

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การรู้จำเหรียญ

Coin Recognition



โดย

นายพรรัฐ จันทพงษ์  
นายวงศ์กร พิบูลย์เวช  
นายศิระ มลิตา

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...62798

วัน,เดือน,ปี... 22 ส.ค. 2549

b. 11630825

i. ....

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร

บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การรู้จำเหรียญ  
TITLE Coin Recogniton  
โดย นายพรรัฐ จันทวงษ์ รหัสนักศึกษา 45010506  
นายวรงค์กร พิบูลย์เวช รหัสนักศึกษา 45010663  
นายศิระ มลิตา รหัสนักศึกษา 45010762

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน  
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ  
ปีการศึกษา 2548

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

(ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

**ลิขสิทธิ์** ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การรู้จำเหรียญ  
ชื่อนักศึกษา นายพรรัฐ จันทวงษ์ รหัสนักศึกษา 45010506  
นายวรงค์กร พิบูลย์เวช รหัสนักศึกษา 45010663  
นายศิระ มลิตา รหัสนักศึกษา 45010762

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน  
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ  
ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการรู้จำเหรียญ ด้วยการพิจารณาจากคุณลักษณะเด่นของเหรียญที่มีคุณสมบัติไม่แปรเปลี่ยนไปตามการหมุนของเหรียญ และคุณลักษณะเด่นดังกล่าวสามารถแสดงได้ โดยค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว ซึ่งลักษณะเด่นนี้เป็นลักษณะเฉพาะตัวจากรูปลักษณะของเหรียญแต่ละชนิด นอกจากนี้ ในปริญญาานิพนธ์นี้ ได้ใช้การประมาณค่าด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ มาช่วยลดความแตกต่างของสภาพเหรียญ เช่น แสงสะท้อน, สภาพของเหรียญเก่าและใหม่ สำหรับกระบวนการรู้จำเหรียญ กระทำได้โดยคำนวณค่า Euclidean distant ระหว่างค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว ของเหรียญอ้างอิง และเหรียญที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Coin Recognition	
<b>Student</b>	MR. Path Juntavong	ID. 45010506
	MR. Warongkorn Piboonwech	ID. 45010663
	MR. Sira Malila	ID. 45010762
<b>Advisor</b>	Dr. Pitak Thumwarin	
<b>Graduate Level</b>	Bachelor Degree of Information Engineering	
<b>Department</b>	Information Engineering	
<b>Academic Year</b>	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.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งบุคคลสำคัญได้แก่ ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ผู้ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะ ให้คำปรึกษา ตลอดจนแก้ไข และเอาใจใส่ห่วงใย มาเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาตลอดการทำปริญญาโท ซึ่งขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณท่านรศ. นภพินท์ อนันตรศิริชัย ที่จัดหาสถานที่ทำงานตลอดเทอมที่ผ่านมา ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่คอยร่วมทำงานและช่วยเหลือแนะนำและให้ความรู้ต่างๆมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ก็ขอขอบคุณผู้ที่ทำให้เราได้มีวันนี้ ผู้ซึ่งคอยให้การสนับสนุนสิ่งต่างๆมาโดยตลอด นั่นคือท่านบิดา-มารดา จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฉ

### บทที่ 1 บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2

### บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการกระทำต่อภาพ	
- Point Operation	3
- Local Operation	4
- Global Operation	5
- Histogram	6
- Thresholding	7
- Segmentation (แยกวัตถุจากภาพ)	10
2.2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์	
- พิกัดเชิงขั้ว	11
- การประมาณค่าด้วยฟูเรียร์	12
- การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean distance)	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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 Attaction	
3.5.1 การหาเส้นขนาดของผ่านศูนย์กลาง	17
3.5.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณะเหรียญโดยการหมุนเหรียญแล้วเปรียบเทียบ	19
3.5.3 การใช้พิกัดเชิงขั้วเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์	20
3.6 Coin Recognition	
3.6.1 การหาเส้นผ่านศูนย์กลาง	22
3.6.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณะเหรียญโดยการหมุนเหรียญแล้วเปรียบเทียบ	23
3.6.3 การใช้พิกัดเชิงขั้ว	24
3.6.4 การใช้สมการฟูเรียร์	24

### บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	27
4.1.1 การพิจารณาค่าเทรส โคลด์ โดยใช้ Euclidean distance	28
4.2 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบรูปลักษณะด้วยการหมุนเหรียญ	31
4.3 ผลการทดสอบการหมุนของเหรียญ	40
4.4 ผลการจำแนกเหรียญโดยใช้พิกัดเชิงขั้วและสมการฟูเรียร์เข้ามาช่วย	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

### บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ

#### 5.1 บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5.1.1 การหาเส้นผ่านศูนย์กลาง	43
5.1.2 การหมุนแล้วเทียบ	43
5.1.3 การทดสอบการหมุนของเหรียญโดยการใช้อนุกรมฟูรีเยร์เข้ามาช่วย	43
5.1.4 การใช้ฟังก์ชันเชิงขั้วและอนุกรมฟูรีเยร์ เข้ามาช่วยในการหาจำแนกชนิดของเหรียญ	43
5.1.5 การทดสอบเหรียญวงรี	43
5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการดำเนินโครงการ	43
5.3 แนวทางการพัฒนาโครงการ	44
5.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน	44
5.5สรุป	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 การกระทำแบบจุดต่อจุด	3
รูปที่ 2.2 การกระทำเฉพาะบริเวณ	4
รูปที่ 2.3 การกระทำกับภาพทั้งหมด	5
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างภาพภาพแห่งความถี่ของเหรียญ 1 บาท	6
รูปที่ 2.5 แสดงการเลือกค่าเทรสโฮลด์จากภาพแห่งความถี่	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 แสดงความเป็นฟังก์ชันคาบของพิกัดโพล่า	11
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างฟังก์ชันที่ใช้ทดสอบการระยะแบบยูคลิด	13
รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม	14
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสถานะแสง	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 แสดงอัลกอริทึมในการหาจุดขวาสุดของภาพเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	18
รูปที่ 3.12 แสดงอัลกอริทึมในการเปรียบเทียบรูปลักษณะของเหรียญ	19
รูปที่ 3.13 แสดงอัลกอริทึมในการใช้พิกัดเชิงขั้ว	20
รูปที่ 3.14 แสดงภาพเหรียญก่อนการแปลงพิกัดเชิงขั้ว	21
รูปที่ 3.15 แสดงภาพเหรียญหลังการแปลงพิกัดเชิงขั้ว	21
รูปที่ 3.16 แสดงภาพเหรียญในพิกัด(x,y)	24
รูปที่ 3.17 แสดงภาพเหรียญในพิกัดเชิงขั้ว	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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 กราฟแสดงช่วงของค่าเทรส โฮลด์ที่สามารถใช้งานได้	30
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของเหรียญที่หมุน ในองศาต่างกัน	40
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญ 5 บาท	41
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญพระ	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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 ที่แต่ละเทอร์สโสลต์	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันเงินตราที่ใช้กันอยู่แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ธนบัตร และเหรียญกษาปณ์ แม้ว่าธนบัตรจะมีมูลค่ามากกว่าและน้ำหนักเบากว่า แต่การใช้เหรียญกษาปณ์ ก็ยังเป็นที่ยอมรับอยู่ เนื่องจากมีมูลค่าไม่มากเหมาะกับการใช้จ่ายเพียงเล็กน้อย อีกทั้งยังมีความคงทนถาวร

ในกรณีที่มีเหรียญเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น การรับเงินบริจาค จะต้องใช้เวลาและแรงงานจำนวนมากในการคัดแยก หรือการฝากเงินกับธนาคารซึ่งธนาคารส่วนมากจะคิดค่าธรรมเนียมการคัดแยก หากธนาคารมีระบบการคัดแยกที่ดีก็ไม่จำเป็นต้องเก็บค่าธรรมเนียมเหล่านี้

นอกจากนี้เหรียญในแต่ละประเทศอาจมีลักษณะและขนาดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ จึงได้เกิดแนวคิดในการทำโครงการชิ้นนี้ขึ้น

#### 1.2 จุดประสงค์

1.2.1 เพื่อหาวิธีในการจำแนกประเภทของเหรียญ โดยใช้คอมพิวเตอร์

1.2.1.1 สามารถจำแนกเหรียญตามขนาดได้

1.2.1.2 สามารถจำแนกเหรียญตามรูปลักษณะภายนอกได้

1.2.2 เพื่อหาวิธีในการตรวจสอบความถูกต้องของเหรียญ โดยใช้คอมพิวเตอร์

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สามารถแยกแยะประเภทของเหรียญ โดยมีการเก็บรูปลักษณะของเหรียญไว้เป็นข้อมูลเพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบ

1.3.2 สามารถตรวจสอบความถูกต้องของเหรียญ โดยใช้กระบวนการการวิเคราะห์รูปภาพ (Image processing) โดยจะมุ่งเน้นการหาวิธีการในการตรวจสอบเท่านั้น

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ระบบและวิธีการรู้จำเหรียญที่มีประสิทธิภาพ

1.4.2 สามารถนำวิธีที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการรู้จำสิ่งอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเหรียญได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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 สรุปผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดและจัดทำเอกสารประกอบโครงการงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

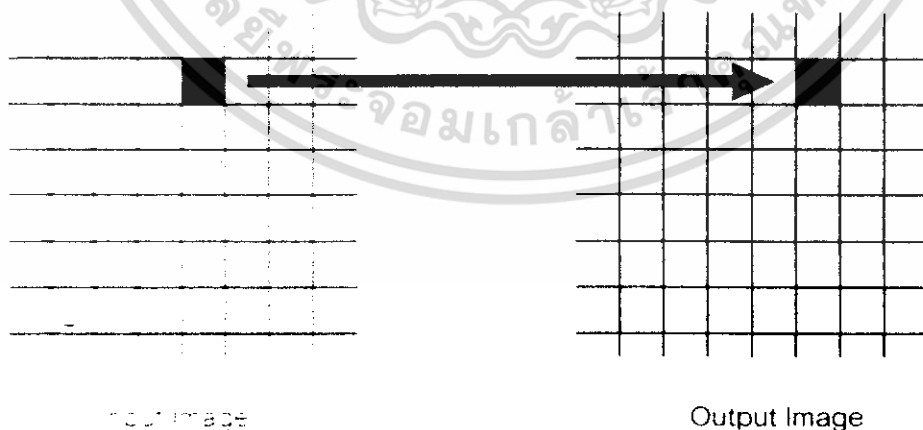
#### 2.1 ทฤษฎีประเภทการกระทำต่อภาพ

##### 2.1.1 Point Operation (การกระทำแบบจุดต่อจุด)

การกระทำแบบนี้ ค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลผลลัพธ์ จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงของพิกเซลในภาพนำเข้า ณ ตำแหน่งที่สมนัยกันดังรูปที่ ลักษณะการกระทำกับภาพประเภทนี้ได้แก่การปรับแสงสว่าง หรือเพิ่มความคมชัด การบวก ลบ คูณ ทหารภาพดิจิทัล หรือการทำทางตรรกะต่างๆ เป็นต้น

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

$$g(x_i, y_i) = \tau[f(x_i, y_i)] \quad \text{: เมื่อ } \tau \text{ คือ การกระทำใดกับภาพ}$$



