สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การรู้จำเหรียญ

Coin Recognition

โดย

นายพรรฐ จันทวงษ์

นายวรงค์กร พิบูลย์เวช

นายศิระ มลิลา

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 62798

วัน,เดือน,ปี 22 ส.ค. 2549

b 11630875

i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร

บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coin Recognition

BY

Mr. PATH JANTAWONG

Mr. WARONGKORN PIBOONWECH

Mr. SIRA MALILA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การรู้จำเหรียญ	
TITLE	Coin Recogniton	
โดย	นายพรรฐ จันทวงษ์	รหัสนักศึกษา 45010506
	นายวรงค์กร พิบูลย์เวช	รหัสนักศึกษา 45010663
	นายศิระ มลิลา	รหัสนักศึกษา 45010762
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2548	

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

.....

(ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การรู้จำเหรียญ	
ชื่อนักศึกษา	นายพรรฐ จันทวงษ์	รหัสนักศึกษา 45010506
	นายวรงค์กร พิบูลย์เวช	รหัสนักศึกษา 45010663
	นายศิระ มลิลา	รหัสนักศึกษา 45010762
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2548	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการรู้จำเหรียญ ด้วยการพิจารณาจากคุณลักษณะเด่นของเหรียญที่มีคุณสมบัติไม่แปรเปลี่ยนไปตามการหมุนของเหรียญ และคุณลักษณะเด่นดังกล่าวสามารถแสดงได้ โดยค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว ซึ่งลักษณะเด่นนี้เป็นลักษณะเฉพาะตัวจากรูปลักษณ์ของเหรียญแต่ละชนิด นอกจากนั้น ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ใช้การประมาณค่าด้วยอนุกรมฟูเรียร์ มาช่วยลดความแตกต่างของสภาพเหรียญ เช่น แสงสะท้อน, สภาพของเหรียญเก่าและใหม่ สำหรับกระบวนการรู้จำเหรียญ กระทำได้โดยคำนวณค่า Euclidean distant ระหว่างค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว ของเหรียญอ้างอิง และเหรียญที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Coin Recognition	
Student	MR. Path Juntavong	ID. 45010506
	MR. Warongkorn Piboonwech	ID. 45010663
	MR. Sira Malila	ID. 45010762

Advisor	Dr. Pitak Thumwarin
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2005

Abstract

This thesis presents a robust coin recognition method with rotation invariance. The rotation invariance feature is represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of coin on circles with different radii. The absolute value of Fourier coefficient is considered as the individual feature of the particular coin. Moreover, in this thesis, the variations on surface of coin such as light reflection effect are taken into account. Such variations effect can be reduced using the Fourier approximation of the coin image. Finally, coin can be recognized by the distance between the absolute value of Fourier coefficients obtained from the reference coin and the coin to be recognized. The coin recognition experiments are given to show the effectiveness of the propose method.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งบุคคลสำคัญได้แก่ ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะ ให้คำปรึกษา ตลอดจนแก้ไข และเอาใจใส่ห่วงใยมาเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาตลอดการทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณท่านรศ. นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย ที่จัดหาสถานที่ทำงานตลอดเทอมที่ผ่านมา ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่คอยร่วมทำงานและช่วยเหลือแนะนำและให้ความรู้ต่างๆมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ก็ขอขอบคุณผู้ที่ทำให้เราได้มีวันนี้ ผู้ซึ่งคอยให้การสนับสนุนสิ่งต่างๆมาโดยตลอด นั่นคือท่านบิดา-มารดา จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญรูปภาพ ช

สารบัญตาราง ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 1

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการกระทำต่อภาพ

- Point Operation 3
- Local Operation 4
- Global Operation 5
- Histrogram 6
- Thresholding 7
- Segmentation (แยกวัตถุจากภาพ) 10

2.2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

- พิกัดเชิงขั้ว 11
- การประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ 12
- การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean distance) 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 3 หลักการออกแบบ

3.1 โครงสร้างของโปรแกรมและข้อมูลโดยรวม 14

3.2 การเก็บภาพเหรียญ 14

3.3 กระบวนการนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ 15

3.4 Preprocessing

3.4.1 การรับภาพ 16

3.4.2 การเปลี่ยนภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา 16

3.4.3 การเปลี่ยนภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ 16

3.4.4 การหากรอบของภาพ(ส่วนที่เป็นเหรียญ) 17

3.5 Feature Attachtion

3.5.1 การหาเส้นขนาดของผ่านศูนย์กลาง 17

3.5.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณ์เหรียญโดยการหมุนเหรียญ แล้วเปรียบเทียบ 19

3.5.3 การใช้พิกัดเชิงขั้วเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ 20

3.6 Coin Recognition

3.6.1 การหาเส้นผ่านศูนย์กลาง 22

3.6.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณ์เหรียญโดยการหมุนเหรียญ แล้วเปรียบเทียบ 23

3.6.3 การใช้พิกัดเชิงขั้ว 24

3.6.4 การใช้สมการฟูเรียร์ 24

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27

4.1.1 การพิจารณาค่าเทรสโฮลด์โดยใช้ Euclidean distance 28

4.2 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบรูปลักษณ์ด้วยการหมุนเหรียญ 31

4.3 ผลการทดสอบการหมุนของเหรียญ 40

4.4 ผลการจำแนกเหรียญโดยใช้พิกัดเชิงขั้วและสมการฟูเรียร์เข้ามาช่วย 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

5.1 บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5.1.1 การหาเส้นผ่านศูนย์กลาง 43

5.1.2 การหมุนแล้วเทียบ 43

5.1.3 การทดสอบการหมุนของเหรียญโดยการใช้อนุกรมฟูเรียร์เข้ามาช่วย 43

5.1.4 การใช้พิกัดเชิงขั้วและอนุกรมฟูเรียร์
เข้ามาช่วยในการหาจำแนกชนิดของเหรียญ 43

5.1.5 การทดสอบเหรียญวงรี 43

5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการดำเนินโครงงาน 43

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงาน 44

5.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน 44

5.5สรุป 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 การกระทำแบบจุดต่อจุด 3
รูปที่ 2.2 การกระทำเฉพาะบริเวณ 4
รูปที่ 2.3 การกระทำกับภาพทั้งหมด 5
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างภาพภาพแท่งความถี่ของเหรียญ 1 บาท 6
รูปที่ 2.5 แสดงการเลือกค่าเทรสโฮลด์จากภาพแท่งความถี่ 7
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟที่ใช้หาค่าเทรสโฮลด์ 9
รูปที่ 2.7 แสดงการแยกวัตถุออกจากภาพด้วยวิธี Line Crossing 10
รูปที่ 2.8 แสดงวัตถุที่ได้จากการแยกภาพด้วยวิธี Line Crossing 10
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียนและพิกัดเชิงขั้ว 11
รูปที่ 2.10 แสดงความเป็นฟังก์ชันคาบของพิกัดโพลา 11
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างฟังก์ชั่นที่ใช้ทดสอบการระยะแบบยูคลิด 13
รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม 14
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแสง 15
รูปที่ 3.3 แสดงภาพที่ไม่มีการควบคุมแสง 15
รูปที่ 3.4 แสดงภาพที่มีการควบคุมแสง 15
รูปที่ 3.5 แสดงภาพสี 16
รูปที่ 3.6 แสดงภาพระดับเทา 16
รูปที่ 3.7 แสดงภาพระดับเทา 16
รูปที่ 3.8 แสดงภาพขาว-ดำ 16
รูปที่ 3.9 แสดงภาพขาว-ดำ 17
รูปที่ 3.10 แสดงกรอบภาพ 17
รูปที่ 3.11 แสดงอัลกอลิทึมในการหาจุดขวาสุดของภาพเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18
รูปที่ 3.12 แสดงอัลกอลิทึมในการเปรียบเทียบรูปลักษณ์ของเหรียญ 19
รูปที่ 3.13 แสดงอัลกอลิทึมในการใช้พิกัดเชิงขั้ว 20
รูปที่ 3.14 แสดงภาพเหรียญก่อนการแปลงพิกัดเชิงขั้ว 21
รูปที่ 3.15 แสดงภาพเหรียญหลังการแปลงพิกัดเชิงขั้ว 21
รูปที่ 3.16 แสดงภาพเหรียญในพิกัด(x,y) 24
รูปที่ 3.17 แสดงภาพเหรียญในพิกัดเชิงขั้ว 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า Euclidean Distant ของเหรียญแต่ละชนิด เทียบกับเหรียญ 50 สตางค์ 29

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า Euclidean Distant ของเหรียญแต่ละเหรียญ 29

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงช่วงของค่าเทรสโฮลด์ที่สามารถใช้งานได้ 30

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของเหรียญที่หมุนในองศาต่างกัน 40

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญ 5 บาท 41

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญพระ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้ในแต่ละเหรียญ 27

ตารางที่ 4.2 แสดงผลต่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญต่างๆ
เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของเหรียญ 25 สตางค์ 28

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Fault Rejection และ Fault Acceptance ที่แต่ละเทรสโฮลด์ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันเงินตราที่ใช้กันอยู่แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ธนบัตร และเหรียญกษาปณ์ แม้ว่าธนบัตรจะมีมูลค่ามากกว่าและน้ำหนักเบากว่า แต่การใช้เหรียญกษาปณ์ ก็ยังเป็นที่นิยมอยู่ เนื่องจากมีมูลค่าไม่มากเหมาะกับการใช้จ่ายเพียงเล็กน้อย อีกทั้งยังมีความคงทนถาวร

ในกรณีที่มีเหรียญเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น การรับเงินบริจาค จะต้องใช้เวลาและแรงงานจำนวนมากในการคัดแยก หรือการฝากเงินกับธนาคารซึ่งธนาคารส่วนมากจะคิดค่าธรรมเนียมการคัดแยก หากธนาคารมีระบบการคัดแยกที่ดีก็ไม่จำเป็นต้องเก็บค่าธรรมเนียมเหล่านี้

นอกจากนี้เหรียญในแต่ละประเทศอาจมีลักษณะและขนาดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ จึงได้เกิดแนวคิดในการทำโครงงานชิ้นนี้ขึ้น

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 เพื่อหาวิธีในการจำแนกประเภทของเหรียญโดยใช้คอมพิวเตอร์

1.2.1.1 สามารถจำแนกเหรียญตามขนาดได้

1.2.1.2 สามารถจำแนกเหรียญตามรูปลักษณ์ภายนอกได้

1.2.2 เพื่อหาวิธีในการตรวจสอบความถูกต้องของเหรียญโดยใช้คอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สามารถแยกแยะประเภทของเหรียญ โดยมีการเก็บรูปลักษณ์ของเหรียญไว้เป็นข้อมูลเพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบ

1.3.2 สามารถตรวจสอบความถูกต้องของเหรียญ โดยใช้กระบวนการการวิเคราะห์รูปภาพ (Image processing) โดยจะมุ่งเน้นการหาวิธีการในการตรวจสอบเท่านั้น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ระบบและวิธีการรู้จำเหรียญที่มีประสิทธิภาพ

1.4.2 สามารถนำวิธีที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการรู้จำสิ่งอื่นๆที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเหรียญได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้จำเหรียญที่มีมาก่อน

1.5.2 ทำการวิเคราะห์และเลือกวิธีที่จะใช้ในการรู้จำเหรียญ

1.5.3 ทำการวิเคราะห์และสังเกตลักษณะต่างของเหรียญแต่ละชนิด

1.5.4 ทำการเก็บข้อมูลของเหรียญชนิดต่างๆ

1.5.5 ทดสอบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนกชนิดเหรียญด้วยวิธีต่างๆ

1.5.6 เก็บรายละเอียดที่ใช้ในการตรวจสอบเหรียญแท้/ปลอม

1.5.7 ทดสอบการทำงานทั้งหมดและแก้ไขข้อบกพร่อง

1.5.8 สรุปผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดและจัดทำเอกสารประกอบโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

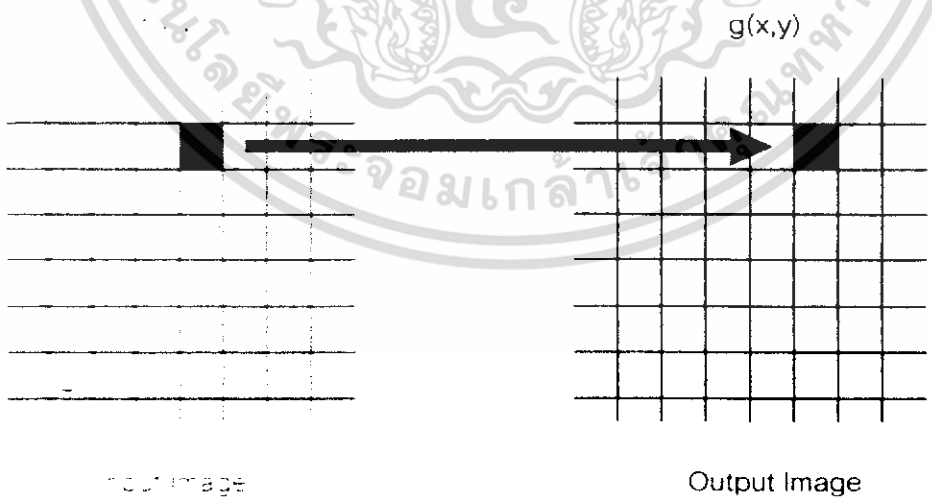
2.1 ทฤษฎีประเภทการกระทำต่อภาพ

2.1.1 Point Operation (การกระทำแบบจุดต่อจุด)

การกระทำแบบนี้ ค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลผลลัพธ์ จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงของพิกเซลในภาพนำเข้า ณ ตำแหน่งที่สมนัยกันดังรูปที่ ลักษณะการกระทำกับภาพประเภทนี้ ได้แก่การปรับแสงสว่าง หรือเพิ่มความคมชัด การบวก ลบ คูณ หารภาพดิจิตอล หรือการทำทางตรรกะต่างๆเป็นต้น

