

การนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อนโดยใช้การกรองภาพ

A Coincide Object Counting Using Image Filtering



นพดลย์ อธิภูษิตคม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อนโดยใช้การกรองภาพ

นพดลย์ อิชฎาธิคม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อน โดยใช้การกรองภาพ
A Coincide Object Counting Using Image Filtering
ชื่อ – นามสกุล นายนพดลย์ อิชฎาธิคม
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อำนวนย เรืองวารี, Dr.-Ing.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ อุดมहरรษากุล, Ph.D.)

..... กรรมการ
(อาจารย์วิเชียร อูบแก้ว, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวกร อ่างทอง)

วันที่ 25 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2558

| | |
|-------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อน โดยใช้การกรองภาพ |
| ชื่อ-นามสกุล | นายนพดลย์ อิชฎาธิคม |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมไฟฟ้า |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D. |
| ปีการศึกษา | 2557 |

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักรเพื่อการนับวัตถุแบบอัตโนมัติ ได้มีความนิยมมากขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ความสามารถของระบบการมองเห็นของเครื่องจักรมีการพัฒนาให้มีความสามารถสูงขึ้น โดยเฉพาะในแง่มุมของการนับวัตถุที่ทับซ้อน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อนโดยใช้การกรองภาพ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ภายในเฟรมถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการนับจำนวนของวัตถุ

ในการทดลองภาพของวัตถุที่เรียงซ้อนกันจำนวน 200 ภาพถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณภาพทางอินพุต โดยเริ่มต้นเทคนิคการแปลงภาพสีต้นฉบับให้เป็นภาพระดับสีเทาและแปลงเป็นภาพไบนารี จากนั้นภาพไบนารีจะถูกส่งผ่านไปยังเทคนิคการกรองภาพซึ่งประกอบด้วยเทคนิคการกรองแบบการจับภาพเคลื่อนไหว (Motion), แบบค่าเฉลี่ย (Average) และ แบบลาปลาเซียน (Laplacian) เพื่อลดสัญญาณรบกวน จากนั้นใช้เทคนิคการหาขอบภาพด้วยเทคนิคแคนนี่ เพื่อระบุตำแหน่งขอบของวัตถุ แล้วเติมเต็มภาพในลักษณะลูปปิด และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ภายในเฟรมจะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน ในระยะโฟกัสเดียวกัน และ ระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน

ผลการทดลองการกรองภาพที่เหมาะสมกับภาพวัตถุที่ทับซ้อนเพื่อการนับจำนวนวัตถุภายในหนึ่งกอง พบว่าประสิทธิภาพการกรองภาพแบบการจับภาพเคลื่อนไหว แบบค่าเฉลี่ยและแบบลาปลาเซียนอยู่ที่ร้อยละ 100, 98.5 และ 86.0 ตามลำดับ ซึ่งการกรองภาพแบบการจับภาพเคลื่อนไหว ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด แต่เมื่อนำการกรองภาพทั้ง 3 แบบไปใช้ร่วมกับนับจำนวนวัตถุแบบหลายกอง มีการวางกองวัตถุในลักษณะที่แตกต่างกันพบว่าการกรองภาพทั้ง 3 แบบไม่สามารถนับจำนวนได้ถูกต้องทั้งนี้เนื่องจากระยะโฟกัสของวัตถุนั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามระยะ ด้วยเหตุนี้จึงได้พัฒนาการใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ภายในเฟรม ร่วมกับการกรองภาพแบบการจับภาพเคลื่อนไหว โดยทดลองกับภาพ 800 ภาพ ผลการทดลองให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 99.1 ดังนั้นวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานการมองเห็นของเครื่องจักร

คำสำคัญ: การนับจำนวนวัตถุ การกรองภาพ การหาขอบภาพ

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | A Coincide Object Counting Using Image Filtering |
| Name-Surname | Mr. Noppadon Itsadatikom |
| Program | Electrical Engineering |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Jakkree Srinonchat , Ph.D. |
| Academic Year | 2014 |

ABSTRACT

In recent years, the automatic counting machine visions have a large number of applications which are used in the industrial area. It's scope has been increased for the automatic analysis of object counting specially matching object counting. This thesis presents a coincide object counting using image filtering. The relationship of intraframe parameters were exploited to count the object.

In the experiment, 200 images were used as input images which were the matching objects. Firstly, the color images were directly converted to gray scale image and then binary images. Those images were passed through the image filters, which consisted of Motion, Average and Laplacian image filters, to reduce noise. The canny technique, which is an edge detection technique, was used to indicate the position of objects and also filled the hole in the close loop images. Finally, the intraframe analysis technique was used to count the object in the condition of different shapes of matching objects, various number of matching objects in the same and different focus.

In the condition of a matching objects, it was found that each image filter provided a different efficiency. The Motion, Average and Laplacian image filter technique revealed the efficiency of count object as 100%, 98.5% and 86.0% respectively. It means that the best image filter was the Motion technique. However, those three image filters did not provide the accurate counting when applied in the condition of the different positions of coincide objects. This was because the objects were located in different focus. Thus, to improve the counting accuracy, the intraframe analysis technique was applied with the Motion image technique. This technique was tested with 800 images of matching objects. It was found that the counting accuracy was 99.1%. Therefore, those technique can be applied to the machine vision system.

Keywords: counting object, image filter, edge detection

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นและสนับสนุนในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวาริ ดร.วิเชียร อุปแก้ว และผู้ทรงคุณวุฒิ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมहरษากุล ที่ให้คำแนะนำความรู้และประสบการณ์ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาการทำการวิจัยในครั้งต่อไป

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณะครู-อาจารย์ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ และเพื่อน น้องนิสิตที่ห้องปฏิบัติการและวิจัย ทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ที่ได้ช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูล รวมถึงคำแนะนำต่างๆ ตลอดเวลา ที่การทำวิจัยอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หากขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นพดลย์ อธิภูษิตคม



สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | (3) |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | (4) |
| กิตติกรรมประกาศ..... | (5) |
| สารบัญ..... | (6) |
| สารบัญตาราง..... | (8) |
| สารบัญรูป..... | (9) |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 12 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 12 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 12 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... | 13 |
| 1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา..... | 13 |
| 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย..... | 13 |
| 1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย..... | 14 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 15 |
| 2.1 การประมวลผลภาพ..... | 15 |
| 2.2 แบบจำลองสี..... | 20 |
| 2.3 ภาพระดับสีเทา..... | 22 |
| 2.4 ภาพไบนารี..... | 24 |
| 2.5 การกรองภาพ..... | 25 |
| 2.6 การหาขอบภาพ..... | 28 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 36 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 40 |
| 3.1 การเก็บภาพต้นฉบับ..... | 41 |
| 3.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา..... | 44 |
| 3.3 การแปลงภาพไบนารี..... | 46 |
| 3.4 การกรองภาพ..... | 47 |
| 3.5 การหาขอบภาพ..... | 49 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.6 การเติมเต็มภาพ | 51 |
| 3.7 การนับจำนวนของเหรียญ | 53 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย | 63 |
| 4.1 ผลการทดลองนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันจำนวนหนึ่งกอง | 63 |
| 4.2 ผลการทดลองนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันจำนวนหลายกอง..... | 74 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ | 87 |
| 5.1 การนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวนหนึ่งกอง..... | 87 |
| 5.2 การนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวนหลายกอง | 87 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา..... | 89 |
| บรรณานุกรม | 90 |
| ภาคผนวก..... | 92 |
| ภาคผนวก ก ภาพที่ใช้ในการทดลอง | 93 |
| ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่..... | 117 |
| ประวัติผู้เขียน..... | |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 3.1 การวางกองเหรียญ ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน | 60 |
| ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการทดลองใช้ฟิลเตอร์แบบ Motion | 63 |
| ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการทดลองใช้ฟิลเตอร์แบบ Average | 65 |
| ตารางที่ 4.3 ผลที่ได้จากการทดลองใช้ฟิลเตอร์แบบ Laplacian | 67 |
| ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการนับจำนวนเหรียญที่ถูกต้องของฟิลเตอร์ Motion, Average และ Laplacian..... | 70 |
| ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน | 76 |
| ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 77 |
| ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน..... | 78 |
| ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 80 |
| ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน | 81 |
| ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 83 |
| ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสเท่ากัน..... | 84 |
| ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 86 |



สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... | 14 |
| รูปที่ 2.1 ภาพที่มีจำนวนจุดภาพต่างกัน | 16 |
| รูปที่ 2.2 การอ้างอิงพิกัดของข้อมูลภาพ | 16 |
| รูปที่ 2.3 การทำ Sampling และ Quantization..... | 17 |
| รูปที่ 2.4 ลักษณะของภาพภาพทรูคัลเลอร์ | 19 |
| รูปที่ 2.5 แบบจำลองสี RGB | 20 |
| รูปที่ 2.6 แบบจำลองสี HSV | 21 |
| รูปที่ 2.7 ภาพระดับเทาเชิงดิจิทัล | 22 |
| รูปที่ 2.8 ระดับความสว่างในหนึ่งจุดภาพ..... | 23 |
| รูปที่ 2.9 ระดับความสว่างที่มีค่า 8 บิต | 23 |
| รูปที่ 2.10 ระดับความสว่างของภาพที่ทำการสุ่ม | 24 |
| รูปที่ 2.11 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของพิกเซลภาพที่ประกอบเป็นตัวอักษร..... | 24 |
| รูปที่ 2.12 การกรองภาพแบบ Motion..... | 26 |
| รูปที่ 2.13 การกรองภาพแบบ Average..... | 27 |
| รูปที่ 2.14 การกรองภาพแบบ Laplacian..... | 28 |
| รูปที่ 2.15 กราฟแสดงการหาขอบ..... | 28 |
| รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการหาขอบภาพ | 31 |
| รูปที่ 2.17 ดัชนีบัพก่อนนำไปหาขอบภาพ | 32 |
| รูปที่ 2.18 ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาขอบภาพ | 32 |
| รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการหาขอบภาพ โดยใช้ Edge detector แบบต่าง ๆ..... | 33 |
| รูปที่ 2.20 ขั้นตอนของการหาขอบ Canny | 34 |
| รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองการนับจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกอง..... | 40 |
| รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองการนับจำนวนเหรียญแบบหลายกอง | 41 |
| รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการนับจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกอง | 41 |
| รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการนับจำนวนเหรียญแบบหลายกอง..... | 43 |
| รูปที่ 3.5 ภาพสี RGB ที่ใช้ในการทดลอง | 44 |
| รูปที่ 3.6 ภาพเชิงดิจิทัลระดับสีเทา | 45 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3.7 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาของภาพเหรียญแบบหนึ่งกอง..... | 45 |
| รูปที่ 3.8 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาของภาพเหรียญแบบหลายกอง | 45 |
| รูปที่ 3.9 ผลการแปลงเป็นภาพไบนารี | 46 |
| รูปที่ 3.10 การแปลงภาพสีเทาเป็นภาพระดับไบนารีของภาพเหรียญแบบหนึ่งกอง | 46 |
| รูปที่ 3.11 การแปลงภาพสีเทาเป็นภาพระดับไบนารีของภาพเหรียญแบบหลายกอง..... | 47 |
| รูปที่ 3.12 การแปลงภาพระดับไบนารีเป็นภาพที่ผ่านการกรอง Motion, Average และ Laplacian | 48 |
| รูปที่ 3.13 การแปลงภาพระดับไบนารีเป็นภาพที่ผ่านการกรองแบบ Motion ของเหรียญหลายกอง | 49 |
| รูปที่ 3.14 ผลของการหาขอบภาพเหรียญหนึ่งกอง โดยวิธี Canny | 50 |
| รูปที่ 3.15 ผลของการหาขอบภาพเหรียญหลายกองโดยวิธี Canny | 51 |
| รูปที่ 3.16 ผลของการเติมเต็มภาพเหรียญหนึ่งกอง | 52 |
| รูปที่ 3.17 ผลของการเติมเต็มภาพเหรียญหลายกอง..... | 53 |
| รูปที่ 3.18 ภาพแสดงการนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง..... | 54 |
| รูปที่ 3.19 ภาพถ่ายการวางกองเหรียญในตำแหน่งระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน | 56 |
| รูปที่ 3.20 ภาพแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสามเหลี่ยม..... | 58 |
| รูปที่ 3.21 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของฟังก์ชันตรีโกณมิติ..... | 59 |
| รูปที่ 3.22 ภาพแสดงการนับจำนวนเหรียญหลายกอง..... | 62 |
| รูปที่ 4.1 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Motion | 64 |
| รูปที่ 4.2 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Average..... | 66 |
| รูปที่ 4.3 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Laplacian | 68 |
| รูปที่ 4.4 ภาพแสดงเปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละฟิลเตอร์..... | 71 |
| รูปที่ 4.5 ผลการทดลองนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง..... | 72 |
| รูปที่ 4.6 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองนับจำนวนเหรียญหลายกอง | 74 |
| รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกึ่งติดกัน ระยะ โฟกัสเท่ากัน | 75 |
| รูปที่ 4.8 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกึ่งติดกัน ระยะ โฟกัสไม่เท่ากัน . | 76 |
| รูปที่ 4.9 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกึ่งไม่ติดกัน ระยะ โฟกัสเท่ากัน . | 78 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 79 |
| รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน | 81 |
| รูปที่ 4.12 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 82 |
| รูปที่ 4.13 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสเท่ากัน | 84 |
| รูปที่ 4.14 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 85 |
| รูปที่ 5.1 ตัวอย่างภาพถ่ายแสดงตำแหน่งของวัตถุในภาพ..... | 88 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันงานวิจัยทางการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุและหาขนาดของวัตถุ (การนับจำนวนวัตถุ) เป็นที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความรวดเร็วและความถูกต้องแม่นยำของการนับจำนวน ที่ผ่านมามีการทำงานวิจัยทางการประมวลผลภาพเพื่อจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น การนับจำนวนคน นับจำนวนยานพาหนะบนท้องถนนจากภาพถ่ายวิดีโอ หรือการหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งล้วนแล้วแต่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพทั้งสิ้น แต่ผลงานวิจัยก็ใช้เทคนิคและขั้นตอนที่คล้ายคลึงกัน บางขั้นตอนก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของงานวิจัยนั้นๆ ซึ่งเทคนิคการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ ก็เป็นส่วนสำคัญสำหรับงานวิจัยต่างๆ เพื่อที่จะทำการกำจัดสิ่งรบกวนออกจากภาพ โดยการกำจัดสิ่งรบกวนนั้นจะเป็นการช่วยให้ระบบสามารถที่จะทำการจับขอบภาพได้คมชัดมากยิ่งขึ้น แต่การกรองภาพมีหลายแบบ มีทั้งแบบการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ และแบบการกรองสัญญาณความถี่สูง ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับงานวิจัย การหาขอบภาพเป็นการหาเส้นรอบรูปที่เกิดจากความสว่างของภาพที่เปลี่ยนไปทันที โดยดูจากขนาดหรืออัตราการเปลี่ยนขนาด การค้นหาขอบภาพเป็นการดึงส่วนประกอบของภาพที่มีจุดเด่นออกจากพื้นหลัง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายหรือยู 10 บาท ในการทดลอง ใช้การกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ต่างๆ และหาขอบภาพแบบ Canny เป็นการค้นหาขอบภาพ ดึงส่วนประกอบของภาพที่มีจุดเด่นออกจากพื้นหลัง แล้วผ่านการเติมเต็มภาพ แสดงรูปร่างของวัตถุ ซึ่งมีการออกแบบและขั้นตอนการทดลองได้อธิบายในเอกสารนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันหนึ่งกอง