รูปที่ 2.1 การกระทำแบบจุดต่อจุด

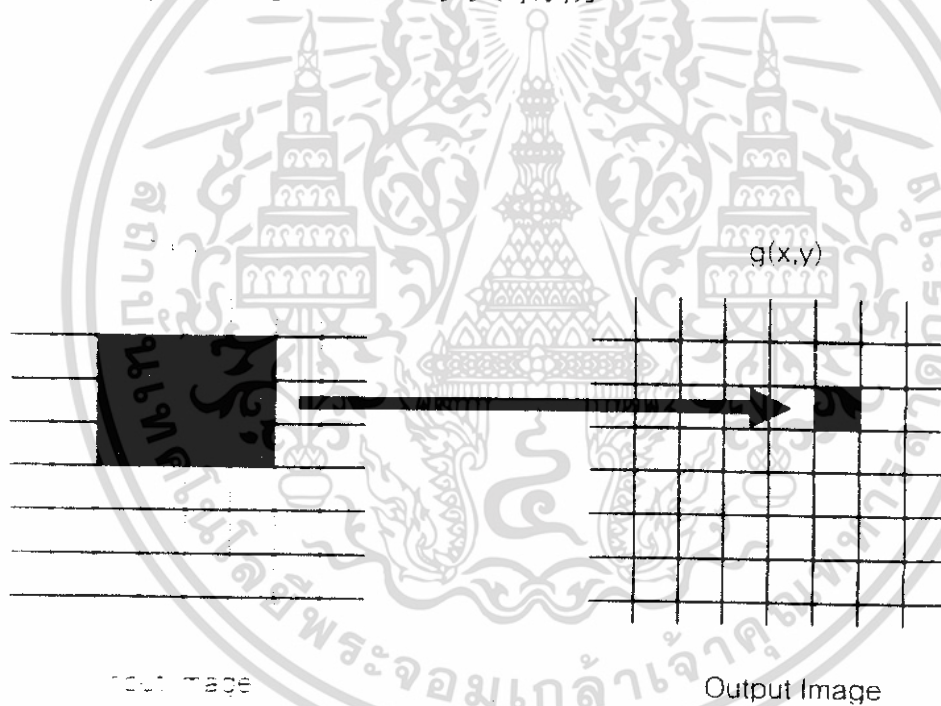
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 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

$$g(x_i, y_i) = \tau[\text{neighborhood of } f(x_i, y_i)]$$



รูปที่ 2.2 การกระทำเฉพาะบริเวณ

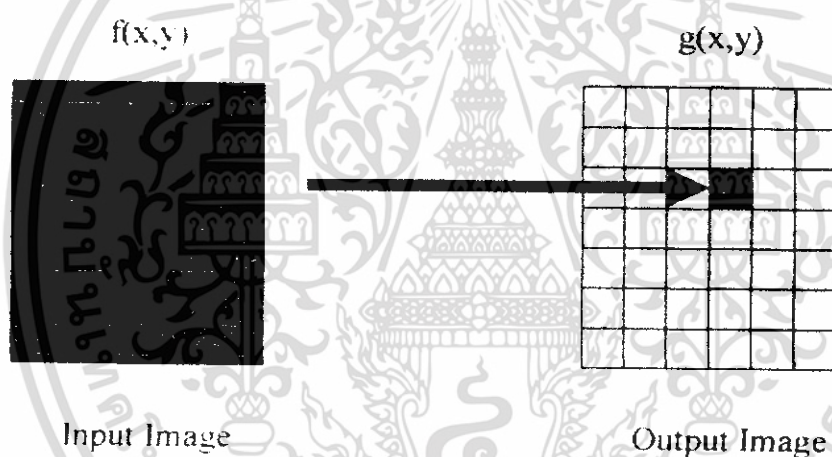
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 Global Operation (การกระทำกับภาพทั้งหมด)

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

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

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



รูปที่ 2.3 การกระทำกับภาพทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

### 2.1.4 ภาพแท่งความถี่(Histogram)

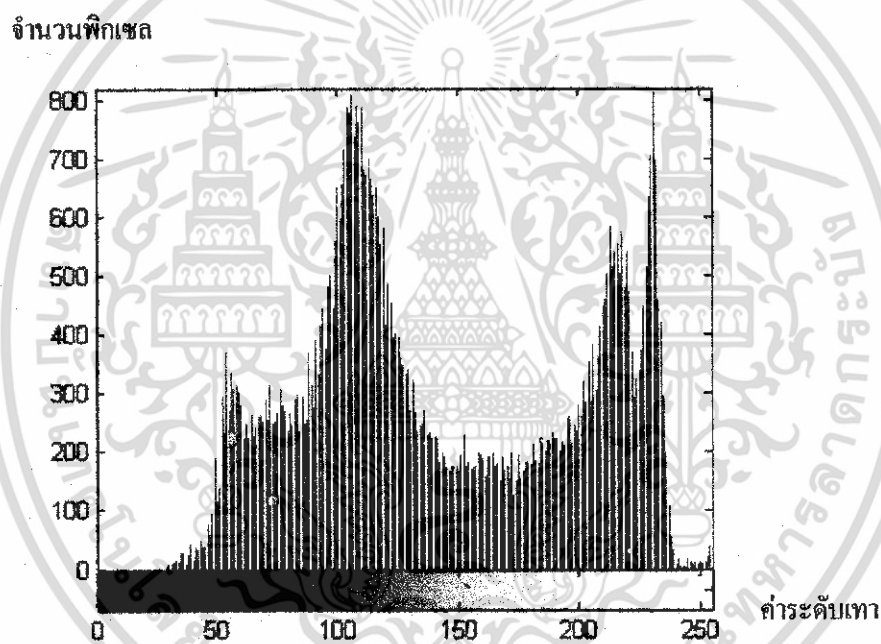
ภาพแท่งความถี่คือ การแสดงความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละความเข้มแสง (Intensity) หรือค่าระดับ (Gray Level) ซึ่งภาพแท่งความถี่สร้างได้โดย

(1) แปลงภาพเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

(2) เก็บค่าของสีในแต่ละพิกเซลเป็นค่าตัวเลข สีค่าจะมีค่าเท่ากับ 255 ไล่ลงไปเรื่อยๆจนถึงสีขาวจะมีค่าเป็น 0

(3) วาดกราฟเพื่อแสดงผล

ส่วนกราฟที่ได้คือออกมานั้นจะเป็นกราฟแท่งแสดงจำนวนพิกเซลในแต่ละระดับค่าของสีเทา แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าตำแหน่งใดมีค่าระดับเทาเท่าไร ดังรูป



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างภาพภาพแท่งความถี่ของเหรียญ 1 บาท

แกน x คือ ระดับความเข้มของสีและแกน y คือ จำนวนพิกเซล

ภาพแท่งความถี่จะแสดงลักษณะของภาพ คือ ถ้าพื้นที่กราฟส่วนใหญ่อยู่บริเวณค่อนข้างไปทาง “0” หมายถึงภาพนั้นจะมีมืด ถ้าพื้นที่กราฟส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่ค่อนข้างไปทาง “255” หมายถึงภาพนั้นจะสว่าง ถ้าแท่งกราฟมีการกระจายตัวน้อยแสดงว่าภาพมีความต่างของสีน้อย ถ้าแท่งกราฟมีการกระจายตัวมากแสดงว่าภาพมีความต่างของสีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

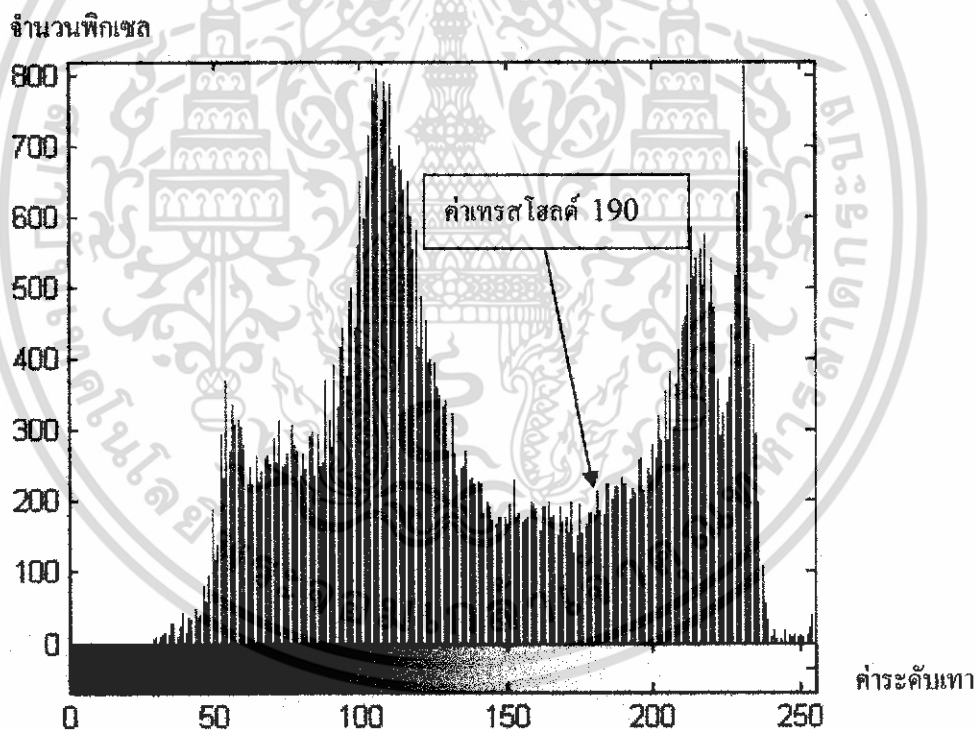
## 2.1.5 การทำเทรชโฮลด์ดิ้ง (Thresholding)

ในปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้จะมีการคิดค่าเทรชโฮลด์ 2 แบบคือ

2.1.5.1. การจะเปลี่ยนภาพระดับเทา (Gray Scale) ให้เป็นภาพขาวดำ (Binary Image) จะใช้ค่าหนึ่งค่าในการตัดสินใจว่าค่าระดับสีเทาที่เท่าไร จึงจะเป็นสีขาว หรือสีดำ ค่าที่ว่านั้นคือค่าเทรชโฮลด์ การเลือกค่าเทรชโฮลด์ทำได้ 3 วิธีคือ

2.1.5.1.1. ค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดล่วงหน้า วิธีนี้จะกำหนดค่าเทรชโฮลด์ขึ้นมาเอง โดยไม่ได้สนใจข้อมูลภาพนำเข้า เช่น กำหนดเทรชโฮลด์เท่ากับ 128,150 เลข เป็นต้น

2.1.5.1.2 ค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดขึ้นมาจากภาพแห่งความถี่ วิธีนี้จะใช้การเลือกค่าระดับเทาหนึ่งค่าหนึ่งจากภาพแห่งความถี่ของภาพนำเข้ามาเป็นค่าเทรชโฮลด์ ดังรูปที่ 2.5 จะทำการค่าเทรชโฮลด์จากภาพแห่งความถี่ โดยเลือกค่าเทรชโฮลด์ เท่ากับ 190



รูปที่ 2.5 แสดงการเลือกค่าเทรชโฮลด์จากภาพแห่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5.1.3. การหาค่าเทรชโฮลด์จากสูตร

กำหนดให้

$N$  คือ ค่าจำนวนค่าทั้งหมดในแนวแกน  $x$

$M$  คือ ค่าจำนวนค่าทั้งหมดในแนวแกน  $y$

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

(1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต การหาค่าเทรชโฮลด์จากค่าเฉลี่ยทำได้โดยหาจาก สมการ