ถ้า $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ตามลำดับ ค่าของพิกเซล $g(x,y)$ จะมีค่าดังนี้

$$g(x_i,y_i) = \tau[f(x_i,y_i)]$$: เมื่อ τ คือ การกระทำใดกับภาพ



รูปที่ 2.1 **การกระทำแบบจุดต่อจุด**

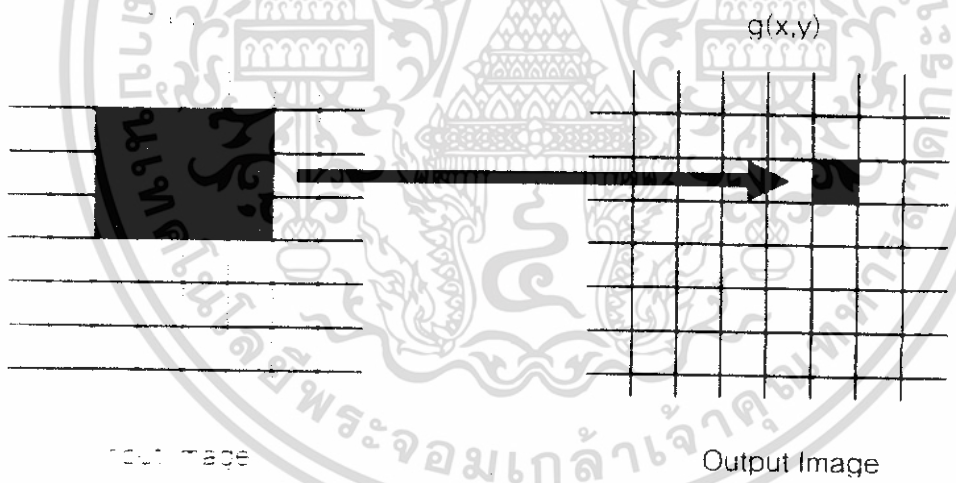
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 Local Operation (การกระทำเฉพาะบริเวณ)

สำหรับการกระทำประเภทนี้ ค่าความเข้มแสงในแต่ละจุดในภาพผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสง ของพิกเซลที่อยู่ในบริเวณเดียวกันจากภาพนำเข้า (Neighborhood Pixel) ดังรูป ซึ่งลักษณะการกระทำกับภาพประเภทนี้ได้แก่ การหาขอบ (Edge Detection) การกรองสัญญาณ (Filtering)

ถ้า $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ตามลำดับ ค่าของพิกเซล $g(x,y)$ จะมีค่าดังนี้

$$g(x_i, y_i) = T[neighborhood\ of\ f(x_i, y_i)]$$



รูปที่ 2.2 การกระทำเฉพาะบริเวณ

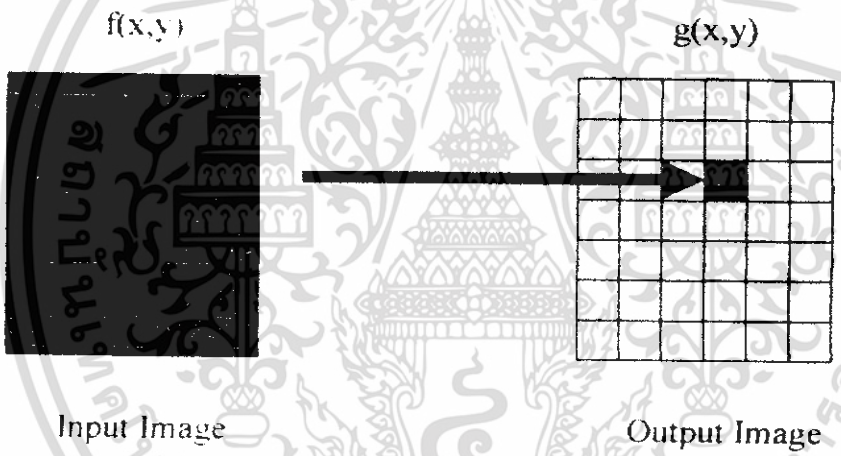
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 Global Operation (การกระทำกับภาพทั้งหมด)

การกระทำแบบนี้ ค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลของภาพผลลัพธ์ จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงของทุกพิกเซลในภาพนำเข้า ดังรูปที่ ลักษณะการกระทำภาพประเภทนี้ได้แก่การทำเทรสโฮลดิ้ง (Thresholding) การทำภาพแท่งความถี่ (Histogram)เป็นต้น

ถ้า $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ตามลำดับ ค่าของพิกเซล $g(x,y)$ จะมีค่าดังนี้

$$g(x_i, y_i) = \tau[f(x_i, y_i) for\ all\ i]$$



รูปที่ 2.3 การกระทำกับภาพทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ภาพแท่งความถี่(Histogram)

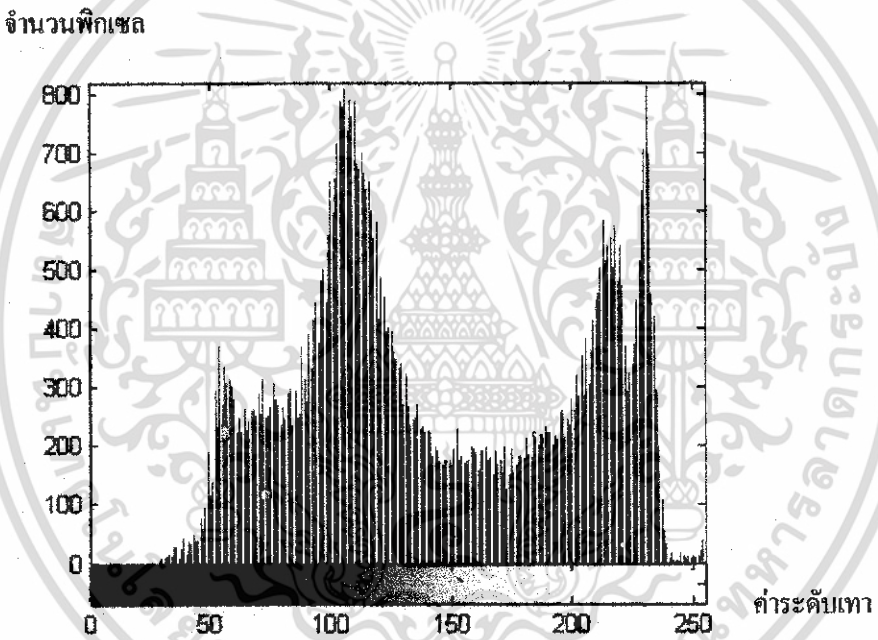
ภาพแท่งความถี่คือ การแสดงความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละความเข้มแสง (Intensity) หรือค่าระดับ (Gray Level) ซึ่งภาพแท่งความถี่สร้างได้โดย

(1) แปลงภาพเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

(2) เก็บค่าของสีในแต่ละพิกเซลเป็นค่าตัวเลข สีดำจะมีค่าเท่ากับ 255ไล่ลงไปเรื่อยๆจนถึงสีขาวจะมีค่าเป็น 0

(3) วาดกราฟเพื่อแสดงผล

ส่วนกราฟที่ได้ออกมานั้นจะเป็นกราฟแท่งแสดงจำนวนพิกเซลในแต่ละระดับค่าของสีเทา แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าตำแหน่งใดมีค่าระดับเทาเท่าไหร่ ดังรูป



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างภาพภาพแท่งความถี่ของเหรียญ 1 บาท

แกน x คือ ระดับความเข้มของสีและแกน y คือ จำนวนพิกเซล

ภาพแท่งความถี่จะแสดงลักษณะของภาพ คือ ถ้าพื้นที่กราฟส่วนใหญ่อยู่บริเวณค่อนไปทาง “0” หมายถึงภาพนั้นจะมืด ถ้าพื้นที่กราฟส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่ค่อนไปทาง “255” หมายถึงภาพนั้นจะสว่าง ถ้าแท่งกราฟมีการกระจายตัวน้อยแสดงว่าภาพมีความต่างของสีน้อย ถ้าแท่งกราฟมีการกระจายตัวมากแสดงว่าภาพมีความต่างของสีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

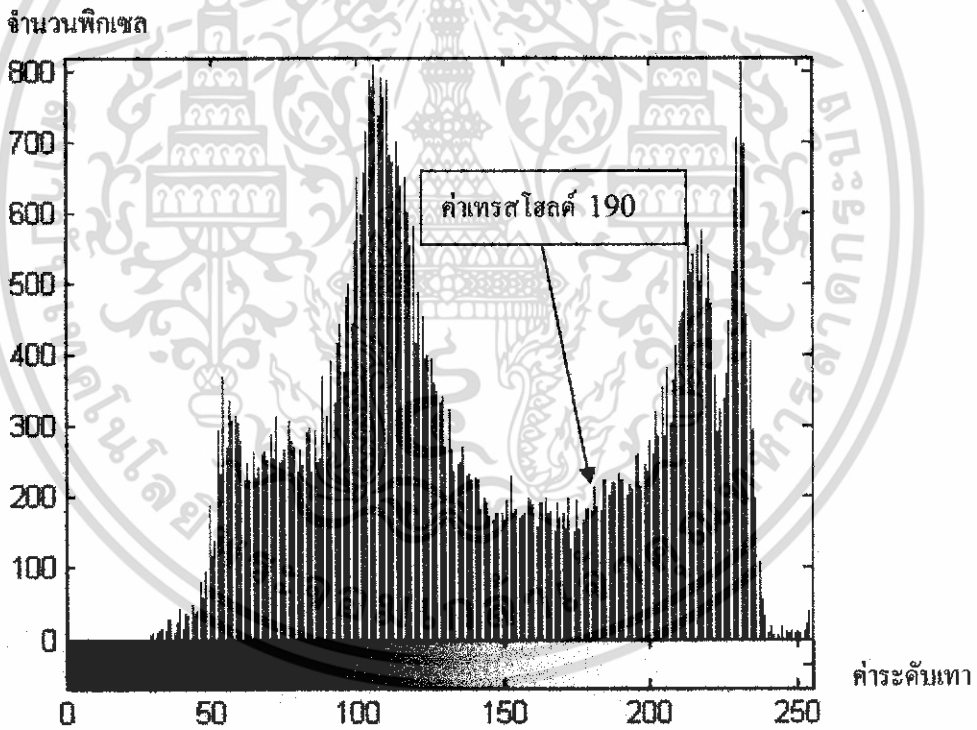
2.1.5 การทำเทรสโฮลดิ้ง (Thresholding)

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีการคิดค่าเทรสโฮลด์2แบบคือ

2.1.5.1. การจะเปลี่ยนภาพระดับเทา (Gray Scale) ให้เป็นภาพขาวดำ (Binary Image) จะใช้ค่าหนึ่งค่าในการตัดสินใจว่าค่าระดับสีเทาที่เท่าไหร่ จึงจะเป็นสีขาว หรือสีดำ ค่าที่ว่านั้นคือค่าเทรสโฮลด์ การเลือกค่าเทรสโฮลด์ทำได้ 3 วิธีคือ

2.1.5.1.1. ค่าเทรสโฮลด์ที่กำหนดล่วงหน้า วิธีนี้จะกำหนดค่าเทรสโฮลด์ขึ้นมาเองโดยไม่ได้สนใจข้อมูลภาพนำเข้า เช่น กำหนดเทรสโฮลด์เท่ากับ 128,150 เลย เป็นต้น

2.1.5.1.2 ค่าเทรสโฮลด์ที่กำหนดขึ้นมาจากภาพแท่งความถี่ วิธีนี้จะใช้การเลือกค่าระดับเทาค่าหนึ่งจากภาพแท่งความถี่ของภาพนำเข้ามาเป็นค่าเทรสโฮลด์ ดังรูปที่ 2.5 จะทำการค่าเทรสโฮลด์จากภาพแท่งความถี่ โดยเลือกค่าเทรสโฮลด์ เท่ากับ 190



รูปที่ 2.5 แสดงการเลือกค่าเทรสโฮลด์จากภาพแท่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1.3. <u>การหาค่าเทรสโฮลด์จากสูตร</u>

กำหนดให้

N คือ ค่าจำนวนค่าทั้งหมดในแนวแกน x

M คือ ค่าจำนวนค่าทั้งหมดในแนวแกน y

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

(1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต การหาค่าเทรสโฮลด์จากค่าเฉลี่ยทำได้โดยหาจาก สมการ

$$Threshold = \frac{\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{M-1} f(x,y)}{N * M} \quad (1)$$

(2) ค่าสูงสุด-ต่ำสุดสามารถหาค่าเทรสโฮลด์ได้ดังสมการ

$$Threshold = \frac{Max(f(x,y)) + Min(f(x,y))}{2} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.2. การหาเทรสโฮลด์ค่าของประสิทธ์ภาพของระบบ

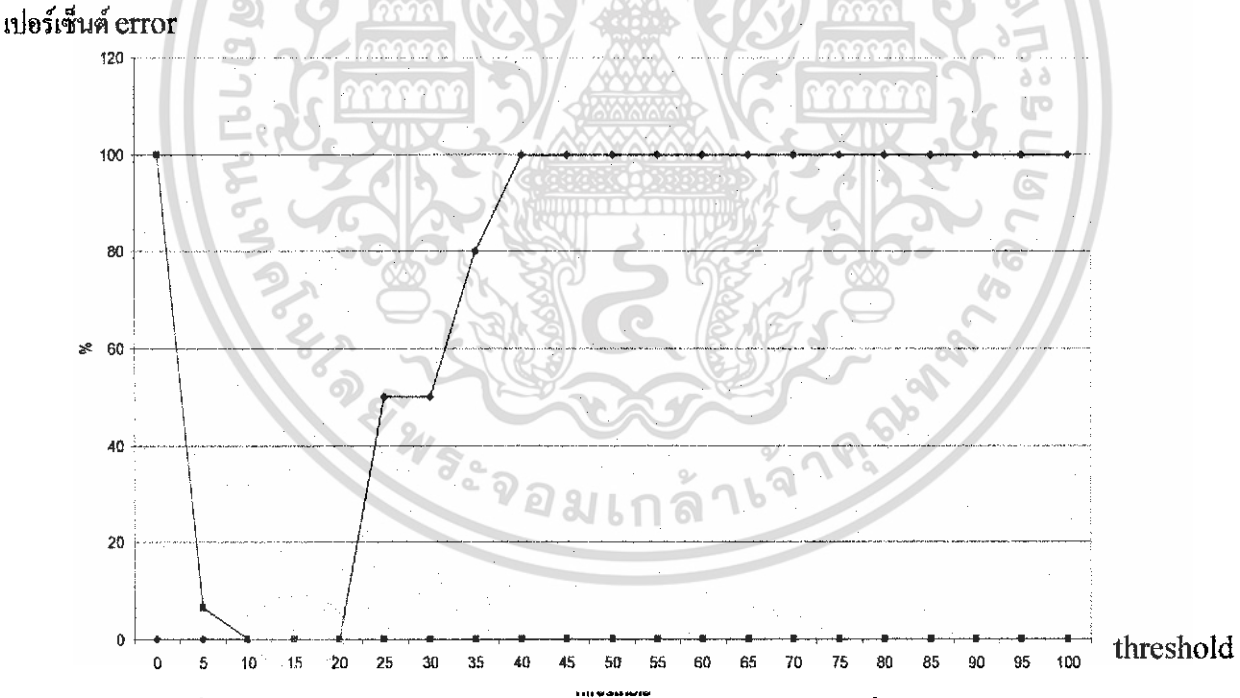
ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสิทธิภาพของระบบจะแสดงได้โดยใช้เปอร์เซนต์ของความผิดพลาดในการรู้จำ(error rate)ซึ่งจะมาจากค่าความผิดพลาด 2 ค่าคือ

