึงคุณสมบัติของการหมุนได้ดังต่อไปนี้

$$I(x, \theta + \theta_0) = F^{-1}[F(w, \phi + \theta_0)] \quad (2.7)$$

$$F[I(x, \theta + \theta_0)] = F(w, \phi + \theta_0) \quad (2.8)$$

ซึ่งคุณสมบัติที่เห็นดังกล่าวนี้บอกได้ว่าหากภาพดังกล่าวนั้นเกิดการหมุนด้วยมุม θ_0 ดังนั้นจะได้ว่า $F(u, v)$ ก็จะมีมุมที่เท่าๆ กันดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 คุณสมบัติของการหมุนภาพที่ส่งผลให้สเปกตรัมมีการหมุนตาม

(a) ภาพดั้งเดิม

(b) ภาพทางขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมของ (a)

(c) ภาพดั้งเดิมที่มีการหมุนไปด้วยมุม 90°

(d) ขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมของ (c) สเปกตรัมจะถูกเคลื่อนไปด้วย 16 ทั้งบนและล่าง

ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5,

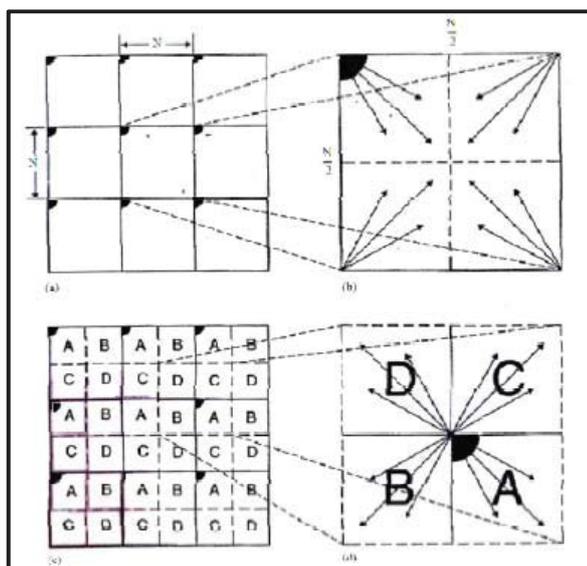
Discrete Transforms, 2005: 218

- **คุณสมบัติของการเป็นคาบ (Periodicity)**

DFT นั้นมีลักษณะของการเป็นคาบของสัญญาณโดยคาบดังกล่าวคือ N ซึ่งได้มาจากค่าของพิกเซลภาพที่ทำการป้อนให้กับคอมพิวเตอร์อย่าง เช่น ภาพขนาด $N \times N$ โดยมีความหมายว่า

$$F(u, v) = F(u + N, v) = F(u, v + N) = F(u + N, v + N) \dots \quad (2.9)$$

ดังแสดงในภาพที่ 2.16 ซึ่งได้แสดงสัญญาณภาพทั้งหมด 9 คาบจริงๆ แล้วทางทฤษฎีนั้นจะบอกว่าสัญญาณภาพดังกล่าวนั้นจะมีการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องทุกทิศทางและวิเคราะห์ไปจนถึงค่าที่อนันต์คุณสมบัติของการเป็นคาบนี้จะมีลักษณะกราฟฟูเรียร์แบบสมมาตรอันเป็นผลมาจากทฤษฎีที่ใช้



ภาพที่ 2.16 คุณสมบัติของการเป็นคาบซึ่งแสดงออกมาในรูปของกราฟฟูเรียร์ที่มีลักษณะสมมาตร

(a) รูปสมมาตรกับจุดกำเนิดซึ่งอยู่มุมบนซ้ายซึ่งแต่ละช่องนั้นมีขนาดเท่ากับ $N \times N$

และยังเป็นตัวที่ชี้ให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์และเกิดการซ้ำกันในทุกทิศทาง

(b) การเพิ่มขึ้นของความถี่ในทิศทางของหัวลูกศร

(c) คาบของสเปกตรัมโดยสัญลักษณ์ที่ปรากฏในช่อง 4 ช่องคือ A, B, C, D เป็นตัวแทนของ 1 คาบ

(d) สเปกตรัมที่มีการเลื่อนตัว (shift) ไปยังตำแหน่งศูนย์กลางและความถี่จะเกิดการเพิ่มขึ้นจากจุดศูนย์กลางไปในทิศทางหัวลูกศร

ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5, Discrete Transforms, 2005: 219

การแสดงผลฟูรีเยร์สเปกตรัม (Displaying the Fourier Spectrum)

สเปกตรัมของฟูรีเยร์ประกอบไปด้วยค่าที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนโดยจะถูกเก็บค่าในโปรแกรมที่ใช้งานเป็น 2 แถบค่าคือ 1) แถบจำนวนจริง 2) แถบจำนวนจินตภาพ ซึ่งโดยปกติแล้วสิ่งที่เห็นในภาพสเปกตรัมนั้นจะเป็นค่าทางขนาดที่นำมาพล็อตกราฟซึ่งทำให้เห็นภาพได้ง่ายกว่าสำหรับการแสดงกราฟทางขนาดของฟูรีเยร์สเปกตรัมนั้นปกติแล้วจะทำการเลื่อนจุดกำเนิดไปยังศูนย์กลางโดยทำการประยุกต์คุณสมบัติของการเป็นคาบและคุณสมบัติการเคลื่อนที่ของความถี่โดยมีการแทนค่าตำแหน่งใหม่ให้เป็น $u_0 = v_0 = N/2$ ซึ่งจะได้สมการเป็นลักษณะดังต่อไปนี้

$$I(r, c)e^{j2\pi(Nr/2+Nc/2)/N} = I(r, c)e^{j\pi(r+c)} = I(r, c)(-1)^{(r+c)} \quad (2.10)$$

การคูณภาพดั้งเดิมด้วย $(-1)^{(r+c)}$ ซึ่งจะทำให้เกิดการเลื่อนจุดกำเนิดไปที่ศูนย์กลางของภาพซึ่งทำให้ภาพเคลื่อนตำแหน่งไป $N/2$ เหตุผลที่ต้องมีการเลื่อนสเปกตรัมดังกล่าวไปยังศูนย์กลางเพราะว่า

(1) เพื่อความเข้าใจที่ง่ายกว่าในการเข้าใจภาพสเปกตรัมซึ่งมีจุดกำเนิดอยู่ที่ศูนย์กลางภาพและมีการเพิ่มความถี่จากจุดศูนย์กลางดังกล่าวออกไปหาขอบ

(2) ทำให้ง่ายขึ้นในการที่จะเข้าใจการทำงานของฟิลเตอร์ที่เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวน

(3) ทำให้ภาพของสเปกตรัมดูดีขึ้น

จริงๆ แล้วระยะของการวิเคราะห์คลื่นต่างๆ ออกมาเป็นสเปกตรัมฟูรีเยร์นั้นจะมีค่าของระดับโทนสีมากกว่า 256 ระดับซึ่งอยู่ในช่วงของระดับโทนสีเทา (gray level = 8 bits) ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อทำการพล็อตค่าของสเปกตรัมภาพที่ระดับมากกว่า 256 ระดับลงใน 256 ระดับจะทำให้เกิดการบีบอัดหรือว่าสูญหายของข้อมูลที่ถูกบีบอัดซึ่งจะทำให้สามารถเห็นเพียงแค่อ้อมูลที่มีค่ามากที่สุดหรือว่ามีค่าที่ต่ำที่สุดอยู่รอบๆ จุดกำเนิดเท่านั้น

และการที่จะทำการปรับปรุงภาพให้เห็นรายละเอียดมากขึ้นต้องมีการพล็อตภาพสเปกตรัมดังกล่าวลงในกราฟ \log โดยสมการของกราฟ \log จะมีดังต่อไปนี้

$$\log(u, v) = k \log[1 + |F(u, v)|] \quad (2.11)$$

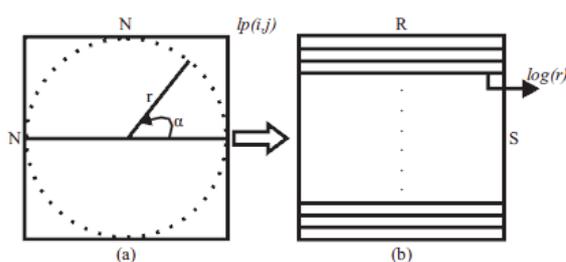
หน้าที่ของกราฟ \log จะทำการดึงภาพที่ต้องเห็นระยะไกลๆ ของการพล็อตกราฟโดยทำการย่อส่วนภาพสเกลทางขนาดเท่ากับ k และทำการพล็อตข้อมูลด้วยช่วงของระดับสีเท่ากับ 0-255 ระดับ

2.1.9 การแปลง Log-Polar

Log-Polar Transform ใช้สำหรับกำจัดปัญหาการหมุนและปรับขนาดของภาพที่ทำการนำเข้ามาโดยการแปลงภาพให้เป็นภาพที่มีขั้วที่ตรงกัน ดังนั้นภาพที่ผ่านกระบวนการ log-polar transform จะมีความคงทนต่อการหมุนและปรับขนาดภาพที่มีขนาดเท่ากันแต่แตกต่างกันที่ขนาด จะทำให้นื้อหาของภาพมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการทำ log-polar จะทำให้แถวขยับ (row-shifted) (S.Arivazhagan, K.Gowri and L.Ganesan, 2010: 133)

กระบวนการ Log-Polar Transform แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รัศมีของวงกลมที่ใหญ่ที่สุดภายในสี่เหลี่ยมของภาพจะทำการสแกนเป็นเส้นตรงเพื่อที่เวลา S จาก 0° ไป 360° เทียบเท่าได้กับ $S \times [N/2]$ ดังแสดงในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 แสดง (a) คาร์ทีเซียนไป Polar จากภาพ (b) Log-polar จากภาพ

ที่มา : Journal of Pattern Recognition Research 1 (2010) 131-139. Rotation and Scale-Invariant Texture Classification using Log-Polar and Ridgelet Transform, 2010: 133

ขั้นตอนที่ 2 ฟังก์ชันลอการิทึมสามารถใช้ได้กับทุกค่ารัศมีใน polar และผลที่ได้จะอยู่ในภาพ (b) ดังนั้นภาพ log-polar ของ $S \times R$ สำหรับภาพขนาด $N \times N$ ดังแสดงในภาพ (b)

การประมวลผลภาพแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ

1. การประมวลผลภาพระดับต่ำ (Low Level Image Processing)
2. การประมวลผลภาพระดับสูง (High Level Image Processing)

การประมวลผลภาพระดับต่ำ (Low Level Image Processing)

เป็นการประมวลผลขั้นแรกสุดก่อนที่จะนำไปประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป นั่นคือหลังจากที่ได้ภาพมา ภาพที่ได้จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ มากมายรวมถึงสิ่งที่ไม่ต้องการด้วย ในที่นี้จะเรียกว่าสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ยังไม่สามารถที่นำไปใช้ในการประมวลผลได้ ดังนั้น การประมวลผลภาพระดับต่ำจึงประกอบไปด้วยการกำจัดสัญญาณรบกวน การทำให้ภาพชัด การหาขอบภาพ การแปลงภาพขาว-ดำ การแบ่งแยกรูปร่างวัตถุ เป็นต้น เพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ และมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำตัวแปรเหล่านี้มาใช้ในการประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป

การประมวลผลภาพระดับสูง (High Level Image Processing)

เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพนั้นได้ เช่น การรู้จำใบหน้าคน หรืออาจจะเป็นการรู้จำตัวอักษร เป็นต้น ความแตกต่างของการประมวลผลภาพระดับต่ำและระดับสูง คือข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผล โดยการประมวลผลภาพระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างหรือความเข้มของแสงโดยตรง

ส่วนการประมวลผลภาพระดับสูง ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลจะถูกแสดงในรูปแบบสัญลักษณ์ โดยสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในภาพ และการใช้ตัวแปรที่ได้จากการประมวลผลภาพระดับต่ำ มาอธิบายถึงลักษณะเหล่านี้ การประมวลผลภาพระดับสูงนั้นส่วนใหญ่มักจะใช้ทฤษฎีต่างๆ เข้ามาใช้เป็นตัวช่วยในการทำงาน หรือเป็นหัวใจของโปรแกรม

2.1.10 การกรอง (Filtering)

หลังจากที่ภาพผ่านการแปลงเข้าสู่โดเมนเชิงความถี่แล้วจากนั้นอาจจะทำการเปลี่ยนแปลงผลของสเปกตรัมการกรองความถี่ของสเปกตรัมโดยทำการเลือกค่าที่เก็บไว้ ทำการลบหรือปรับ