1.2.2 ศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันหลายกอง

1.2.3 ศึกษาเทคนิคการกรองภาพแบบ Motion, Average และ Laplacian เพื่อหาฟิลเตอร์ที่ดีที่สุดในการทดลอง

1.2.4 เพื่อประโยชน์ที่จะนำไปใช้พัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพวัตถุ ที่มีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยใช้เหรียญ 10 บาท

1.3.2 ประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพให้สามารถนับจำนวนวัตถุ จากภาพถ่ายกองเหรียญจำนวนหลายกอง ที่วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกันได้ อย่างถูกต้อง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 โดยใช้เทคนิค Intraframe Analysis

1.3.3 ภาพถ่ายกองเหรียญที่นำมาวางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน มีแบบระยะโฟกัสเดียวกัน และระยะโฟกัสที่แตกต่างกันในภาพ

1.4 ข้อกำหนดของการศึกษา

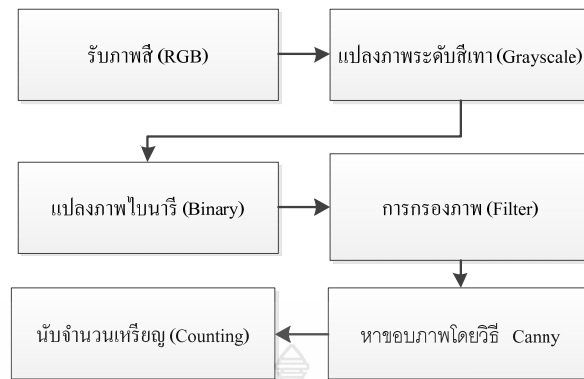
1.4.1 ภาพถ่ายทุกรูปมีระดับแสงสว่าง และถ่ายจากสถานที่เดียวกัน

1.4.2 ในภาพที่นำมาประมวลผล มีเฉพาะวัตถุที่ต้องการนับจำนวนเท่านั้น

1.4.3 ภาพถ่ายเหรียญต้องใช้เหรียญขนาดเดียวกัน

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อนับจำนวนวัตถุจากภาพถ่าย ที่วางเรียงซ้อนกันในรูปแบบต่างๆ จำนวนหนึ่งกอง และหลายกอง ซึ่งมีการออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทำให้มีความรู้และความเข้าใจด้านการประมวลผลภาพ
- 1.6.2 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานในโปรแกรม MATLAB
- 1.6.3 นำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อความรวดเร็วและความถูกต้องในการทำงาน
- 1.6.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อการนับจำนวนของวัตถุอื่นๆที่วางเรียงซ้อนกัน มีขนาดที่แตกต่างกัน และมีความสลับซับซ้อน

บทที่ 2

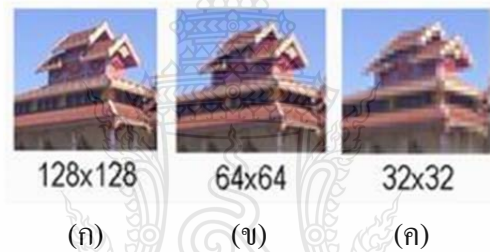
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการค้นหาตำแหน่งและนับจำนวนวัตถุ จะต้องผ่านขั้นตอนและรูปแบบการประมวลผลเพื่อจะให้ได้แสดงผลออกมาอย่างถูกต้อง ซึ่งประกอบด้วย การประมวลผลภาพ (Image Processing) ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) ภาพไบนารี (Binary Image) การกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ (Image Filtering) การหาขอบภาพ (Edge detection) ผ่านการเติมเต็มภาพ โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของภาพ เพื่อสามารถทำงานวิจัยนี้ได้ อย่างถูกต้อง

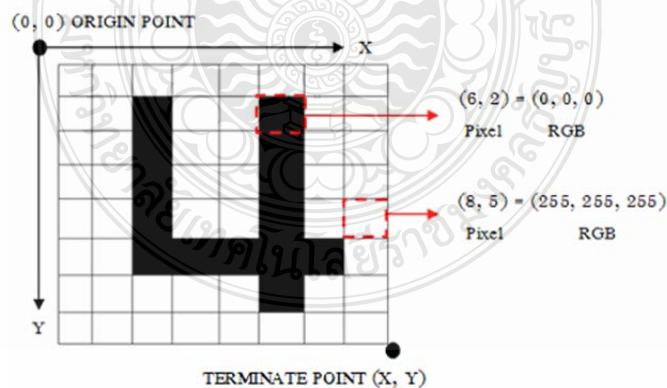
2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing) [3]

การนำสัญญาณภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณภาพ อาจเป็นสัญญาณจากกล้องดิจิทัล (Digital camera) ข้อมูลรูปภาพ (Digital Image) หรือฟิล์มภาพยนตร์ต่างๆ นำมากระทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของภาพ หรืออาจจะนำมากระทำการคำนวณค่าต่างๆของภาพ ขึ้นอยู่กับ ความต้องการและจุดประสงค์ การประมวลผลภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในสาขาต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะการค้นหาตำแหน่งวัตถุและการนับจำนวนวัตถุ เทคนิคการประมวลผลภาพเบื้องต้นจะ อ้างอิงถึงแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นหรือรับรู้ได้โดยที่กระบวนหรือแยกแยะข้อมูลต่างๆที่เกิดขึ้น ในภาพ จำเป็นที่จะต้องทำการคัดกรองข้อมูลที่ได้จากภาพดิจิทัล (Digital Image) ที่ละขั้นตอน และ เนื่องจากข้อมูลที่จะนำมาประมวลผลต้องเป็นข้อมูลภาพแบบดิจิทัล ข้อมูลของภาพจะอยู่ในรูปแบบ ของจุดสีต่างๆโดยเมื่อนำจุดสีต่างๆมาประกอบกันอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้เกิดภาพขึ้นมา การแปลง ภาพที่มองเห็นหรือตรวจจับจากอุปกรณ์รับภาพจะถูกทำการแปลงจากข้อมูลที่ได้ให้เป็นข้อมูลเชิง ดิจิทัล โดยการสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่ง หรือ Spatially Sampling โดยการสุ่มเลือกเฉพาะบาง ตำแหน่งในภาพ ซึ่งหากทำการสุ่มเลือกโดยหากมีจำนวนการสุ่ม (Sample size) ที่มากความละเอียด ของภาพที่ได้รับในรูปแบบของภาพดิจิทัลก็จะมีค่าความละเอียดสูง หน่วยของการสุ่มเลือกคือจุดภาพ (Pixel) โดยที่การที่จะระบุถึงตำแหน่งหรืออ้างอิงถึงจุดภาพ (Pixel) ในตำแหน่งต่างๆจะทำการอ้างอิง ผ่านระบบพิกัด โดยอ้างอิงในพิกัดของ X และพิกัดของ Y เพื่อการเข้าถึงค่าของจุดสี เหตุผลของการ สุ่มเลือกทางจุดตำแหน่ง หรือ Spatially Sampling นั่นก็คือ ในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์หรือ หน่วยประมวลผล (Processing Unit) จะประมวลผลข้อมูลได้ ข้อมูลจะต้องอยู่ในรูปของดิจิทัล (Digital) เท่านั้น ในขณะที่ภาพที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าของมนุษย์จะเป็นข้อมูลเชิง Analog เมื่อ

ต้องกระทำการประมวลผลภาพโดยคอมพิวเตอร์หรือหน่วยประมวลผล จะต้องทำการ สุ่มเลือกทางจุด ตำแหน่งภาพ (Image Sampling) เพื่อแปลงข้อมูลจากรูปแบบของ Analog เป็นข้อมูลในรูปของดิจิทัล (Digital) จากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหากทำการสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง โดยมีปริมาณการสุ่มมากเท่าใด คุณภาพหรือรายละเอียดของภาพที่ได้รับก็จะสูงขึ้นและใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลภาพสูงขึ้น รวมถึงขนาดของภาพก็จะสูงขึ้นเช่นกัน ดังตัวอย่างที่แสดงถึงการสุ่มเลือกจุดตำแหน่งในปริมาณที่ต่างกันโดยรูปที่ 2.1(ก) ใช้ปริมาณการสุ่มในแนวแกนตั้ง 128 จุด และในแนวนอนจำนวน 128 จุด รูปที่ 2.1(ข) ใช้ปริมาณการสุ่มในแนวแกนตั้ง 64 จุด และในแนวนอนจำนวน 64 จุด รูปที่ 2.1(ค) ใช้ปริมาณการสุ่มในแนวแกนตั้ง 32 จุด และในแนวนอนจำนวน 32 จุด โดยจะสังเกตเห็นว่า รูปที่ 2.1(ก) มีความละเอียดของภาพสูงสุด โดยที่รูปที่ 2.1 (ข) มีความละเอียดของภาพรองลงมา และรูปที่ 2.1(ค) มีความละเอียดของภาพต่ำสุด



รูปที่ 2.1 ภาพที่มีจำนวนจุดภาพต่างกัน [3]

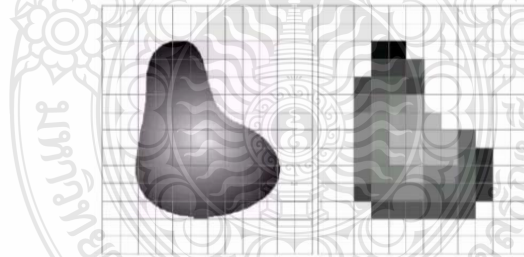


รูปที่ 2.2 การอ้างอิงพิกัดของข้อมูลภาพ [3]

การสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่งในพิกัดของ X จะหมายถึงพิกัดในแนวแกนนอน โดยเริ่มจากซ้ายที่พิกัด 0 ไปจนถึงพิกัดที่ X และพิกัดของ Y หมายถึงพิกัดในแนวแกนตั้ง โดยเริ่มจากบนที่พิกัด 0 ไปจนถึงพิกัดที่ Y ดังตัวอย่างภาพดิจิทัลภาพหนึ่งมีขนาด 320x270 จุดภาพ (Pixel) นั่นคือภาพนี้มีพิกัดซ้ายสุดที่ตำแหน่ง 0 และตำแหน่งขวาสุดที่ 320 และมีพิกัดบนสุดที่ตำแหน่ง 0 และตำแหน่งล่างสุดที่ 270 เช่นตัวอย่างดังรูปที่ 2.2 ในการสุ่มเลือกทางจุดแต่ละจุดภาพจะถูกแทนด้วยค่าของสีสำหรับภาพสี

2.1.1 การแทนภาพด้วยภาพแบบดิจิทัล

ภาพแบบดิจิทัล (Digital Image) เป็นภาพที่ถูกแปลงมาจากแอนะล็อกให้อยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพแอนะล็อกถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆที่เรียกว่าพิกเซลในแต่ละพิกเซลจะถูกระบุตำแหน่งด้วยคู่ออโคไดเนต (x, y) และค่าระดับความเข้มแสงของพิกเซลนั้นๆ โดยเราสามารถแปลงภาพเป็นภาพแบบดิจิทัลได้โดยมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้เมื่อเรานำสัญญาณแอนะล็อกที่ต้องการประมวลผลผ่านส่วนที่เรียกว่าดิจิติไซเซอร์ (Digitizer) ซึ่งจะมีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลจากนั้นทำการควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อแปลงค่าความเข้มแสงให้เป็นตัวเลขฟังก์ชันของภาพ $f(x, y)$ จะถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพซึ่งเรียกว่าการสุ่มภาพ (Image Sampling) ของฟังก์ชันที่ได้เรียกว่าการควอนไทซ์ระดับความเข้มแสง (Grey Level Quantization) ก็จะได้ข้อมูลที่เป็นดิจิทัล ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทำ Sampling และ Quantization [1]

สมมติว่าสัญญาณภาพต่อเนื่อง $f(x, y)$ ถูกดิจิติไซซ์ในระนาบ x และ y เป็นช่วงเท่าๆกันเราสามารถจัด $f(x, y)$ ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ขนาด $N \times N$ ได้ดังสมการที่ 2.1

$$f(x,y) = \begin{matrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0,2) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N-1) \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & f(N-1,2) & \dots & f(N-1, N-1) \end{matrix} \quad (2.1)$$

ซึ่งทางขวาของสมการจะเรียกว่าข้อมูลภาพดิจิทัลและทุกๆสมาชิกของเมตริกซ์จะเรียกว่าพิกเซลจากขบวนการสร้างภาพดิจิทัลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเราสามารถทราบขนาดของความละเอียดของภาพ $N \times N$ พิกเซลและจำนวนระดับของความเข้มแสงในทางปฏิบัติการทำควอนไทเซชันในระบบภาพดิจิทัลจะมีค่าดังสมการที่ 2.2

$$B = N \times N \times M \quad (2.2)$$

เมื่อ B = ขนาดของข้อมูลภาพที่เป็นดิจิทัล

$$G = 2M \quad (2.3)$$

โดย M = จำนวนบิตที่ใช้ในการแทนข้อมูลภาพ 1 พิกเซล

G = จำนวนความเข้มแสงที่ต้องการใช้ในการเก็บข้อมูลภาพ

2.1.2 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลภาพแบบดิจิทัล

โดยทั่วไปแล้วภาพจะมีความเข้มตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไปแต่ที่นิยมใช้กันมากคือค่าระดับความเข้มของพิกเซลที่เท่ากับ 256 ระดับซึ่งจะทำให้ค่าของพิกเซลอยู่ในช่วง (0-255) โดยใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลขนาด 1 ไบต์หรือ 8 บิตสำหรับข้อมูล 1 พิกเซล (256) ในกรณีที่ต้องการภาพที่มีความเข้มสูงอาจจะต้องการจำนวนบิตสำหรับการเก็บข้อมูลมากกว่า 8 บิตคืออาจจะเป็น 16 หรือ 24 บิตโดยจะแยกความแตกต่างของภาพแต่ละประเภทให้เห็นอย่างชัดเจนได้ดังนี้

2.1.2.1 ภาพ 2 ระดับคือมีพิกเซลสีขาวกับสีดำเท่านั้น โดยแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูลเท่ากับ 1 บิต

2.1.2.2 ภาพ 16 ระดับคือในแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูล 4 บิตซึ่งทำให้สามารถแสดงได้ 16 ระดับสี

2.1.2.3 ภาพ 256 ระดับคือในแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูล 8 บิตซึ่งทำให้สามารถแสดงภาพได้ความเข้มถึง 256 ระดับ

2.1.2.4 ภาพทิวทัศน์ (True Color) คือในแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูล 24 บิตทำให้สามารถแสดงภาพออกมาได้เหมือนจริงมากที่สุดเพราะสามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 สีภาพทิวทัศน์สามารถแสดงได้เฉพาะภาพสีเท่านั้น ไม่สามารถแสดงเป็นภาพขาวดำได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะของภาพภาพทิวทัศน์ [1]

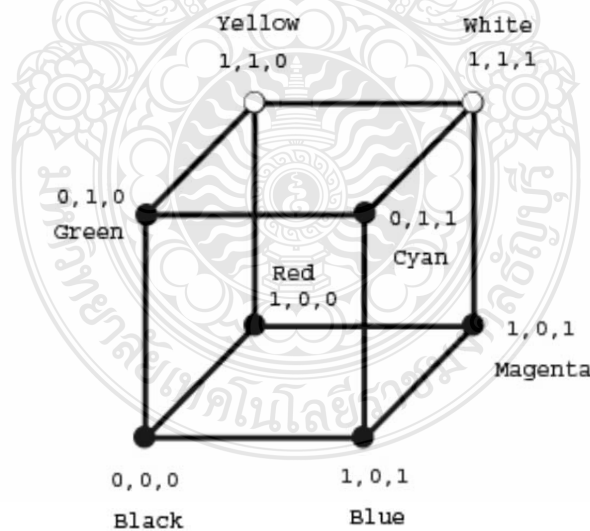
โดยทั่วไปวิธีการประมวลผลภาพเชิงตัวเลขที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักวัตถุในภาพได้นั้นแบ่งออกได้เป็นสองระดับด้วยกันคือการประมวลผลภาพในระดับต่ำ (Low-Level Image Processing) และการประมวลผลภาพในระดับสูง (High-Level Image Processing) การประมวลผลภาพในระดับต่ำจะเป็นการประมวลผลเชิงตัวเลขเกือบทั้งหมดเพื่อหาตัวแปรต่างๆ มาอธิบายข้อมูลภาพโดยมีจุดประสงค์ที่จะนำตัวแปรเหล่านั้นไปใช้ในการประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป โดยทั่วไปแล้วการประมวลผลภาพระดับต่ำจะประกอบด้วยประมวลผลภาพก่อน (Pre Processing) เช่นการกำจัดสัญญาณรบกวนหรือการทำให้ภาพคมชัดการหาขอบภาพเป็นต้นการประมวลผลระดับสูงเป็นการนำผลลัพธ์หรือสัญลักษณ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ ระดับต่ำมาตีความหรือประมวลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักและเข้าใจภาพได้สำหรับความแตกต่างของการประมวลผลภาพทั้ง 2 ประเภทนั้นคือการประมวลผลภาพระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างของจุดภาพ (พิกเซล) ส่วนการประมวลผลภาพระดับสูงนั้นข้อมูลภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกแสดงในรูปสัญลักษณ์ซึ่งสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในภาพเช่นขนาดของวัตถุรูปร่างและความสัมพันธ์กันระหว่างวัตถุภาพ

2.2 แบบจำลองสี (Color Model) [1]

แบบจำลองสี (Color Model) เป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงถึงสีต่างๆ สำหรับคอมพิวเตอร์แล้วเราจะไม่ใช้แบบจำลองที่เป็น Analytical Model เหมือนกับที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์ซึ่งใช้วิธีการวัดที่อยู่ในรูปของพลังงานตลอดช่วงของสเปกตรัม (Spectrum) แต่จะเป็น Empirical Model ที่ได้รับความสัมพันธ์ของค่าที่ใช้อ้างอิงกับสีใดๆ จากการทดลองการศึกษาแบบ Psychophysical ที่มีการรับรู้ของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องแบบจำลองสีมีหลายแบบด้วยกันเช่นแบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี CMY แบบจำลองสี CMYK แบบจำลองสี HSV แบบจำลองสี HIS แบบจำลองสี HLS แบบจำลองสี YIQ และแบบจำลองสี YUV (แบบจำลอง YcbCr) เป็นต้น

2.2.1 แบบจำลองสี RGB (RGB Color Model)

เป็นแบบจำลองที่เฉพาะเจาะจงกับจอภาพคอมพิวเตอร์เนื่องจาก RGB Model ได้ทำการสร้างสีต่างๆ ขึ้น โดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงจำนวนสามสีได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ที่เกิดจากสารเรืองแสงที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามลำดับ ซึ่งแสงทั้งสามสีจะไม่เท่ากันในแต่ละอุปกรณ์นอกจากนี้จะมีคุณสมบัติของสารเรืองแสง การตั้งค่าจอภาพและสภาพแวดล้อมที่จอภาพคอมพิวเตอร์เหมือนกันทุกประการ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบจำลองสี RGB [1]

แบบจำลองสี RGB ประกอบด้วยข้อมูลจำนวนสามส่วนคือค่า Intensity ของสีทั้งสาม ซึ่งได้แก่ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน

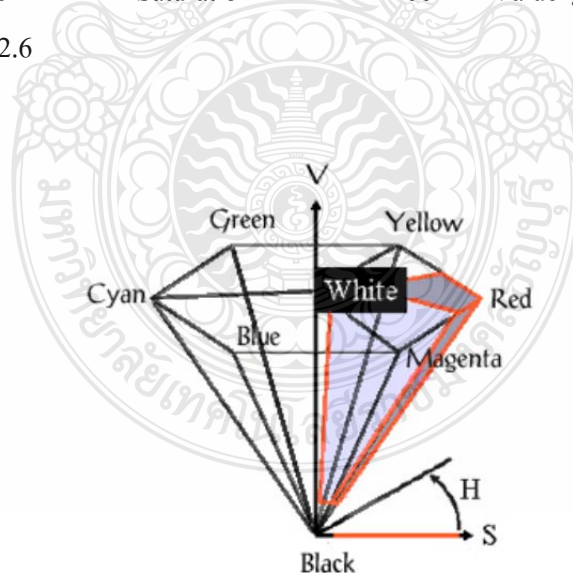
2.2.2 แบบจำลองสี HSV (HSV Color Model)

เป็นแบบจำลองสีที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะให้ความหมายที่ ดีกว่าเมื่อกล่าวถึงสีต่างๆ ในเชิงศิลปะ เช่น เมื่อพูดถึงสีเหลืองในทางศิลปะจะมีความแตกต่างกัน เมื่อ พิจารณาสีเหลืองอ่อนสีเหลืองแก่หรือสีน้ำตาลว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร จะพบว่าทุกสีคือสีเหลือง นั้นเองที่มีระดับความเข้มหรือมีความอิ่มตัวที่แตกต่างกันดังนั้นสีในแบบจำลองสี HSV จึงให้ ความรู้สึกที่เข้าใจได้มากกว่าสำหรับมนุษย์ซึ่งจำลองสี HSV ประกอบด้วยสามส่วนคือ

H หมายถึง Hue หรือสีที่มีค่าที่แตกต่างออกไปตามความถี่ของแสง เช่น แดง เหลือง เขียว น้ำเงิน หรือม่วง เป็นต้น

S หมายถึง Saturation หรือความอิ่มตัวของ Hue นั้นๆ เช่น สีแดงและสีชมพูก็คือสี แดงเพียงแต่สีชมพูมีความอิ่มตัวน้อยกว่า