(1) Fault Acceptance error rate คือ การที่รับค่าเข้ามาผิดพลาด กล่าวคือ การที่ระบบตรวจเหรียญหนึ่งแล้วบอกว่าเป็นอีกเหรียญหนึ่ง เช่น ในการตรวจเหรียญ 5 บาท แล้วมีเหรียญ 10 บาทปนอยู่ก็ยังบอกว่าเหรียญ 10 บาทนั้นเป็นเหรียญ 5 บาท

(2) Fault Rejection error rate คือ การที่ตัดค่าออกผิดพลาด กล่าวคือการที่ระบบ ตรวจสอบเหรียญผิดโดยการบอกว่าเหรียญที่ถูกต้องไม่ใช่เหรียญนั้น เช่น ในการตรวจสอบเหรียญ 5 บาท แล้วระบบบอกว่าเหรียญ 5 บาทเหรียญหนึ่งไม่ใช่เหรียญ 5 บาท

โดยเราสามารถนำเอาค่า 2 ค่านี้บอกแสดงอยู่ในรูปกราฟ โดยให้มีค่าเทรสโฮลด์ที่ใช้ในระบบ เป็นแกน x และค่า 2 ค่านี้เป็นแกน y จะทำให้เห็นถึงค่าเทรสโฮลด์ที่เหมาะสมกับระบบนั้นๆ

จากรูปที่ 2.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดทั้ง 2 ค่า และจะทำการเลือกค่าเทรสโฮลด์โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่มีค่าความผิดพลาดทั้ง 2 ค่าใกล้เคียงกัน คือ ค่าที่อยู่ในช่วงวงกลม



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟที่ใช้หาค่าเทรสโฮลด์

*** จากภาพจะเห็นได้ว่า ค่าเทรสโฮลด์ที่สามารถใช้ได้คือค่าที่อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20

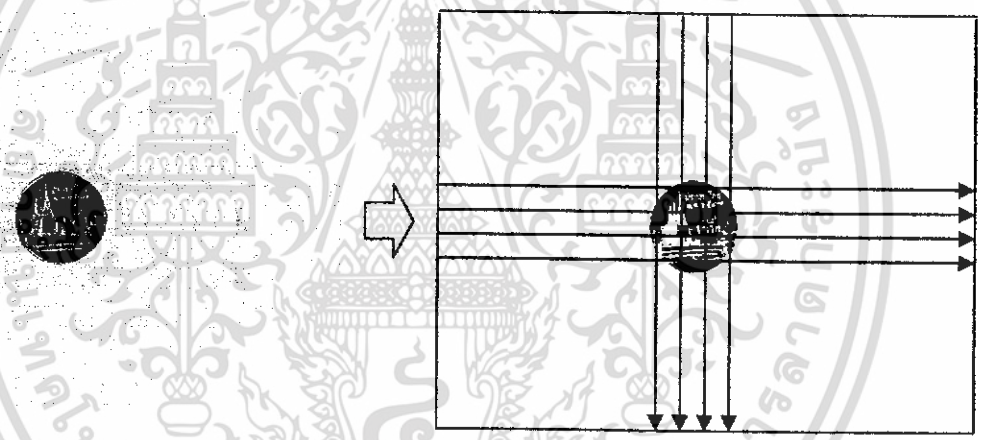
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 การแยกวัตถุจากภาพ(Segmentation)

กระบวนการสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในการประมวลผลภาพเบื้องต้น ก่อนที่จะไปสู่ขั้นตอนการจดจำรูปแบบ ก็คือ กระบวนการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง ซึ่งในที่นี้จะเป็นการแยกข้อมูลภาพที่เป็นตัวเหรียญออกจากข้อมูลภาพทั้งหมดโดยแยกออกมาทีโดย

- การหากรอบด้วยวิธีการ Line Crossing

เทคนิคนี้มีหลักการ คือ ทำเทรสโฮลดิ้ง เพื่อทำให้ภาพมี เพียง 2 ระดับ และจากนั้นจะทำการการแยกเหรียญออกจากรูปทั้งหมดโดยการเริ่มแสกนจากแนวนอน แล้วบันทึกค่าว่าเจอสีดำจุดสุดท้ายที่ตำแหน่งใด หลังจากนั้นก็กระทำในแนวตั้ง ทำไปทุกขอบรูปก็จะได้ขอบเขตของภาพเหรียญขึ้นมา



รูปที่ 2.7 แสดงการแยกวัตถุออกจากภาพด้วยวิธี Line Crossing

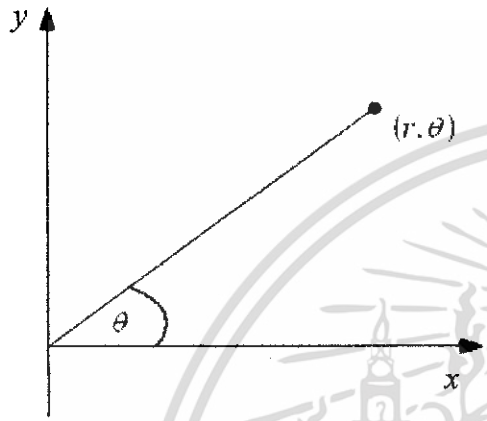
รูปที่ 2.8 แสดงวัตถุที่ได้จากการแยกภาพด้วยวิธี Line Crossing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

2.2.1 การแปลงพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว

คือ การแปลงค่าของระดับสีเทาในพิกัดมุมฉาก ให้อยู่ใน รูปของพิกัดเชิงขั้วโดย



$$x = r\cos\theta \tag{3}$$

$$y = r\sin\theta \tag{4}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{5}$$

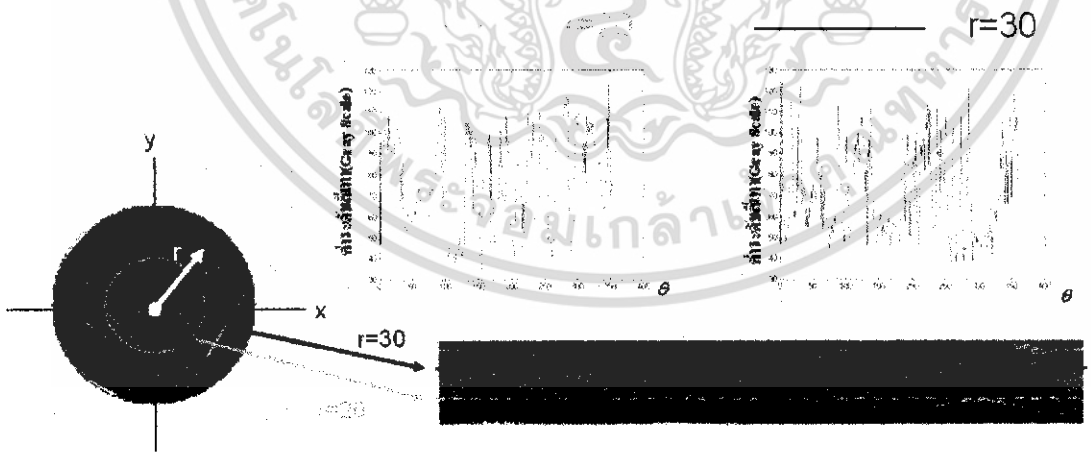
$$\theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} \tag{6}$$

: โดยที่ $r \geq 0$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$

รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียน และพิกัดเชิงขั้ว

ซึ่งสามารถแปลงพิกัดคาร์ทีเซียน เป็นพิกัดเชิงขั้วได้ในรูปของ $\hat{f}(r,\theta)$ โดยที

$$\hat{f}(r,\theta) = \hat{f}(r\cos\theta, r\sin\theta) \tag{7}$$



รูปที่ 2.10 แสดงความเป็นฟังก์ชันคาบของพิกัดเชิงขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ (Fourier Approximation)

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อหาลักษณะเด่นของของเหรียญที่มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนของเหรียญ เราจึงตั้งสมมุติฐานว่า $\hat{f}(r_k,\theta)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันคาบ และสามารถแสดงอยู่ในรูปอนุกรมของฟูเรียร์ได้ตามสมการดังต่อไปนี้

จากสมการที่ (7) สามารถใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดจากการหมุนของเหรียญ โดยพิจารณาจากสมการของเหรียญที่ปราศจากการหมุนในรูปของฟังก์ชันคาบเป็น $\hat{f}(r,\theta)$ และในกรณีที่ผ่านสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ โดยกำหนดให้ r = r_k ซึ่งเป็นค่าคงตัว จะได้ว่า

$$\hat{f}(r_k,\theta)=\sum_{m=-m}^{m} a_m^k e^{jm\theta} \tag{8}$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $$a_m^k=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\hat{f}(r_k,\theta)e^{-jm\theta}d\theta \tag{9}$$

และในกรณีที่เหรียญมีการหมุนจะได้สมการเป็น $\hat{g}(r,\theta)$

ซึ่ง $$\hat{g}(r,\theta)=\hat{f}(r,\theta+\alpha) \tag{10}$$

$$b_m^k=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\hat{f}(r_k,\theta)e^{-jm\theta}e^{-jm\alpha} \tag{11}$$

จากสมการที่ (16) ให้ $$\left|b_m^k\right|=\left|a_m^k\right|\cdot\left|e^{jm\alpha}\right|$$

$$e^{j\theta}=\cos\theta+j\sin\theta$$

$$\left|e^{j\theta}\right|=\sqrt{\cos^2\theta+\sin^2\theta}$$

$$=\sqrt{1}=1$$

จะได้ $$\left|b_m^k\right|=\left|a_m^k\right|\cdot|1| \tag{12}$$

จะเห็นได้ว่า $\left|b_m^k\right|=\left|a_m^k\right|$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าเหรียญจะหมุนไปตามองศาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean distance)

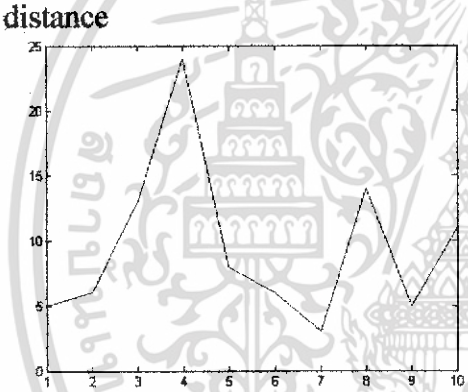
การวัดระยะแบบยูคลิด คือ คือวิธีในการวัดค่าความเหมือนระหว่างเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ใดๆ

วิธีคิดระยะทางยูคลิดระหว่าง f_1 กับ f_2

$$d(f_1, f_2) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \ldots + (x_n - y_n)^2}$$

เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาระยะทางหรือมุมได้ ไม่ว่าจะเป็นเวกเตอร์ หรือ สัญญาณข้อมูล

หากต้องการหาระยะทางยูคลิดจากสัญญาณ $f_1(x)$ ไปถึงสัญญาณ $f_2(x)$ โดยสัญญาณทั้งสองมีรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.7



$f_1(x) = \{7,6,12,9,11,7,3,5,6,1\}$

$f_2(x) = \{5,6,13,24,8,6,3,4,5,11\}$

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างฟังก์ชั่นที่ใช้ทดสอบการระยะแบบยูคลิด

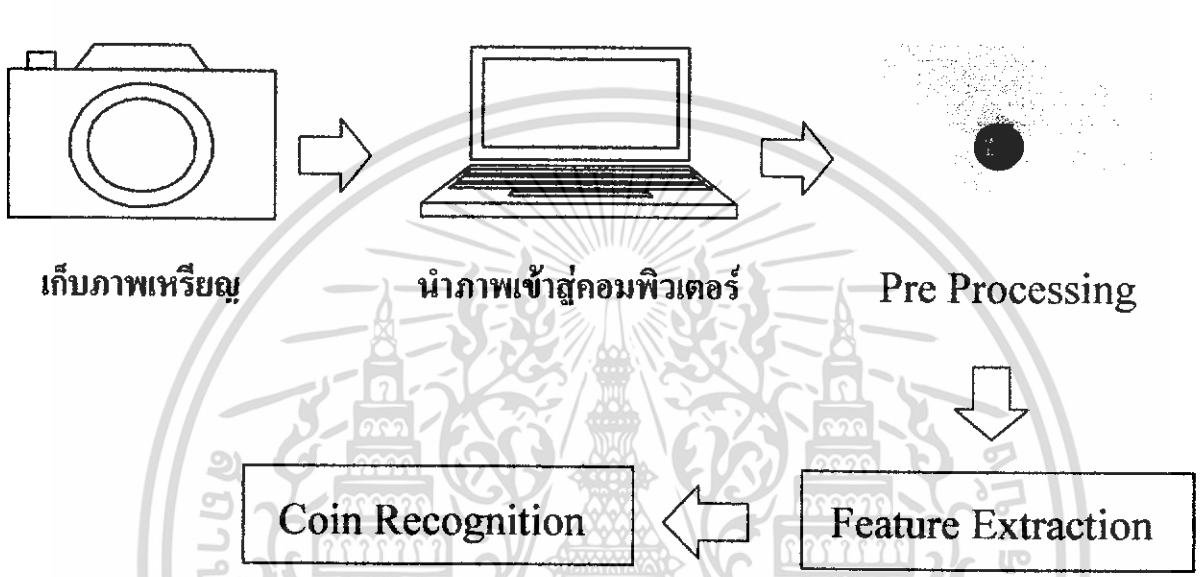
จะได้ Euclidean distance $d(f1, f2) = \sqrt{(7-5)^2 + (6-6)^2 + \ldots + (1-11)^2}$