องค์ประกอบของสเปกตรัมข้อมูลความถี่สูงสามารถลบด้วย lowpass filter ซึ่งมีผลกระทบต่อการเบลอของภาพหรือข้อมูลความถี่ต่ำสามารถลบด้วย highpass filter ซึ่งจะทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น อาจต้องการกรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้นจะทำได้โดยการ bandpass filtering สลับกันการทำ band-reject filtering สามารถใช้กำจัด specific part ของสเปกตรัม

Lowpass Filter

Lowpass filter จะทำให้ภาพเบลอใช้กรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ต่ำเท่านั้นและทำการกำจัดข้อมูลความถี่สูงใช้สำหรับภาพที่มีการบีบอัดหรือสำหรับการจัดการ สัญญาณรบกวนในภาพ จะทำให้มองเห็นภาพเบลอดังภาพที่ 2.18 lowpass filter คือ การดำเนินการโดย multiplying spectrum โดยการกรองและประยุกต์ใช้ inverse transform ที่ได้รับการกรองภาพ แนวคิดของฟังก์ชันการกรองจะแสดงดังภาพที่ 2.19



(a) ภาพต้นฉบับ



(b) ภาพที่ผ่านการกรอง, โดยใช้การกรองแบบ non-ideal lowpass หมายเหตุ : ภาพเบลอ

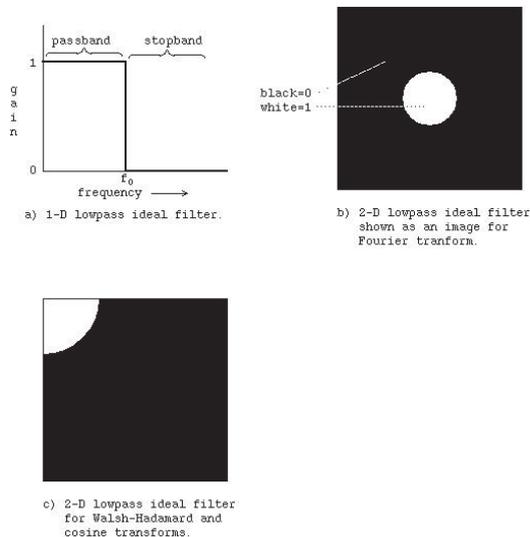


(c) Ideal lowpass-filtered ภาพแสดงคลื่นโดยรอบความถี่ที่ถูกตัดออกที่=32

ภาพที่ 2.18 แสดงภาพที่ผ่านกระบวนการ lowpass filter

ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5,

Discrete Transforms, 2005: 232

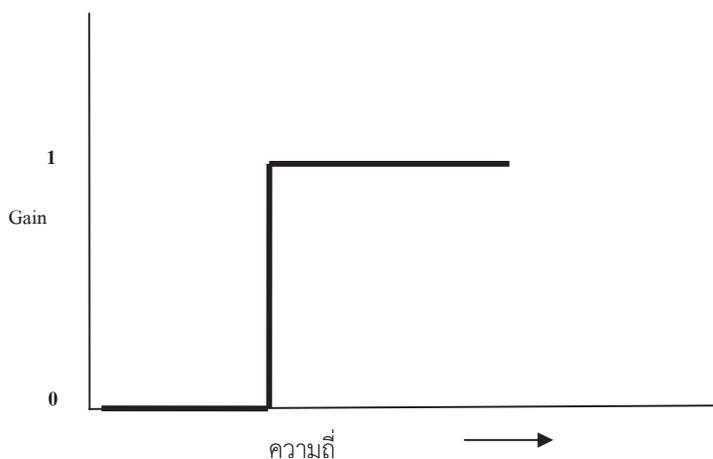


ภาพที่ 2.19 แสดงแนวความคิดของฟังก์ชันการกรองแบบ lowpass filter

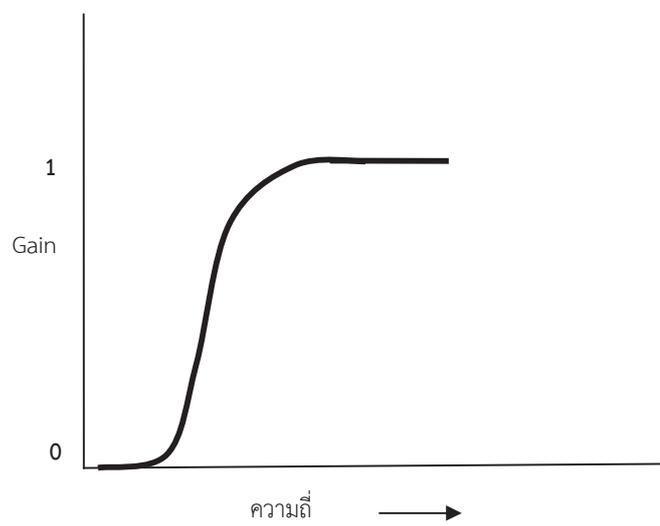
ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5, Discrete Transforms, 2005: 233

Highpass Filter

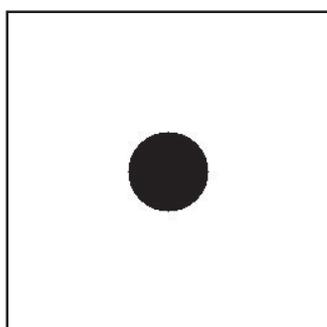
Highpass filter ใช้กรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่สูงเท่านั้นซึ่งสอดคล้องกับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงความสว่างอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 2.20



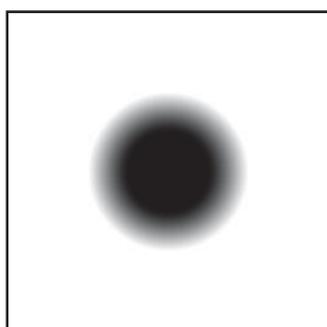
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

(f)

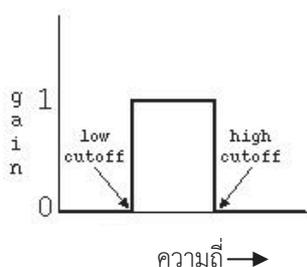
ภาพที่ 2.20 Highpass Filter Functions

- a) 1-D เหมาะสมกับ highpass filter, b) 1-D ไม่เหมาะสมกับ highpass filter, c) แสดงภาพ 2-D ideal highpass filter, d) แสดงภาพ 2-D ไม่เหมาะสมกับ highpass filter, e) 2-D เหมาะสมกับ highpass filter สำหรับโคไซน์และความสามารถของ Walsh-Hadamard, f) 2-D ไม่เหมาะสมกับ highpass filter สำหรับโคไซน์และความสามารถของ Walsh-Hadamard
หมายเหตุ : for the non-ideal filters, ขาว = 1, ดำ = 0 และค่าเท่าระหว่างการแสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแถบ

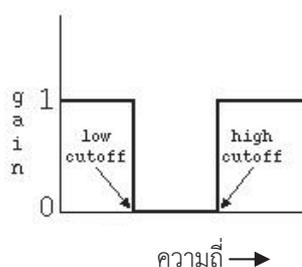
ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5, Discrete Transforms, 2005: 236

Bandpass และ Band-reject Filter

Bandpass และ Band-reject filter คือการกรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้นความถี่ที่สูงกว่าหรือความถี่ที่ต่ำกว่าไม่สามารถที่จะผ่านไปได้โดยระบุความถี่ 2 ขอบเขต ดังแสดงภาพที่ 2.21



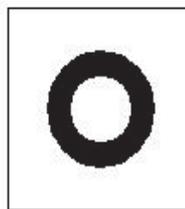
a) 1-D เหมาะสมกับ bandpass filter



b) 1-D เหมาะสมกับ bandreject filter



c) แสดงภาพ (Fourier) 2-D
เหมาะสมกับ bandpass filter



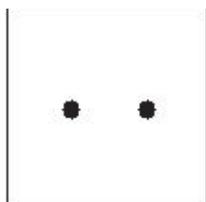
d) แสดงภาพ (Fourier) 2-D
เหมาะสมกับ bandreject filter



e) 2-D เหมาะสมกับ bandpass
filter สำหรับ Walsh-Hadamard
และฟังก์ชันโคไซน์



f) 2-D เหมาะสมกับ bandreject
filter สำหรับ Walsh-Hadamard
และฟังก์ชันโคไซน์



g) 2-D เหมาะสมกับ notch filter
สำหรับ rejecting specific
frequencies rejec



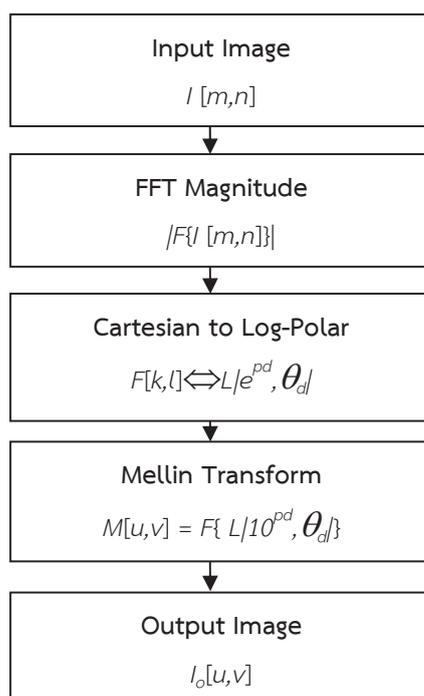
h) 2-D เหมาะสมกับ notch filter
สำหรับ passing specific
frequencies rejec

ภาพที่ 2.21 แสดง Bandpass, Band-reject และ Notch Filter

ที่มา : Umbaugh. Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing. Chapter 5,
Discrete Transforms, 2005: 238

2.1.11 การแปลง Fourier-Mellin

ฟูรีเยร์เมลลินเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการแยกแยะภาพเพราะว่ามีความคงทนต่อภาพที่มีการหมุนการเคลื่อนที่หรือว่าเปลี่ยนตำแหน่งและการเปลี่ยนแปลงขนาดตามหลักเดิมนั้นการแปลงแบบฟูรีเยร์มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งภาพเพียงอย่างเดียวแต่ไม่ทนต่อการเปลี่ยนขนาด และการหมุนและเมื่อทำการแปลงไปในระบบของ log-polar ซึ่งมีความคงทนต่อขนาดและการหมุนจะเป็นการเพิ่มความคงทนต่อการหมุนและการเปลี่ยนแปลงของขนาดเข้าไปด้วย หลังจากนั้นจะมีการทำ FFT ครั้งที่สองซึ่งเรียกว่า The Mellin Transform ซึ่งทำให้การแปลงดังกล่าวมีความทนต่อการเคลื่อนที่ตำแหน่ง การหมุนภาพและการเปลี่ยนแปลงทางขนาด ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 แผนภาพขั้นตอนการแปลงฟูรีเยร์เมลลิน

ที่มา : Riaan van den Dool. Image Processing Tools. Fourier-Mellin Transform, 2004

2.1.12 การสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling)

การสุ่มตัวอย่างซ้ำ เป็นกระบวนการปรับแก้ค่าระดับสีเทาหรือเป็นการสร้างข้อมูลภาพใหม่ หลังจากการปรับแก้ทางด้านตำแหน่งของข้อมูลภาพ ขนาดและตำแหน่งของจุดภาพจะเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องปรับค่าระดับสีเทาของข้อมูลใหม่โดยการ resampling interpolation เพื่อให้ได้ค่าสีเทาที่สอดคล้องกับตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลง วิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำหรือการสร้างจุดภาพใหม่ ขนาดของจุดภาพใหม่อาจจะมีขนาดเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงก็ได้ (Image Processing 3: Image Restoration, 2012: 23)

Interpolation คือ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมาณค่าของ function ที่ตำแหน่งที่กำหนดให้ สำหรับ interpolation ที่เป็นพื้นฐานในการใช้งานใน image processing มี 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1. Nearest Neighbor Interpolation : NN
2. Bi-linear Interpolation: BL
3. Cubic Convolution Interpolation: CC

โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

Nearest Neighbor Interpolation: NN

เป็นการประมาณค่าแบบตำแหน่งใกล้ที่สุด โดยการวางค่า pixel value ในตำแหน่งใหม่โดยใช้ค่า pixel value หรือ brightness จาก pixels ใกล้ที่สุด

Bi-linear Interpolation: BL

เป็นการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นคู่ โดยการวางค่า pixel value ในตำแหน่งใหม่โดยใช้ค่า pixel value หรือ brightness เฉลี่ยของ 4 pixels ที่อยู่รอบ