V หมายถึง Value หรือค่าความสว่างของสีโดยที่ค่า Value ต่ำสุดหมายถึงสีดำไม่ว่า จะมี Hue หรือ Saturation เท่าใดและค่า Value สูงสุดหมายถึงสีขาวซึ่งเป็นสีที่สว่างที่สุดของ Hue และ Saturation นั้นๆ เช่น Hue ใดๆ มีค่า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ Value สูงสุดก็คือสีขาวและ Value ต่ำสุดคือสีดำหรือ Hue สีเหลืองที่ Saturation มีค่าเท่ากับ 100 เมื่อ Value สูงสุดคือสีเหลืองและ Value ต่ำสุดคือสีดำ ดังรูปที่ 2.6



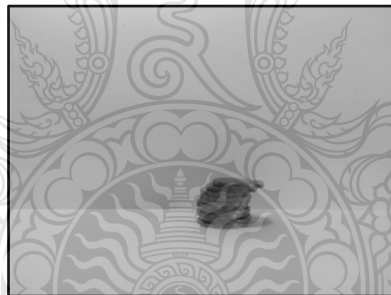
รูปที่ 2.6 แบบจำลองสี HSV [1]

2.3 ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image)

ภาพสีเมื่อแปลงเป็นภาพระดับสีเทาจะไม่มีค่าของสีเข้ามาเกี่ยวข้องมีเฉพาะค่าของความสว่างเท่านั้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ได้จากการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา ทุกๆพิกเซลของภาพระดับสีเทาโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งระดับของภาพระดับสีเทาได้ 256 ระดับ (0 ถึง 255) ขั้นตอนการแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวดำระดับสีเทา ทำได้โดยแยกแยะระดับสีแต่ละพิกเซลออกจากกันในภาพสี จากนั้นนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการ เพื่อคำนวณหาค่าสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดพิกเซลเดิม โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณดังสมการที่ 2.4 และภาพขาวดำที่ได้แสดงตัวอย่างของ Pixel Value ได้ดังรูปที่ 2.7

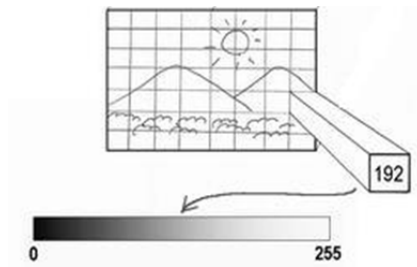
$$G(x, y) = 0.2989 \times R(x, y) + 0.5870 \times G(x, y) + 0.1140 \times B(x, y) \quad (2.4)$$

เมื่อ $G(x, y)$ คือ ค่าของระดับสีเทาที่ได้จากการแปลงที่พิกเซล (x, y)
 $R(x, y)$, $G(x, y)$, $B(x, y)$ คือ ค่าระดับ R,G,B ของภาพสีที่พิกเซล (x, y)



รูปที่ 2.7 ภาพระดับเทาเชิงดิจิทัล

ภาพโทนสีเทา (Grayscale) จะประกอบไปด้วยสีดำ และเพิ่มระดับความสว่างไปจนถึงสีขาวดังรูปที่ 2.8 แสดงถึงระดับความสว่างที่เปลี่ยนแปลงได้ในหนึ่งจุดภาพ



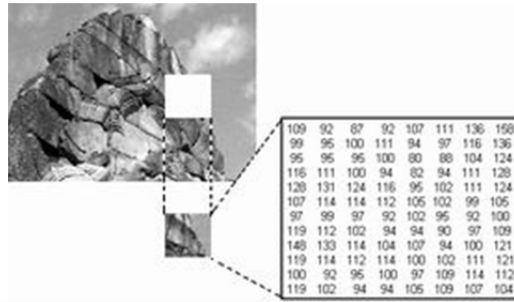
รูปที่ 2.8 ระดับความสว่างในหนึ่งจุดภาพ [3]

สีดำ จะถูกแทนด้วยค่าตัวเลข 0 และสีขาวจะถูกแทนด้วยค่าตัวเลขคือ 255 รวมทั้งสิ้น 256 ระดับสี (0-255) หรือ 2 ยกกำลัง 8 โดยที่ 8 ก็คือ จำนวนบิตในหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บค่านี้หนึ่งค่า ดังนั้นสีดำ จะถูกแทนด้วยรหัสในเลขฐานสองคือ 00000000 และสีขาวก็จะถูกแทนด้วยรหัส 11111111 และสีที่อยู่ระหว่างสีดำถึงสีขาวจะถูกเรียงลำดับไปตามลำดับการนับเลขฐานสองดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ระดับความสว่างที่มีค่า 8 บิต [3]

หากภาพเป็นลักษณะของโทนขาวดำ (Grayscale) แต่แต่ละจุดภาพก็จะถูกแทนที่ด้วยตัวเลขที่บอกถึงค่าความสว่างตั้งแต่ 0-255 ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.9 แสดงถึงระดับความสว่างของภาพที่ทำการซูมในแต่ละจุดภาพหนึ่งกลุ่มข้อมูล

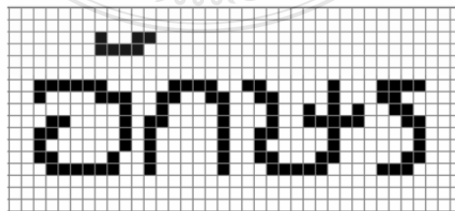


รูปที่ 2.10 ระดับความสว่างของภาพที่ทำการซูม [3]

จะสังเกตได้ว่า แต่ละจุดภาพถูกแทนที่ด้วยตัวเลข ซึ่งตัวเลขเหล่านี้มีค่าระหว่าง 0-255 หรือมีค่าได้ตั้งแต่ 0, 1, 2, 3, 4 จนถึง 255 เป็นโทนสีเทา

2.4 ภาพไบนารี (Binary Image)

ภาพไบนารีก็คือภาพซึ่งในแต่ละพิกเซลจะมีความเข้มของแสงได้สองแบบเท่านั้นคือ สว่างกับมืด โดยอาจเขียนแทนได้ด้วยเลข 0 และ 1 ด้วยความเข้มของแสงเพียงสองระดับภาพไบนารีจึงมีข้อจำกัดที่จะนำมาใช้แสดงภาพต่างๆ ไป แต่อย่างไรก็ตามการมีความเข้มของแสงเพียงสองระดับก็ทำให้การประมวลผลทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประมวลผลภาพไบนารีนำไปใช้มากในการประมวลผลเอกสาร การประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การนับจำนวนชิ้นส่วนที่อยู่บนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่เป็นตอน การมีความเข้มเพียงสองระดับในภาพไบนารีทำให้สามารถที่จะเลือกพิจารณาให้ความเข้มระดับหนึ่งแทนภาพของสิ่งที่เราสนใจ โดยเราจะขอเรียกพิกเซลที่มีความเข้มระดับนี้ว่าพิกเซลภาพและความเข้มอีกระดับแทนพื้นหลัง โดยพิกเซลที่มีความเข้มระดับนี้จะถูกเรียกว่าพิกเซลพื้นหลังในทางปฏิบัติ ในการพิจารณาภาพไบนารีเราจะไม่สนใจแต่ละพิกเซลแยกกันไปแต่เราจะสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกันหรือที่เรียกว่าพิกเซลเพื่อนบ้าน เช่น กลุ่มของพิกเซลที่เรียงกันเป็นตัวอักษรดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของพิกเซลภาพที่ประกอบเป็นตัวอักษร [1]

ภาพการสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล (Thresholding Technique) โดยพิจารณาว่าพิกเซลใดเป็นสีขาวหรือสีดำจะกระทำโดยการเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งๆที่เรียกว่า “ค่าเทรชโฮล” (Threshold Value) ข้อมูลภาพมีลักษณะที่ต่างกันระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) โดยค่าของพิกเซลของภาพใดๆ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลจะถูกเปลี่ยนเป็น 0 (จุดดำ) ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคเทรชโฮลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคมชัด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือค่าเทรชโฮลเนื่องจากถ้าเลือกค่าเทรชโฮลที่ไม่เหมาะสม (ค่าเทรชโฮลที่มีค่าน้อยเกินไปหรือมากเกินไป) ภาพที่ได้จะมีมืดเกินไปหรือสว่างมากเกินไปหรือภาพที่ได้มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้นอันเป็นผลทำให้ภาพที่ได้ไม่สวยงามเท่าที่ควร ดังนั้นปัญหาของการสร้างภาพไบนารีคือวิธีการกำหนดค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมสำหรับแต่ละภาพที่จะนำมาทำการสร้างภาพไบนารีซึ่งมีวิธีการคำนวณหาค่าเทรชโฮลหลายวิธีโดยแต่ละวิธีเหมาะสมกับลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น การหาค่าเทรชโฮลโดยกำหนดค่าล่วงหน้า (Pre-Assigned Threshold Value) การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value) ซึ่งแต่ละวิธีอธิบายได้ดังนี้

การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดค่าล่วงหน้าเป็นการกำหนดค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดเองจากผู้ใช้งานซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้คนนั้นๆ โดยการเลือกค่าคงที่ค่าหนึ่งๆซึ่งเรียกว่าค่าเทรชโฮล โดยค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ เช่น ภาพอินพุตมีระดับความเข้มแสง 256 ระดับจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0-255 เมื่อเลือกค่าเทรชโฮลได้แล้วสามารถสร้างภาพไบนารีได้

การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลางเป็นการหาเทรชโฮลที่แตกต่างจากการหาค่าเทรชโฮลวิธีแรก สำหรับวิธีนี้จะเป็นการคำนวณหาค่าเทรชโฮลโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนด โดยการหาค่าเทรชโฮลนี้ใช้วิธีทางสถิติในเรื่องการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเทรชโฮลที่คำนวณได้จากค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าระดับความเข้มสูงสุด (Maximum Level) และระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของภาพเมื่อทำการคำนวณค่าเทรชโฮลได้แล้วก็สามารถสร้างภาพไบนารีได้โดยนำค่าเทรชโฮลที่ได้มาใช้

2.5 การกรองภาพ (Image Filtering)

2.5.1 การกรองภาพแบบ Motion

สำหรับวิธีการคอนโวลูชัน (Convolution) ซึ่งเป็นการกระทำกันระหว่างเทมเพลต (Template) กับภาพ (Image) เทมเพลตคือ เมทริกซ์ขนาด $M \times N$ ของชุดตัวเลขที่จะใช้ในการหา

ผลลัพธ์ของการคอนโวลูชันได้ดังสมการที่ 2.5 โดยใช้ตัวกรองแบบ Motion ซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงการเคลื่อนไหวเชิงเส้นของพิกเซล

$$\hat{I}(X, Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(x, y) \cdot I(X-i, Y-j) \quad (2.5)$$

โดย $\hat{I}(X, Y)$ แทน ภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชันกับภาพ
 $T(x, y)$ แทน เทมเพลต

จากสมการจะเห็นว่าระดับความเข้มแสง ณ จุด (x, y) ในภาพผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณที่เทมเพลตทับอยู่ จากสมการตัวชี้ตำแหน่งจุดในภาพ $(X-i, Y-j)$ แสดงให้เห็นว่ามีการพลิกเทมเพลตทางแกนนอนและแกนตั้ง การกรองภาพแบบ Motion แสดงดังรูปที่ 2.12

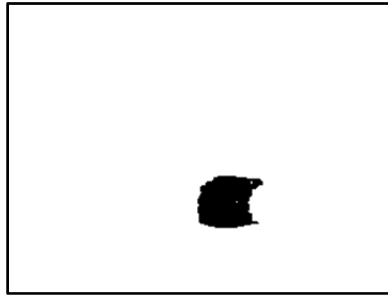


ผ่านการกรองแบบ Motion

รูปที่ 2.12 การกรองภาพแบบ Motion

2.5.2 การกรองภาพแบบ Average

ตัวกรองค่าเฉลี่ย เป็นกระบวนการประมวลผลภาพโดยการใช้ตัวกรอง (filter mask) ทำการกวาดไล่ไปบนภาพ ซึ่งแนวคิดของการทำตัวกรองค่าเฉลี่ย คือการแทนค่าความเข้มในแต่ละจุดภาพ ด้วยค่าเฉลี่ยความเข้มของจุดภาพรอบๆจุดศูนย์กลาง รวมถึงค่าความเข้มของจุดศูนย์กลางที่อยู่ในตัวกรองที่กำหนดด้วย ผลจากการทำตัวกรองค่าเฉลี่ยจะทำให้ได้ภาพที่ไม่คมชัด (blurred) หรือลดสิ่งรบกวน (noise reduction) การกรองภาพแบบ Average แสดงดังรูปที่ 2.13