$= 20.543$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการออกแบบและวิธีการทดลอง

3.1 โครงสร้างของโปรแกรมและข้อมูลโดยรวมของระบบ



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม

3.2 การเก็บภาพเหรียญ

การเก็บภาพเหรียญในการทดลองนี้ใช้กล้องดิจิตอล FUJIFILM รุ่น S5000 การตั้งค่าการถ่ายภาพ Macro Mode ความไวแสง 200 F-stop 3.6

และเนื่องจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยเฉพาะแสง มีปัจจัยต่อภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการวิเคราะห์สิ่งต่างๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมสภาวะแสงให้มีความคงที่หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด จึงได้สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแสงโดยมีคุณสมบัติดังนี้

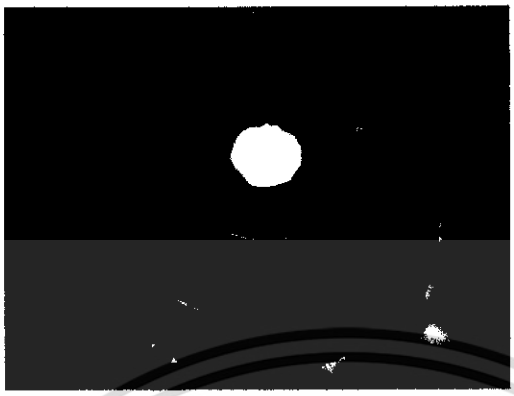
(1.) จะต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาพที่จะบันทึก

(2.) จะต้องให้แสงที่มีปริมาณมากกว่าแสงจากภายนอก เพื่อตัดผลกระทบจากแสงภายนอกที่จะเข้ามารบกวนออก

(3.) จะต้องรักษาสภาวะเดียวกันในทุกครั้งที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

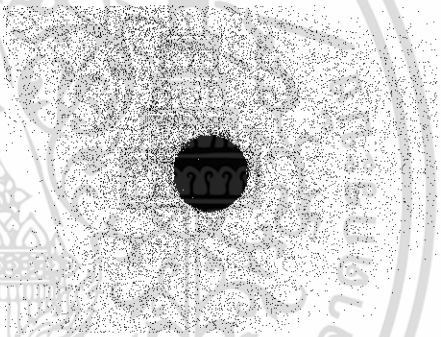
โดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นการแก้ปัญหาในเบื้องต้นและมีคุณสมบัติดังกล่าว



รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแสง

- เปรียบเทียบผลต่างระหว่างภาพที่ได้จากการถ่ายแบบปกติกับภาพที่มีการควบคุมแสง

รูปที่ 3.3 แสดงภาพที่ไม่มีการควบคุมแสง



รูปที่ 3.4 แสดงภาพที่มีการควบคุมแสง

จะสังเกตได้ว่าภาพที่ไม่มีการควบคุมแสงนั้น จะทำให้เกิดแสงสะท้อนบนเหรียญ แต่ภาพที่มีการควบคุมแสงจะให้รายละเอียดบนภาพได้ดีกว่าถึงแม้ว่าพื้นหลังจะมีสีที่ไม่สม่ำเสมอก็ตาม เราจะแก้ไขในขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนนำไปใช้งาน

ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้อุปกรณ์นี้ช่วยในการถ่ายภาพเหรียญคือ ช่วยควบคุมให้ระยะห่างของกล้องกับเหรียญมีค่าคงที่

3.3 กระบวนการนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล มีรายละเอียดดังนี้

CPU : AMD Athlon 64 Processor 3000+ , 1.81 GHz

RAM : 1.00 GB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

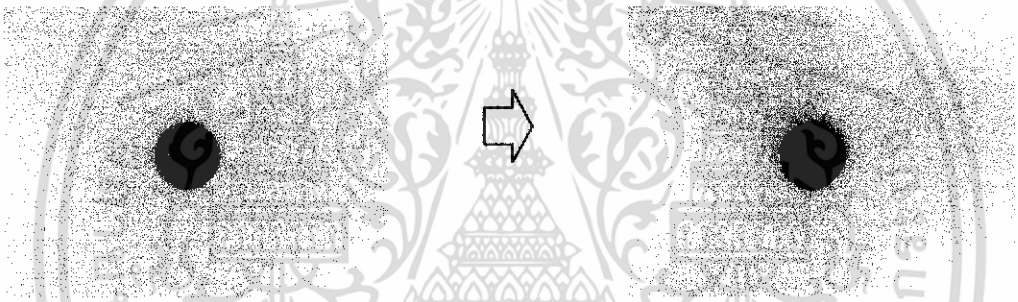
3.4 กระบวนการ Pre Processing

3.4.1 การรับภาพ

ภาพของเหรียญที่รับเข้ามานั้นจะใช้การถ่ายด้วยกล้องดิจิตอล ซึ่งถ่ายในสภาวะที่มีการควบคุมแสงและปัจจัยอื่นๆที่มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยภาพถ่ายที่ได้จะมีขนาด 1024x768 และจะถูกลดขนาดเป็น 512x384 ซึ่งยังมีความละเอียดมากพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์

3.4.2 การเปลี่ยนภาพสี (RGB or Color map) ให้เป็นภาพระดับเทา (Grayscale)

เป็นการแปลงภาพสีที่ได้รับเข้ามาในรูปแบบของ RGB (Red Blue Green) เป็นความเข้มของตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ โดยยังคงความสว่างไว้ที่ค่าเดิม

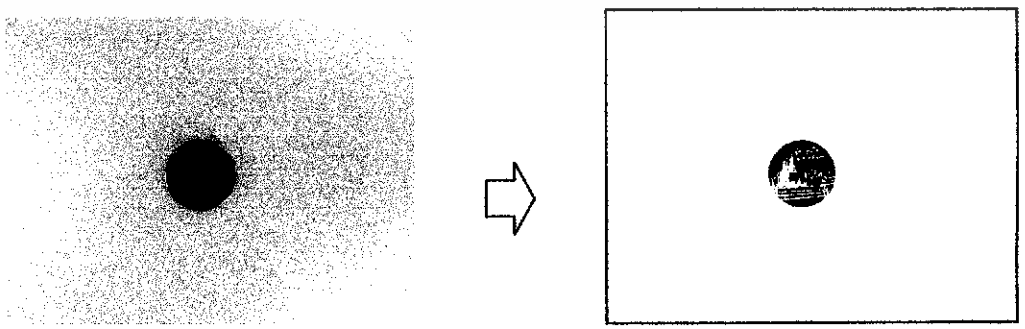


รูปที่ 3.5 แสดงภาพสี

รูปที่ 3.6 แสดงภาพระดับเทา

3.4.3 การเปลี่ยนภาพระดับเทา (Grayscale) เป็นภาพขาวดำ (Binary Image)

เป็นการนำภาพระดับเทาที่ได้มาทำการแยกสีพื้นหลังกับสีของวัตถุ ออกจากกันอย่างชัดเจน ด้วยการสร้างภาพแห่งความถี่ (Image histogram) ขึ้นมา เพื่อใช้เป็นตัวหาค่าจุดตัดระหว่างพื้นหลังกับวัตถุ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้นี้ไปเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขสีในแต่ละพิกเซลของภาพ เช่น หากพบพิกเซลที่มีค่ามากกว่าค่าของเทรสโฮลด์ให้กำหนดเป็นสีขาว (Gray level=255) หากพิกเซลนั้นมีค่าน้อยกว่าให้กำหนดเป็นสีดำ (Gray level=0) เป็นต้น



รูปที่ 3.7 แสดงภาพระดับเทา

รูปที่ 3.8 แสดงภาพขาว-ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.4.4 การหากรอบของภาพ(ส่วนที่เป็นเหรียญ)

จะใช้เรื่องการหาเทรสโฮลดิ้งเข้ามาช่วยโดยเมื่อได้ภาพเป็นขาว-ดำแล้ว ก็ทำการหาขอบภาพหรือ หาขอบของเหรียญ โดยการตรวจสอบหาพิกเซลที่อยู่ริมสุดของด้านต่างๆ ทั้ง 4 ด้าน คือ บน, ล่าง, ซ้าย และขวา เพื่อตัดส่วนที่ไม่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ออก

รูปที่ 3.9 แสดงภาพขาว-ดำ

รูปที่ 3.10 แสดงกรอบภาพ

3.5 กระบวนการ Feature Extraction

คือ กระบวนการดึงเอาคุณลักษณะเด่นของเหรียญออกมา ซึ่งจะพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลาง หากเป็นเหรียญคนละชนิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน จะเปรียบเทียบรูปลักษณ์ของเหรียญโดย แบ่งเป็น การหมุนเปรียบเทียบ และการแปลงภาพเหรียญเป็นพิกัดเชิงขั้ว

3.5.1 การหาเส้นขนาดของผ่านศูนย์กลาง

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำภาพที่แปลงเป็นภาพขาว-ดำมาใช้ในการตรวจสอบ

2. หาจุดด้านขวาสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวนอนทีละบรรทัดจากบนลงล่าง เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า

3. หาจุดด้านล่างสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวตั้งทีละแถวจากซ้ายไปขวา เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า

4. หาจุดด้านซ้ายสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวตั้งทีละแถวจากขวาไปซ้าย เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า

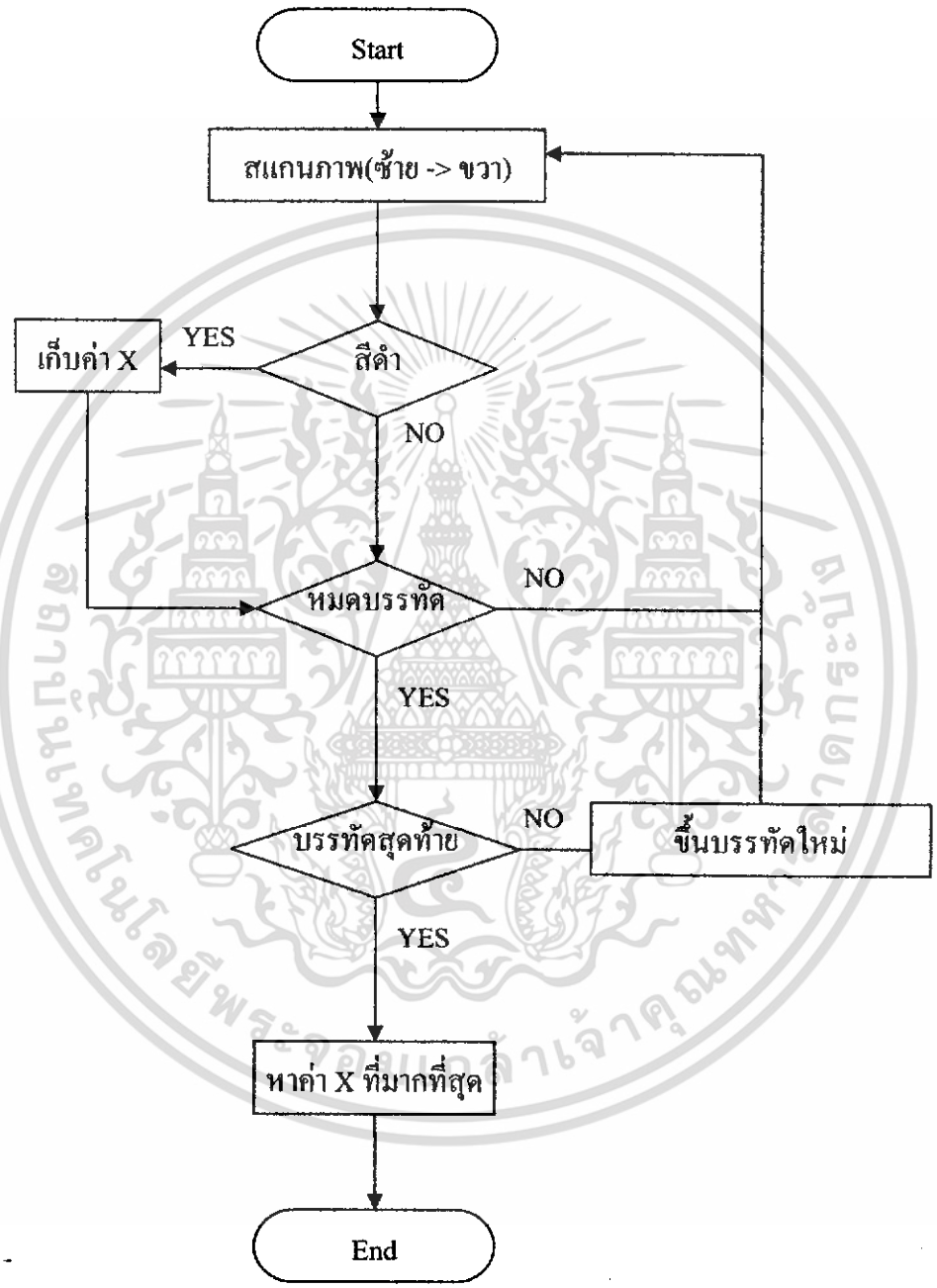
5. หาจุดด้านล่างสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวตั้งทีละแถวจากล่างขึ้นบน เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า

6. หาระยะจากจุดบนสุดถึงจุดล่างสุด และจุดซ้ายสุดถึงจุดขวาสุด

7. หาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยนำระยะที่ได้ทั้งสองค่า (จากข้อ6.) มาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

62798



รูปที่ 3.11 แสดงอัลกอลิทึมในการหาจุดขวาสุดของภาพเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณ์เหรียญ โดยการหมุนเหรียญแล้วเปรียบเทียบ

มีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดภาพเหรียญอ้างอิงและเหรียญที่ใช้ทดสอบแล้วแปลงเป็นภาพขาว-ดำ

2. สร้างขอบเขตของเหรียญโดยอ้างอิงจากเส้นรอบวง

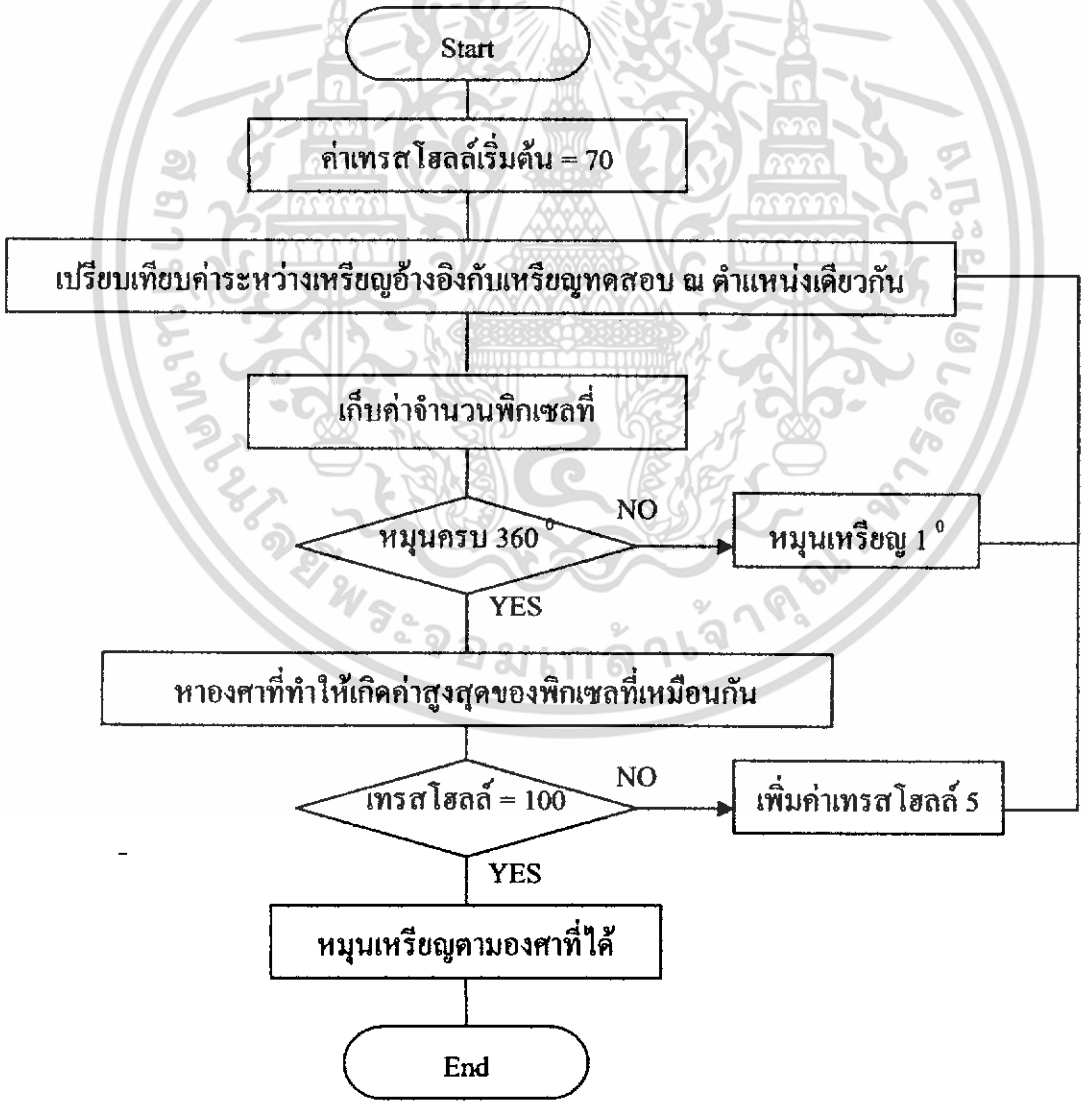
3. เปรียบเทียบค่าขาว-ดำระหว่างเหรียญอ้างอิงกับเหรียญทดสอบ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดยนับจำนวนของพิกเซลที่เหมือนกันแล้วเก็บค่าดังกล่าว

4. หมุนเหรียญครั้งละ 1 องศา แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 3. จนกระทั่งครบ 360 องศา

5. หาค่าที่จำนวนพิกเซลเหมือนกันมากที่สุด เก็บค่าองศาที่หมุนมา

6. เพิ่มค่าเทรสโฮลล์อีก 5 ทำข้อ3. จนค่าเทรสโฮลล์ครบ 100

7. หมุนเหรียญตามค่าองศาที่ได้



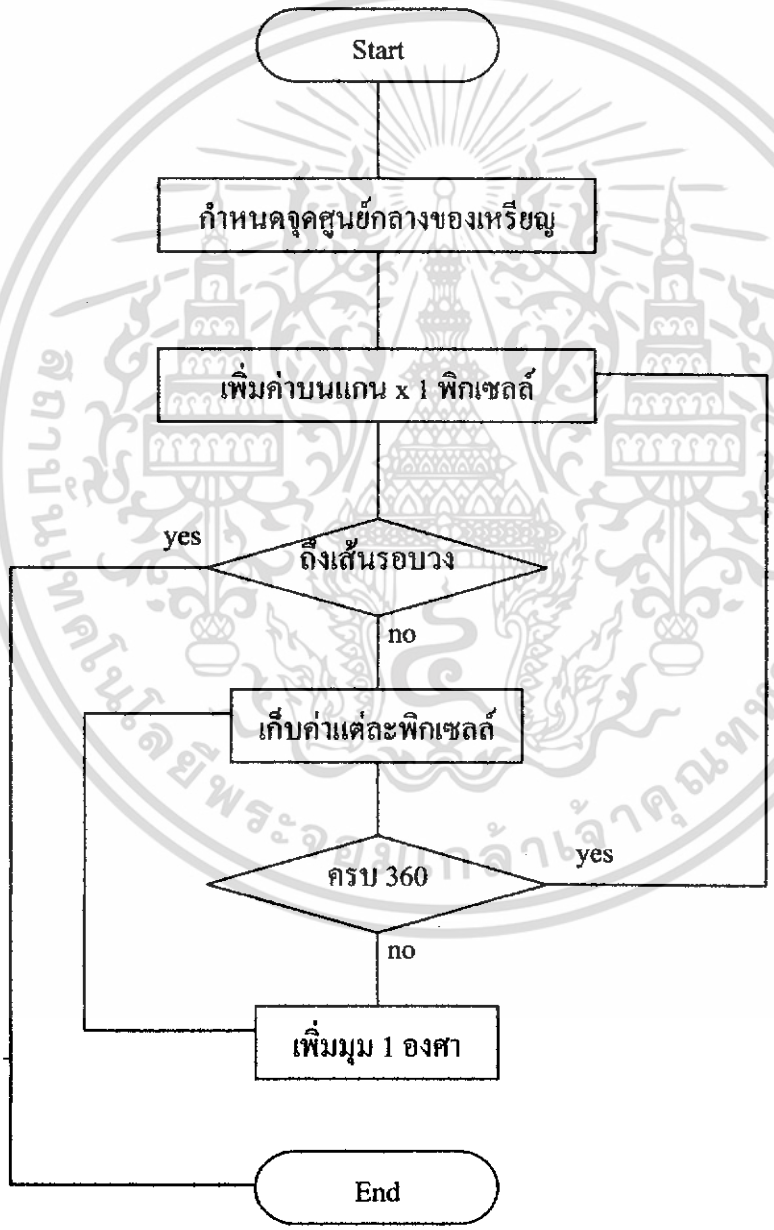
รูปที่ 3.11 แสดงอัลกอลิทึมในการเปรียบเทียบรูปลักษณ์ของเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การใช้พิกัดเชิงขั้วเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์

มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจุดศูนย์กลางของวงกลม
2. เพิ่มค่าแกน x ไป 1 พิกเซลล์ แล้วเก็บค่า
3. เพิ่มมุม 1 องศา แล้วเก็บค่าจนครบ 360 องศา
4. ทำขั้นตอนในข้อ 2 และ 3 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่า x ถึงเส้นรอบวง
5. เก็บค่าเมตริกซ์ที่ได้



รูปที่ 3.13 แสดงอัลกอลิทึมในการใช้พิกัดเชิงขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 แสดงภาพเหรียญก่อนการแปลงพิกัดเชิงขั้ว

รูปที่ 3.15 แสดงภาพเหรียญหลังการแปลงพิกัดเชิงขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 Coin Recognition

คือการจำแนกเหรียญที่นำมาทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับเหรียญอ้างอิง ในการทดลองนี้แบ่งเป็น 3 กรณี คือ การจำแนกเหรียญจากความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง, การเปรียบเทียบรูปลักษณ์หน้าเหรียญโดยวิธีหมุนแล้วเปรียบเทียบ และการเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของภาพเหรียญในพิกัดเชิญขั้ว

3.6.1 การหาเส้นผ่านศูนย์กลาง

การคิดระยะทางจากค่าซ้ายสุดไปถึงค่าขวาสุดของภาพ จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวนอน

การคิดระยะทางจากค่าบนสุดไปถึงล่างสุดของภาพ จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวตั้ง

จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวนอน} + \text{เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวตั้ง}}{2}$$

เมื่อเก็บเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละเหรียญเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็ทำการบันทึกค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญแต่ละประเภทไว้เป็นหมวดหมู่ จากนั้นก็ตรวจสอบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยหาค่า Euclidean distance ของแต่ละเหรียญโดยเทียบจากค่า 0

เมื่อได้ค่า Euclidean distance มาก็ทำการพิจารณาความแตกต่าง หากค่า Euclidean distance ต่างกันเป็นช่วงๆ ก็แสดงว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน

เมื่อรู้ว่าค่า Euclidean distance ของเหรียญแต่ละประเภทต่างกัน ก็หาค่าเทรสโฮลด์ที่ใช้จำแนกชนิดของเหรียญ โดยค่าเทรสโฮลด์หาได้จาก 2 วิธี คือ

1. ค่าจากการสังเกต โดยนำค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางมาสร้างกราฟ แล้วสังเกตค่าจากกราฟ
2. ค่าจากการหา Fault Rejection และ Fault Acceptant ซึ่งหาได้ดังนี้

ตัวอย่างการหาค่า Fault Rejection และ Fault Acceptant ของเหรียญ 25 สตางค์ ทำได้โดย

- หาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางเหรียญ 25 สตางค์ ทุกเหรียญ
- หาผลต่างระหว่างเหรียญที่นำมาพิจารณา (เหรียญ 25 สตางค์ เหรียญ 50 สตางค์ เหรียญ 1 บาท เหรียญ 5 บาท และเหรียญ 10 บาท) แล้วสร้างกราฟผลต่างนี้
- เลือกค่าเทรสโฮลด์ตั้งแต่ 0 ดูว่ามีค่า Fault Rejection และ Fault Acceptant เท่าไร จากนั้นเพิ่มค่าเทรสโฮลด์ หาค่า Fault Rejection และ Fault Acceptant แล้วสร้างออกมาเป็นกราฟ โดยให้แกน x เป็นค่า Fault Rejection และ Fault Acceptant และแกน y เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าดังกล่าว
- ค่าเทรสโฮลด์ที่ใช้ คือช่วงที่ค่า Fault Rejection และ Fault Acceptant เป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณ์เหรียญ โดยการหมุนเหรียญแล้วเปรียบเทียบ

หลังจากกระบวนการเปรียบเทียบรูปลักษณ์เหรียญแล้วได้ผลคือ จำนวนพิกเซลที่เหมือนกันระหว่างเหรียญอ้างอิงกับเหรียญทดสอบ กระบวนการรู้จำจะจำแนกเหรียญโดยการพิจารณาว่าจำนวนพิกเซลที่เหมือนกันมีมากกว่าหรือเท่ากับ ค่าเทรสโฮลด์สำหรับการเปรียบเทียบจุดบนหน้าเหรียญ สำหรับเหรียญที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญทดสอบหรือไม่ จึงจะตัดสินว่าเหรียญทดสอบ เป็นเหรียญชนิดนั้น ตัวอย่างเช่น

เหรียญ 1 บาท					
		จำนวนพิกเซลทั้งหมด	จำนวนพิกเซลที่เหมือนกับเหรียญอ้างอิง	ค่าเทรสโฮลสำหรับการเปรียบเทียบ	การรู้จำ
เหรียญอ้างอิง		8100	N/A	N/A	N/A
เหรียญทดสอบ 0		8100	6016	6050	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท
เหรียญทดสอบ 1		8100	8085	6050	เหรียญ 1 บาท
เหรียญทดสอบ 2		8100	6474	6050	เหรียญ 1 บาท
เหรียญทดสอบ 3		8100	6014	6050	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท

สำหรับการเลือกค่าเทรสโฮลด์สำหรับการเปรียบเทียบนั้น ในขณะทำการทดลองใช้การเลือกแบบกำหนดเอง โดยมีหลักการพิจารณา ดังนี้

- ค่าที่เลือกจะต้องมากกว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยภาพจุดสีดำ ขนาดเท่ากับเหรียญ
- ค่าที่เลือกจะต้องสามารถใช้แยกเหรียญที่มีลวดลายต่างจากเหรียญอ้างอิงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การใช้พิกัดเชิงขั้ว

การที่นำพิกัดเชิงขั้วมาใช้ มีจุดประสงค์เพื่อทำให้การคิดคำนวณลักษณะเด่นต่างๆ ของเหรียญมีความสะดวกและแม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่เหรียญมีการหมุน หากนำมาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์โดยใช้สมการฟูเรียร์ จะทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการหมุนของเหรียญ ซึ่งการหาพิกัดเชิงขั้ว เป็นการแปลงพิกัด (x,y) เป็นพิกัด (r,θ) แล้วเก็บค่าลงในเมตริกซ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งค่าที่ได้จะคลอบคลุมเฉพาะข้อมูลของหน้าเหรียญเท่านั้น ทำให้เกิดข้อผิดพลาดลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เมตริกซ์จัตุรัส ซึ่งจะมีพื้นหลังเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