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

(2) ค่าสูงสุด-ต่ำสุดสามารถหาค่าเทรชโฮลด์ได้ดังสมการ

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

### 2.1.5.2. การหาทresholdค่าของประสิทธิภาพของระบบ

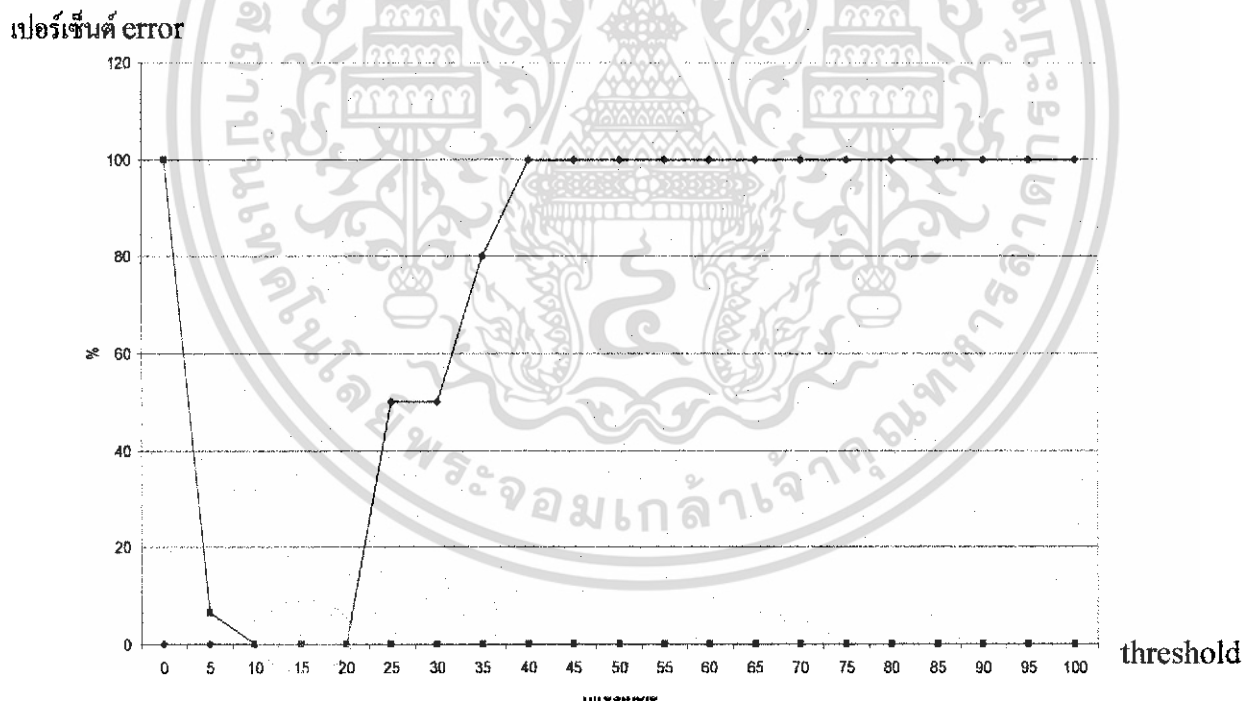
ในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ ประสิทธิภาพของระบบจะแสดงได้โดยใช้เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในการรู้จำ(error rate)ซึ่งจะมาจากค่าความผิดพลาด 2 ค่าคือ

(1) Fault Acceptance error rate คือ การที่รับค่าเข้ามาผิดพลาด กล่าวคือ การที่ระบบตรวจเหรียญหนึ่งแล้วบอกว่าเป็นอีกเหรียญหนึ่ง เช่น ในการตรวจเหรียญ 5 บาท แล้วมีเหรียญ 10 บาทปนอยู่ก็ยังคงบอกว่าเหรียญ 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 โดยให้มีค่าทresholdที่ใช้ในระบบ เป็นแกน x และค่า 2 ค่านี้เป็นแกน y จะทำให้เห็นถึงค่าทresholdที่เหมาะสมกับระบบนั้นๆ

จากรูปที่ 2.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดทั้ง 2 ค่า และจะทำการเลือกค่าทreshold โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่มีค่าความผิดพลาดทั้ง 2 ค่าใกล้เคียงกัน คือ ค่าที่อยู่ในช่วงวงกลม



-- จุดข้อมูลที่ 1 คือค่า Fault Acceptant

-- จุดข้อมูลที่ 2 คือค่า Fault Rejection

-- แกนนอน(x)แสดงค่าของค่าทresholdที่เลือกใช้

-- แกนตั้ง(y)แสดง%ของจุดข้อมูล

รูปที่ 2.6 แสดงกราฟที่ใช้หาค่าทreshold

\*\*\* จากภาพจะเห็นได้ว่า ค่าทresholdที่สามารถใช้ได้คือค่าที่อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20

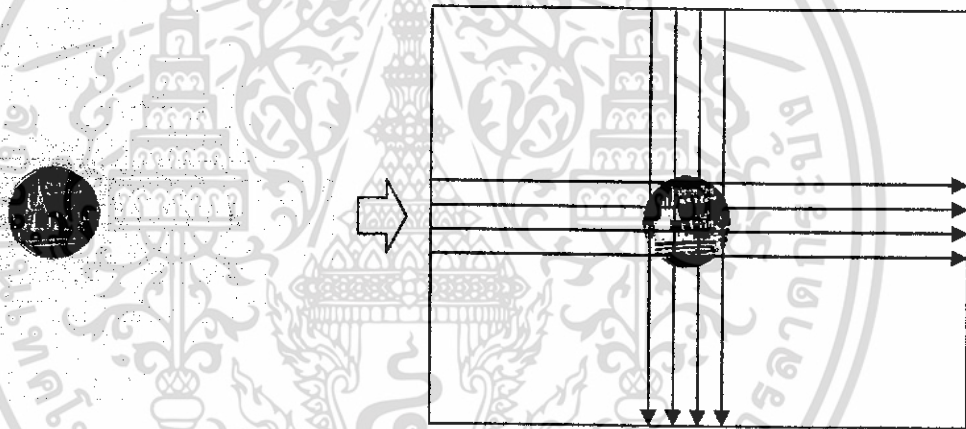
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 การแยกวัตถุจากภาพ(Segmentation)

กระบวนการสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในการประมวลผลภาพเบื้องต้น ก่อนที่จะไปสู่ขั้นตอนการจดจำรูปแบบ ก็คือ กระบวนการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการแยกข้อมูลภาพที่เป็นตัวเหรียญออกจากข้อมูลภาพทั้งหมดโดยแยกออกมาทีละ

- การหากรอบด้วยวิธีการ Line Crossing

เทคนิคนี้มีหลักการ คือ ทำเทรสโฮลดิ้ง เพื่อให้ภาพมี เพียง 2 ระดับ และจากนั้น จะทำการการแยกเหรียญออกจากรูปทั้งหมดโดยการเริ่มแสกนจากแนวนอน แล้วบันทึกค่าว่าเจอดี ค่าจุดสุดท้ายที่ตำแหน่งใด หลังจากนั้นก็กระทำในแนวตั้ง ทำไปทุกขอบรูปก็จะได้ขอบเขตของภาพเหรียญขึ้นมา



รูปที่ 2.7 แสดงการแยกวัตถุออกจากภาพด้วยวิธี Line Crossing



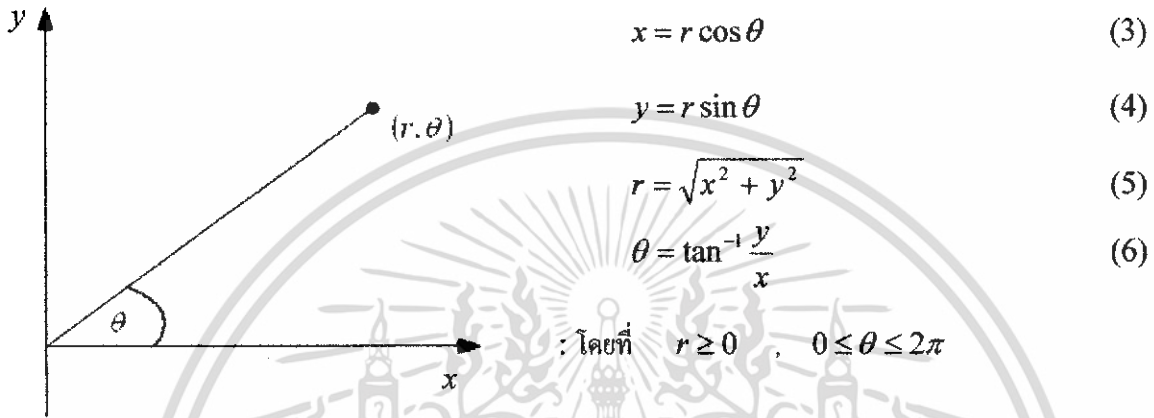
รูปที่ 2.8 แสดงวัตถุที่ได้จากการแยกภาพด้วยวิธี Line Crossing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

### 2.2.1 การแปลงพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว

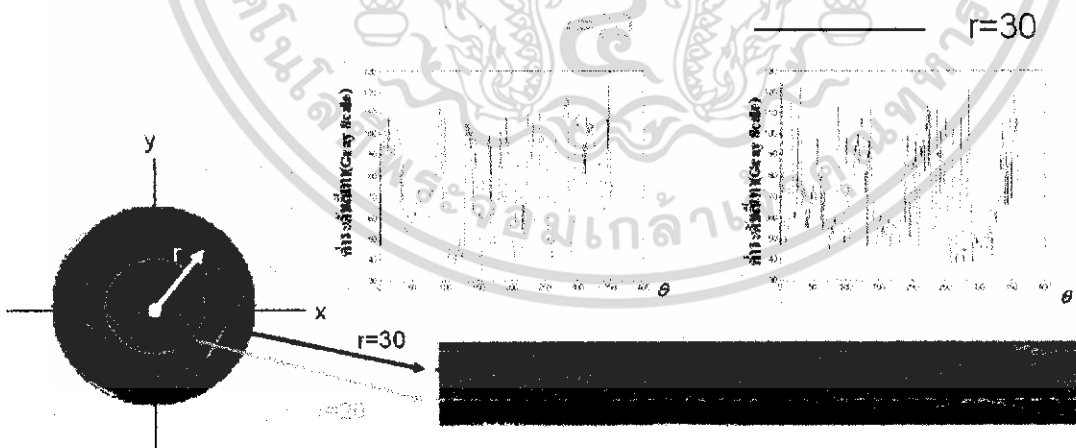
คือ การแปลงค่าของระดับสีเทาในพิกัดมุมฉาก ให้อยู่ใน รูปของพิกัดเชิงขั้ว โดย



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียน และพิกัดเชิงขั้ว

ซึ่งสามารถแปลงพิกัดคาร์ทีเซียน เป็นพิกัดเชิงขั้วได้ในรูปของ  $f(r, \theta)$  โดยที่

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



รูปที่ 2.10 แสดงความเป็นฟังก์ชันคาบของพิกัดเชิงขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 การประมาณค่าด้วยฟูรีเยร์ (Fourier Approximation)

ในปริภูมิพหุนามระดับนี้เพื่อหาลักษณะเด่นของของเหรียญที่มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนของเหรียญ เราจึงตั้งสมมุติฐานว่า  $\hat{f}(r_k, \theta)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันคาบ และสามารถแสดงอยู่ในรูปอนุกรมของฟูรีเยร์ได้ตามสมการดังต่อไปนี้

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

จะได้  $|b_m^k| = |a_m^k| \cdot |1|$  (12)

จะเห็นได้ว่า  $|b_m^k| = |a_m^k|$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าเหรียญจะหมุนไปตามองศาใดๆ

### 2.2.3 การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean distance)

การวัดระยะแบบยูคลิด คือ คือวิธีในการวัดค่าความเหมือนระหว่างเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ใดๆ

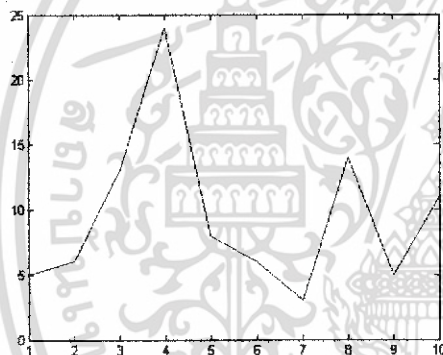
วิธีคิดระยะทางยูคลิดระหว่าง  $f_1$  กับ  $f_2$

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

เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาระยะทางหรือมุมได้ ไม่ว่าจะเป็นเวกเตอร์ หรือ สัญญาณข้อมูล

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

ค่า distance



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

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

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างฟังก์ชันที่ใช้ทดสอบการระยะแบบยูคลิด