ผ่านการกรองแบบ Average

รูปที่ 2.13 การกรองภาพแบบ Average

2.5.3 การกรองภาพแบบ Laplacian

การวัดความชัดจะพัฒนาบนพื้นฐานงานของ S. Nayar ซึ่งเป็นการวัดแบบ SML วิธีคือการหาผลรวมของการแปลง Modified Laplacian ดังสมการที่ 2.6 โดยการแปลงนั้นจะทำการ Convolution ภาพกับ Mask ในแนวแกน X และแนวแกน Y

$$\phi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} \Delta_m I(i,j) \quad (2.6)$$

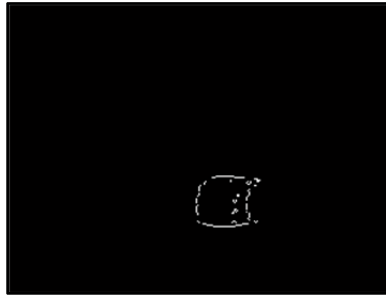
Laplacian ส่วน Δ_m คือการแปลง Modified Laplacian หาได้ดังสมการที่ 2.7

$$\Delta_m I = |I * L_x| + |I * L_y| \quad (2.7)$$

สมการที่ 2.7 เป็นการทำการ Convolution ระหว่างภาพกับ Mask ในแนวแกน X และแนวแกน Y ส่วน Mask ที่ใช้จะมีค่าดังนี้

$$L_x = [-1 \ 2 \ -1] \text{ และ } L_y = L_x^T$$

ที่ตำแหน่งพิกเซลใดๆ $I(x, y)$ จะได้ค่าผลรวมการแปลง Modified Laplacian เป็น $\phi_{x,y}$ ค่านี้จะแปรผันตามความชัดของภาพ ถ้าตำแหน่งใดมีค่ามากก็แสดงว่าตำแหน่งนั้นได้โฟกัสจึงมีความชัด การกรองภาพแบบ Laplacian แสดงดังรูปที่ 2.14

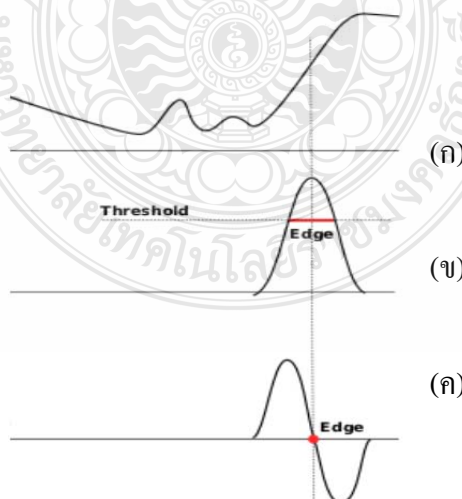


หลังการกรองแบบ Laplacian

รูปที่ 2.14 การกรองภาพแบบ Laplacian

2.6 การหาขอบภาพ (Edge detection)

หลักการประมวลผลภาพคือการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย)หรือภาพเคลื่อนไหว(วิดีโอ) และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆที่ไม่ใช่ภาพ วิธีบันทึกข้อมูลของภาพสำหรับการวัดจัดเก็บในรูปแบบของค่าพิกเซล การแยกวัตถุ วัตถุออกจากกันหรือแยกออกจากพื้นหลัง (Background) ต้องใช้การค้นหาลักษณะขอบที่อยู่ในภาพนั้น การค้นหาลักษณะขอบคือการหาเส้นรอบภาพที่เกิดจากความสว่างของภาพที่เปลี่ยนไปทันที โดยดูจากขนาดหรืออัตราการเปลี่ยนแปลง การค้นหาลักษณะขอบเป็นการดึงส่วนประกอบของภาพที่มีจุดเด่นออกจากพื้นหลัง มีวิธีการแยกได้สองลักษณะคือ การค้นหาลักษณะขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Method) และการค้นหาลักษณะขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง (Laplacian Method) โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงการหาขอบด้วยวิธี Gradient method (ข) และ Laplacian method (ค) โดยรูป (ก) แสดงถึงความแตกต่างของระดับความเข้มของสี [1]

2.6.1 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Method)

วิธีนี้จะหาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่า threshold (รูปที่ 2.15 ข) จึงอาจทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะหนา ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt, Sobel และ Canny

การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งเป็นการแปลงเกรเดียนต์แบบไม่ต่อเนื่องบนภาพเชิงตัวเลข เนื่องจากการหาขอบภาพเป็นการประมวลผลแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงต้องใช้อนุพันธ์ย่อยแบบไม่ต่อเนื่องตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และแกน y ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\nabla_x g(x, y) = g(x, y) - g(x-1, y) \quad (2.8)$$

$$\nabla_y g(x, y) = g(x, y) - g(x, y-1) \quad (2.9)$$

โดยขนาดของเกรเดียนต์ตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และแกน y รวมกันได้เป็นสมการที่ 2.10

$$|\nabla g(x, y)| = |\nabla_x g(x, y)| + |\nabla_y g(x, y)| \quad (2.10)$$

การหาขอบภาพโดยใช้เกรเดียนต์ในทางปฏิบัติจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ตามวิธีดังนี้

Roberts

$$|\nabla g(x, y)| = |\nabla_x g(x, y)| + |\nabla_y g(x, y)| \quad (2.11)$$

Prewitt

$$|\nabla g(x, y)| = \left(\left| \sum_y^{y+2} g(x, y) - \sum_y^{y+2} g(x+2, y) \right| + \left| \sum_x^{x+2} g(x, y) - \sum_x^{x+2} g(x, y+2) \right| \right) \quad (2.12)$$

Sobel

$$|\nabla g(x, y)| = \left(\begin{array}{l} \left| \begin{array}{l} g(x, y) + 2g(x, y+1) + g(x, y+2) - \\ (g(x+2, y) + 2g(x+2, y+1) + g(x+2, y+2)) \end{array} \right| + \\ \left| \begin{array}{l} g(x, y) + 2g(x+1, y) + g(x+2, y) - \\ (g(x, y+2) + 2g(x+1, y+2) + g(x+2, y+2)) \end{array} \right| \end{array} \right) \quad (2.13)$$

จากสมการที่ 2.11 ถึง 2.13 สามารถเขียนในรูปของ Mask Coefficient ได้ดังนี้

Robert

$$w_2 = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

Prewitt

$$w_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad w_2 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

Sobel

$$w_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad w_2 = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & -1 \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

นำ Mask Coefficient W ของแต่ละวิธีมาหาขอบภาพจะต้องนำ Mask Coefficient ของวิธีนั้นๆมาทำการคอนโวลูชันกับภาพสามารถแสดงในสมการที่ 2.17

$$h_k(x, y) = \sum \sum w_k(i, j) g(x+i-1, y+j-1) \quad (2.17)$$

โดย $h_k(x, y)$ คือพิกเซลของภาพ ณ ตำแหน่ง x, y ที่ผ่านการคอนโวลูชันแล้วด้วย Mask Coefficient ที่ $kw_k(i, j)$ คือสมาชิกตัวที่ i, j ของ Mask Coefficient ตัวที่ k เมื่อดำเนินการคอนโวลูชันระหว่างภาพกับ Mask Coefficient แล้วนำ $h_k(x, y)$ สำหรับ k ทุกตัวมาทำการเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮล ถ้ามากกว่าเทรชโฮลแสดงว่าเป็นขอบภาพ ตัวอย่างการหาขอบภาพด้วยวิธีของ Sobel และใช้ค่าเทรชโฮลด้วยค่า 12 ดังรูปที่ 2.16

ภาพพิกเซลของภาพ

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 3 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 |
| 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 0 | 1 | 0 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |

(ก) ภาพต้นฉบับ

ค่าที่ได้จากการทำคอนโวลูชัน

| | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 4 | 6 | 4 | 10 | 14 | 12 | 14 | 14 |
| 6 | 8 | 10 | 20 | 16 | 12 | 6 | 0 |
| 4 | 10 | 14 | 10 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| 2 | 12 | 12 | 2 | 2 | 4 | 6 | 8 |

เทรชโฮลด้วยค่า 12

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(ข) ผลลัพธ์จากการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการหาขอบภาพ [1]

2.6.2 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง (Laplacian Method)

จะหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยใช้จุดที่ค่า y เป็น 0 (Zerocrossing) (รูปที่ 2.15 ค) ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า Gradient method ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth

การหาขอบภาพโดยวิธีนี้จะไม่มีการพิจารณาทิศทางของขอบภาพแต่จะสนใจเฉพาะขนาดของความเป็นขอบภาพ (เกรเดียนต์) เท่านั้น โดยวิธีนี้ได้แก่ตัวดำเนินการลาปลาเซียน (Laplacian) เกรเดียนต์ของ $\nabla^2 g(x, y)$ ได้จากการประมาณอนุพันธ์เชิงเส้นของฟังก์ชันต่อเนื่อง

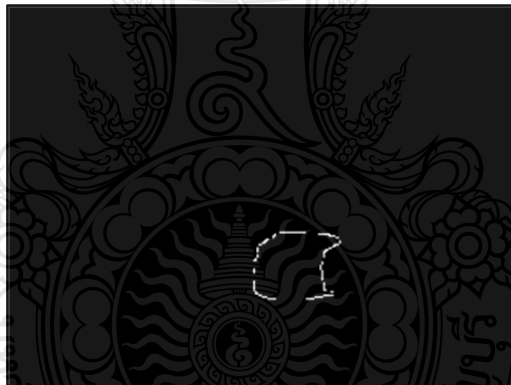
$$\nabla^2 g(x, y) = 4g(x, y) - (g(x+1, y) + g(x-1, y) + g(x, y+1) + g(x, y-1)) \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.18 สามารถเขียนในรูปของ Mask Coefficient ได้ดังสมการที่ 2.19

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (2.19)$$



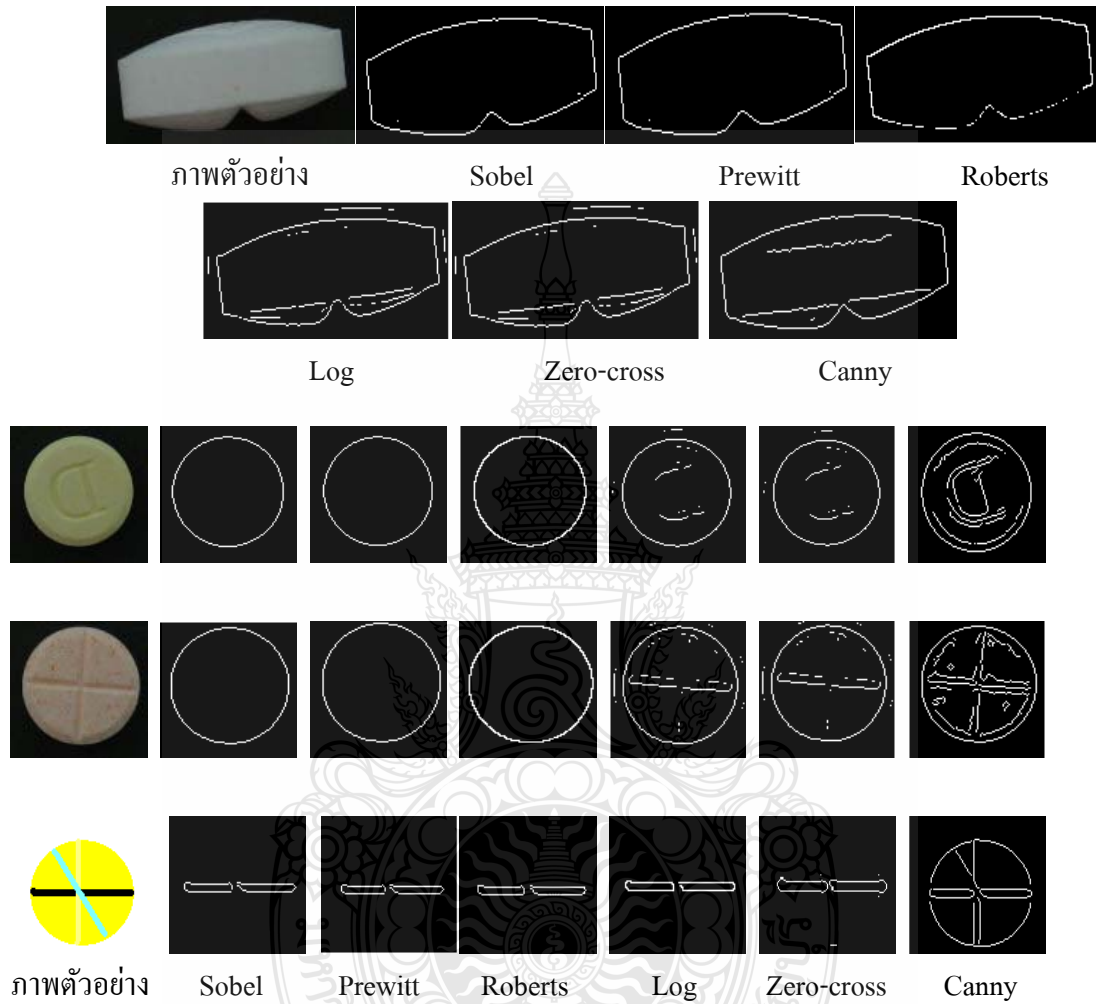
รูปที่ 2.17 ต้นฉบับก่อนนำไปหาขอบภาพ



รูปที่ 2.18 ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาขอบภาพ

ในการหาขอบภาพ ด้วยโปรแกรม Matlab มีคำสั่งที่ใช้ในการหาขอบทั้งหมด 6 วิธี ดังนี้ Roberts, Sobel, Canny, Laplacian of Gaussian, zero cross และ Prewitt วิธีที่ดีที่สุดในการหาขอบภาพคือ Canny เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีการใช้ Gaussian filter หรือ ตัวกรองเกาส์เซียน ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่สำคัญมากในการกรองสัญญาณภาพ ก่อนการหาขอบจึงสามารถควบคุมระดับความละเอียดของขอบที่ต้องการและสามารถลดสัญญาณรบกวนได้อีกด้วย ทำให้สามารถตัดขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (pre-processing) ตัวอย่างภาพที่ผ่านการหาขอบทั้ง 6 วิธีโดยใช้โปรแกรม