รูปที่ 3.16 ภาพเหรียญในพิกัด (x,y)

รูปที่ 3.17 ภาพเหรียญในพิกัด (r,θ)

$$\begin{bmatrix} (R_1,\theta_1) & (R_1,\theta_2) & (R_1,\theta_3) & (R_1,\theta_4) & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (R_1,\theta_{360}) \\ (R_2,\theta_1) & (R_2,\theta_2) & (R_2,\theta_3) & (R_2,\theta_4) & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (R_2,\theta_{360}) \\ (R_3,\theta_1) & (R_3,\theta_2) & (R_3,\theta_3) & (R_3,\theta_4) & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (R_3,\theta_{360}) \\ \vdots & & & & \\ (R_r,\theta_1) & (R_r,\theta_2) & (R_r,\theta_3) & (R_r,\theta_4) & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (R_r,\theta_{360}) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3.18 ลักษณะเมตริกซ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากการแปลงเป็นพิกัดเชิงขั้ว

3.6.4 การใช้สมการฟูเรียร์

การที่นำสมการฟูเรียร์มาใช้ เนื่องจากสมการฟูเรียร์สามารถใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ และลักษณะข้อมูลค่าระดับเทาของเหรียญก็มีลักษะเป็นสัญญาณ นอกจากการใช้สมการฟูเรียร์จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องการหมุนของเหรียญแล้ว การใช้การประมาณค่า ยังช่วยลดขนาดของข้อมูล และลดความแตกต่างในส่วนของความเก่าใหม่ของเหรียญ โดยนำค่าในแต่ละแถวของเมตริกซ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากการแปลงเป็นพิกัดเชิงขั้ว มาผ่านสมการฟูเรียร์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ โดยเลือกมาใช้ที่จำนวน 120 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการฟูเรียร์ที่ใช้คือ

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)]$$

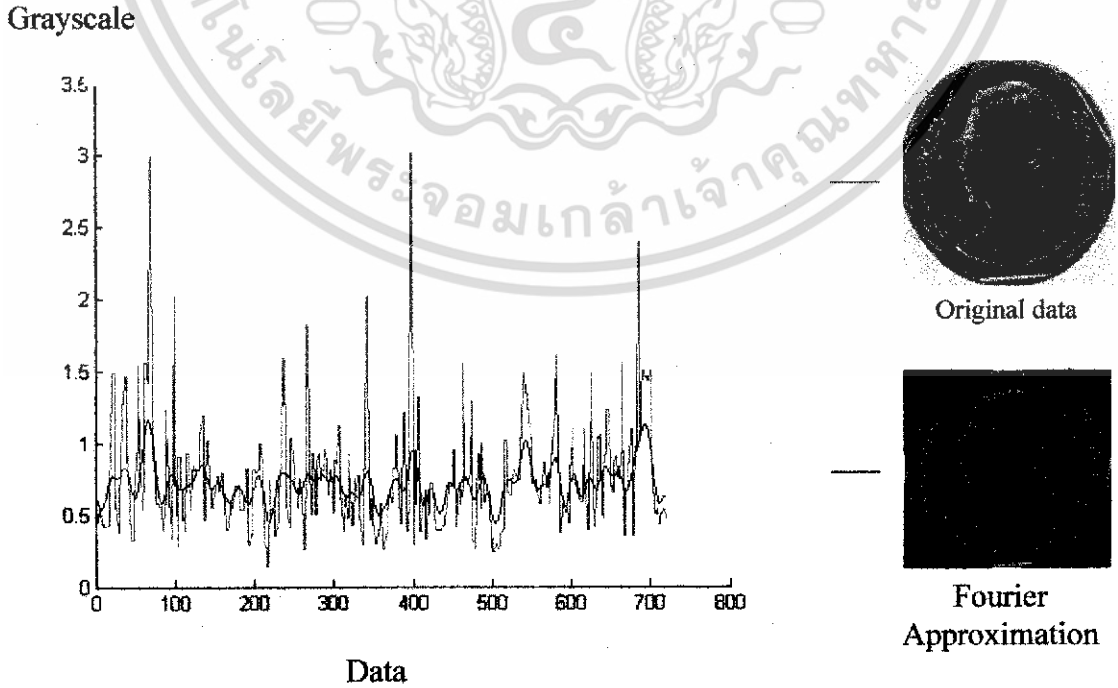
$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} f(x)\cos(nx)dx$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} f(x)\sin(nx)dx$$

โดยที่ c = (a_n+b_n) โดยที่ a คือ พจน์ของจำนวนจริง และ b คือ พจน์ของจำนวนจินตภาพ

$$\begin{bmatrix} C_{1\,1} & C_{1\,2} & C_{1\,3} & C_{1\,4} & C_{1\,5} & C_{1\,6} & \cdots\cdots\cdots & C_{1\,120} \\ C_{2\,1} & C_{2\,2} & C_{2\,3} & C_{2\,4} & C_{2\,5} & C_{2\,6} & \cdots\cdots\cdots & C_{2\,120} \\ C_{3\,1} & C_{3\,2} & C_{3\,3} & C_{3\,4} & C_{3\,5} & C_{3\,6} & \cdots\cdots\cdots & C_{3\,120} \\ \vdots & & & & & & & \\ C_{r\,1} & C_{r\,2} & C_{r\,3} & C_{r\,4} & C_{r\,5} & C_{r\,6} & \cdots\cdots\cdots & C_{r\,120} \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3.20 เมตริกว์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จากข้อมูลพิกัดเชิงขั้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์แล้ว ก็นำค่าที่ได้มาหาค่าสัมบูรณ์ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่ได้ ซึ่งประกอบด้วยจำนวนจริง และจำนวนจินตภาพ มาคิดคำนวณโดยผ่านสมการ

$$M = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

โดยที่ M คือค่าสัมบูรณ์

จากนั้นนำค่าสัมบูรณ์ ที่ได้มา normalize โดยเทียบกับตัวแรกของแต่ละแถว เพื่อลดความแตกต่างของระดับสีของเหรียญที่มีความเก่า-ใหม่ไม่เท่ากัน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของตัวเองเป็นตัวตั้ง หารด้วยค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของตัวแรก หลังจากนั้นก็ทำการเปรียบเทียบ และหาค่า Euclidean distance ของแต่ละเหรียญ จากสมการ

$$d(f_1, f_2) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \ldots + (x_n - y_n)^2}$$

โดยที่ f_1 คือ ค่าสัมบูรณ์(ที่ผ่านการnormalize)ของเหรียญอ้างอิง

f_2 คือ ค่าสัมบูรณ์(ที่ผ่านการnormalize)ของเหรียญที่นำมาพิจารณา

เมื่อได้ค่า Euclidean distance ของทุกเหรียญแล้ว ก็นำมาวิเคราะห์ และบ่งบอกชนิดของเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ทดสอบด้วยเหรียญทั้งหมด 134 เหรียญ แบ่งเป็น เหรียญ 1 บาท, 5 บาท, 10 บาท ชนิดละ 30 เหรียญ เหรียญ 25 สตางค์ จำนวน 20 เหรียญ และ เหรียญ 50 สตางค์ จำนวน 24 เหรียญ

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่หาได้ มีค่าดังนี้

เหรียญที่/ชนิด	เหรียญ 25 สตางค์	เหรียญ 50 สตางค์	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 10 บาท
1	71	80	88	108	118
2	72	80	88	109	118
3	72	80	88	108	118
4	71	81	89	109	117
5	72	81	89	108	118
6	71	81	89	109	117
7	72	80	88	109	117
8	72	80	89	109	117
9	71	81	89	108	116
10	72	80	90	108	118
11	72	81	88	108	118
12	71	80	90	109	118
13	71	80	89	108	118
14	72	81	90	108	115
15	72	80	89	108	118
16	72	81	90	108	117
17	72	80	89	108	118
18	71	81	88	109	117
19	72	82	90	108	118
20	72	81	90	108	118
21		81	90	108	118
22		81	90	108	118
23		81	91	108	118
24		81	90	118	117
25			90	108	118
26			89	108	118
27			89	107	117
28			89	108	117
29			88	108	116
30			89	108	118

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้ในแต่ละเหรียญ

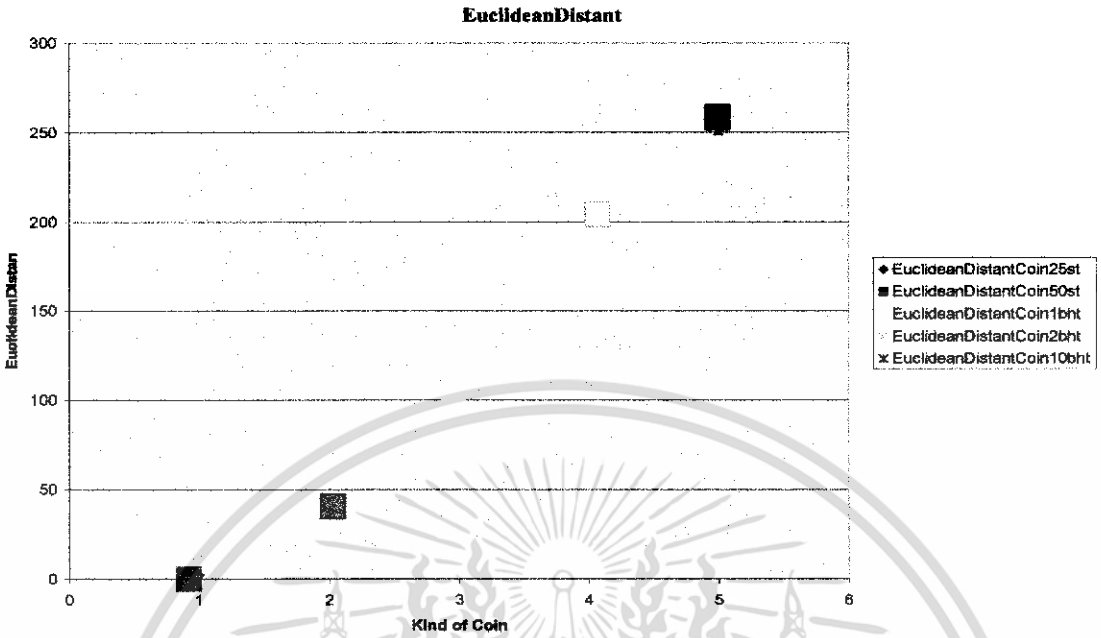
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การพิจารณาค่าเทรสโฮลด์โดยใช้ Euclidean distance

เปรียบเทียบผลต่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญต่างๆกับค่าเฉลี่ยของเหรียญ 25 สตางค์					
	เหรียญ 25 สตางค์	เหรียญ 25 สตางค์	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 10 บาท
เหรียญที่ 1	0.65	8.35	16.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 2	0.35	8.35	16.35	37.35	46.35
เหรียญที่ 3	0.35	8.35	16.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 4	0.65	9.35	17.35	37.35	45.35
เหรียญที่ 5	0.35	9.35	17.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 6	0.65	9.35	17.35	37.35	45.35
เหรียญที่ 7	0.35	8.35	16.35	37.35	45.35
เหรียญที่ 8	0.35	8.35	17.35	37.35	45.35
เหรียญที่ 9	0.65	9.35	17.35	36.35	44.35
เหรียญที่ 10	0.35	8.35	18.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 11	0.35	9.35	16.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 12	0.65	8.35	18.35	37.35	46.35
เหรียญที่ 13	0.65	8.35	17.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 14	0.35	9.35	18.35	36.35	43.35
เหรียญที่ 15	0.35	8.35	17.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 16	0.35	9.35	18.35	36.35	45.35
เหรียญที่ 17	0.35	8.35	17.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 18	0.65	9.35	16.35	37.35	45.35
เหรียญที่ 19	0.35	10.35	18.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 20	0.35	9.35	18.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 21	0	9.35	18.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 22	0	9.35	18.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 23	0	9.35	19.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 24	0	9.35	18.35	46.35	45.35
เหรียญที่ 25	0	0	18.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 26	0	0	17.35	36.35	46.35
เหรียญที่ 27	0	0	17.35	35.35	45.35
เหรียญที่ 28	0	0	17.35	36.35	45.35
เหรียญที่ 29	0	0	16.35	36.35	44.35
เหรียญที่ 30	0	0	17.35	36.35	46.35
Euclidean	**2.133073**	**44.05497**	**96.04777**	**202.2644**	**250.983**

ตารางที่ 4.2 แสดงผลต่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญต่างๆ เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของเหรียญ 25 สตางค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

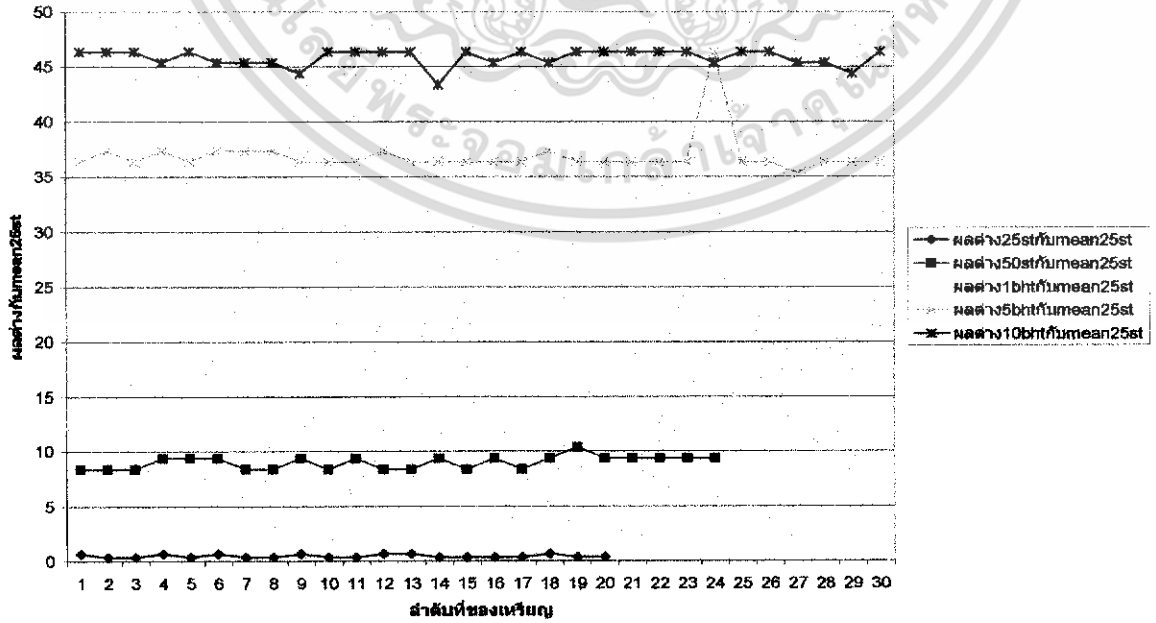


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า Euclidean Distant ของเหรียญแต่ละชนิดเทียบกับเหรียญ 50 สตางค์