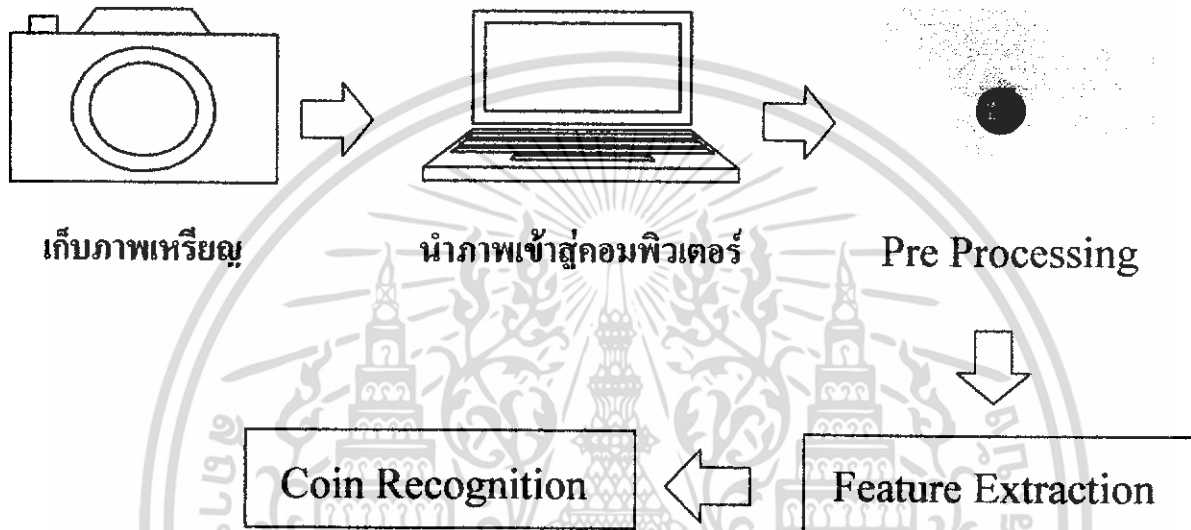
จะได้ Euclidean distance  $d(f_1, f_2) = \sqrt{(7-5)^2 + (6-6)^2 + \dots + (1-11)^2}$   
 $= 20.543$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### หลักการออกแบบและวิธีการทดลอง

##### 3.1 โครงสร้างของโปรแกรมและข้อมูลโดยรวมของระบบ



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม

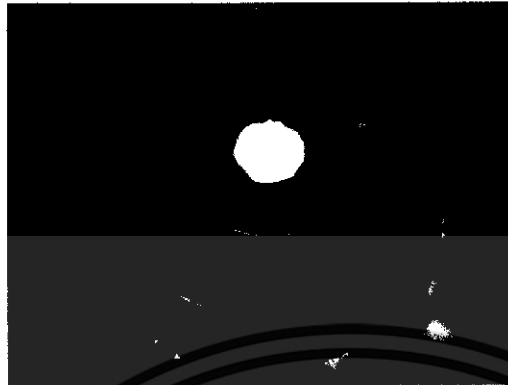
##### 3.2 การเก็บภาพเหรียญ

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

และเนื่องจากสถานะแวดล้อมต่างๆ โดยเฉพาะแสง มีปัจจัยต่อภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการวิเคราะห์สิ่งต่างๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมสถานะแสงให้มีความคงที่หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด จึงได้สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสถานะแสงโดยมีคุณสมบัติดังนี้

- (1.) จะต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาพที่จะบันทึก
- (2.) จะต้องให้แสงที่มีปริมาณมากกว่าแสงจากภายนอก เพื่อตัดผลกระทบจากแสงภายนอกที่จะเข้ามารบกวนออก
- (3.) จะต้องรักษาสภาวะเดียวกันในทุกครั้งที่ใช้งาน

โดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นการแก้ปัญหาในเบื้องต้นและมีคุณสมบัติดังกล่าว



รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสถานะแสง

- เปรียบเทียบผลต่างระหว่างภาพที่ได้จากการถ่ายภาพปกติกับภาพที่มีการควบคุมแสง



รูปที่ 3.3 แสดงภาพที่ไม่มีการควบคุมแสง

รูปที่ 3.4 แสดงภาพที่มีการควบคุมแสง

จะสังเกตได้ว่าภาพที่ไม่มีการควบคุมแสงนั้น จะทำให้เกิดแสงสะท้อนบนเหรียญ แต่ภาพที่มีการควบคุมแสงจะให้รายละเอียดบนภาพได้ดีกว่าถึงแม้ว่าพื้นหลังจะมีสีที่ไม่สมำเสมอก็ตาม เราจะแก้ไขในขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนนำไปใช้งาน

ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้อุปกรณ์นี้ช่วยในการถ่ายภาพเหรียญคือ ช่วยควบคุมให้ระยะห่างของกล้องกับเหรียญมีค่าคงที่

### 3.3 กระบวนการนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล มีรายละเอียดดังนี้

CPU : AMD Athlon 64 Processor 3000+ , 1.81 GHz

RAM : 1.00 GB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

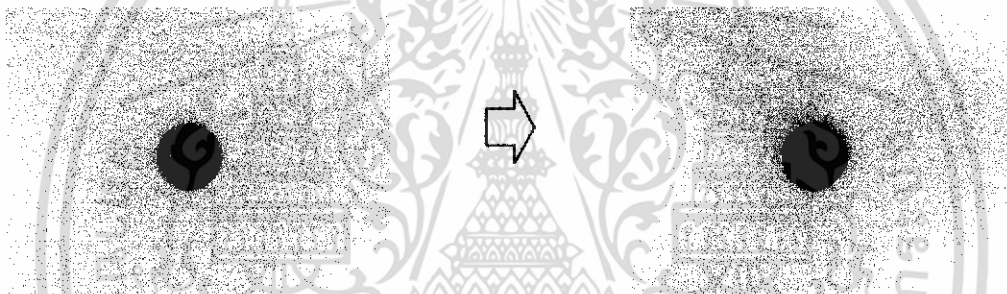
### 3.4 กระบวนการ Pre Processing

#### 3.4.1 การรับภาพ

ภาพของเหรียญที่รับเข้ามานั้นจะใช้การถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล ซึ่งถ่ายในสภาวะที่มีการควบคุมแสงและปัจจัยอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยภาพถ่ายที่ได้จะมีขนาด 1024x768 และจะถูกลดขนาดเป็น 512x384 ซึ่งยังมีความละเอียดมากพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์

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

เป็นการแปลงภาพสีที่ได้รับเข้ามาในรูปแบบของ RGB (Red Blue Green) เป็นความเข้มของตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ โดยยังคงความสว่างไว้ที่ค่าเดิม

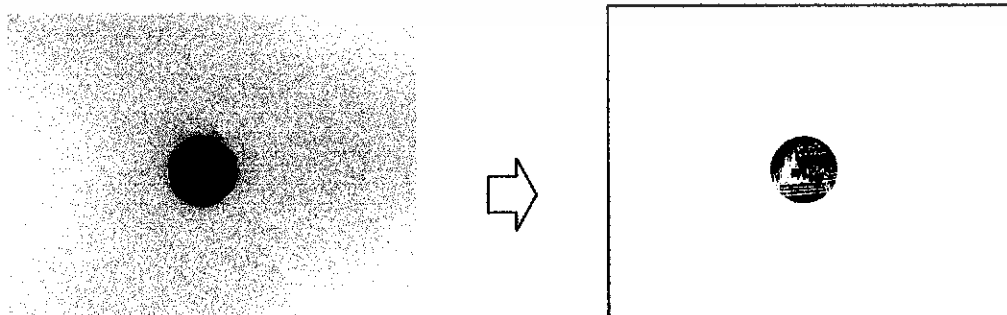


รูปที่ 3.5 แสดงภาพสี

รูปที่ 3.6 แสดงภาพระดับเทา

#### 3.4.3 การเปลี่ยนภาพระดับเทา (Grayscale) เป็นภาพขาวดำ (Binary Image)

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



รูปที่ 3.7 แสดงภาพระดับเทา

รูปที่ 3.8 แสดงภาพขาว-ดำ

### 3.4.4 การหากรอบของภาพ(ส่วนที่เป็นเหรียญ)

จะใช้เรื่องการหาเทรสโพลดิ่งเข้ามาช่วยโดยเมื่อได้ภาพเป็นขาว-ดำแล้ว ก็ทำการหาขอบภาพหรือ หาขอบของเหรียญ โดยการตรวจสอบหาพิกเซลที่อยู่ริมสุดของด้านต่างๆ ทั้ง 4 ด้าน คือ บน, ล่าง, ซ้าย และขวา เพื่อตัดส่วนที่ไม่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ห้ออก



รูปที่ 3.9 แสดงภาพขาว-ดำ



รูปที่ 3.10 แสดงกรอบภาพ

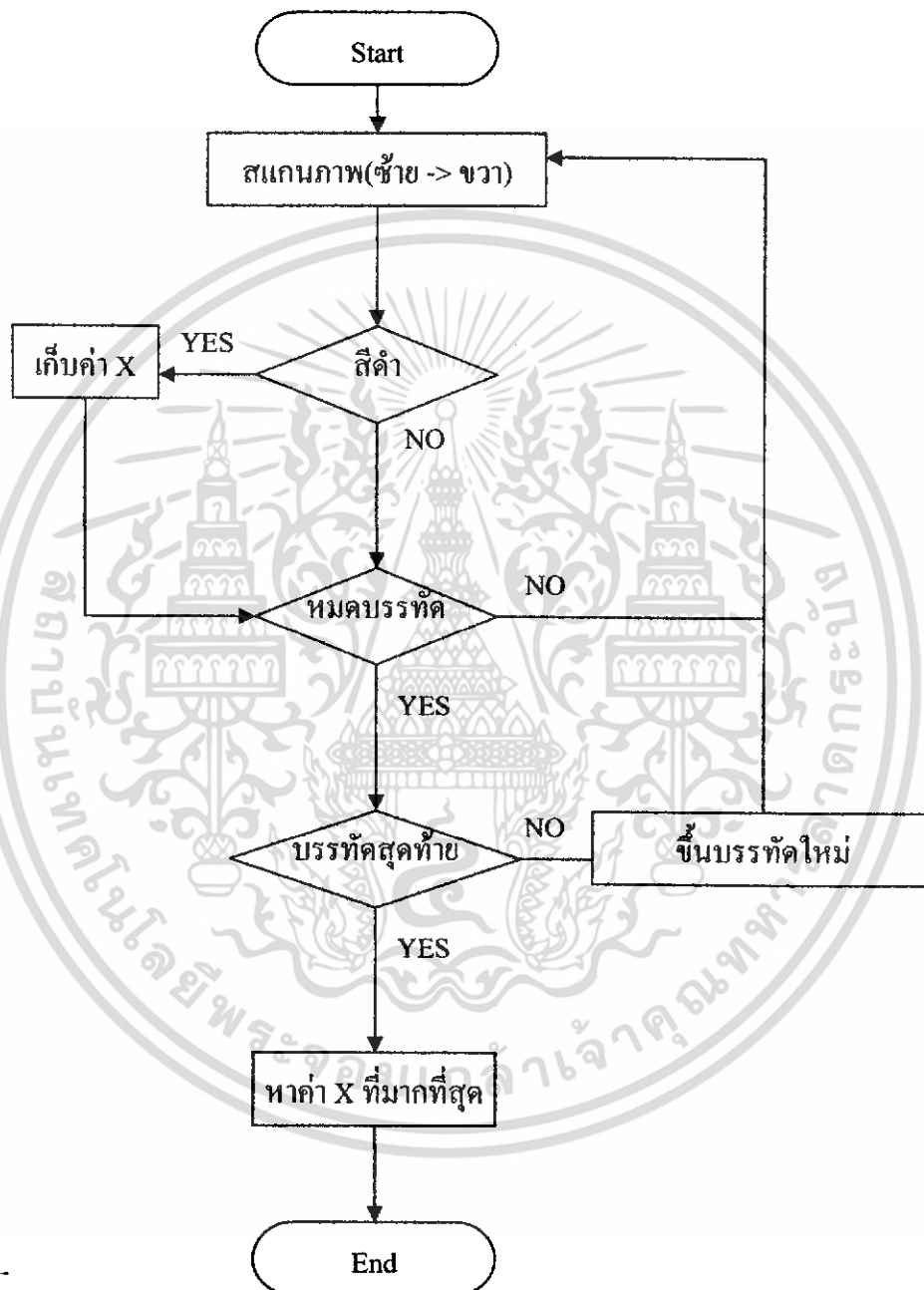
## 3.5 กระบวนการ Feature Extraction

คือ กระบวนการดึงเอาคุณลักษณะเด่นของเหรียญออกมา ซึ่งจะพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลาง หากเป็นเหรียญคนละชนิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน จะเปรียบเทียบรูปลักษณะของเหรียญโดยแบ่งเป็น การหมุนเปรียบเทียบ และการแปลงภาพเหรียญเป็นพิกัดเชิงขั้ว