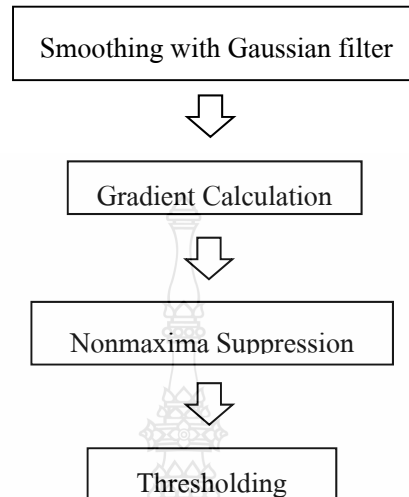
Matlab เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.19 จากรูปตัวอย่างจะพบว่าการหาขอบภาพ ด้วยวิธี Canny จะให้รายละเอียดภายในเม็ดยาได้ดีที่สุดและใช้ได้ในกรณีที่มีความแตกต่างของสีมีน้อยเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการหาขอบภาพ โดยใช้ Edge detector แบบต่างๆ [1]

2.6.1 การหาขอบด้วยวิธี Canny

ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของ Canny ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ขั้นตอนของการหาขอบ Canny

การทำงานของ การหาขอบ Canny นั้นเริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้น คำนวณค่าขนาด (magnitude) และทิศทาง (orientation) ของ gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ในถัดมาจึงใช้ nonmaxima suppression กับ gradient magnitude เพื่อให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนสุดท้ายใช้ double thresholding algorithm เพื่อระบุพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อขอบ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1.1 การปรับภาพให้เรียบ (Smoothing)

ในขั้นตอนแรกของการหาขอบโดยอัลกอริทึมนี้จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ Gaussian filter ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (mask) ขนาดเล็ก ขนาดของ Gaussian mask นี้หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ Gaussian filter เป็นดังสมการที่ 2.20

$$S[i, j] = G[i, j, \sigma] * I[i, j] \quad (2.20)$$

กำหนดให้

$I[i, j]$ เป็นภาพที่ต้องการหาขอบ

$G[i, j, \sigma]$ เป็น Gaussian smoothing filter

σ เป็น spread of the Gaussian (ควบคุมระดับของการ smoothing)

2.6.1.2 คำนวณค่าขนาดและทิศทาง (Gradient Calculation)

ในขั้นแรกนำ smoothing image $S[i, j]$ มาสร้าง x, y partial derivatives $P[i, j]$ และ $Q[i, j]$ ตามลำดับ ดังสมการที่ 2.21 และ 2.22

$$P[i, j] \approx (S[i, j+1] - S[i, j] + S[i+1, j+1] - S[i+1, j]) / 2 \quad (2.21)$$

$$Q[i, j] \approx (S[i, j] - S[i+1, j] + S[i, j+1] - S[i+1, j+1]) / 2 \quad (2.22)$$

หลังจากนั้นนำค่า x, y partial derivatives มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐาน สำหรับการแปลงรูปแบบจาก rectangular ไปเป็น polar (rectangular-to-polar conversion) เพื่อหาขนาดและทิศทางของ gradient ตามสมการที่ 2.23

$$\begin{aligned} M[i, j] &= \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2} \\ \theta[i, j] &= \arctan(Q[i, j], P[i, j]) \end{aligned} \quad (2.23)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่ามุม θ ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน $\arctan(x, y)$

2.6.1.3 การทำให้ได้ขอบที่บางลง (Nonmaxima Suppression)

สำหรับการหาขอบโดย Canny method จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับ gradient ด้วย ซึ่งด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการทำ Nonmaxima Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็น local maxima points ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

2.6.1.4 ระบุพิกเซลที่เป็นขอบ (Thresholding)

แม้ว่าภาพจะผ่านการ smoothing ในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้ก็ยังมีส่วนเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่เนื่องมาจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็น

พื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่า threshold ขึ้นมา 2 ค่า คือ high threshold (T1) และ low threshold (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 1 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่า threshold ทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า >T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีทั้งหมดที่กล่าวมานี้ จะนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน สำหรับงานวิจัยทางการประมวลผลภาพนี้เพื่อนับจำนวนเหรียญที่วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยที่กำลังศึกษา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ในงานวิจัยของ [7] นำเสนอในหัวข้อ “Real-time method for counting unseen stacked objects in mobile” 2013 ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนวัตถุโดยอัตโนมัติจากภาพถ่ายของวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันด้วยโทรศัพท์มือถือ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการที่แตกต่างจากวิธีการอื่นที่เคยมี ในการทดลองได้กำหนดขนาดและรูปร่างของวัตถุแม่แบบที่จะทำการนับจำนวน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับวัตถุในภาพที่มีลักษณะเดียวกับแม่แบบทั่วทั้งภาพ โดยไม่ต้องหาขอบวัตถุ โดยใช้ภาพวัสดุก่อสร้างจากหน้างานจริง ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพมา ผลที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดี มีความรวดเร็ว สำหรับการใช้งานแบบ real-time ในอุปกรณ์มือถือ นอกจากนี้ยังกำจัดการสูญเสีย และสัญญาณรบกวนเนื่องจากแสงในพื้นที่ต่างๆ และปัญหาในการหาขอบภาพ

ในงานวิจัยของ [8] นำเสนอในหัวข้อ “A Novel labelling algorithm for object counting” 2012 ได้นำเสนอวิธีการประมวลผลภาพ สำหรับการนับจำนวนวัตถุที่ต้องการในภาพที่มีวัตถุที่แตกต่างกัน จะนับจำนวนโดยทำเครื่องหมายแยกวัตถุแต่ละชนิด แต่ถ้าวัตถุวางซ้อนกันก็ยากต่อการทำเครื่องหมาย จึงต้องใช้ อัลกอริทึม labeling เพื่อหาเครื่องหมายที่เหมือนกันของวัตถุที่ทับซ้อนกัน ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อแยกเครื่องหมายของวัตถุที่ทับซ้อน เพื่อนับจำนวน โดยใช้ อัลกอริทึม labeling

ในงานวิจัยของ [9] นำเสนอในหัวข้อ “Counting objects in an image by marker controlled watershed segmentation and thresholding” 2013 ได้นำเสนอวิธีการประมวลผลภาพ โดยมีวิธีการแบ่งออกเป็นส่วนๆ โดยทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของวัตถุ แล้วทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งพื้นหลัง

หาขอบวัตถุ แล้วแสดงวัตถุที่มีโทนสีเดียวกัน แปลงเป็นภาพระดับสีเทา แล้วแปลงเป็นภาพขาว ดำ เพื่อนำมาแสดงผลการนับ ในการทดลองเป็นวิธีการทำงานใช้ได้ดีกับวัตถุชนิดเดียวกัน และสีเดียวกัน ให้ผลที่ดีกับภาพที่มีความละเอียดสูง จะมีข้อบกพร่องในกรณีที่วัตถุมีโทนสีที่แตกต่างกัน แต่ถ้าวัตถุในภาพมีโทนสีเดียวกัน ผลการทดลองสามารถนับจำนวนวัตถุได้เกือบสมบูรณ์แบบ

ในงานวิจัยของ [10] นำเสนอในหัวข้อ “Object detection, tracking and counting using enhanced BMA on static background videos” 2013 การใช้กล้องวิดีโอสำหรับบันทึกภาพ เพื่อสำหรับการวิเคราะห์ประมวลผลภาพเป็นวิธีการที่ดี มีคุณภาพสูง และราคามาแพง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการนับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ โดยนับจำนวนยานพาหนะที่มีการจราจรบนท้องถนน บันทึกโดยกล้องแบบคงที่ มีการใช้อัลกอริทึมและการตรวจจับวัตถุที่แตกต่างกัน ในการทดลองเป็นการพัฒนา Block matching algorithm (BMA) เทคนิคการลบพื้นหลังถูกนำมาใช้ในการสกัดการเคลื่อนไหวของวัตถุ รูปแบบของการนับจำนวนวัตถุจะมีขอบเขตของการนับฝั่งเดียว หรือสองฝั่ง สุดท้ายแล้วก็จะนับผลรวมของวัตถุทั้งหมด จะถูกคำนวณในกรณีที่มีหลายช่องทางการจราจร ผลในการทดลองของการตรวจหาวัตถุการติดตามและการนับของยานพาหนะบนถนนทั้ง 2 ช่องจราจร โดยใช้กล้องแบบคงที่ ผลของความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 80 ถึงร้อยละ 90 ในการทดลองใช้ 35 ตัวอย่างวิดีโอ

ในงานวิจัยของ [11] นำเสนอในหัวข้อ “An implementation of moving object detection, tracking and counting objects for traffic surveillance system” 2011 ได้นำเสนอการค้นหายานพาหนะกำลังเคลื่อนที่ ในภาพดิจิทัล เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่สำคัญของระบบขนส่งอัจฉริยะ (ITS) การเฝ้าระวังของการจราจรจะมีความถูกต้องมากขึ้น และมีความสำคัญกับการขยายขนาดของเมืองและการเพิ่มขึ้นจำนวนของยานพาหนะ บทความนี้แนะนำวิธีการนับที่ชาญฉลาด อัลกอริทึมที่นำมาใช้วิเคราะห์ แยกยานพาหนะคุณสมบัติที่มีความหมายตามต้องการจะถูกดึงออก นอกจากนี้ความเร็วของแต่ละยานพาหนะและการไหลของรถผ่านพื้นที่ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าสามารถมีการคำนวณโดยการวิเคราะห์เส้นทางวิ่งของยานพาหนะ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอมีประโยชน์สำหรับการเฝ้าระวังการจราจร

ในงานวิจัยของ [12] นำเสนอในหัวข้อ “A Generic object counting algorithm under partial occlusion conditions” 2013 บทความนี้เน้นการนับจำนวนวัตถุที่ติดปัญหา วางทับซ้อนกัน อยู่ในระดับที่แตกต่างกัน ดำเนินการโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของพื้นที่พารามิเตอร์ขนาดซ้ำซ้อน ใช้รูปแบบของ Gaussian โดยใช้วิธีการต่างๆเช่นการแปลงจากภาพ RGB เป็นภาพระดับสีเทา แปลงเป็นภาพขาว ดำ การหาขอบภาพ อัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการแบ่งส่วนของภาพ มันสามารถแสดงผลลัพธ์สุดท้ายของการทำงานที่ดีมากและแม่นยำ ขั้นตอนวิธีการดังกล่าวข้างต้น

สามารถนำมาใช้ในการใช้งานที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายวัตถุติดตามยานพาหนะและการจราจรที่เคาน์เตอร์การควบคุม