ค่า Euclidean Distant แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถแบ่งได้เป็นชุดๆ ซึ่งหมายความว่าสามารถแยกเหรียญแต่ละชนิดออกจากกันได้

4.1.2 การหาค่าเทรสโฮลด์จากกราฟและการสังเกตค่า

เปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางเหรียญอื่นๆกับเหรียญ25สตางค์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า Euclidean Distant ของเหรียญแต่ละเหรียญ

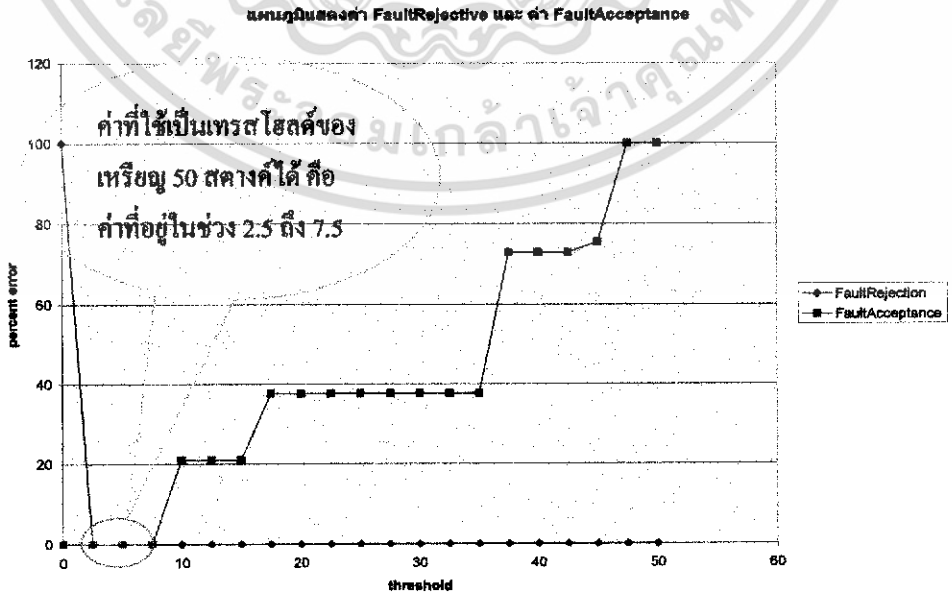
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้ สามารนำไปหาค่าเทรสโฮลด์ได้ โดยการนำค่า Fault Rejection และค่า Fault Acceptant เข้ามาช่วย

*** ซึ่งค่าเทรสโฮลด์ของเหรียญ 50 สตางค์ ที่สามารถใช้ได้ ก็คือช่วง 2.5 ถึง 7.5 นั่นเอง

threshold		
0	100	0
2.5	0	0
5	0	0
7.5	0	0
10	0	21.053
12.5	0	21.053
15	0	21.053
17.5	0	37.719
20	0	37.719
22.5	0	37.719
25	0	37.719
27.5	0	37.719
30	0	37.719
32.5	0	37.719
35	0	37.719
37.5	0	72.807
40	0	72.807
42.5	0	72.807
45	0	75.439
47.5	0	100
50	0	100

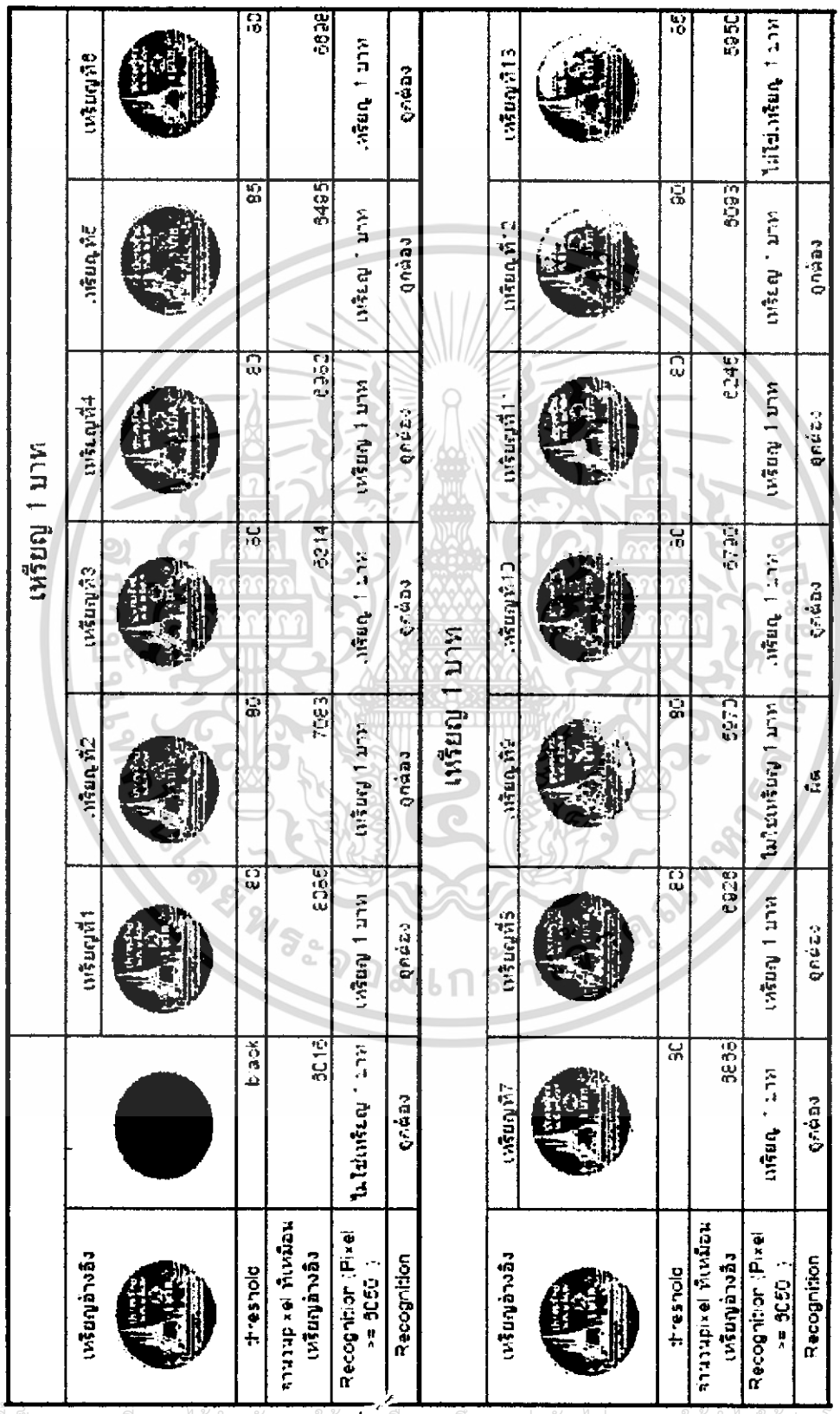
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Fault Rejection และ Fault Acceptance ที่แต่ละเทรสโฮลด์



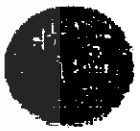
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงช่วงของค่าเทรสโฮลด์ที่สามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการเปรียบเทียบรูปลักษณ์ด้วยการหมุนเหรียญแล้วเทียบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

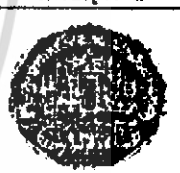
เหรียญ 1 บาท							
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่14	เหรียญที่15	เหรียญที่16	เหรียญที่17	เหรียญที่18	เหรียญที่19	เหรียญที่20
							
threshold	90	80	90	80	80	85	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	8346	8512	8269	8079	8203	8054	8158
Recognition (Pixel >= 8050)	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

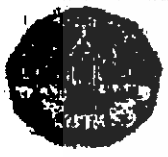
เหรียญ 1 บาท							
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่21	เหรียญที่22	เหรียญที่23	เหรียญที่24	เหรียญที่25	เหรียญที่26	เหรียญที่27
threshold	80	80	85	80	80	90	85
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	8126	8309	8010	8726	8474	8159	5956
Recognition (Pixel >= 8050)	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ผิด

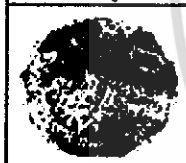
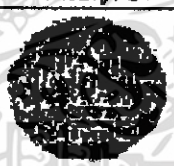
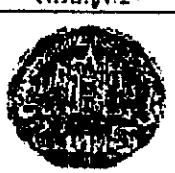
เหรียญ 1 บาท				เหรียญอื่นๆ			
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่28	เหรียญที่29	เหรียญที่30	เหรียญที่1	เหรียญที่2	เหรียญที่3	เหรียญที่4
threshold	85	85	80	95	85	80	90
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	5936	6345	6067	5970	6314	5941	5913
Recognition (Pixel >= 5050)	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท
Recognition	ผิด	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เหรียญอื่นๆ	
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่5
threshold	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	5973
Recognition (Pixel >= 5050)	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท
Recognition	ถูกต้อง

เหรียญที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญ 5 บาท

		เหรียญ 5 บาท					
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่1	เหรียญที่2	เหรียญที่3	เหรียญที่4	เหรียญที่5	เหรียญที่6
threshold	black	85	80	80	80	80	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	7914	11466	9517	9278	8757	8828	9233
Recognition (Pixel >= 9010)	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
		เหรียญ 5 บาท					
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่7	เหรียญที่8	เหรียญที่9	เหรียญที่10	เหรียญที่11	เหรียญที่12	เหรียญที่13
							
threshold	80	100	90	80	75	75	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	8100	7867	8467	7931	8439	8285	8059
Recognition (Pixel >= 9010)	เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ผิด	ถูกต้อง	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

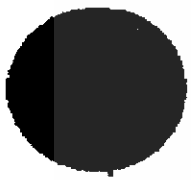
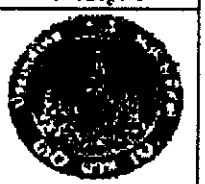
เหรียญ 5 บาท							
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่14	เหรียญที่15	เหรียญที่16	เหรียญที่17	เหรียญที่18	เหรียญที่19	เหรียญที่20
							
threshold	75	80	75	85	75	75	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	9193	9198	9195	9232	8333	8085	8399
Recognition (Pixel >= 5010)	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

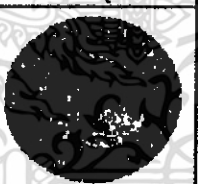
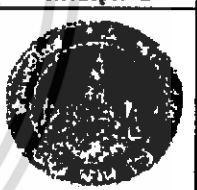
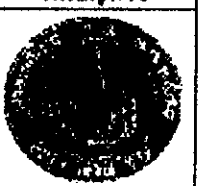
เหรียญ 5 บาท							
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่21	เหรียญที่22	เหรียญที่23	เหรียญที่24	เหรียญที่25	เหรียญที่26	เหรียญที่27
							
threshold	75	75	75	80	75	85	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	9142	8266	9020	8452	9347	5383	8111
Recognition (Pixel >= 5010)	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

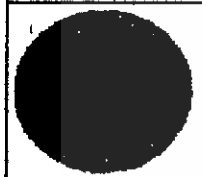
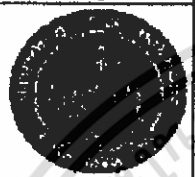
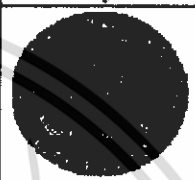
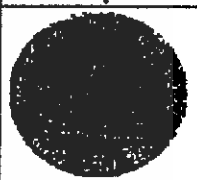
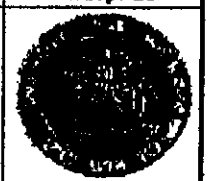
เหรียญ 5 บาท			
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่28	เหรียญที่29	เหรียญที่30
threshold	75	80	75
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	9192	8851	9283
Recognition (Pixel >= 8010)	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

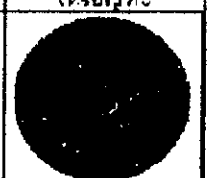
เหรียญอื่นๆ						
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่1	เหรียญที่2	เหรียญที่3	เหรียญที่4	เหรียญที่5	เหรียญที่6
threshold	80	85	80	80	80	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	7936	7928	7961	8038	8003	7877
Recognition (Pixel >= 8010)	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เหรียญที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญ 10 บาท

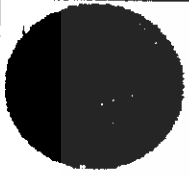
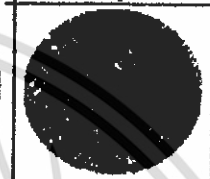
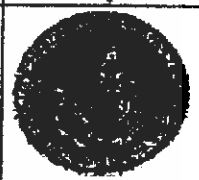
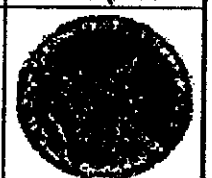
เหรียญ 10 บาท							
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่1	เหรียญที่2	เหรียญที่3	เหรียญที่4	เหรียญที่5	เหรียญที่6
							
threshold	black	100	95	75	85	90	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	10874	10890	10545	11203	10933	11080	11384
Recognition (Pixel >= 10820)	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เหรียญ 10 บาท							
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่7	เหรียญที่8	เหรียญที่9	เหรียญที่10	เหรียญที่11	เหรียญที่12	เหรียญที่13
							
threshold	80	100	85	95	85	80	95
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	10880	10820	10639	10581	10931	10718	10739
Recognition (Pixel >= 10820)	เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ผิด	ผิด	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