Cubic Convolution Interpolation: CC

เป็นแบบการประสานเชิงลูกบาศก์ โดยการวางค่า pixel value ในตำแหน่งใหม่โดยใช้ค่า pixel value หรือ brightness เฉลี่ยของ 16 Ppixels ที่อยู่รอบ

2.1.13 ค่าสหสัมพันธ์ (Cross Correlation)

ค่าสหสัมพันธ์ คือ ค่าที่ใช้วัดความเหมือนกันของภาพคลื่นสองคลื่นที่เป็นฟังก์ชันทางเวลา การหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสองสัญญาณจะเกี่ยวเนื่องกับการคำนวณค่าคอนโวลูชันและเก็บค่าสัม

ประสิทธิ์ที่คำนวณได้ที่อยู่ในโดเมนความถี่โดยการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนื่องจากการคำนวณในโดเมนที่เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (spatial domain) นั้นมีความรวดเร็วมากแต่ไม่ค่อยละเอียดเท่าที่ควรดังนั้นจึงมีการปรับปรุงค่าสหสัมพันธ์โดยการเปลี่ยนโดเมนการคำนวณซึ่งบุคคลที่ได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมดังกล่าว นั่นคือ Lewis โดยที่อัลกอริทึมตัวใหม่นี้ในบางกรณีมีการเตรียมโดยการเพิ่มกำลังของขนาดเข้าไปในช่วงที่อยู่ในโดเมนเชิงพื้นที่ (อเนก กิจฉลอง, 2553: 45)

2.1.14 การรู้จำ (Recognition)

การรู้จำเป็นแขนงหนึ่งของการรู้จำแบบ คำว่าแบบรูปสามารถแปรความได้หลายแบบ ในที่นี้จะหมายถึงกลุ่มของตัวเลขที่บรรยายลักษณะของภาพ ในการรู้จำภาพจะต้องรู้จำแบบรูปของแต่ละภาพเพื่อแยกแยะภาพที่ต่างกันออกจากกัน แบบภาพที่ดีจะบ่งถึงลักษณะของภาพซึ่งอาจได้จากการวัด เช่น อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว (การรู้จำภาพ, 2010)

มีวิธีการหลากหลายซึ่งนำมาใช้เพื่อให้ได้ผลการทำงานที่ดีที่สุด เทคนิคใหม่ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับกับปัญหาที่เกิดจากเอกสารที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นอย่างไรก็ตามพอที่จะจัดแบ่งเทคนิคเหล่านี้ออกเป็นกลุ่มตามแนวทางหลักที่ใช้ในการแก้ปัญหา ถึงแม้บ่อยครั้งที่พบว่ามีความคาบเกี่ยวกันของเทคนิคที่นำมาใช้ระหว่างกลุ่มที่ว่านี้ ทั้งนี้เพราะแต่ละแนวทางก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันจึงมีความพยายามที่จะรวมเอาเทคนิคเหล่านี้มาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มความสามารถของระบบเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นการแบ่งกลุ่มในที่นี้เป็นที่เน้นความชัดเจนในแง่ของขอบเขตทางทฤษฎีเป็นหลัก โดยแนวทางการรู้จำสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ (พุดคุย: โอซีอาร์, 2010)

2.1.6.1 วิธีทางการเข้าคู่รูปแบบ (Template Matching)

2.1.6.2 วิธีทางสถิติ (Statistical Approach)

2.1.6.3 วิธีการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง (Structural Analysis)

2.1.6.4 วิธีทางโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลทางการจำแนกภาพรถยนต์ พบว่ามีนักวิจัยหลายท่านที่ให้ความสนใจถึงวิธีการรู้จำภาพรถยนต์ ดังนี้

Thiang, Guntoro, and Lim (2001) รายงานวิธีการการจำแนกประเภทของรถยนต์โดยการตรวจจับการเคลื่อนที่ของรถยนต์ มี 3 ขั้นตอนหลัก คือ การตรวจหาวัตถุ การแบ่งส่วนของวัตถุ และทำการจับคู่วัตถุกับแม่แบบ (matching) จากการทดสอบในช่วงกลางวันและกลางคืนพบว่าในช่วงเวลากลางวัน การรู้จำประเภทของรถยนต์อยู่ในระดับดี คือ ค่าประมาณ 0.9-0.95 และในช่วงกลางคืน ค่าประมาณ 0.8-0.85

Sun, Bebis, and Miller (2002) รายงานถึงแนวโน้มทางการวิจัยในการตรวจหายานพาหนะ วิธีนี้ได้เรียนรู้ลักษณะของการจัดหมวดหายานพาหนะ โดยมีการตัดสินใจจากขอบเขตระหว่างวัตถุที่เป็นยานพาหนะและวัตถุที่ไม่ใช่ยานพาหนะ และทำการคำนวณโดยสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาความน่าจะเป็นของการจัดหมวดหมู่หรือด้วยวิธีการเรียนรู้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการตรวจหาผลลัพธ์ที่ดีซึ่งมีวิธีการที่สำคัญอยู่ 2 วิธี สำหรับการตรวจหายานพาหนะ ได้แก่ haar wavelets และ gabor filters สำหรับการรู้จำใช้เทคนิค Support Vector Machines (SVMs) โดยได้มีการประยุกต์การแก้ปัญหาลักษณะโดยทั่วไปของข้อมูลมาช่วยในการพัฒนาวิธีการ ลักษณะของ wavelet และ gabor สามารถทำให้การจัดหมวดหมู่มีผลลัพธ์ที่น่าพอใจ จากการใส่ขอบเขตที่แตกต่างกันของการค้นหาวัตถุจากด้านหน้าและทำการกู้คืนกลับมา คุณสมบัติของ wavelet คือ ทำการเปลี่ยนขอบของยานพาหนะให้มีความชัดเจนมากขึ้น ที่สำคัญผู้วิจัยสามารถจับโครงสร้างของยานพาหนะได้ในจำนวนที่เพิ่มขึ้น gabor filter สามารถตรวจหาเป้าหมายและหาขอบได้เพิ่มขึ้น ยานพาหนะมีความชัดเจนของขอบและมีความแตกต่างของเส้นมากขึ้น ดังนั้น รูปแบบลักษณะของยานพาหนะเป็นส่วนเด่นที่ช่วยให้สามารถตรวจจับได้ จากผลการทดลองและเปรียบเทียบพบว่าการใช้เทคนิค gabor มีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิค haar wavelet ข้อควรระวังของการทดสอบคือ การรวมกันทั้ง 2 เทคนิคนั้นมีความผิดพลาด 3.03% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เทคนิค gabor และ haar wavelet ที่มีความผิดพลาด 5.19% และ 8.52% ตามลำดับ

Han, and others (2006) รายงานวิธีการในการตรวจหาบุคคลและรถยนต์ มีวิธีการ 2 ขั้นตอน คือ Histogram of Oriented Gradient (HOG) และ SVMs โดยขั้นตอนแรกทำการสร้างสมมติฐานโดยมุ่งความสนใจไปที่ตำแหน่งของบุคคลและยานพาหนะ จากนั้นใช้สัญญาณสเตอริโอสร้างตำแหน่งเป้าหมาย โดยใช้ลักษณะพื้นฐานของบุคคลและรถยนต์ในการมองอย่างลึก ขั้นที่สองทำการยืนยันสมมติฐานโดยใช้การขยายลักษณะและใช้ SVM การรวมกันของสองวิธีเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน จากการทดสอบพบว่าได้ผลอยู่ในระดับดี

Tsai, Hsieh, and Fan (2007) รายงานวิธีการตรวจหายานพาหนะในรูปแบบใหม่โดยใช้สีและขอบของภาพ ซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีเดิมที่ใช้การตรวจจับจากการเคลื่อนไหวของยานพาหนะ วิธีการนี้ทำการค้นหาจุดที่มีความสำคัญ คือ “สีของยานพาหนะ” เป็นสิ่งที่ท้าทายที่ต้องการความเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว วิธีการที่จะนำเสนอนี้เป็นการใช้สีในการตรวจจับจะสามารถระบุพิกเซลของยานพาหนะออกจากพื้นหลังได้ ความเป็นไปได้จากการตรวจจับมีคุณลักษณะที่สำคัญ 3 ประการ คือ การหามุมหาขอบของยานพาหนะ และค่าสัมประสิทธิ์ ความเป็นไปได้ของการยืนยันความถูกต้อง การดำเนินการตรวจหาสามารถดำเนินการได้เร็วเพราะสามารถจัดพื้นหลังออกได้มาก การจากทดสอบผลว่าการรวมกันของคุณลักษณะการใช้สีและการใช้ขอบสามารถทำให้การตรวจหายานพาหนะมีประสิทธิภาพ โดยมีความถูกต้องร้อยละ 94.9

Yunqiong, Zhifang, and Fei (2007) รายงานวิธีการจัดหมวดหมู่รถยนต์โดยดูจากโลโก้รถยนต์ที่ได้ภาพจากกล้องวงจรปิด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มุ่งหวังให้สามารถรู้จำประเภทของรถยนต์ได้อย่างอัตโนมัติเพื่อช่วยในเรื่องของการรักษาความปลอดภัยและช่วยตรวจสอบทางด้านการจราจร ปัจจุบันยังมีปัญหาในเรื่องระดับของความแม่นยำในการรู้จำประเภทรถยนต์ มีรายงานอื่นที่ทำการรู้จำจากรูปร่าง และขนาดของรถยนต์ แต่งานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจไปยังตำแหน่งที่ตั้งและรู้จำของโลโก้รถยนต์ ซึ่งถือเป็นเอกลักษณ์ที่บ่งบอกถึงความแตกต่างของประเภทรถยนต์ (รวมถึงรุ่นของรถยนต์) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีการจำแนกโลโก้รถยนต์ โดยใช้เทคนิคแบบง่ายสำหรับการพิจารณาจากรูปด้านหน้า ซึ่งได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง และการจำแนกประเภทของรถยนต์ได้ดี โดยขั้นตอนแรกทำการตรวจหาโลโก้ของอย่างกว้างๆ เช่น ดูจากตำแหน่งทะเบียนรถยนต์ และสามารถหาขอบของโลโก้รถยนต์ได้ จนในที่สุดสามารถรู้จำโลโก้รถยนต์ได้ด้วยวิธีการจับคู่จาก

แม่แบบ (template matching) และใช้ฮิสโตแกรมในการหาขอบภาพ (edge orientation histograms) จากผลการทดลองพบว่าวิธีการที่ได้นำเสนอนั้นได้ผลลัพธ์ที่ดี

Zhaoyu, Pingping, and Changjiu (2008) รายงานมาตรการในการตรวจหาส่วนที่สำคัญของวัตถุที่มีอยู่จำนวนมากส่วนใหญ่ขึ้นกับข้อมูลระหว่างพิกเซลและความเข้าใจที่ยังไม่เพียงพอในลักษณะที่สำคัญของวัตถุ งานวิจัยนี้แสดงถึงวิธีการสำหรับการดึงวัตถุที่น่าสนใจออกมา โดยขั้นตอนแรกต้องทำการแยกคุณลักษณะพื้นฐานออกมาโดยใช้แบบจำลอง gabor biologically plausible จากนั้นทำความเข้าใจกับส่วนที่สำคัญของวัตถุเพื่อใช้ในการค้นหาตำแหน่งที่สำคัญของวัตถุ ในที่สุดได้รายการพื้นฐานใช้เป็นจุดเริ่มต้นการใช้วิธีการที่หลากหลายนั้นพบว่าผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

Gueham and others (2008) นำเสนอเทคนิคสำหรับการรู้จำแบบอัตโนมัติของภาพรอรองเท้าเพื่อใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยใช้วิธีการ fourier-mellin transform ซึ่งคงทนต่อการเคลื่อนตำแหน่ง (translation) การหมุน (rotation) และการปรับขนาด (scale) ของ feature และทำการ feature matching โดยวิธีการ two dimensional (2-D) correlation ซึ่งจะใช้เมตริกซ์สำหรับการแยกประเภท จากการทดลองที่มีภาพรอรองเท้าในฐานะข้อมูลจำนวน 500 ภาพ ที่เป็นส่วนหนึ่งของรองเท้าที่มีอยู่ในท้องตลาด ในการทดสอบความทนทานของวิธีการดังกล่าวโดยการนำภาพที่มีการรบกวนแตกต่างกัน เช่น มี noise และ ทำการตัดบางส่วนของรอรองเท้ามาทำการทดสอบ ผลการทดลองแสดงว่าวิธีการที่ได้นำเสนอไปนั้นน่าสนใจและมีประสิทธิภาพมาก