### 3.5.1 การหาเส้นขนาดของผ่านศูนย์กลาง

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำภาพที่แปลงเป็นภาพขาว-ดำมาใช้ในการตรวจสอบ
2. หาจุดด้านขวาสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวนอนที่ละบรรทัดจากบนลงล่าง เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า
3. หาจุดด้านล่างสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวตั้งที่ละแถวจากซ้ายไปขวา เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า
4. หาจุดด้านซ้ายสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวตั้งที่ละแถวจากขวาไปซ้าย เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า
5. หาจุดด้านล่างสุดของเหรียญโดยสแกนภาพในแนวตั้งที่ละแถวจากล่างขึ้นบน เพื่อหาจุดสีดำจุดสุดท้ายแล้วบันทึกค่า
6. หาระยะจากจุดบนสุดถึงจุดล่างสุด และจุดซ้ายสุดถึงจุดขวาสุด
7. หาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยนำระยะที่ได้ทั้งสองค่า (จากข้อ6.) มาหาค่าเฉลี่ย

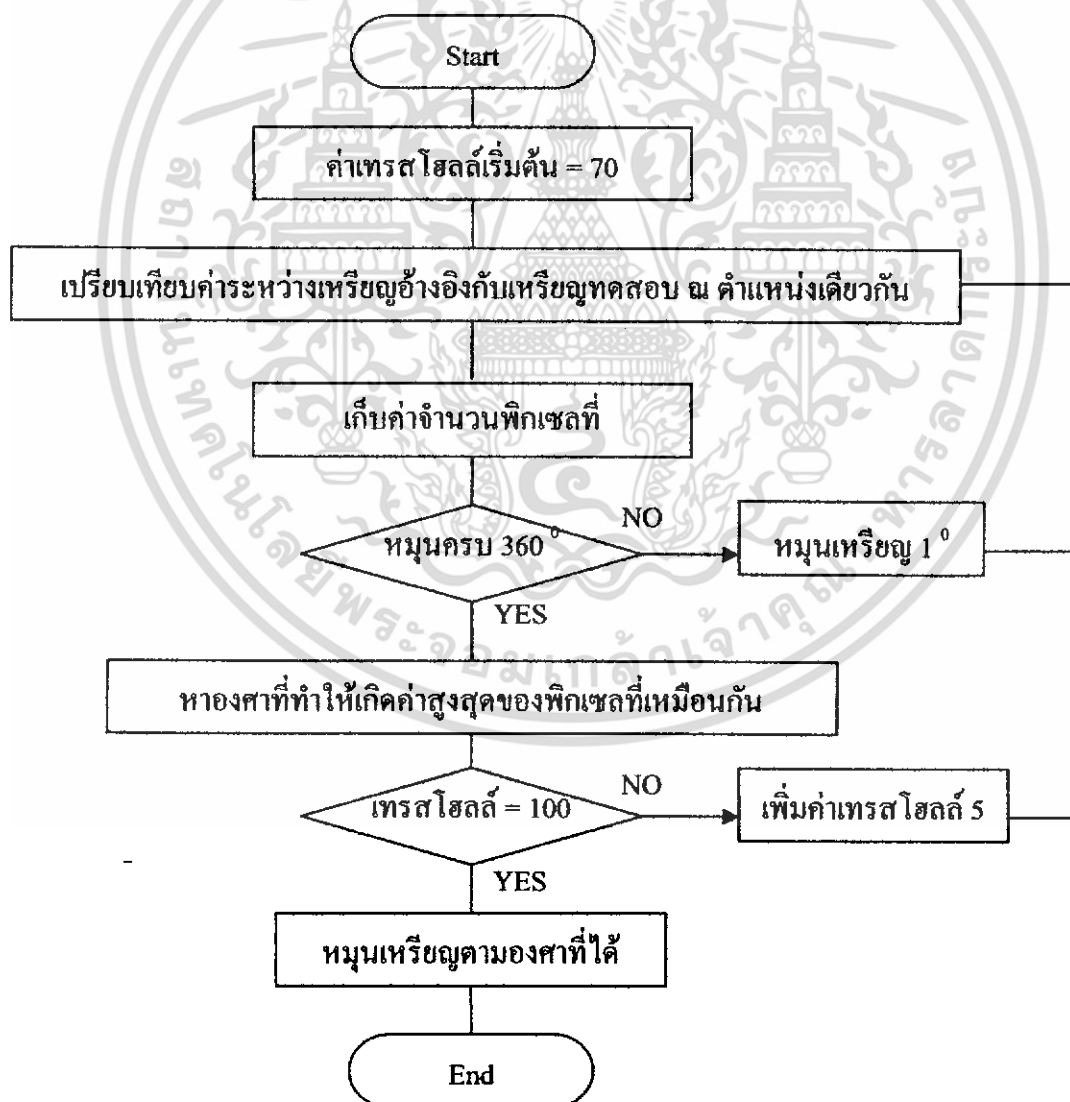


รูปที่ 3.11 แสดงอัลกอริทึมในการหาจุดขาวสุดของภาพเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณะเหรียญ 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 ทำข้อ 3. จนค่าเทรสโฮลล์ครบ 100
7. หมุนเหรียญตามค่าองศาที่ได้

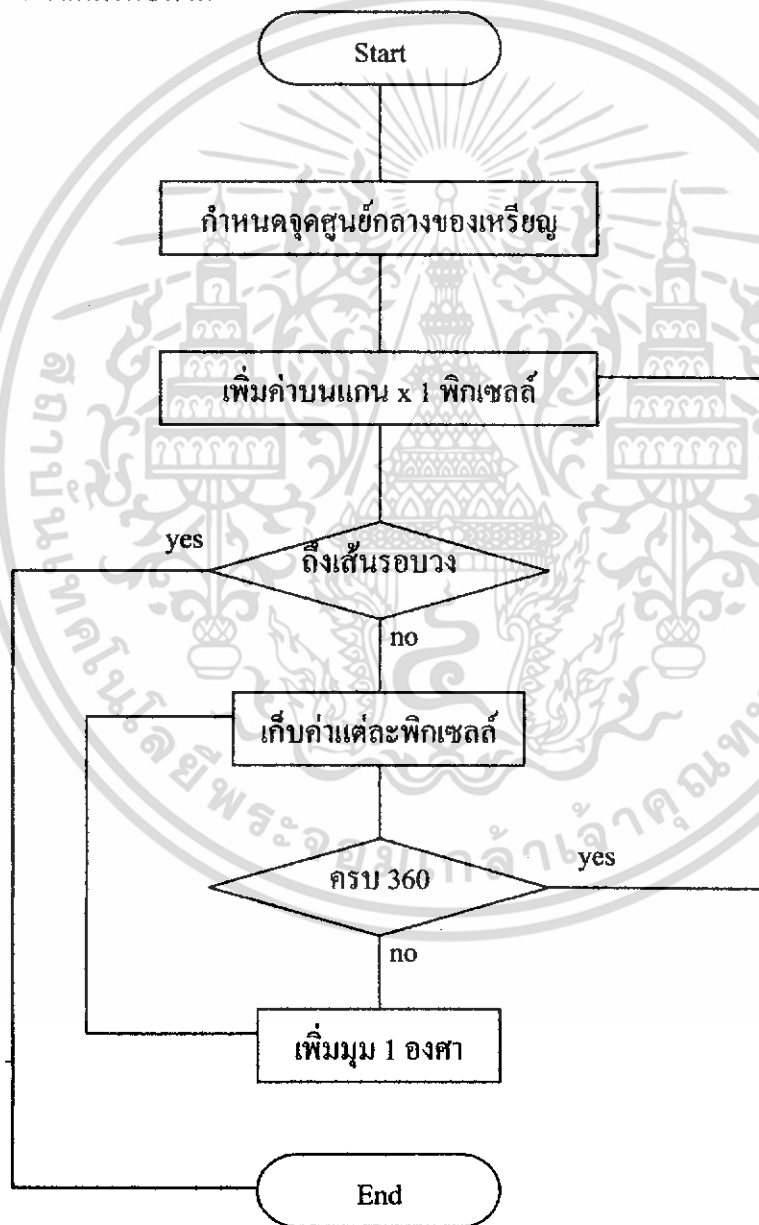


รูปที่ 3.12 แสดงอัลกอริทึมในการเปรียบเทียบรูปลักษณะของเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

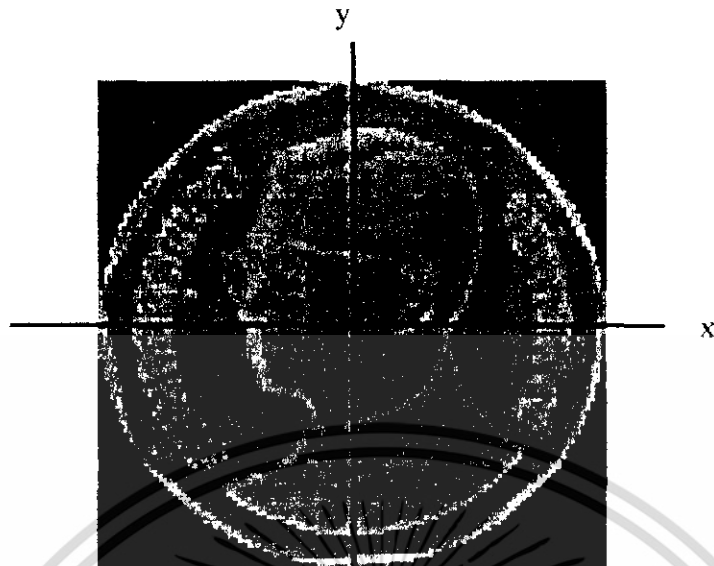
### 3.5.3 การใช้ฟังก์ชันช่วยเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ มีขั้นตอนดังนี้

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



รูปที่ 3.13 แสดงอัลกอริทึมในการใช้ฟังก์ชันช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงภาพเหรียญก่อนการแปลงพิกัดเชิงขั้ว



รูปที่ 3.15 แสดงภาพเหรียญหลังการแปลงพิกัดเชิงขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 Coin Recognition

คือการจำแนกเหรียญที่นำมาทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับเหรียญอ้างอิง ในการทดลองนี้ แบ่งเป็น 3 กรณี คือ การจำแนกเหรียญจากความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง, การเปรียบเทียบรูปลักษณะหน้าเหรียญโดยวิธีหมุนแล้วเปรียบเทียบ และการเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของภาพเหรียญในพิกัดเชิงขั้ว

#### 3.6.1 การหาเส้นผ่านศูนย์กลาง

การคิดระยะทางจากค่าซ้ายสุดไปถึงค่าขวาสุดของภาพ จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวนอน การคิดระยะทางจากค่าบนสุดไปถึงค่าล่างสุดของภาพ จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวตั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

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

เมื่อเก็บเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละเหรียญเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็ทำการบันทึกค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญแต่ละประเภทไว้เป็นหมวดหมู่ จากนั้นก็ตรวจสอบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยหาค่า Euclidean distance ของแต่ละเหรียญโดยเทียบจากค่า 0

เมื่อได้ค่า Euclidean distance มา ก็ทำการพิจารณาความแตกต่าง หากค่า Euclidean distance ต่างกันเป็นช่วงๆ ก็แสดงว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน

เมื่อรู้ค่า Euclidean distance ของเหรียญแต่ละประเภทต่างกัน ก็หาค่าเทรสโฮลด์ที่ใช้จำแนกชนิดของเหรียญ โดยค่าเทรสโฮลด์หาได้จาก 2 วิธี คือ