ในงานวิจัยของ [13] นำเสนอในหัวข้อ “Implementation of a CNN based object counting algorithm on Bi-I cellular vision system” 2009 การประมวลผลภาพโดยการนับจำนวนวัตถุถูกนำมาใช้กันอย่างมากมาย มีการใช้งานทางการแพทย์และอุตสาหกรรม มีความรวดเร็ว มีประโยชน์ในการดำเนินการกับภาพให้มีผลสำเร็จ มันจะมีประโยชน์ในการดำเนินการประมวลผลภาพ อัลกอริทึมที่ใช้ในการนับวัตถุ Bi-I Cellular มีการประมวลผลแบบอนาล็อกเรียกว่า ACE16k ในบทความนี้ใช้ขั้นตอนวิธีการนับวัตถุที่มีประสิทธิภาพทำงานบนชิป ACE16k ผลการทดลองที่ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีการที่นำเสนอสามารถนับวัตถุบนภาพที่กำหนดได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

ในงานวิจัยของ [14] นำเสนอในหัวข้อ “Statistical analysis of image processing techniques for object counting” 2014 ในการทดลองนำเสนอวิธีการในการสร้างรูปทรงเรขาคณิตในรูปแบบต่างๆ ได้พัฒนาอัลกอริทึมในการระบุ และนับรูปทรงทางคณิตศาสตร์ที่กำหนด สำหรับขั้นตอนวิธีการที่นำมาใช้เพื่อให้ได้ภาพที่สร้างขึ้น โดยใช้ความน่าจะเป็นของรูปร่างที่ผ่านเส้น ที่ระยะห่างของเส้นเท่ากัน ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นเชิงประจักษ์ เป็นการประมวลผลภาพที่มีรูปทรงทับซ้อนกัน ไม่ค่อยพบเห็นทั่วไป ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาในงานวิจัยต่อไป

ในงานวิจัยของ [15] นำเสนอในหัวข้อ “Object counting in high resolution remote sensing images with OTB” 2009 ในการทดลองนำเสนอวิธีการนับวัตถุ โดยการแยกวัตถุแต่ละประเภท มุ่งเน้นในการนับวัตถุในพื้นที่หนาแน่น โดยใช้การประมวลผลภาพของแอปพลิเคชันออร์เฟโอ การดำเนินการทั้งหมด กระทำโดยการใช้ข้อมูลของเครื่องมือในออร์เฟโอ โดยใช้อัลกอริทึม PRRS2008 เพื่อให้ขั้นตอนนั้นง่ายและรวดเร็วขึ้น

ในงานวิจัยของ [16] นำเสนอในหัวข้อ “A Practical method for counting arbitrary target objects in arbitrary scenes” 2013 ในการทดลองนำเสนอการพัฒนาในการนับจำนวนวัตถุ ในส่วนของปัญหาที่เกิดขึ้นในการนับจำนวนในแผนที่ ของพื้นที่ ที่สนใจ เริ่มโดยการเลือกพื้นที่ ใช้กล้องถ่ายภาพในสถานการณ์จริง มีวิธีการ 2 วิธี วิธีการแรกโดยการแยกกรอบแนวตั้ง วิธีที่สองก็มีการแยกกรอบ เป็นพื้นที่และขนาดภาพอย่างถูกต้อง เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ออกมาถูกต้องที่สุด ในการทดลองใช้ภาพถ่ายวิถีไอจำนวน 4 รูปแบบ ในพื้นที่ ที่แตกต่างกัน

งานวิจัยที่มีการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน [7] ผลที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดี มีความรวดเร็ว แต่วัตถุในรูปถ่ายต้องอยู่ในระยะโฟกัสเดียวกันเท่านั้น มีจำนวนเพียงกองเดียว จึงจะสามารถ

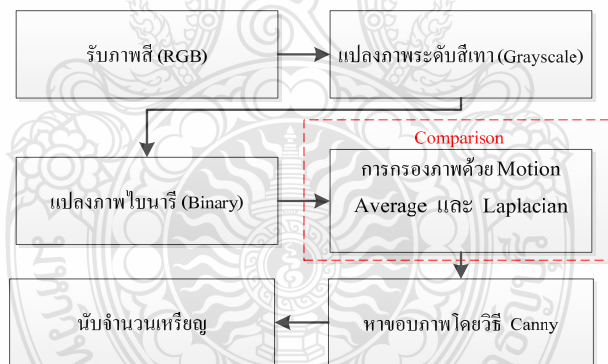
แสดงผลการทดลองออกมาได้ถูกต้อง และการนับจำนวนวัตถุ หรือยานพาหนะ จากภาพถ่ายวิดีโอ [10],[11] สามารถนับจำนวนได้โดยใช้เทคนิคแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ในภาพถ่ายวิดีโอ ไม่ว่าจะยานพาหนะจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว แต่วัตถุต้องไม่ทับซ้อนกัน หรือบังกันอยู่ในขณะเคลื่อนที่ ในงานวิจัยนี้ จึงนำเสนอการนับจำนวนวัตถุที่ทับซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน จำนวนหลายกอง โดยนำเทคนิคการกรองสัญญาณภาพ เพื่อลดสัญญาณรบกวน และการหาขอบภาพด้วยเทคนิค Canny ผ่านการเติมเต็ม เพื่อแสดงพื้นที่ของวัตถุที่ต้องการ ใช้เทคนิค Intraframe analysis เพื่อแสดงจำนวนของวัตถุออกมาได้อย่างถูกต้อง ถึงแม้ว่าในรูปแบบจะวางกองวัตถุ อยู่ในระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน



บทที่ 3

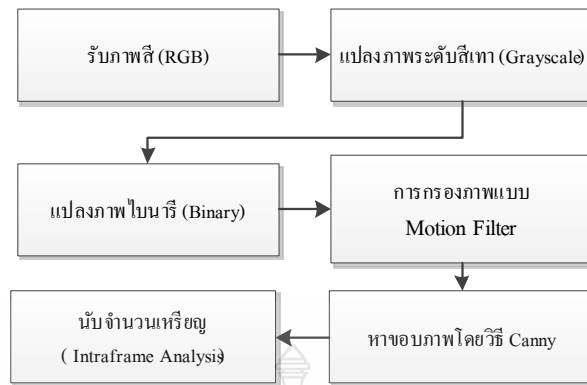
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการประมวลผลภาพสำหรับนับจำนวนวัตถุที่วางซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ที่มีการวางเรียงซ้อนเหรียญในลักษณะที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1 เหรียญ จนถึง 10 เหรียญ โดยได้ทำการทดลองเป็นสองรูปแบบ รูปแบบแรกจะเป็นการนับจำนวนวัตถุที่วางซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ที่วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกันจำนวนหนึ่งกอง ทำการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา แปลงภาพระดับสีเทา เป็นภาพไบนารี แล้วผ่านกระบวนการกรองภาพ ที่เปรียบเทียบฟิลเตอร์ 3 รูปแบบ คือ Motion, laplacian และ Average เป็นการแปลงภาพที่ได้จากการนำภาพขาว - ดำ เพื่อที่จะทำการกำจัด สิ่งรบกวน (Noise) ออกจากภาพ โดยการกำจัดสิ่งรบกวนนั้นจะเป็นการช่วยให้ระบบสามารถที่จะทำการจับขอบภาพได้คมชัดมากยิ่งขึ้น และหาขอบภาพด้วยวิธี Canny เติมพื้นที่ในช่องว่างที่มีลักษณะเป็นลูปปิด เพื่อให้ได้พื้นที่ของบริเวณตำแหน่งเหรียญ ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองการนับจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกอง

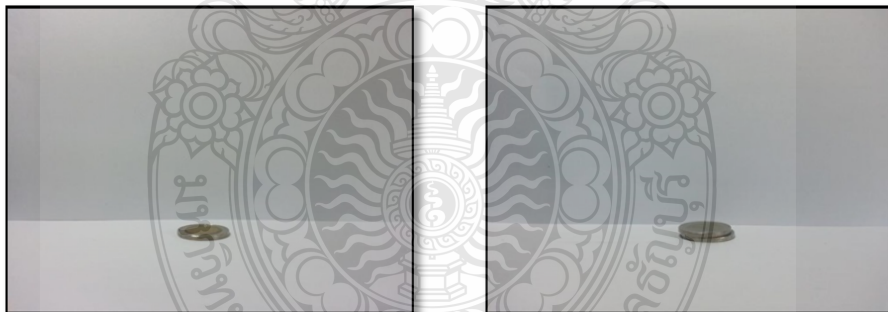
รูปแบบที่สอง เป็นการนับจำนวนวัตถุที่วางซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ที่วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกันจำนวนหลายกอง ได้ทำการทดลองจำนวนตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง มาวางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน จำนวน 8 รูปแบบ มีการใช้ฟิลเตอร์แบบ Motion ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.2



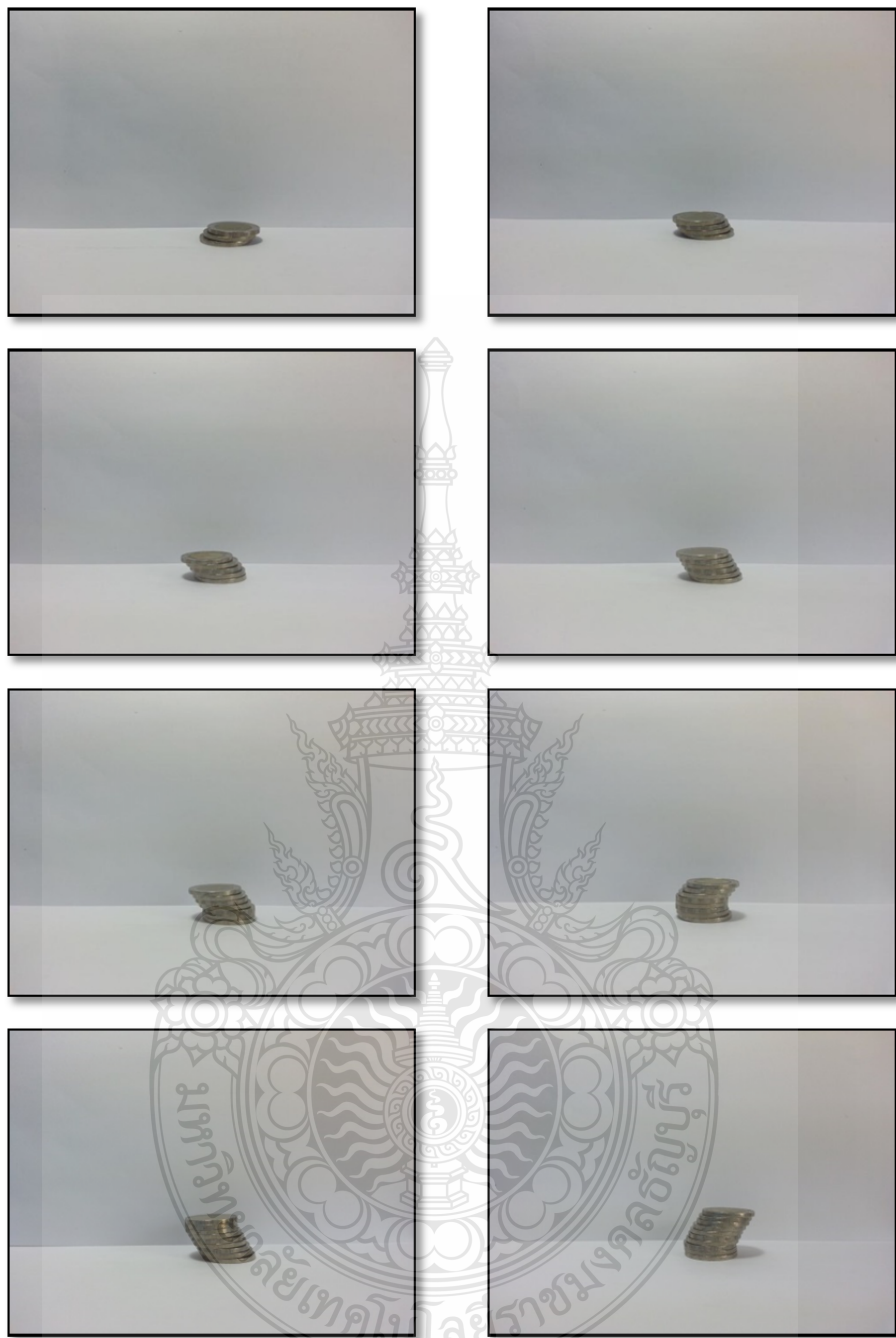
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองการนับจำนวนเหรียญแบบหลายกอง