Cai and others (2009) รายงานวิธีการในการรู้จำรถยนต์บนพื้นฐานของการจัดกลุ่มข้อมูล (fuzzy clustering) ขั้นตอนแรกพิจารณาจากคุณลักษณะสีและเส้นขอบของรถยนต์ในภาพ (image pyramid) เป็นองค์ประกอบหลักเพื่อบ่งบอกถึงรูปร่างของรถยนต์ และเมื่อดึงข้อมูลอัตราส่วนโดยรอบ ตัวอธิบายฟูเรียร์ อัตราส่วนของทิศทาง และอัตราส่วนของเส้นรอบวง มาทำการวิเคราะห์ในรายละเอียด หลังจากนั้นนำคุณลักษณะทั้งหมดเข้าไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค vector และ fuzzy clustering เพื่อหาจุดศูนย์กลางของรถยนต์ ในที่สุดความคล้ายกันระหว่างการป้อนข้อมูลภาพเข้าไปในเทคนิคเวกเตอร์และทำการหาจุดศูนย์กลางของรถยนต์ สามารถใช้ในการพัฒนาระบบรู้จำรถยนต์ได้ จากผลการทดลองพบว่า จากวิธีการข้างต้นระบบสามารถรู้จำรถยนต์ได้อย่างแม่นยำ

Han, Sungji, Han, Youngjoon, and Hahn (2009) รายงานการตรวจหายานพาหนะโดยใช้เทคนิคของ haar-like ซึ่งทำให้ขอบมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น เพราะฉะนั้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการลบเงาของยานพาหนะบนถนน จากนั้นจะสามารถหาขอบเขตของยานพาหนะได้อย่างแม่นยำ งานวิจัยนี้กล่าวถึงวิธีการในการตรวจหารถยนต์ สามารถแบ่งแยกได้ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ตั้งสมมติฐานและพิสูจน์หาความจริง ในขั้นตอนแรกต้องมุ่งมั่นที่จะค้นหายานพาหนะ เช่น เงา ความชัดเจน และแนวของขอบ และขั้นตอนที่ 2 พยายามค้นหาวัตถุที่เป็นยานพาหนะหรือไม่ใช่ยานพาหนะ โดยใช้รูปแบบการสมมาตรจากลักษณะของขอบภาพยานพาหนะ จากการใช้โปรแกรมตรวจหายานพาหนะ พบว่าสามารถตรวจหาได้มากกว่า 15 ภาพต่อวินาที

Jin, Long, and Zhang รายงานการปรับปรุงพันธุกรรม (improved genetic algorithm) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจหารถยนต์ gabor filter เป็นพารามิเตอร์ในการเข้ารหัสของโครโมโซมและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทางพันธุกรรม การพิจารณาข้อบกพร่องของการปฏิบัติการแบบ crossover ที่ทั่วโลกดำเนินการค้นหา คือ partheno-crossover ซึ่งเป็น crossover แบบใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุง GA วัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดตัวกรองที่สามารถตอบสนองได้ดีกับรถยนต์มากกว่าวัตถุที่ไม่ใช่รถยนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค GA โดยทั่วไปกับการกรองด้วย gabor โดยการใช้ IGA พบว่าแบบ IGA สามารถตรวจหารถยนต์ได้ดีและมีความแม่นยำมากกว่า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย และขั้นตอนการพัฒนากระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์ โดยใช้วิธีการ Fourier-Mellin Transform ซึ่งเป็นวิธีการที่นำกระบวนการของ Fast Fourier Transform (FFT) algorithm ร่วมกับกระบวนการ Log-Polar mapping เหตุผลที่ใช้วิธีการ Fourier-Mellin Transform เนื่องจากสามารถช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของการปรับขนาดและการหมุนของภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ภาพถ่ายรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ได้แก่

รุ่น Yaris ปี 2006

รุ่น Altis ปี 2008

รุ่น Vios ปี 2007

รุ่น Wish ปี 2004

รุ่น Camry ปี 2006

ฐานข้อมูลภาพเป็นภาพรถยนต์ถ่ายเดี่ยวเต็มคันทางด้านหน้าในแนวระนาบ ที่ปรากฏกระจังและไฟหน้าทั้งสองข้าง ทั้งนี้ภาพรถยนต์ดังกล่าวไม่ใช่รถยนต์ที่มีการแต่งสีหรือรูปทรงรถเพิ่มเติม

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก CPU Intel(R) Core(TM) i3 ความเร็ว 2.13 GHz หน่วยความจำหลัก DDR RAM ความจุ 2.00 GB

4.2.2 กล้องดิจิทัล Canon รุ่น 350D ความละเอียด 8 ล้านพิกเซล

3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย

4.3.1 ระบบปฏิบัติการ Windows 7

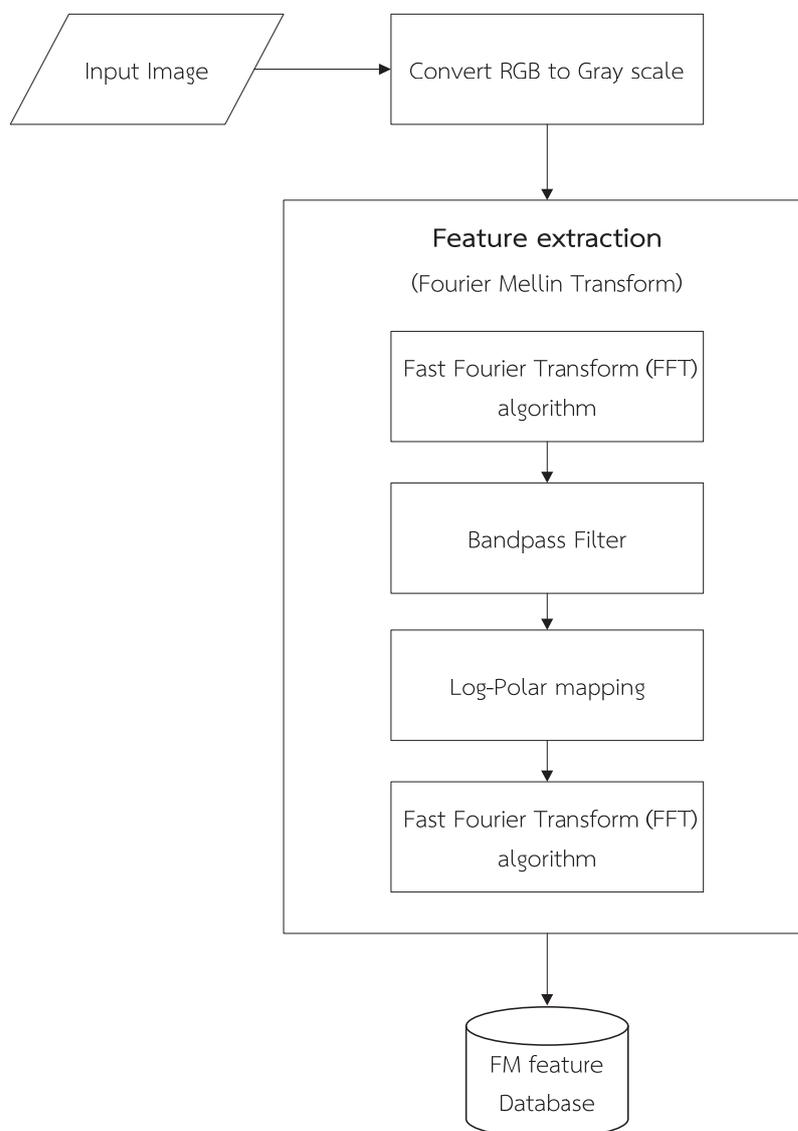
4.3.2 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนา MATLAB R2009b

4.3.3 โปรแกรมกราฟฟิก Adobe Photoshop CS

งานวิจัยนี้แบ่งกระบวนการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องและกระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์ ซึ่งคุณลักษณะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์ ได้แก่ กระจกหน้า ไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้า

3.4 กระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง

กำหนดขั้นตอนการทำงานของระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการทำงาน of ระบบไว้ ดังภาพที่ 3.1

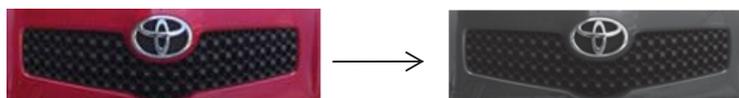


ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง

จากภาพที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเรียนรู้ของเครื่องดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลภาพเข้ามายังระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ ซึ่งเป็นภาพกระจกหน้าไฟหน้า และกระจกพร้อมกับไฟของรถยนต์โดยด้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาด 256x256 พิกเซล โดยภาพที่ใช้ในการเรียนรู้ของระบบจะใช้ภาพจำนวน 200 ภาพ แบ่งเป็นรุ่นของรถยนต์รุ่นละ 40 ภาพ

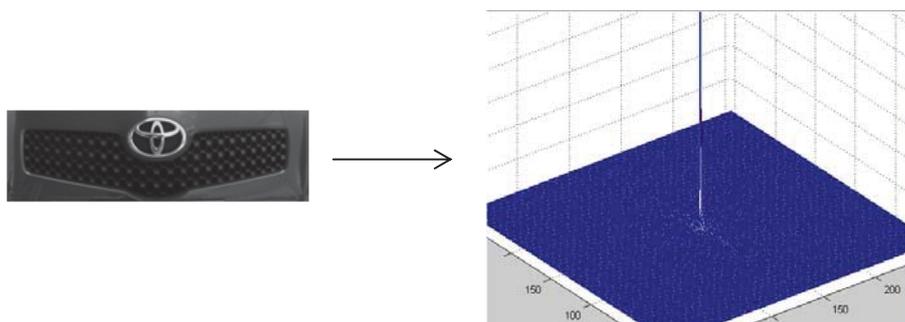
ขั้นตอนที่ 2 ทำการแปลงภาพจากสีเป็นโทนเทา เป็นกำจัดข้อมูลของสีและความอึมตัวของสีออกในขณะที่ยังรักษารายละเอียดด้านแสงและเงาไว้เพื่อลดเวลาในการทำงานของระบบ ซึ่งมีจำนวนบิตทั้งหมด 8 บิต ต่อ 1 pixel ของข้อมูล มีค่าความแตกต่าง 256 ค่า (0-255) ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงการแปลงภาพจากสีเป็นโทนเทา

ขั้นตอนที่ 3 ทำการแปลงภาพจากโทนเทาเป็นภาพเชิงความถี่โดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform)

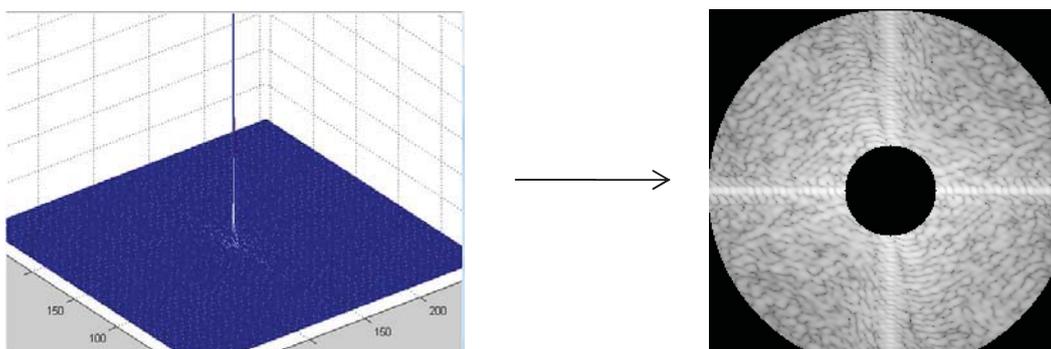
หลังจากทำการแปลงภาพสีเป็นโทนเทาแล้วต่อมานำภาพดังกล่าวมาทำการแปลงให้อยู่ในเชิงความถี่ ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าภาพที่มีรายละเอียดหรือลวดลายของภาพมาก น่าจะมีความถี่ที่มากเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้อัลกอริทึมของ Fast Fourier Transform (FFT) เข้ามาช่วยในการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นข้อมูลภาพในเชิงความถี่ อีกทั้งยังมีความคงทนต่อการเคลื่อนตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงการแปลงภาพจากโทนเทาเป็นภาพเชิงความถี่โดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ (fourier transform)

ขั้นตอนที่ 4 การกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธีตัวกรองแบบแถบผ่านความถี่ (Bandpass Filter)