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






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 คว้ามีค่า 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

เอกสารนี้เป็นค่าเทรสโฮลด์ที่ใช้ คือช่วงที่ค่า Fault Rejection และ Fault Acceptant เป็น 0 ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 การเปรียบเทียบรูปลักษณ์เหรียญ โดยการหมุนเหรียญแล้วเปรียบเทียบ

หลังจากกระบวนการเปรียบเทียบรูปลักษณ์เหรียญแล้วได้ผลคือ จำนวนพิกเซลที่เหมือนกันระหว่างเหรียญอ้างอิงกับเหรียญทดสอบ กระบวนการรู้จำจะจำแนกเหรียญโดยการพิจารณาว่าจำนวนพิกเซลที่เหมือนกันมีมากกว่าหรือเท่ากับ ค่าเทรชโฮลด์สำหรับการเปรียบเทียบจุดบนหน้าเหรียญ สำหรับเหรียญที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญทดสอบหรือไม่ จึงจะตัดสินว่าเหรียญทดสอบ เป็นเหรียญชนิดนั้น ตัวอย่างเช่น

เหรียญ 1 บาท					
		จำนวนพิกเซลทั้งหมด	จำนวนพิกเซลที่เหมือนกับเหรียญอ้างอิง	ค่าเทรชโฮลด์สำหรับการเปรียบเทียบ	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

สำหรับการเลือกค่าเทรชโฮลด์สำหรับการเปรียบเทียบนั้น ในขณะที่ทำการทดลองใช้การเลือกแบบกำหนดเอง โดยมีหลักการพิจารณา ดังนี้

- ค่าที่เลือกจะต้องมากกว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยภาพจุดสีดำ ขนาดเท่ากับเหรียญ
- ค่าที่เลือกจะต้องสามารถใช้แยกเหรียญที่มีลวดลายต่างจากเหรียญอ้างอิงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.3 การใช้พิกัดเชิงขั้ว

การที่นำพิกัดเชิงขั้วมาใช้ มีจุดประสงค์เพื่อทำให้การคิดคำนวณลักษณะเด่นต่างๆ ของเหรียญมีความสะดวกและแม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่เหรียญมีการหมุน หากนำมาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์โดยใช้สมการฟูเรียร์ จะทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการหมุนของเหรียญ ซึ่งการหาพิกัดเชิงขั้ว เป็นการแปลงพิกัด  $(x,y)$  เป็นพิกัด  $(r,\theta)$  แล้วเก็บค่าลงในเมตริกซ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งค่าที่ได้จะครอบคลุมเฉพาะข้อมูลของหน้าเหรียญเท่านั้น ทำให้เกิดข้อผิดพลาดลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เมตริกซ์จัตุรัส ซึ่งจะมีพื้นที่หลังเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



รูปที่ 3.16 ภาพเหรียญในพิกัด  $(x,y)$



รูปที่ 3.17 ภาพเหรียญในพิกัด  $(r,\theta)$

$(R_1, \theta_1)$	$(R_1, \theta_2)$	$(R_1, \theta_3)$	$(R_1, \theta_4)$	.....	$(R_1, \theta_{360})$
$(R_2, \theta_1)$	$(R_2, \theta_2)$	$(R_2, \theta_3)$	$(R_2, \theta_4)$	.....	$(R_2, \theta_{360})$
$(R_3, \theta_1)$	$(R_3, \theta_2)$	$(R_3, \theta_3)$	$(R_3, \theta_4)$	.....	$(R_3, \theta_{360})$
.....	.....	.....	.....	.....	.....
$(R_r, \theta_1)$	$(R_r, \theta_2)$	$(R_r, \theta_3)$	$(R_r, \theta_4)$	.....	$(R_r, \theta_{360})$

รูปที่ 3.18 ลักษณะเมตริกซ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากการแปลงเป็นพิกัดเชิงขั้ว

### 3.6.4 การใช้สมการฟูเรียร์

การที่นำสมการฟูเรียร์มาใช้ เนื่องจากสมการฟูเรียร์สามารถใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ และลักษณะข้อมูลค่าระดับเทาของเหรียญก็มีลักษณะเป็นสัญญาณ นอกจากการใช้สมการฟูเรียร์จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องการหมุนของเหรียญแล้ว การใช้การประมาณค่า ยังช่วยลดขนาดของข้อมูล และลดความแตกต่างในส่วนของความถี่ใหม่ของเหรียญ โดยนำค่าในแต่ละแถวของเมตริกซ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากการแปลงเป็นพิกัดเชิงขั้ว มาผ่านสมการฟูเรียร์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ โดยเลือกมาใช้ที่จำนวน 120 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการฟูรีเยร์ที่ใช้คือ

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

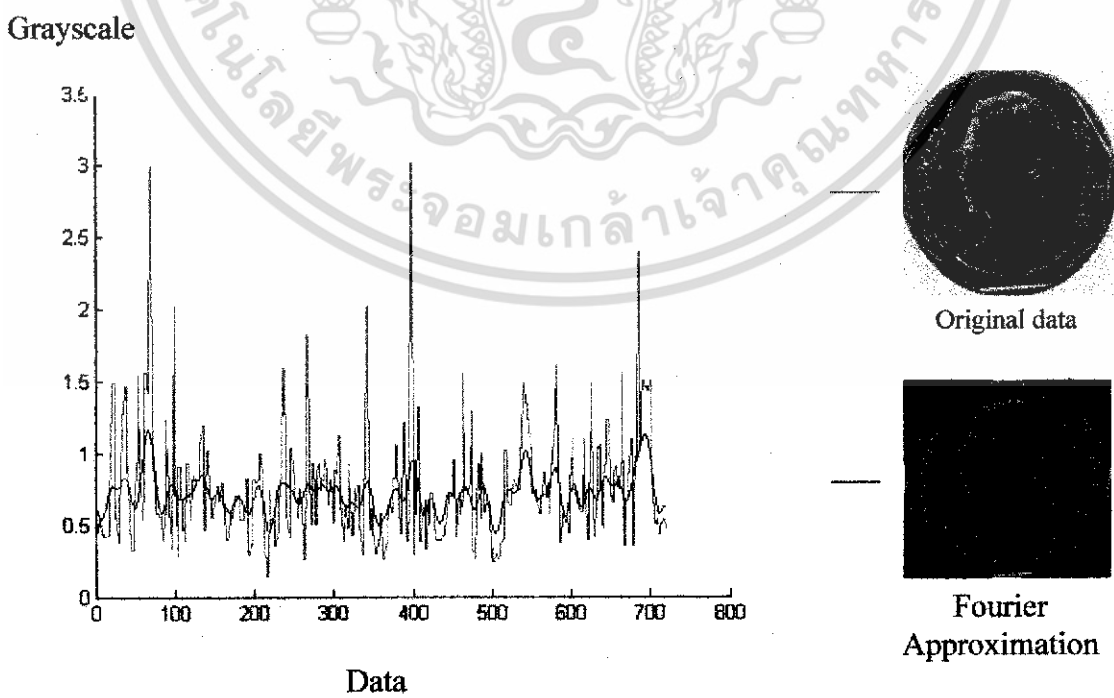
$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(x) \cos(nx) dx$$

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

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

$C_{1 1}$	$C_{1 2}$	$C_{1 3}$	$C_{1 4}$	$C_{1 5}$	$C_{1 6}$	.....	$C_{1 120}$
$C_{2 1}$	$C_{2 2}$	$C_{2 3}$	$C_{2 4}$	$C_{2 5}$	$C_{2 6}$	.....	$C_{2 120}$
$C_{3 1}$	$C_{3 2}$	$C_{3 3}$	$C_{3 4}$	$C_{3 5}$	$C_{3 6}$	.....	$C_{3 120}$
⋮							
$C_r 1$	$C_r 2$	$C_r 3$	$C_r 4$	$C_r 5$	$C_r 6$	.....	$C_r 120$

รูปที่ 3.20 เมทริกซ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์จากข้อมูลพิกัดเชิงขั้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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 หาค่าด้วยค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของตัวแรก หลังจากนั้นก็ทำการเปรียบเทียบ และหาค่า Euclidean distance ของแต่ละเหรียญ จากสมการ

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

โดยที่  $f_1$  คือ ค่าสัมบูรณ์(ที่ผ่านการnormalize)ของเหรียญอ้างอิง

$f_2$  คือ ค่าสัมบูรณ์(ที่ผ่านการnormalize)ของเหรียญที่นำมาพิจารณา

เมื่อได้ค่า Euclidean distance ของทุกเหรียญแล้ว ก็นำมาวิเคราะห์ และบ่งบอกชนิดของเหรียญ

## 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

เหรียญ/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

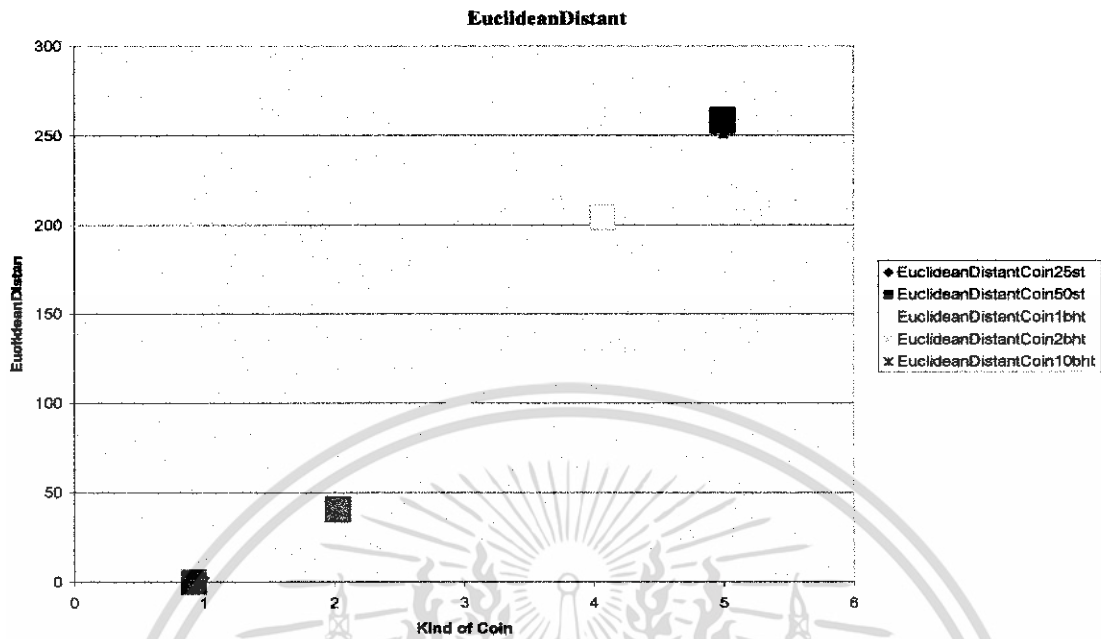
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1.1 การพิจารณาค่าเทรโซลด์โดยใช้ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