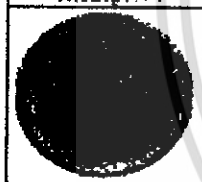
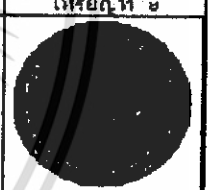
เหรียญ 10 บาท							
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่14	เหรียญที่15	เหรียญที่16	เหรียญที่17	เหรียญที่18	เหรียญที่19	เหรียญที่20
							
threshold	100	90	95	95	90	95	80
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	10687	10767	10733	10632	10804	10548	10737
Recognition (Pixel >= 10580)	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท
Recognition	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ผิด	ผิด	ผิด	ถูกต้อง

เหรียญ 10 บาท		เหรียญอื่นๆ					
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่21	เหรียญที่1	เหรียญที่2	เหรียญที่3	เหรียญที่4	เหรียญที่5	เหรียญที่6
							
threshold	75	100	100	95	100	100	95
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	11391	10567	10377	10558	10493	10533	10597
Recognition (Pixel >= 10580)	เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เหรียญอื่นๆ

เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่7	เหรียญที่8	เหรียญที่9	เหรียญที่10	เหรียญที่11	เหรียญที่12	เหรียญที่13
							
threshold	100	100	100	90	100	95	100
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	10542	10569	10529	10571	10513	10577	10490
Recognition (Pixel >= 10500)	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เหรียญอื่นๆ

เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่14	เหรียญที่15	เหรียญที่16	เหรียญที่17	เหรียญที่18	เหรียญที่19
						
threshold	100	100	100	90	100	100
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	10535	10601	10568	10581	10571	10525
Recognition (Pixel >= 10500)	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

4.3 ผลการทดสอบการหมุนของเหรียญ

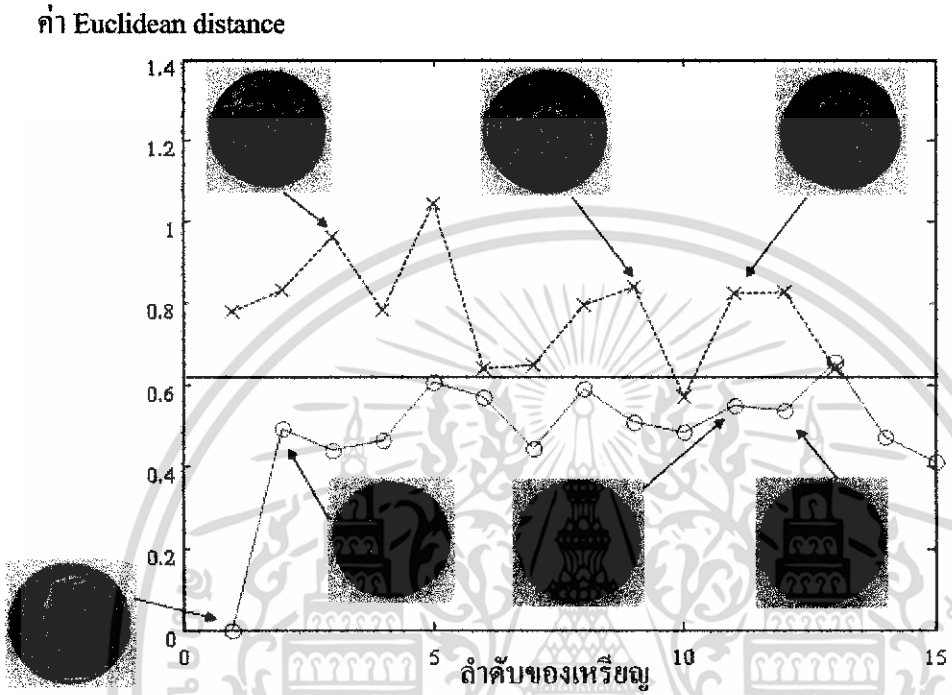
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ของเหรียญที่หมุนในองศาต่างๆ กัน

จากการทดลองโดยใช้เหรียญ 5 บาท 3 เหรียญที่มีการหมุนของตัวเหรียญต่างองศากัน แล้วนำมาหาค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธ์ฟูเรียร์ และเมื่อนำชุดข้อมูลของ ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ที่ รัศมีเหรียญเท่ากับ 50 มาแสดงในรูปแบบกราฟ

จากรูปจะเห็นว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่รอบวงเดียวกันของเหรียญที่มีรูปลักษณ์เหมือนกัน (เหรียญ 5 บาท) จำนวน 3 เหรียญแต่ว่าแต่ละเหรียญมีทิศทางการหมุนที่แตกต่างกันนั้น มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้สรุปได้ว่า การใช้สมการฟูเรียร์เข้ามาใช้วิเคราะห์ร่วมกับการใช้พิกัดเชิงขั้ว สามารถแก้ปัญหาในเรื่องการหมุนของเหรียญได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการจำแนกเหรียญโดยใช้พิกัดเชิงขั้วและสมการฟูเรียร์เข้ามาช่วย

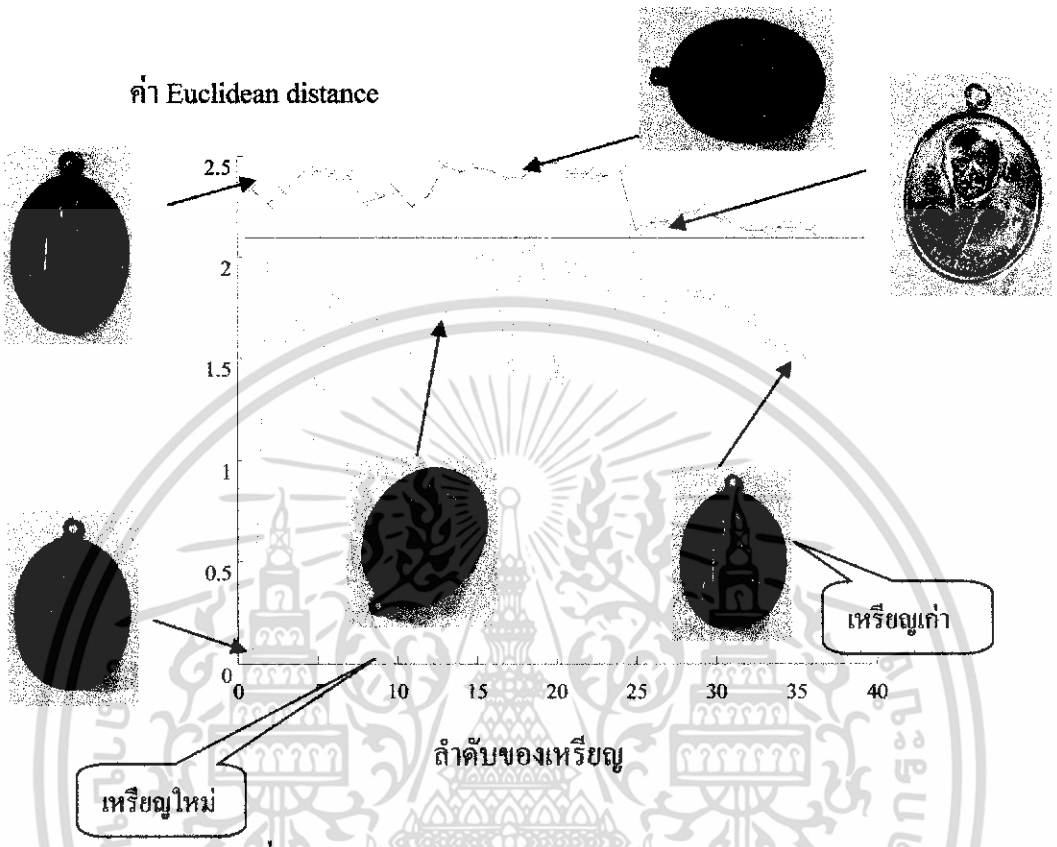


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญ 5 บาท

จากการทดลองทำโดยการใช้เหรียญ 5 บาท 15 เหรียญ และ เหรียญ 25 เซนต์ 13 เหรียญซึ่งเหรียญทั้ง 2 ชนิด นี้มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน มีทั้งเหรียญเก่าและใหม่ และเหรียญหมุนองศาต่างกัน นำแต่ละรูปมาแปลงพิกัดเชิงขั้ว หาค่า magnitude ของ สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ จากนั้นใช้เหรียญ 5 บาทเป็นเหรียญอ้างอิงในการคิดค่า Euclidean distance แล้วนำค่านั้นมาแสดงเป็นกราฟ

จากรูปเป็นกราฟแสดงค่า Euclidean distance ระหว่างเหรียญอ้างอิง (เหรียญ 5 บาท ด้านหัวเหรียญที่ 1) กับเหรียญทดสอบที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญ 5 บาท ซึ่งก็คือเหรียญ 25 cent กับเหรียญ 5 บาทจากรูปจะพบว่า สามารถตรวจสอบเหรียญ ทั้งสองชนิดแยกจากกันได้ค่อนข้างจะสมบูรณ์ ไม่ว่าจะเป็นเหรียญที่ผ่านการใช้มาแล้ว เหรียญใหม่ หรือแม้กระทั่งเหรียญที่มีตำหนิ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีเหรียญจำนวนสองเหรียญที่ตรวจสอบผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญพระ

นอกจากจะทำการทดลองกับเหรียญที่มีลักษณะกลมโดยทั่วไปแล้ว ยังได้ทำการทดลองกับเหรียญที่มีลักษณะเป็นวงรี คือเหรียญพระเครื่อง ซึ่งทำการทดสอบโดยนำเอาภาพของเหรียญพระสมเด็จหลวงพ่อโต ที่มีองศาต่างกันและความเก่าใหม่ต่างกัน จำนวน36 รูป กับ เหรียญพระชนิดอื่นๆ อีก ที่หน้าไม่เหมือนกับสมเด็จหลวงพ่อโต หมุนในองศาต่างๆกัน อีก36 รูป นำแต่ละรูปมาแปลงพิกัดเชิงขั้ว หาค่า magnitude ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ จากนั้นใช้เหรียญสมเด็จหลวงพ่อโตเป็นเหรียญอ้างอิงในการคิดค่า Euclidean distance แล้วนำค่านั้นมาแสดงเป็นกราฟ

ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเราสามารถใช้วิธีการนี้ได้เพียงแต่จะต้องมีวิธีในการค้นหาและกำหนดจุดศูนย์กลางของเหรียญให้ได้ จากกราฟจะเห็นว่าสามารถแยกแยะเหรียญที่มีลักษณะรูปลักษณ์เหมือนกันออกมาได้ แม้จะมีสี และสภาพที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินโครงงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การหาเส้นผ่านศูนย์กลาง

สามารถแยกเหรียญตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้

5.1.2 การหมุนแล้วเทียบ

ในส่วนนี้จะใช้แก้ปัญหาในกรณีที่มีเหรียญที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากกว่า 1 ชนิด

แต่การใช้วิธีนี้พบว่ามีข้อเสียคือ การตรวจสอบ 1 เหรียญ ใช้เวลา 40 วินาที ซึ่งถือว่าช้ามาก จึงต้องแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

5.1.3 การใช้พิกัดเชิงขั้วและอนุกรมฟูเรียร์เข้ามาช่วยในการหาจำแนกชนิดของเหรียญ

ในส่วนนี้สรุปได้ว่าเป็นวิธีที่ดีเมื่อเทียบกับ วิธีหมุนแล้วเทียบ ทั้งจำนวนรอบการทำงานและการเปรียบเทียบข้อมูล ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที และยังอาจจะลดลงได้ อันเนื่องจากกระบวนการที่ใช้นั้น เป็นวิธี sequential search ซึ่งใช้เวลานาน

5.1.4 การทดสอบเหรียญวงรี

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบกับเหรียญรูปวงรี ซึ่งผลก็เป็นที่น่าพอใจ แต่ยังพบว่าเกิดปัญหาในการหาจุดศูนย์กลางที่แน่นอน ซึ่งในส่วนนี้ สามารถนำไปปรับปรุงพัฒนาต่อๆไปได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการดำเนินโครงงาน

1. เหรียญตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน แต่เป็นคนละชนิดกัน มีจำนวนน้องและหาได้ยาก

2. การควบคุมสภาวะแวดล้อมขณะถ่ายภาพ และการควบคุมคุณภาพของภาพเหรียญเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะระดับแสงและรูปแบบแสงที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงาน

พัฒนาในส่วนของอัลกอริทึม ในการวิเคราะห์รู้จำเหรียญ ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

5.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

1. การระบุว่าใช่เหรียญชนิดนั้นๆหรือไม่ ในส่วนนี้สามารถทำได้ในส่วนหนึ่งแล้ว แต่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพของการตรวจสอบได้

2. การระบุว่าเป็นเหรียญชนิดใด ซึ่งจะสามารถเลือกหาวิธีการได้หลายวิธี ในส่วนนี้จะต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านเข้ามาช่วย หากเป็นการตรวจสอบแบบต่อเนื่องจะใช้เวลานานมาก ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการอื่น

5.5 สรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการรู้จำเหรียญที่มีขนาดเท่ากันแต่มีรูปลักษณ์ที่แตกต่างกัน โดยในขั้นตอนการรู้จำได้เสนอวิธีการดึงเอาคุณลักษณะเด่นของรูปลักษณ์ที่ปรากฏอยู่บนเหรียญ โดยลักษณะเด่นนี้ จะมีคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนของเหรียญ ซึ่งลักษณะเด่นดังกล่าว สามารถแสดงโดยใช้ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิญขั้ว

นอกจากนั้นปัญหาที่เกิดจากการสะท้อนของแสงที่เกิดจากเหรียญเก่าและใหม่ตลอดจนเหรียญที่มีรอยตำหนิยังสามารถลดลงได้โดยใช้การประมาณค่าของอนุกรมฟูเรียร์ดังกล่าว

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ การรู้จำเหรียญทำได้โดยคำนวณค่า Euclidean Distance เปรียบเทียบกันระหว่างค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิญขั้ว ที่ได้จากเหรียญอ้างอิง และเหรียญที่นำมาทดสอบ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการรู้จำเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้