หลังจากที่ทำการ Fast Fourier Transform (FFT) แล้ว ต่อไปต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธีตัวกรองแบบแถบผ่านความถี่เพื่อกรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้น ความถี่ที่สูงกว่าหรือความถี่ที่ต่ำกว่าไม่สามารถที่จะผ่านไปได้ เนื่องจากความถี่ในกรณีที่ต่ำมากอาจจะเป็นในพื้นที่ส่วนที่ไม่ได้ให้ความสำคัญ เช่น พื้นที่ที่เป็นพื้นผิวของภาพรถยนต์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีน้อยมาก และกรณีที่ความถี่สูงเกินไปอาจจะเป็นสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ได้ให้ความสำคัญเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีตัวกรองแบบแถบผ่านความถี่ทั้งนี้จึงได้มีการระบุช่วงผ่านความถี่มีค่าเท่ากับ 0.1 ถึง 0.8 โดยที่ค่าความถี่ของข้อมูลภาพที่ได้จากการการแปลงฟูเรียร์ทั้งหมดนั้นคือ 1 ดังภาพที่ 3.4

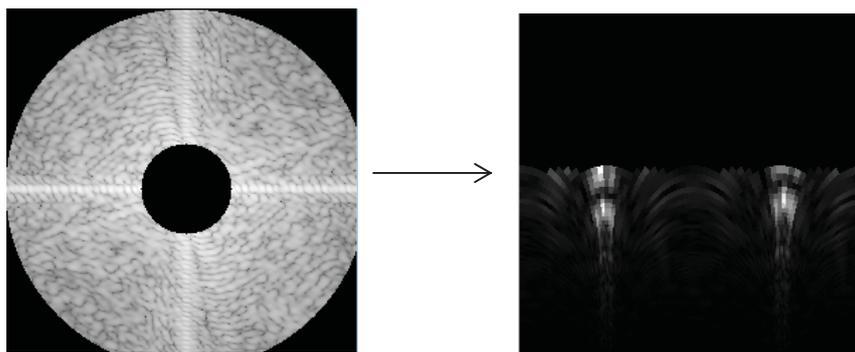


ภาพที่ 3.4 แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธีตัวกรองแบบแถบผ่านความถี่ (bandpass filter)

ขั้นตอนที่ 5 การพล็อตลงในกราฟ Log

เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและการหมุนโดยดำเนินการจัดทำแผนทีลือกซ์ซ์ของภาพและขั้นตอนในการปรับแก้ความถูกต้องทางตำแหน่งนั้นสามารถกำหนดวิธีการประมาณค่าความสว่างของจุดภาพได้ 3 วิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการการประมาณค่าแบบตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Interpolation : NN) เนื่องจากการประมาณค่าความสว่างของจุดภาพมีผลทำให้

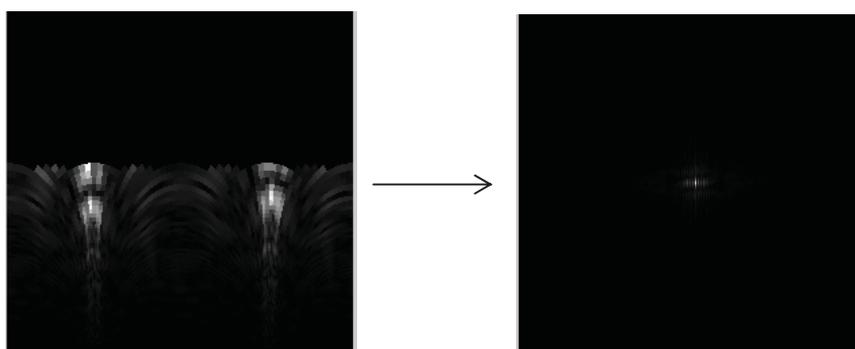
คุณภาพของภาพหลังการประมาณค่าความสว่างของจุดภาพด้วยวิธี nearest neighbor มีคุณภาพเทียบเท่ากับภาพต้นฉบับมากที่สุด (รุ่งรัตน์ อุปการ, 2552) ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงการพล็อตลงในกราฟ log

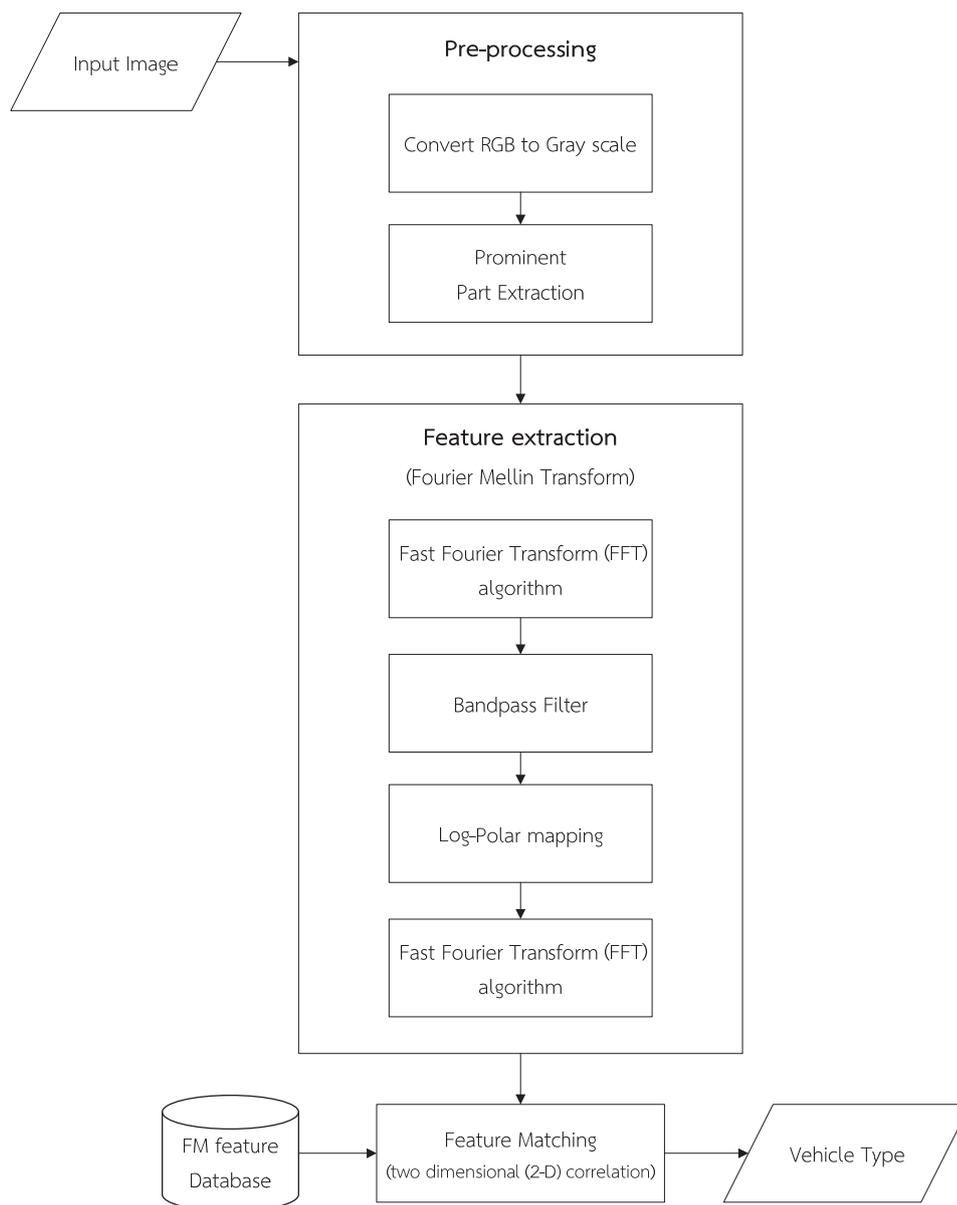
ขั้นตอนที่ 6 การนำกราฟ Log กลับมาแปลงแบบฟูรีเยร์ (Fourier Transform)

การนำกราฟ log กลับมาแปลงแบบฟูรีเยร์อีกครั้งเพื่อแก้ปัญหาเรื่องการเคลื่อนตำแหน่งของภาพพร้อมทั้งเลื่อนความถี่ที่มีค่าเป็นศูนย์มาไว้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของสเปกตรัมเพราะว่าการพล็อตกราฟ log นั้นจะทำให้ภาพมีการเคลื่อนที่ออกไปจากศูนย์กลางตามการเปลี่ยนแปลงของการหมุนหลังจากนั้นนำคุณลักษณะที่ได้จากกระบวนการ fourier mellin เก็บไว้ในฐานข้อมูล (FM feature database) ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แสดงการนำกราฟ log กลับมาแปลงแบบฟูรีเยร์ (fourier transform)

3.5 กระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์



ภาพที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์

จากภาพที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการจำแนกรุ่นรถยนต์ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การนำข้อมูลภาพเข้ามายังระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์ ซึ่งเป็นภาพด้านหน้าของรถยนต์โดยด้า ประเภทรถยนต์นี้มีส่วนบุคคลที่มีความกว้างขนาด 500 พิกเซล

ขั้นตอนที่ 2 ทำการแปลงภาพจากสีเป็นโทนเทา เป็นกำจัดข้อมูลของสีและความอิ่มตัวของสีออกในขณะที่ยังรักษารายละเอียดด้านแสงและเงาไว้เพื่อลดเวลาในการทำงานของระบบ ซึ่งมีจำนวนบิตทั้งหมด 8 บิต ต่อ 1 พิกเซล ของข้อมูลมีค่าความแตกต่าง 256 ค่า (0-255)

ขั้นตอนที่ 3 ทำการแบ่งส่วนของภาพ เพื่อให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้ (ข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนกับข้อมูลตัวอย่าง) โดยใช้หลักในการหาสมการเชิงเส้น คือ สมการที่แต่ละพจน์มีเพียงค่าคงตัวหรือเป็นผลคูณระหว่างค่าคงตัวกับตัวแปรยกกำลังหนึ่งซึ่งจะมีดีกรีของพหุนามเท่ากับ 0 หรือ 1 สมการเหล่านี้เรียกว่า "เชิงเส้น" เนื่องจากสามารถวาดกราฟของฟังก์ชันบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้เป็นเส้นตรงรูปแบบทั่วไปของสมการเชิงเส้นในตัวแปร x และ y คือ

$$y = mx + b \quad (2.1)$$

โดยการการแบ่งส่วนของภาพจะมีรับค่าข้อมูลจาก 4 จุด ที่กำหนดแล้วทำการพล็อตแบบ linspace ดังภาพที่ 3.8 ซึ่งเป็นฟังก์ชันในการสร้างเซตที่มีโครงสร้างทางพีชคณิตโดยสามารถนำสมาชิกภายในเซตมาบวกกันได้และสามารถคูณด้วยปริมาณสเกลาร์ได้ซึ่งเป็นคุณสมบัติของความเป็นเชิงเส้นเพื่อให้ข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมา (ข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนกับข้อมูลตัวอย่าง) แล้วทำให้ข้อมูลในส่วนที่ไม่ต้องการเป็นสีดำ



ภาพที่ 3.8 แสดงการแบ่งส่วนของภาพด้วยมือในส่วนกระจัง

จากนั้นนำข้อมูลของภาพที่ทำการแบ่งส่วนของภาพออกมาใส่ไว้ในบล็อกขนาด 256x256 พิกเซล (ขนาดของภาพเท่ากับข้อมูลตัวอย่าง) เพื่อเข้าสู่กระบวนการ Fast Fourier Transform (FFT) ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แสดงภาพที่ทำการแบ่งส่วนของภาพออกมาใส่ไว้ในบล็อกขนาด 256x256 พิกเซล

ขั้นตอนที่ 4 การนำข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการเข้าสู่กระบวนการแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform)

หลังจากทำการแปลงภาพสีเป็นโทนเทาแล้ว ต่อมานำภาพดังกล่าวมาทำการแปลงให้อยู่ในเชิงความถี่ ซึ่งตามทฤษฎีภาพที่มีรายละเอียดหรือลวดลายของภาพมาก ควรจะมีความถี่ที่มากเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้อัลกอริทึมของ Fast Fourier Transform (FFT) เข้ามาช่วยในการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นข้อมูลภาพในเชิงความถี่อีกทั้งยังมีความคงทนต่อการเคลื่อนตำแหน่ง

ขั้นตอนที่ 5 การกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธีตัวกรองแบบแถบผ่านความถี่ (Bandpass Filter)

หลังจากที่ทำการ Fast Fourier Transform (FFT) แล้ว ต่อไปต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้วิธีตัวกรองแบบแถบผ่านความถี่เพื่อกรองความถี่ที่ให้ผ่านได้เฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้น ความถี่ที่สูงกว่าหรือความถี่ที่ต่ำกว่าไม่สามารถที่จะผ่านไปได้ ซึ่งความถี่ในกรณีนี้ที่ต่ำมากอาจเกิดขึ้นในพื้นที่ส่วนที่ไม่ได้ให้ความสำคัญ เช่น พื้นที่ที่เป็นพื้นผิวของภาพรถยนต์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีน้อยมาก และกรณีที่มีความความถี่สูงเกินไปอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ได้ให้ความสำคัญเช่นกัน ทั้งนี้จึงได้มีการระบุช่วงผ่านความถี่มีค่าเท่ากับ 0.1 ถึง 0.8 โดยที่ค่าความถี่ของข้อมูลภาพที่ได้จากการทำ fourier transform ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 6 การพล็อตลงในกราฟ Log

เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและการหมุนโดยดำเนินการจัดทำแผนที่ล็อกซ์ของภาพ และขั้นตอนในการปรับแก้ความถูกต้องทางตำแหน่งนั้น สามารถกำหนดวิธีการประมาณค่าความสว่างของจุดภาพได้ 3 วิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการการประมาณค่าแบบตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Interpolation : NN) เนื่องจากการประมาณค่าความสว่างของจุดภาพมีผลทำให้คุณภาพของภาพหลังการประมาณค่าความสว่างของจุดภาพด้วยวิธี nearest neighbor มีคุณภาพเทียบเท่ากับภาพต้นฉบับมากที่สุด (รุ่งรัตน์ อุปการ, 2552)

ขั้นตอนที่ 7 การนำกราฟ Log กลับมาแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform)

การนำกราฟ log กลับมาแปลงแบบฟูเรียร์อีกครั้งเพื่อแก้ปัญหาเรื่องการเคลื่อนตำแหน่งของภาพพร้อมทั้งเลื่อนความถี่ที่มีค่าเป็นศูนย์มาไว้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของสเปกตรัม เพราะว่าการพล็อตกราฟ log นั้นจะทำให้ภาพมีการเคลื่อนที่ออกไปจากศูนย์กลางตามการเปลี่ยนแปลงของการหมุน

ขั้นตอนที่ 8 การ Feature Matching

หลังจากที่ได้กราฟ log มาจากขั้นตอนที่ 7 แล้ว จากนั้นจะทำการจับคู่ข้อมูลของภาพที่ทำการทดสอบกับภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งถ้าค่าดังกล่าวมีค่ามากที่สุดหรือว่าใกล้ 1 มากที่สุดจะเป็นตัวชี้วัดที่มีความคล้ายกันมากที่สุดเพื่อทำการจำแนกรุ่นของรถยนต์โดยวิธีการ two dimensional (2-D) correlation ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการจับคู่ข้อมูลของภาพที่อยู่ในรูปเชิงความถี่ที่ได้ผลลัพธ์ที่ดี ดังสมการที่ 3.1

$$\text{corr}(FM_1, FM_2) = \frac{\sum_m \sum_n (FM_{1mn} - \overline{FM_1})(FM_{2mn} - \overline{FM_2})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (FM_{1mn} - \overline{FM_1})^2)(\sum_m \sum_n (FM_{2mn} - \overline{FM_2})^2)}} \quad (3.1)$$

โดยที่	$\overline{FM_1}$	คือ	ข้อมูลภาพที่นำเข้ามาทดสอบ
	$\overline{FM_2}$	คือ	ข้อมูลภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล
	$\overline{FM_1}, \overline{FM_2}$	คือ	ค่าเฉลี่ยของ FM_1 และ FM_2
	$\overline{FM}_i = \{FM_{imn}\}, m=1,2,\dots,N. n=1,2,\dots,N. i=1,2. N=256.$		

จากสมการที่ 3.1 ทำการหาผลรวมของเมตริกซ์ขนาด $m \times n$ ที่ได้จากข้อมูลภาพที่นำเข้ามาทดสอบลบด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพที่นำเข้ามาทดสอบคูณกับข้อมูลภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลลบด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นหารด้วยรากที่สองของผลรวมของเมตริกซ์ขนาด $m \times n$ ที่ได้จากข้อมูลภาพที่นำเข้ามาทดสอบลบด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพที่นำเข้ามาทดสอบยกกำลังสองคูณกับผลรวมของเมตริกซ์ขนาด $m \times n$ ที่ได้จากข้อมูลภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลลบด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งถ้าค่าดังกล่าวมีค่ามากที่สุดหรือว่าใกล้ 1 มากที่สุดจะเป็นตัวชี้วัดที่มีความคล้ายกันมากที่สุด

3.6 การประเมินผล

งานวิจัยนี้ใช้ภาพด้านหน้าของรถยนต์โตโยต้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยภาพที่ใช้ในการเรียนรู้ของระบบจะใช้ภาพจำนวน 200 ภาพ แบ่งเป็นรุ่นของรถยนต์รุ่นละ 40 ภาพ และใช้ในการทดสอบระบบ รุ่นละ 20 ภาพ โดยแบ่งการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ กระจกหน้า ไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้า (การเปรียบเทียบทั้งสามส่วนแต่ละรุ่นใช้ภาพเดียวกัน) เพื่อหาความแตกต่างของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในการประเมินความถูกต้องของการทดสอบการจำแนกภาพของรถยนต์ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยคำนวณค่าร้อยละความถูกต้องในการจำแนกภาพของรถยนต์แต่ละรุ่น และค่าร้อยละความถูกต้องในการจำแนกภาพของรถยนต์โดยรวม ซึ่งการคำนวณค่าดังกล่าวปรากฏดังสมการ

$$\text{ร้อยละของความถูกต้อง} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ให้ผลลัพธ์ได้ถูกต้อง} \times 100}{\text{จำนวนครั้งที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด}}$$

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้จะกล่าวถึงผลการจำแนกรุ่นรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ทำการทดสอบกับภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งถ้าค่าดังกล่าวมีค่ามากที่สุดหรือว่าใกล้ 1 มากที่สุดจะเป็นตัวชี้วัดว่ามีความคล้ายกันมากที่สุดเพื่อทำการจำแนกรุ่นของรถยนต์โดยวิธีการ two dimensional (2-D) correlation ภาพที่ใช้ในการทดสอบระบบ จำนวน 5 รุ่น รุ่นละ 20 ภาพ โดยแบ่งการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ กระจกหน้า ไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟ เพื่อหาความแตกต่างของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองสามารถจำแนกรุ่นของรถยนต์ได้ โดยมีร้อยละความถูกต้อง ดังนี้

ตารางที่ 4.1 การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจกหน้า

รุ่นรถยนต์	จำนวนภาพที่ทดสอบ	ผลการทดลอง		ร้อยละความถูกต้อง
		ถูก	ผิด	
Altis	20	16	4	80
Camry	20	16	4	80
Vios	20	15	5	75
Wish	20	19	1	95
Yaris	20	20	-	100
ผลทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจกหน้ามีความถูกต้องร้อยละ				86

จากตารางที่ 4.1 แสดงการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจกหน้าของรุ่นรถยนต์จำนวน 5 รุ่น พบว่ามีประสิทธิภาพความถูกต้องในการจำแนกรุ่นรถยนต์ คิดเป็นร้อยละ 86 ซึ่งการจำแนกรุ่นของรถยนต์ด้วยคุณลักษณะจากกระจกหน้า รถยนต์รุ่น Yaris มีประสิทธิภาพความถูกต้องมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 100 รองลงมาคือ รุ่น Wish ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 95 รุ่น Altis และ Camry ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 80 และรุ่น Vios ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 75 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากไฟหน้า

รุ่นรถยนต์	จำนวนภาพที่ทดสอบ	ผลการทดลอง		ร้อยละความถูกต้อง
		ถูก	ผิด	
Altis	20	12	8	60
Camry	20	7	13	35
Vios	20	7	13	35
Wish	20	15	5	75
Yaris	20	13	7	65
ผลทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากไฟหน้า มีความถูกต้องร้อยละ				54

จากตารางที่ 4.2 แสดงการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากไฟหน้าของรุ่นรถยนต์จำนวน 5 รุ่น พบว่ามีประสิทธิภาพความถูกต้องในการจำแนกรุ่นรถยนต์ คิดเป็นร้อยละ 54 ซึ่งการจำแนกรุ่นของรถยนต์ด้วยคุณลักษณะจากไฟหน้า รถยนต์รุ่น Wish มีประสิทธิภาพความถูกต้องมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 75 รองลงมาคือ รุ่น Yaris ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 65 รุ่น Altis ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 60 รุ่น Camry และ Vios ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 35 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้า

รุ่นรถยนต์	จำนวนภาพที่ทดสอบ	ผลการทดลอง		ร้อยละความถูกต้อง
		ถูก	ผิด	
Altis	20	3	17	15
Camry	20	3	17	15
Vios	20	16	4	80
Wish	20	16	4	80
Yaris	20	7	13	35
ผลทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้า มีความถูกต้องร้อยละ				45

จากตารางที่ 4.3 แสดงการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจหน้าร่วมกับไฟหน้าของรุ่นรถยนต์ จำนวน 5 รุ่น พบว่ามีประสิทธิภาพความถูกต้องในการจำแนกรุ่นรถยนต์ คิดเป็นร้อยละ 45 ซึ่งการจำแนกรุ่นของรถยนต์ด้วยคุณลักษณะจากกระจหน้าร่วมกับไฟหน้า รถยนต์รุ่น Vios และ Wish มีประสิทธิภาพความถูกต้องมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 80 รองลงมาคือ รุ่น Yaris ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 35 และรุ่น Altis และ Camry ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 15 ตามลำดับ

จากผลการทดลองการการจำแนกรุ่นรถยนต์ที่ห้้อโตโยต้า ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จำนวน 5 รุ่น รุ่นละ 20 ภาพ โดยแบ่งการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ กระจหน้า ไฟหน้า และกระจหน้าร่วมกับไฟหน้า (การเปรียบเทียบทั้งสามส่วนแต่ละรุ่นใช้ภาพเดียวกัน) ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าการเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจหน้ามีประสิทธิภาพความถูกต้องอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 86

ระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลินมีส่วนติดต่อผู้ใช้และการทำงานของโปรแกรม ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะของการจำแนกรุ่นรถยนต์ประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยใช้ส่วนประกอบที่เด่นชัดของภาพซึ่งนำเทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลินมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน ผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จตรงตามความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จากผลการทดลองการจำแนกรุ่นรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้าประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยใช้ส่วนประกอบที่เด่นชัดของภาพ ได้แก่ กระจกหน้า ไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟหน้า จำนวน 5 รุ่น รุ่นละ 20 ภาพ ซึ่งแบ่งการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ กระจกหน้าไฟหน้า และกระจกหน้าร่วมกับไฟ จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจกหน้ามีประสิทธิภาพความถูกต้องอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 86

5.2 อภิปรายผล

จากผลการทดลองนั้นสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากกระจกหน้ามีประสิทธิภาพความถูกต้องอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 86 เนื่องจากกระจกหน้าของรถยนต์แต่ละรุ่นนั้นมีความถี่ของข้อมูลภาพที่มีความแตกต่างกันมากจึงทำให้สามารถจำแนกรุ่นของรถยนต์ได้ดีที่สุด

การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากไฟหน้ามีประสิทธิภาพความถูกต้องอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 54 เนื่องจากไฟหน้าของรถยนต์แต่ละรุ่นนั้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อยจึงส่งผลให้ค่าความถี่ของข้อมูลภาพมีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย จึงทำให้ระบบไม่สามารถจำแนกรุ่นของรถยนต์ได้ดีเท่าที่ควร

การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะจากไฟหน้าร่วมกับกระจังหน้ามีประสิทธิภาพความถูกต้องอยู่ในระดับน้อย คิดเป็นร้อยละ 45 เนื่องจากไฟหน้าร่วมกับกระจังหน้าของรถยนต์แต่ละรุ่นนั้นมีค่าความถี่ของข้อมูลภาพที่มีความแตกต่างกันน้อยเพราะยังมีพื้นที่ระหว่างกระจังหน้าและไฟหน้าที่มีความแตกต่างกันน้อยมากจึงส่งผลให้ความสามารถในการจำแนกรุ่นของรถยนต์น้อยไปด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบงานจริงจึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.3.1 ระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน จะเห็นได้ว่าข้อมูลภาพของรถยนต์เป็นภาพถ่ายเต็มคันทางด้านหน้า ซึ่งอาจพัฒนาเพิ่มเติมให้ระบบสามารถจำแนกรุ่นรถยนต์โดยมีแค่ภาพบางส่วนของกระจังหน้าหรือไฟหน้าเท่านั้น

5.3.2 อาจพัฒนาเพิ่มเติมให้ระบบสามารถจำแนกรายละเอียดเพิ่มเติมลงไปด้วยว่าเป็นรถยนต์รุ่นไหนและปีอะไร