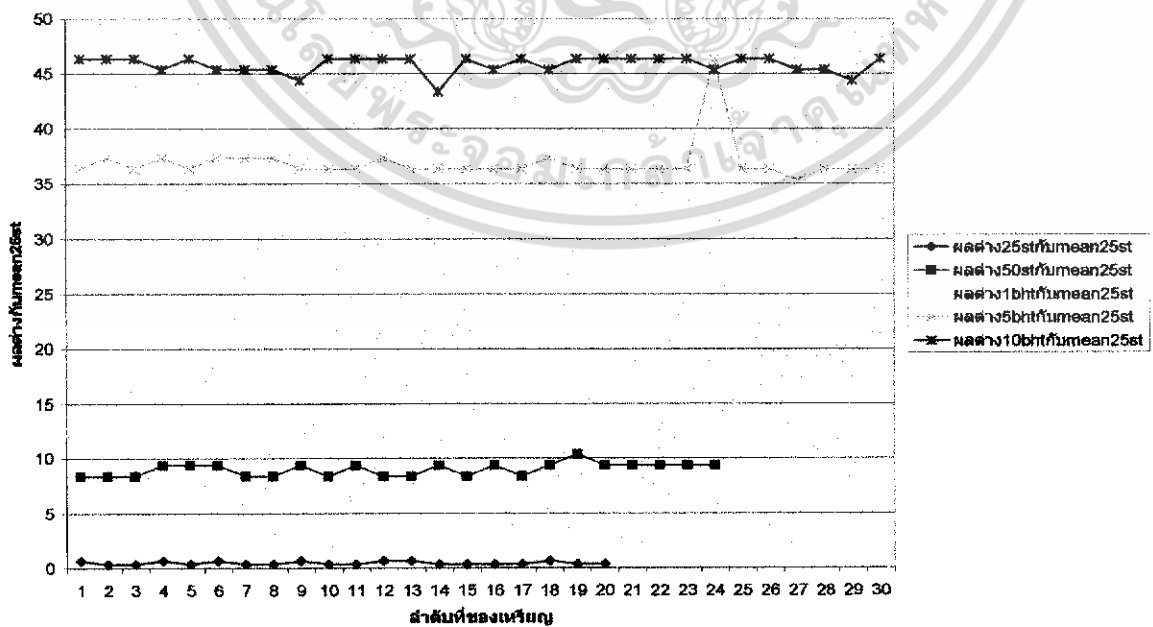


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า Euclidean Distant ของเหรียญแต่ละชนิดเทียบกับเหรียญ 50 สตางค์

ค่า Euclidean Distant แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถแบ่งได้เป็นชุดๆ ซึ่งหมายความว่าสามารถแยกเหรียญแต่ละชนิดออกจากกันได้

#### 4.1.2 การหาค่าเทรลไฮด์ด์จากกราฟและการสังเกตค่า

เปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางเหรียญอื่นๆกับเหรียญ25สตางค์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า Euclidean Distant ของเหรียญแต่ละเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

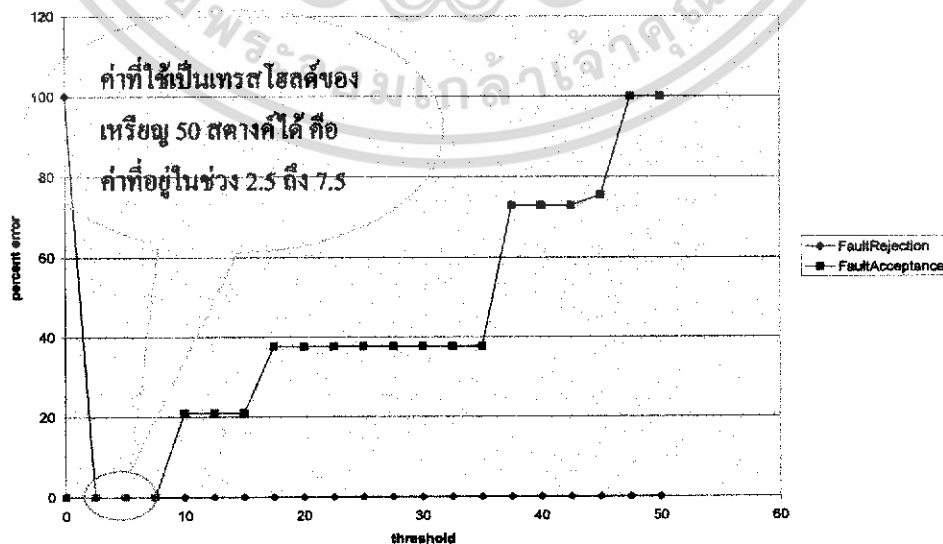
จากกราฟและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้ สามารถนำไปหาค่าเทรสโฮลด์ได้ โดยการนำค่า Fault Rejection และค่า Fault Acceptant เข้ามาช่วย

\*\*\* 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

แผนภูมิแสดงค่า FaultRejective และ ค่า FaultAcceptance



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงช่วงของค่าเทรสโฮลด์ที่สามารถใช้งานได้

















เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการเปรียบเทียบรูปลักษณะด้วยการหมุนเหรียญแล้วเทียบ











เหรียญที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญ 1 บาท

		เหรียญ 1 บาท						
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่1	เหรียญที่2	เหรียญที่3	เหรียญที่4	เหรียญที่5	เหรียญที่6	
threshold	back	80	80	80	80	85	80	
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	3015	8356	7083	8214	8353	8485	8628	
Recognition (Pixel >= 9050 )	ไม่ใช่เหรียญ 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		เหรียญที่7	เหรียญที่8	เหรียญที่9	เหรียญที่10	เหรียญที่11	เหรียญที่12	เหรียญที่13
threshold	90	80	90	80	80	80	80	85
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	3856	8928	8970	8730	8346	8093	8050	5950
Recognition (Pixel >= 9050 )	เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ผิด	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เหรียญ 1 บาท									
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่ 4	เหรียญที่ 15	เหรียญที่ 8	เหรียญที่ 17	เหรียญที่ 16	เหรียญที่ 9	เหรียญที่ 22		
									
4-resole	80	80	80	80	80	85	80		
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	8346	8512	8289	8279	8203	8064	8152		
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	เหรียญที่ 21	เหรียญที่ 22	เหรียญที่ 23	เหรียญที่ 24	เหรียญที่ 25	เหรียญที่ 26	เหรียญที่ 27		
									
4-resole	80	80	85	80	80	80	80		
จำนวนpixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	8126	8309	8010	8726	8474	8159	5968		
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		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้









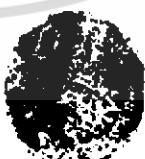






เหรียญ 1 บาท				เหรียญอื่นๆ			
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่ 23	เหรียญที่ 29	เหรียญที่ 30	เหรียญที่ 1	เหรียญที่ 2	เหรียญที่ 3	เหรียญที่ 4
							
presold	32	35	30	35	25	30	30
งาน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	5935	2345	3237	5970	2345	5941	5913
Recognition : Pixel >= 3050 ;	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท
Recognition	ผิด	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
<b>เหรียญอื่นๆ</b>							
เหรียญอ้างอิง	เหรียญที่ 5						
							
presold	30						
งาน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	5973						
Recognition : Pixel >= 3050 ;	ไม่ใช่เหรียญ 1 บาท						
Recognition	ถูกต้อง						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้











เหรียญที่มีต้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญ 5 บาท

		เหรียญ 5 บาท							
เหรียญอ้างอิง			เหรียญที่1	เหรียญที่2	เหรียญที่3	เหรียญที่4	เหรียญที่5	เหรียญที่6	
Threshold	back	85	80	80	80	80	80	80	
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	7914	12488	9517	9272	9757	9629	9232		
Recognition (Pixel >= 9010 )	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	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	ถูกต้อง	
		เหรียญ 5 บาท							
เหรียญอ้างอิง			เหรียญที่7	เหรียญที่8	เหรียญที่9	เหรียญที่10	เหรียญที่11	เหรียญที่12	เหรียญที่13
Threshold	50	100	90	80	75	75	75	75	80
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	9100	7967	9467	8439	8285	8285	8285	8285	8056
Recognition (Pixel >= 9010 )	เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ผิด	ถูกต้อง	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้







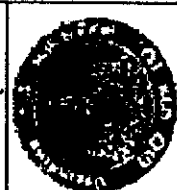





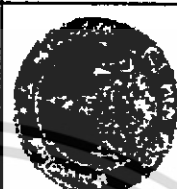
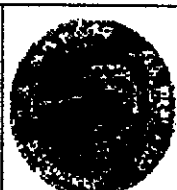

เหรียญ 5 บาท															
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 14		เหรียญที่ 15		เหรียญที่ 8		เหรียญที่ 16		เหรียญที่ 9		เหรียญที่ 20			
			75	80	75	75	80	75	80	75	80	75	80		
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง		9133		9199		9185		9232		9085		9085	9399		
Recognition (Pixel >= 5010 )		เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	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	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง		
เหรียญ 5 บาท															
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 21		เหรียญที่ 22		เหรียญที่ 23		เหรียญที่ 24		เหรียญที่ 25		เหรียญที่ 26		เหรียญที่ 27	
			75	75	75	75	80	80	75	75	85	85	80	80	
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง		9142		9068		9020		8452		9347		5383		5111	
Recognition (Pixel >= 5010 )		เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	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	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


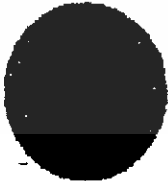



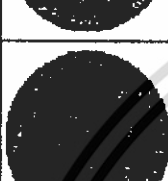
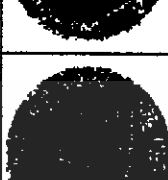





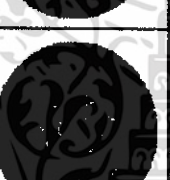

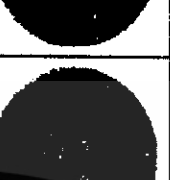

เหรียญ 5 บาท			
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 25	
		เหรียญที่ 29	
Resolution	75	80	75
จำนวน pixel ที่เหลือ เหรียญอ้างอิง	3122	2851	9227
Recognition (Pixel >= SC10 )	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
เหรียญอื่น ๆ			
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 1	
		เหรียญที่ 2	
		เหรียญที่ 3	
		เหรียญที่ 4	
		เหรียญที่ 5	
		เหรียญที่ 6	
Resolution	80	80	80
จำนวน pixel ที่เหลือ เหรียญอ้างอิง	7606	7928	7561
Recognition (Pixel >= SC10 )	ใน 5 บาท	ใน 5 บาท	ใน 5 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






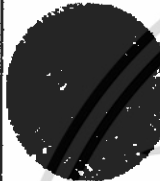
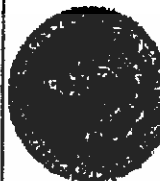

## เหรียญที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญ 10 บาท







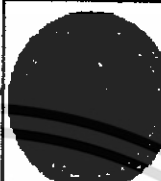
เหรียญ 10 บาท															
เหรียญข้างจริง		เหรียญที่1		เหรียญที่2		เหรียญที่3		เหรียญที่4		เหรียญที่5		เหรียญที่6			
Resolution	Back	100	95	75	85	90	60								
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญข้างจริง	13674	10690	10543	11233	10933	11083	11394								
Recognition (Pixel >= 10800)	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 10 บาท		
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง		
เหรียญ 10 บาท															
เหรียญข้างจริง		เหรียญที่7		เหรียญที่8		เหรียญที่9		เหรียญที่10		เหรียญที่11		เหรียญที่12		เหรียญที่13	
Resolution	Back	100	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญข้างจริง	13680	10620	10529	10529	10529	10529	10529	10529	10529	10529	10529	10529	10529	10529	10529
Recognition (Pixel >= 10800)	เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท	ไม่ใช่เหรียญ 10 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหรียญ 10 บาท															
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 14		เหรียญที่ 15		เหรียญที่ 16		เหรียญที่ 17		เหรียญที่ 18		เหรียญที่ 19		เหรียญที่ 20	
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	120	10767	10767	90	95	95	95	95	95	90	95	95	95	95	60
Recognition (Pixel >= 10980)	ไม่เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท
Recognition	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด	ถูกต้อง	ถูกต้อง
เหรียญ 10 บาท															
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 21		เหรียญที่ 22		เหรียญที่ 23		เหรียญที่ 24		เหรียญที่ 25		เหรียญที่ 26		เหรียญที่ 27	
จำนวน pixel ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง	75	100	10507	100	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100	95
Recognition (Pixel >= 10980)	เหมือน 10 บาท	ไม่เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	เหมือน 10 บาท	ไม่เหมือน 10 บาท
Recognition	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหรียญอื่นๆ															
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 7		เหรียญที่ 8		เหรียญที่ 9		เหรียญที่ 10		เหรียญที่ 11		เหรียญที่ 12		เหรียญที่ 13	
Threshold ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง		100	100	100	100	90	90	90	90	100	100	95	100		
Recognition (Pixel >= 0980)		10542	10606	10610	10606	10583	10583	10577	10577	10573	10573	10577	10577	10490	10490
Recognition		ถูกต้อง	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ถูกต้อง	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ถูกต้อง