5.3.3 การประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งต่อไปอาจเสริมความสามารถของระบบการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยทำการแบ่งส่วนของภาพแบบอัตโนมัติ

5.3.4 งานวิจัยในครั้งนี้อาจพัฒนาภาพที่นำมาทดสอบมีจำนวนจำกัด สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งต่อไปอาจทดสอบกับฐานข้อมูลภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งอาจจะได้ผลลัพธ์ในการจำแนกรุ่นของรถยนต์ที่ดีขึ้นอีก

บรรณานุกรม

- จันทร์ต้น สัตยผาติ และ ภูริชญา ศรีสุข. (2551). “ระบบค้นคืนสารสนเทศประเภทรูปภาพด้วยเทคนิคการทำคำอธิบายประกอบรูปภาพ.” ปรินญาณิพนธ์บัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ชมรมคนรักรถ. (2010). **Toyota altis**. Accessed February 7. Available from <http://www.car2care.com/forum/viewtopic.aspx?page=2&t=7039>
- ดร.ปริญญา สงวนสัตย์. (2553). **คู่มือ MATLAB ฉบับสมบูรณ์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : ไอทีซีฯ.
- รุ่งรัตน์ อุประการ. (2552). “การประเมินคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมธีออสหลังการประมาณค่าความสว่างของจุดภาพ.” โครงการพิเศษ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- รถมือสอง. (2010). **Toyota soluna vios**. Accessed February 7. Available from <http://www.one2car.com/CarInfor/cardetails.aspx?caridx=I30090249&row=2>
- รถมือสอง. (2010). **Toyota wish**. Accessed February 7. Available from <http://www.one2car.com/CarInfor/cardetails.aspx?caridx=H12090483&row=2>
- รถมือสอง. (2010). **Totota yaris**. Accessed February 7. Available from <http://www.one2car.com/CarInfor/cardetails.aspx?caridx=L17090265&row=2>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2010). **การรู้จำภาพ**. Accessed January 31. Available from <http://th.wikipedia.org/wiki/การรู้จำภาพ>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2010). **นิติวิทยาศาสตร์**. Accessed January 31. Available from <http://th.wikipedia.org/wiki/นิติวิทยาศาสตร์>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2010). **สมการเชิงเส้น**. Accessed January 31. Available from <http://th.wikipedia.org/สมการเชิงเส้น>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2010). **พุดคุย: โอซีอาร์**. Accessed February 5. Available from <http://th.wikipedia.org/wiki/>
- สิทธิโชค ยอดระยับ. (2550). **การเขียนโปรแกรม Digital Image Processing ด้วย Visual Basic**. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

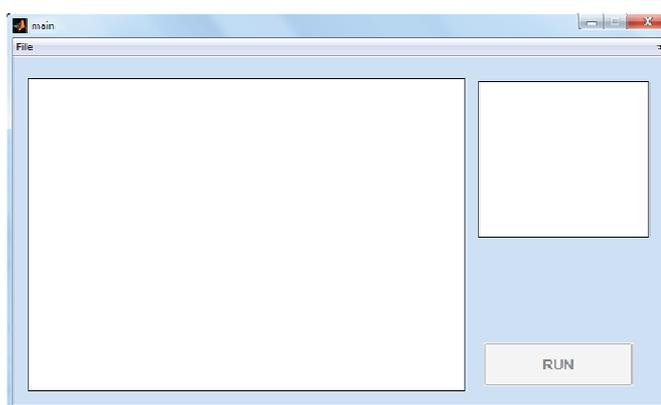
- อเนก กิจฉลอง. (2553). “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบพื้นลายรองเท้า.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- CAR CRAZY. (2010). **Toyota camry**. Accessed February 7. Available from <http://cars.gidblog.com/2007/08/04/camry-price-increase/>
- Gueham, and others. (2008). “Automatic Recognition of Shoeprints Using Fourier-Mellin Transform.” In **NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems**, no. 2008.48 : 487-491.
- Han, and others. (2006). “A Two-Stage Approach to People and Vehicle Detection With HOG-Based SVM.” In **PerMIS proceeding**, no : 133-140.
- Han Sungji, Han Youngjoon and, Hahn. (2009). “Vehicle Detection Method using Haar-like Feature on Real Time System.” In **World Academy of Science, Engineering and Technology**, no. 59: 455-459.
- Image Processing3. (2012). **Image Restoration**. Accessed May 15. Available from <http://www.scribd.com/doc/44698484/>
- ISAN-DSP Group. (2011). **Image Enhancement in the Spatial domain**. Accessed January 9.
- Jin, Long, and Zhang. (2007). “The Improved Genetic Algorithm Used to Optimize Gabor Filters for Vehicle Detection.” In **Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering** (October 15-16). Chengdu, China.
- Riaan van den Dool. (2011). **Fourier-Mellin Transform**. Accessed February 14. Available from <http://students.ee.sun.ac.za/~riaanvdd/index.htm>
- S.Arivazhagan, K.Gowriand, and L.Ganesan. (2010). “Rotation and Scale-Invariant Texture Classification using Log-Polar and Ridgelet Transform.” In **Journal of Pattern Recognition Research 1**: 131-139.

- Sun, Bebis, and Miller. (2002). "Improving the Performance of On-Road Vehicle Detection by Combining Gabor and Wavelet Features." In **The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems** (September 3-6). Singapore.
- Thiang, Guntoro, and Lim. (2001). "Type of Vehicle Recognition Using Template Matching Method." In **Proceedings of the International Conference on Electrical, Electronics, Communication, and Information CECI'2001** (March 7-8). Jakarta.
- Tsai, Hsieh, and Fan. (2007). "Vehicle Detection Using Normalized Color and Edge Map." In **IEEE Transactions on Image Processing vol. 16 no. 3** (March).
- Umbaugh. (2005). **Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing**. Chapter 5, Discrete Transforms.
- Yunqiong, Zhifang, and Fei. (2007). "A Fast Coarse-to-Fine Vehicle Logo Detection and Recognition Method." In **Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics** (December 15 -18). Sanya, China.
- Zhaoyu, Pingping, and Changjiu. (2008). "Automatic Detection of Salient Object based on Multi-features." In **Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application**.

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม

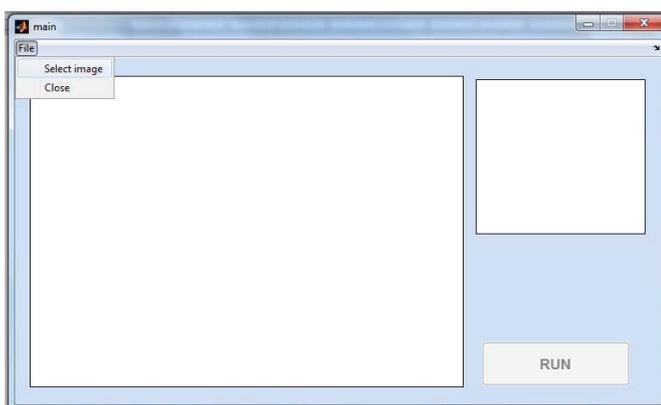
ขั้นตอนที่ 1 : ทำการรันโปรแกรม



ภาพผนวก ก.1 แสดงการรันโปรแกรม

จากภาพผนวก ก.1 แสดงการรันโปรแกรมการจำแนกรุ่นรถยนต์โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เมลลิน

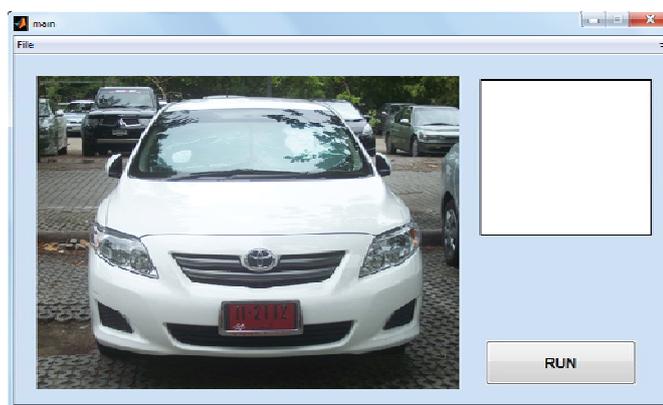
ขั้นตอนที่ 2 : ไปที่เมนู File เลือก Select image เพื่อนำภาพเข้ามาทดสอบ



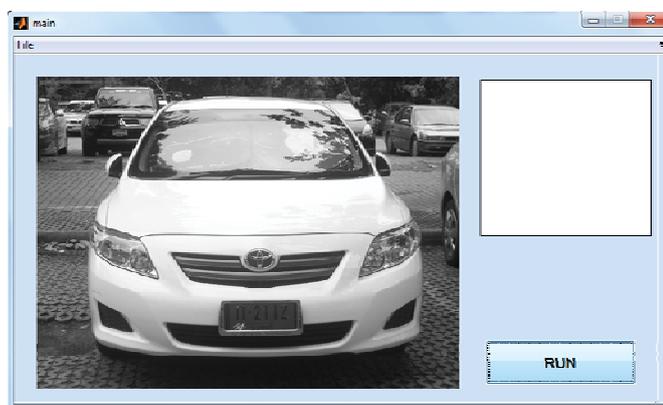
ภาพผนวก ก.2 แสดงการเลือก Select image เพื่อนำภาพเข้ามาทดสอบ

จากภาพผนวก ก.2 แสดงการเลือกภาพที่ต้องการเพื่อนำภาพเข้ามาทดสอบการจำแนกรุ่นรถยนต์

ขั้นตอนที่ 3 : เมื่อได้ภาพที่ต้องการทดสอบ จากนั้นกด RUN เพื่อแปลงภาพจาก RGB เป็น Grayscale



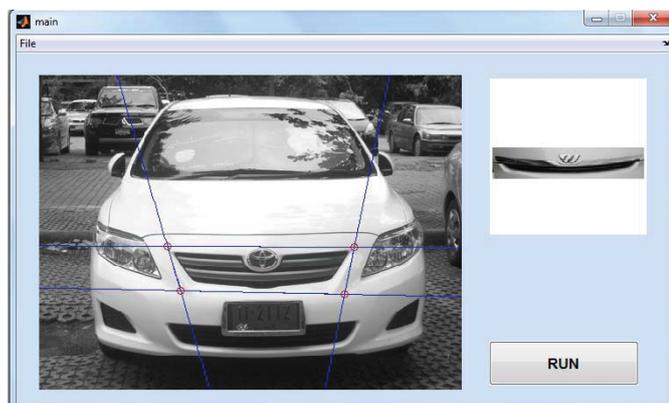
ภาพผนวก ก.3 แสดงภาพที่ต้องการทดสอบเข้ามายังระบบ



ภาพผนวก ก.4 แสดงภาพที่ผ่านการแปลงจาก RGB เป็น Grayscale

จากภาพผนวก ก.3 แสดงภาพที่ต้องการเพื่อนำภาพเข้ามาทดสอบการจำแนกรุ่นรถยนต์ และ ก.4 แสดงการกดปุ่ม RUN เพื่อทำการแปลงภาพจาก RGB เป็น Grayscale

ขั้นตอนที่ 4 : ทำการแบ่งส่วนของภาพด้วยมือ



ภาพผนวก ก.5 แสดงการแบ่งส่วนของภาพด้วยมือ ในส่วนของกระจังหน้า

จากภาพผนวก ก.5 แสดงการแบ่งส่วนของภาพด้วยมือ โดยการเลือกจุดจำนวน 4 จุด รอบคุณลักษณะที่ต้องการ (ได้แก่ กระจังหน้า ไฟหน้า หรือกระจังหน้าร่วมกับไฟหน้า) จากภาพผนวก ก.5 แสดงตัวอย่างการแบ่งส่วนของภาพในส่วนของกระจังหน้า

ขั้นตอนที่ 5 : ระบบทำการการเปรียบเทียบกับค่าความถี่ของความเข้มสีกับภาพในฐานข้อมูล



ภาพผนวก ก.6 แสดงผลการจำแนกรุ่นรถยนต์

จากภาพผนวก ก.6 แสดงผลการจำแนกรุ่นรถยนต์ของภาพที่นำมาทดสอบกับภาพที่จัดเก็บในฐานข้อมูล

ภาคผนวก ข

ผลการจำแนกข้อมูลกระจัง

ตารางผนวก ข.1 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Altis

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9550	1
2		 corr=0.9747	1
3		 corr=0.9595	1
4		 corr=9433	0

ตารางผนวก ข.1 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
5		 corr=0.9574	1
6		 corr=0.9479	1
7		 corr=0.9409	1
8		 corr=0.9676	1
9		 corr=9591	1
10		 corr=0.9609	1

ตารางผนวก ข.1 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
11		 corr=0.9272	1
12		 corr=0.9432	1
13		 corr=0.9469	1
14		 corr=0.9676	0
15		 corr=0.9440	1
16		 corr=0.9439	1

ตารางผนวก ข.1 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักรุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจักรั้ว	ความถูกต้อง
17		 corr=0.9340	0
18		 corr=0.9534	1
19		 corr=0.8926	0
20		 corr=0.9568	1

ตารางผนวก ข.2 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักรุ่น Camry

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจักรั้ว	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9534	1

ตารางผนวก ข.2 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักรุ่น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจักรุ่น	ความถูกต้อง
2		 corr= 0.9542	1
3		 corr= 0.9456	1
4		 corr=0.9399	1
5		 corr=0.9700	1
6		 corr=0.9442	0
7		 corr=0.9444	1

ตารางผนวก ข.2 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักรุ่น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจักรั้ว	ความถูกต้อง
8		 corr=0.9603	1
9		 corr=0.9464	1
10		 corr=0.9442	1
11		 corr=0.9474	1
12		 corr=0.9521	0
13		 corr=0.9504	1

ตารางผนวก ข.2 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
14		 corr=0.9415	1
15		 corr=0.9610	1
16		 corr=0.9618	1
17		 corr=0.9467	1
18		 corr=0.9479	0
19		 corr=0.9430	1

ตารางผนวก ข.2 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักรุ่น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจักรั้ว	ความถูกต้อง
20		 corr=0.9378	0

ตารางผนวก ข.3 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักรุ่น Vios

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจักรั้ว	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9898	1
2		 corr=0.9558	1
3		 corr=0.9520	0
4		 corr=0.9862	1

ตารางผนวก ข.3 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
5		 corr=0.9503	1
6		 corr=0.9577	1
7		 corr=0.9628	1
8		 corr=0.9719	1
9		 corr=0.9296	0

ตารางผนวก ข.3 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
10		 corr=0.9610	1
11		 corr=0.9692	1
12		 corr=0.9665	1
13		 corr=0.9218	0
14		 corr=0.9410	0

ตารางผนวก ข.3 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
15		 corr=0.9444	1
16		 corr=0.9491	0
17		 corr=0.9639	1
18		 corr=0.9648	1
19		 corr=0.9562	1
20		 corr=0.9609	1

ตารางผนวก ข.4 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Wish

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9405	1
2		 corr=0.9475	1
3		 corr=0.9468	1
4		 corr=0.9553	1
5		 corr=0.9574	1

ตารางผนวก ข.4 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
6		 corr=0.9505	1
7		 corr=0.9419	1
8		 corr=0.9221	0
9		 corr=0.9551	1
10		 corr=0.9421	1
11		 corr=0.9729	1

ตารางผนวก ข.4 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
12		 corr=0.9457	1
13		 corr=0.9407	1
14		 corr=0.9490	1
15		 corr=0.9595	1
16		 corr=0.9613	1

ตารางผนวก ข.4 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
17		 corr=0.9368	1
18		 corr=0.9546	1
19		 corr=0.9396	1
20		 corr=0.9425	1

ตารางผนวก ข.5 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Yaris

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9619	1
2		 corr=0.9355	1
3		 corr=0.9450	1
4		 corr=0.9509	1
5		 corr=0.9553	1
6		 corr=0.9288	1

ตารางผนวก ข.5 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
7		 corr=0.9502	1
8		 corr=0.9400	1
9		 corr=0.9604	1
10		 corr=0.9461	1
11		 corr=0.9458	1

ตารางผนวก ข.5 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
12		 corr=0.9412	1
13		 corr=0.9504	1
14		 corr=0.9449	1
15		 corr=0.9503	1
16		 corr=0.9568	1

ตารางผนวก ข.5 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังรุ่น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง	ความถูกต้อง
17		 corr=0.9492	1
18		 corr=0.9311	1
19		 corr=0.9603	1
20		 corr=0.9250	1

ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟ

ตารางผนวก ข.6 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Altis

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9204	0
2		 corr=0.9277	0
3		 corr=0.9289	0
4		 corr=0.9219	0
5		 corr=0.9203	0

ตารางผนวก ข.6 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักร่วมกับไฟรุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจักร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
6		 corr=0.9312	0
7		 corr=0.9314	0
8		 corr=0.9369	0
9		 corr=0.9246	1
10		 corr=0.9106	0

ตารางผนวก ข.6 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
11		 corr=0.9076	0
12		 corr=0.9319	0
13		 corr=0.9158	0
14		 corr=0.9344	0
15		 corr=0.9192	0

ตารางผนวก ข.6 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
16		 corr=0.9187	1
17		 corr=0.9276	1
18		 corr=0.9323	0
19		 corr=0.9167	0
20		 corr=0.9268	0

ตารางผนวก ข.7 ผลการจำแนกข้อมูลกระจักร่วมกับไฟรุ่น Camry

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจักร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr= 0.9026	0
2		 corr=0.9155	0
3		 corr=0.9220	0
4		 corr=0.9188	0
5		 corr=0.9302	0

ตารางผนวก ข.7 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
6		 corr=0.9154	0
7		 corr=0.9172	0
8		 corr=0.9288	0
9		 corr=0.9164	0
10		 corr=0.9216	0

ตารางผนวก ข.7 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง ร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
11		 corr=0.9205	1
12		 corr=0.9210	0
13		 corr=0.8998	0
14		 corr=0.9321	1
15		 corr=0.9051	0

ตารางผนวก ข.7 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง ร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
16		 corr=0.9160	0
17		 corr=0.9162	0
18		 corr=0.9283	0
19		 corr=0.9165	1
20		 corr=0.9274	0

ตารางผนวก ข.8 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Vios

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง ร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9421	1
2		 corr=0.9376	1
3		 corr=0.9354	0
4		 corr=0.9394	1
5		 corr=0.9077	1

ตารางผนวก ข.8 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
6		 corr=0.9140	1
7		 corr=0.9344	1
8		 corr=0.9538	1
9		 corr=0.9262	0
10		 corr=0.9424	1

ตารางผนวก ข.8 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
11		 corr=0.9388	1
12		 corr=0.9259	1
13		 corr=0.9253	0
14		 corr=0.9294	0
15		 corr=0.9174	1

ตารางผนวก ข.8 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจัง ร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
16		 corr=0.9306	1
17		 corr=0.9140	1
18		 corr=0.9282	1
19		 corr=0.9332	1
20		 corr=0.9620	1

ตารางผนวก ข.9 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Wish

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr= 0.9125	1
2		 corr=0.9228	0
3		 corr=0.9266	1
4		 corr=0.9090	1
5		 corr=0.9275	1

ตารางผนวก ข.9 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
6		 corr=0.9216	1
7		 corr=0.9370	1
8		 corr=0.9328	1
9		 corr=0.9344	1
10		 corr=0.9339	1

ตารางผนวก ข.9 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
11		 corr=0.9356	1
12		 corr=0.9433	1
13		 corr=0.9346	0
14		 corr=0.9245	0
15		 corr=0.9491	1

ตารางผนวก ข.9 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
16		 corr=0.9337	1
17		 corr=0.9231	0
18		 corr=0.9458	1
19		 corr=0.9372	1
20		 corr=0.9106	1

ตารางผนวก ข.10 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Yaris

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9281	1
2		 corr=0.9251	0
3		 corr=0.9323	1
4		 corr=0.9386	0
5		 corr=0.9370	0

ตารางผนวก ข.10 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
6		 corr= 0.9310	0
7		 corr=0.9265	0
8		 corr=0.9335	0
9		 corr=0.9348	0
10		 corr=0.9344	0

ตารางผนวก ข.10 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
11		 corr=0.9161	1
12		 corr=0.9247	0
13		 corr=0.9279	0
14		 corr=0.9300	1
15		 corr=0.9357	1

ตารางผนวก ข.10 ผลการจำแนกข้อมูลกระจังร่วมกับไฟรุ่น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่กระจังร่วมกับไฟ	ความถูกต้อง
16		 corr=0.9231	0
17		 corr=0.9281	0
18		 corr=0.9030	0
19		 corr=0.9335	1
20		 corr=0.9382	1

ผลการจำแนกข้อมูลไฟ

ตารางผนวก ข.11 ผลการจำแนกข้อมูลไฟ รุ่น Altis

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9159	1
2		 corr=0.9386	1
3		 corr=0.9583	1
4		 corr=0.8973	0
5		 corr=0.9525	1

ตารางผนวก ข.11 ผลการจำแนกข้อมูลไฟ รุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
6		 corr=0.9443	1
7		 corr=0.9509	0
8		 corr=0.9564	0
9		 corr=0.9403	1
10		 corr=0.9382	1
11		 corr=0.9405	1

ตารางผนวก ข.11 ผลการจำแนกข้อมูลไฟ รุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
12		 corr=0.9380	0
13		 corr=0.9500	0
14		 corr=0.9483	0
15		 corr=0.9474	0
16		 corr=0.9430	1
17		 corr=0.9474	0

ตารางผนวก ข.11 ผลการจำแนกข้อมูลไฟ รุ่น Altis (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
18		 corr=0.9437	1
19		 corr=0.9290	1
20		 corr=0.9481	1

ตารางผนวก ข.12 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Camry

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9575	0
2		 corr=0.9606	1

ตารางผนวก ข.12 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
3		 corr=0.9671	0
4		 corr=0.9534	0
5		 corr=0.9560	0
6		 corr=0.9298	0
7		 corr=0.9626	0
8		 corr=0.9525	0

ตารางผนวก ข.12 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
9		 corr=0.9574	0
10		 corr=0.9183	1
11		 corr=0.9412	0
12		 corr=0.9521	1
13		 corr=0.9530	1
14		 corr=0.9649	1

ตารางผนวก ข.12 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
15		 corr=0.9605	0
16		 corr=0.9620	0
17		 corr=0.9582	1
18		 corr=0.9554	1
19		 corr=0.9614	0

ตารางผนวก ข.12 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Camry (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
20		 corr=0.9528	0

ตารางผนวก ข.13 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Vios

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9554	1
2		 corr=0.9595	1
3		 corr=0.9511	0

ตารางผนวก ข.13 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
4		 corr=0.9599	1
5		 corr=0.9545	0
6		 corr=0.9449	1
7		 corr=0.9521	0
8		 corr=0.9577	1

ตารางผนวก ข.13 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
9		 corr=0.9516	0
10		 corr=0.9615	0
11		 corr=0.9577	1
12		 corr=0.9539	0
13		 corr=0.9521	0

ตารางผนวก ข.13 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
14		 corr=0.9589	0
15		 corr=0.9473	0
16		 corr=0.9486	0
17		 corr=0.9634	0
18		 corr=0.9599	0
19		 corr=0.9489	0

ตารางผนวก ข.13 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Vios (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
20		 corr=0.9569	1

ตารางผนวก ข.14 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Wish

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr= 0.9400	1
2		 corr=0.9544	1
3		 corr=0.9538	1
4		 corr=0.9480	1

ตารางผนวก ข.14 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
5		 corr=0.9563	1
6		 corr=0.9457	1
7		 corr=0.9419	0
8		 corr=0.9486	1
9		 corr=0.9558	0
10		 corr=0.9443	1

ตารางผนวก ข.14 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
11		 corr=0.9527	1
12		 corr=0.9562	0
13		 corr=0.9561	1
14		 corr=0.9551	1
15		 corr=0.9599	0

ตารางผนวก ข.14 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Wish (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
16		 corr=0.9432	0
17		 corr=0.9382	1
18		 corr=0.9476	1
19		 corr=0.9560	1
20		 corr=0.9495	1

ตารางผนวก ข.15 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Yaris

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
1		 corr=0.9629	1
2		 corr=0.9583	0
3		 corr=0.9615	1
4		 corr=0.9601	0
5		 corr=0.9619	0
6		 corr=0.9516	0

ตารางผนวก ข.15 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
7		 corr=0.9698	1
8		 corr=0.9549	0
9		 corr=0.9431	1
10		 corr=0.9639	1
11		 corr=0.9550	0

ตารางผนวก ข.15 ผลการจำแนกข้อมูลไฟรุ่น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
12		 corr=0.9610	0
13		 corr=0.9597	1
14		 corr=0.9502	1
15		 corr=0.9575	1
16		 corr=0.9611	1

ตารางผนวก ข.15 ผลการจำแนกข้อมูลไฟร์น Yaris (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพที่ทำการทดลอง	ผลของการจับคู่ไฟ	ความถูกต้อง
17		 corr=0.9589	1
18		 corr=0.9633	1
19		 corr=0.9498	1
20		 corr=0.9575	1