เหรียญอื่นๆ													
เหรียญอ้างอิง		เหรียญที่ 4		เหรียญที่ 5		เหรียญที่ 6		เหรียญที่ 7		เหรียญที่ 8		เหรียญที่ 9	
Threshold ที่เหมือนเหรียญอ้างอิง		100	100	100	100	90	90	90	90	100	100	100	100
Recognition (Pixel >= 0980)		10505	10601	10601	10601	10585	10585	10585	10585	10571	10571	10529	10529
Recognition		ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท	ไม่ใชเหรียญ 10 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดสอบการหมุนของเหรียญ

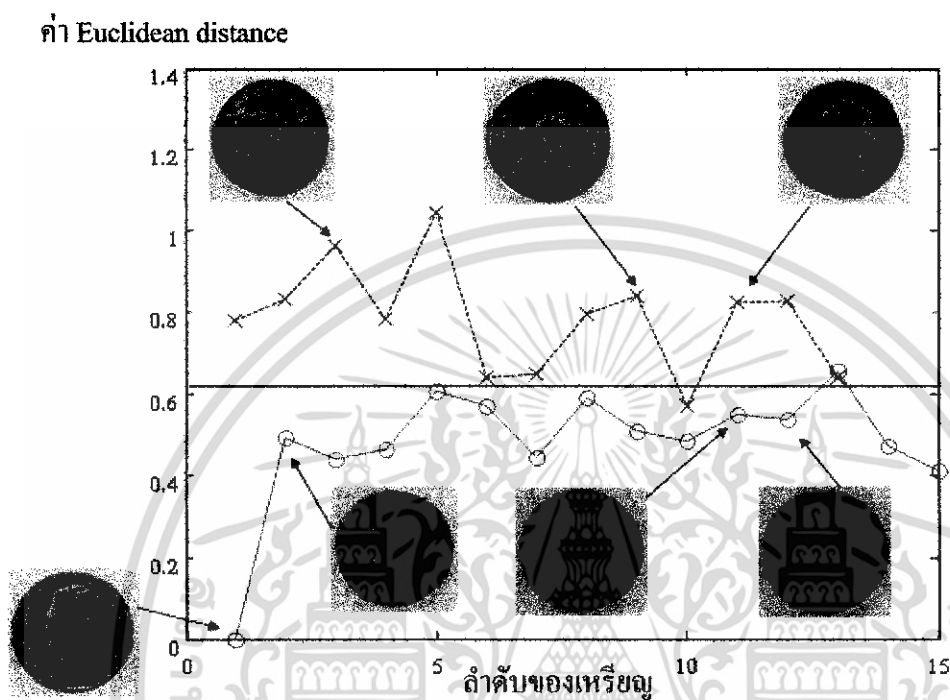


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ของเหรียญที่หมุนในองศาต่างๆ กัน

จากการทดลอง โดยใช้เหรียญ 5 บาท 3 เหรียญที่มีการหมุนของตัวเหรียญต่างองศา กัน แล้วนำมาหาค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ และเมื่อนำชุดข้อมูลของ ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ที่ รัศมีเหรียญเท่ากับ 50 มาแสดงในรูปแบบกราฟ

จากรูปจะเห็นว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่รอบวงเดียวกันของเหรียญที่มีรูปลักษณะเหมือนกัน (เหรียญ 5 บาท) จำนวน 3 เหรียญ แต่ว่าแต่ละเหรียญมีทิศทางการหมุนที่แตกต่างกันนั้น มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้สรุปได้ว่า การใช้สมการฟูเรียร์เข้ามาใช้วิเคราะห์ร่วมกับการใช้พิกัดเชิงขั้ว สามารถแก้ปัญหาในเรื่องการหมุนของเหรียญได้

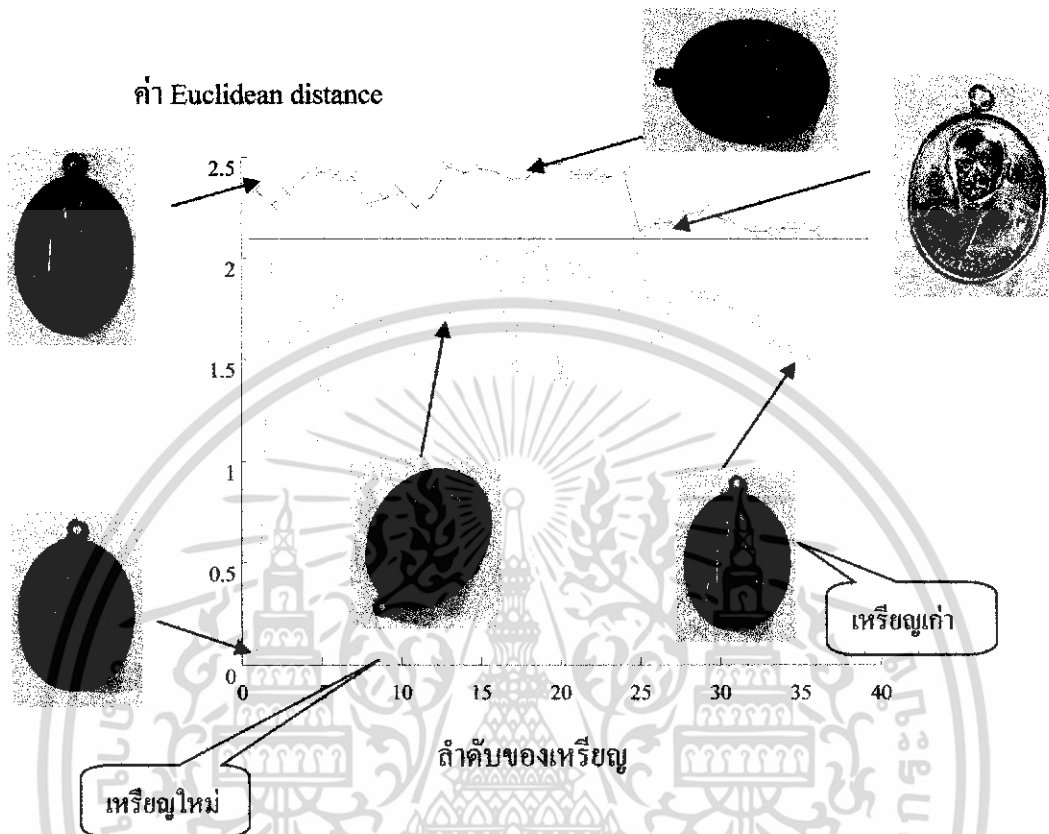
#### 4.4 ผลการจำแนกเหรียญโดยใช้พิกัดเชิงขั้วและสมการฟูเรียร์เข้ามาช่วย



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญ 5 บาท

จากการทดลองทำโดยใช้เหรียญ 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 ด้านหัว เหรียญที่ 1) กับเหรียญทดสอบที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเหรียญ 5 บาท ซึ่งก็คือเหรียญ 25 cent กับเหรียญ 5 บาทจากรูปจะพบว่า สามารถตรวจสอบเหรียญ ทั้งสองชนิดแยกจากกันได้ค่อนข้างจะสมบูรณ์ ไม่ว่าจะ เป็นเหรียญที่ผ่านการเข้ามาแล้ว เหรียญใหม่ หรือแม้กระทั่งเหรียญที่มีตำหนิ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีเหรียญจำนวนสองเหรียญที่ตรวจสอบผิดพลาด



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบเหรียญพระ

นอกจากจะทำการทดลองกับเหรียญที่มีลักษณะกลม โดยทั่วไปแล้ว ยังได้ทำการทดลองกับเหรียญที่มีลักษณะเป็นวงรี คือเหรียญพระเครื่อง ซึ่งทำการทดลอง โดยนำเอาภาพของเหรียญพระสมเด็จหลวงพ่อโต ที่มีองค์ต่างกันและความเก่าใหม่ต่างกัน จำนวน 36 รูป กับ เหรียญพระชนิดอื่นๆ อีก ที่หน้าไม่เหมือนกับสมเด็จหลวงพ่อโต หมุนในองศาต่างๆกัน อีก 36 รูป นำแต่ละรูปมาแปลงพิกัดเชิงขั้ว หาค่า magnitude ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ จากนั้นใช้เหรียญสมเด็จหลวงพ่อโตเป็นเหรียญอ้างอิงในการหาค่า Euclidean distance แล้วนำค่านั้นมาแสดงเป็นกราฟ

ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเราสามารถใช่วิธีการนี้ได้เพียงแต่จะต้องมีวิธีในการค้นหาและกำหนดจุดศูนย์กลางของเหรียญให้ได้ จากกราฟจะเห็นว่าสามารถแยกแยะเหรียญที่มีลักษณะรูปลักษณะเหมือนกันออกมาได้ แม้จะมีสี และสภาพที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากการใช้งาน

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินโครงการ

#### 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 การใช้ฟังก์ชันเชิงขั้วและอนุกรมฟูเรียร์เข้ามาช่วยในการหาจำนวนชนิดของเหรียญ

ในส่วนนี้สรุปได้ว่าเป็นวิธีที่ดีเมื่อเทียบกับ วิธีหมุนแล้วเทียบ ทั้งจำนวนรอบการทำงานและการเปรียบเทียบข้อมูล ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที และยังสามารถลดลงได้ อันเนื่องจากกระบวนการที่ใช้ นั้น เป็นวิธี sequential search ซึ่งใช้เวลานาน

##### 5.1.4 การทดสอบเหรียญวงรี

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบกับเหรียญรูปวงรี ซึ่งผลก็เป็นที่น่าพอใจ แต่ยังคงพบว่ามีปัญหาในการหาจุดศูนย์กลางที่แน่นอน ซึ่งในส่วนนี้ สามารถนำไปปรับปรุงพัฒนาต่อไปได้

#### 5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการดำเนินโครงการ

1. เหรียญตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน แต่เป็นคนละชนิดกัน มีจำนวนน้อยและหาได้ยาก

2. การควบคุมสภาวะแวดล้อมขณะถ่ายภาพ และการควบคุมคุณภาพของภาพเหรียญ เป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะระดับแสงและรูปแบบแสงที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

### 5.3 แนวทางการพัฒนาโครงการงาน

พัฒนาในส่วนของอัลกอริทึม ในการวิเคราะห์รู้จำเหรียญ ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

### 5.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

1. การระบุว่าใช่เหรียญชนิดนั้นๆหรือไม่ ในส่วนนี้สามารถทำได้ในส่วนหนึ่งแล้ว แต่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพของการตรวจสอบได้
2. การระบุว่าเป็นเหรียญชนิดใด ซึ่งจะสามารถเลือกหาวิธีการ ได้หลายวิธี ในส่วนนี้จะต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านเข้ามาช่วย หากเป็นการตรวจสอบแบบต่อเนื่องจะใช้เวลาานมาก ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการอื่น

### 5.5 สรุป

ปริปัญณานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการรู้จำเหรียญที่มีขนาดเท่ากันแต่มีรูปลักษณะที่แตกต่างกัน โดยในขั้นตอนการรู้จำได้เสนอวิธีการดึงเอาคุณลักษณะเด่นของรูปลักษณะที่ปรากฏอยู่บนเหรียญ โดยลักษณะเด่นนี้ จะมีคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนของเหรียญ ซึ่งลักษณะเด่นดังกล่าว สามารถแสดงโดยใช้ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว

นอกจากนั้นปัญหาที่เกิดจากการสะท้อนของแสงที่เกิดจากเหรียญเก่าและใหม่ตลอดจนเหรียญที่มีรอยตำหนิยังสามารถลดลงได้โดยใช้การประมาณค่าของอนุกรมฟูเรียร์ดังกล่าว

ในปริปัญณานิพนธ์ฉบับนี้ การรู้จำเหรียญทำได้โดยคำนวณค่า Euclidean Distance เปรียบเทียบกันระหว่างค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของภาพเหรียญที่อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว ที่ได้จากเหรียญอ้างอิง และเหรียญที่นำมาทดสอบ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการรู้จำเหรียญ