3.1 การเก็บภาพต้นฉบับ

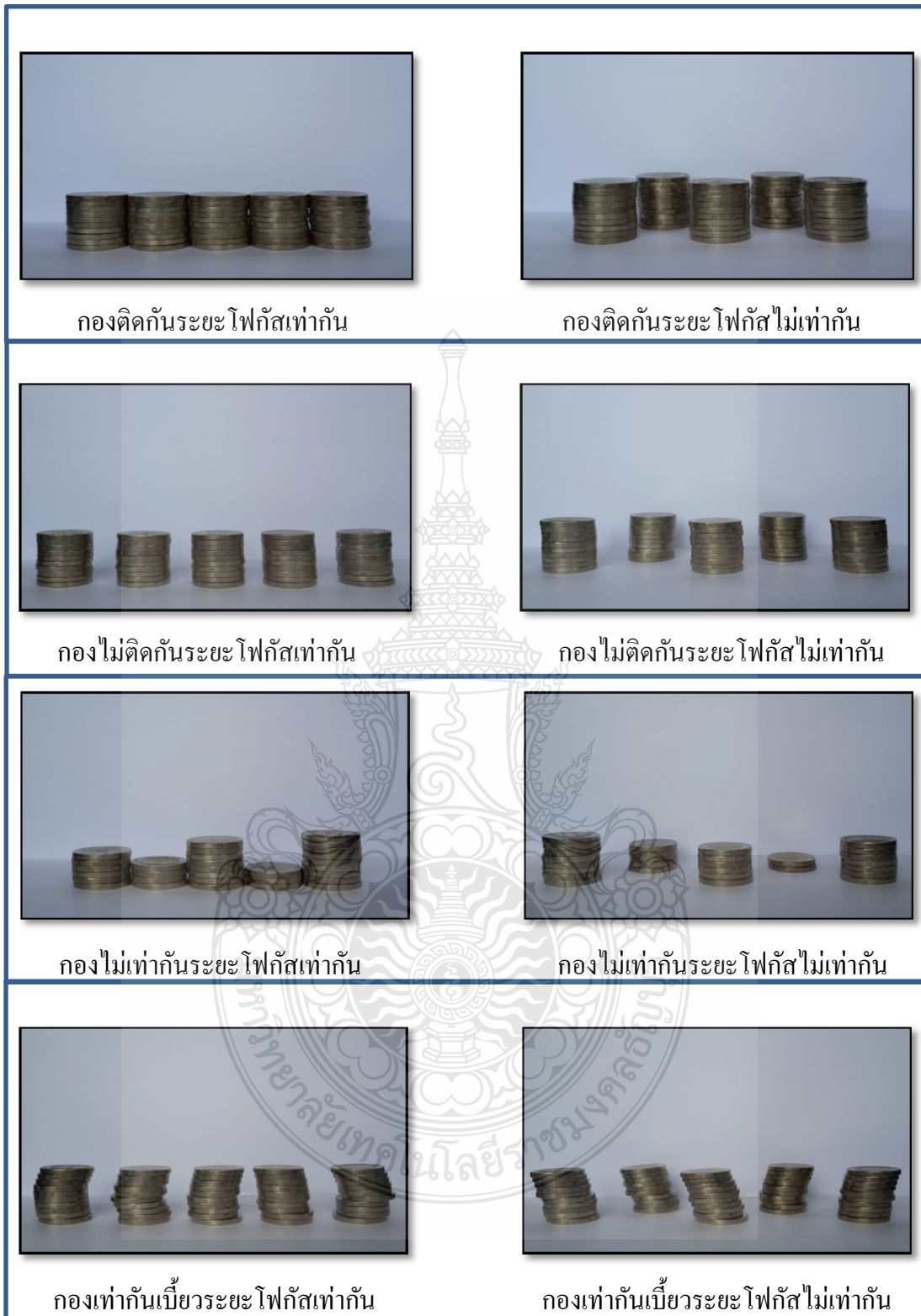
การเก็บภาพต้นฉบับใช้การถ่ายภาพจากกล้องดิจิทัล ใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ โดยวางเหรียญในลักษณะที่แตกต่างกัน และตั้งกล้องถ่ายภาพในระยะ 15 เซนติเมตร ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการนับจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกองแสดงดังรูปที่ 3.3 และตัวอย่างภาพที่ใช้ในการนับจำนวนเหรียญแบบหลายกองแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการนับจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกอง



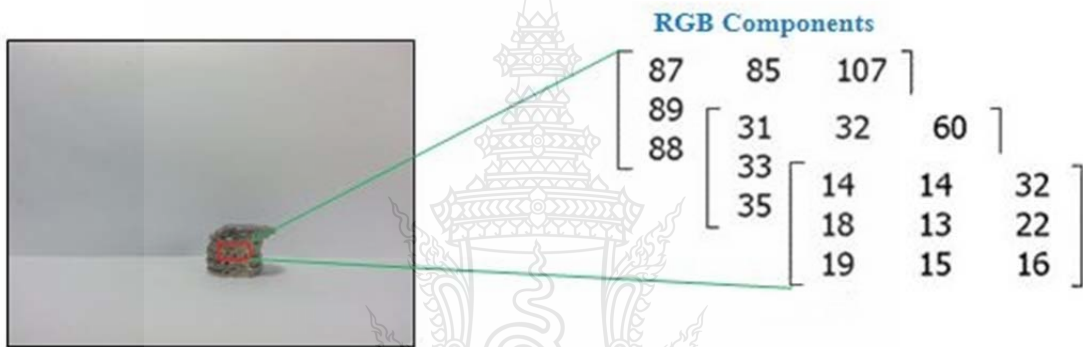
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการนับจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกอง (ต่อ)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการนับจำนวนเหรียญแบบหลายก่อง

3.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทานั้นก็เพราะภาพระดับสีเทาจะไม่มีค่าของสีเข้ามาเกี่ยวข้องมีเฉพาะค่าของความสว่างเท่านั้น คือสิ่งสำคัญที่ได้จากการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา จากภาพต้นฉบับเป็นภาพสี (R G B) ในทุกๆพิกเซลของภาพสีนั้นจะมีค่าระดับ RGB เป็นส่วนประกอบที่มีค่าแตกต่างกัน โดยลักษณะการเก็บข้อมูลของภาพ RGB จะเป็นลักษณะของเมตริกซ์ของค่าสีแดง เขียว และน้ำเงิน ขั้นตอนการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทาทำได้โดยการแยกข้อมูล RGB ออกแต่ละพิกเซลของภาพสี จากนั้นนำค่า RGB เข้าสู่สมการเพื่อคำนวณหาค่าระดับสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนที่ในจุดพิกเซลเดิม แสดงตัวอย่างภาพ RGB ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 3.5

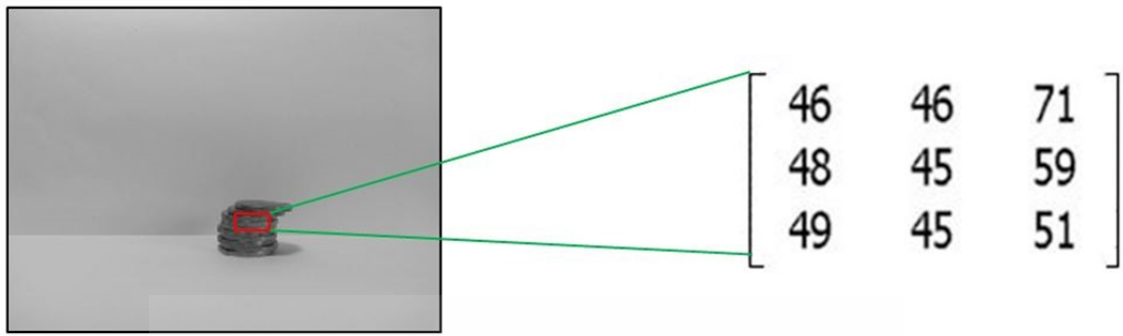


รูปที่ 3.5 ภาพสี RGB ที่ใช้ในการทดลอง

ที่ตำแหน่งพิกเซล (1,1) ข้อมูลค่า R = 87, ข้อมูลค่า G = 31, ข้อมูลค่า B = 14 ภาพระดับสีเทาจะหาได้จากสมการที่ 2.4

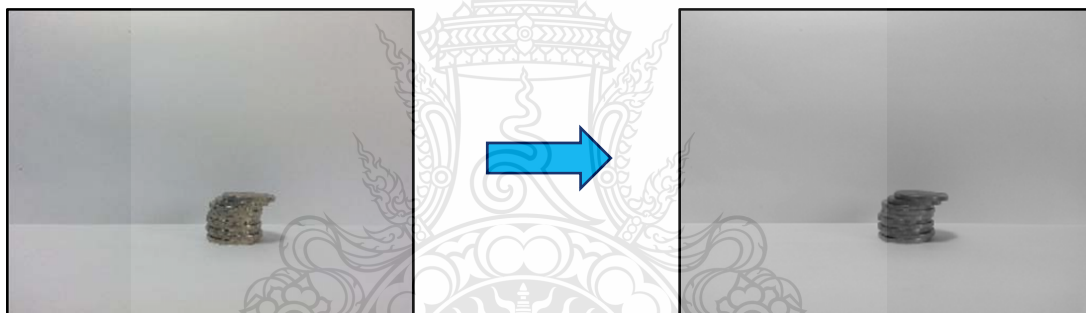
$$\begin{aligned} Grayscale_{1,1} &= 0.2989 \times 87_{1,1} + 0.5870 \times 31_{1,1} + 0.1140 \times 14_{1,1} \\ &= 46 \end{aligned}$$

ค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่งพิกเซล (1,1) เท่ากับ 46 ค่าความเข้มของภาพระดับสีเทาจะมีค่าตั้งแต่ 0 คือ สีดำ ถึง 255 คือ สีขาว ทำการคำนวณกับทุกๆ พิกเซลในภาพก็จะได้ภาพระดับสีเทา ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพเชิงดิจิทัลระดับสีเทา

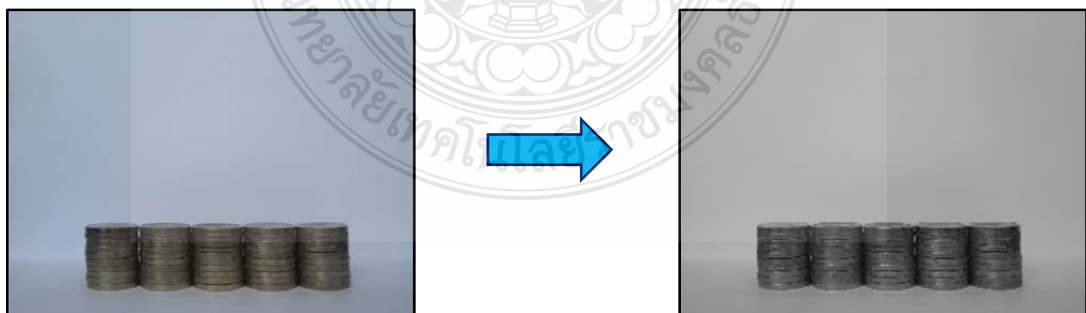
ผลการแปลงเป็นภาพระดับสีเทาของภาพจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกองดังรูปที่ 3.7 และผลการแปลงเป็นภาพระดับสีเทาของภาพจำนวนเหรียญแบบหลายกองดังรูปที่ 3.8



ภาพต้นฉบับ

ภาพระดับสีเทา

รูปที่ 3.7 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาของภาพเหรียญแบบหนึ่งกอง



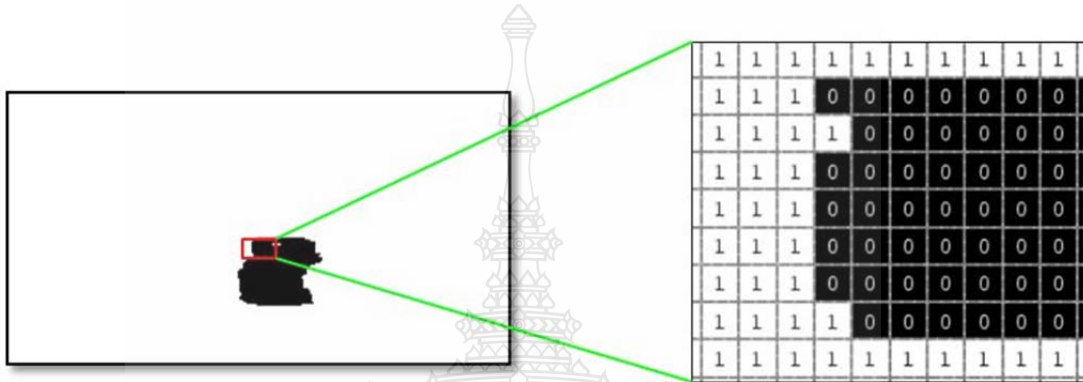
ภาพต้นฉบับ

ภาพระดับสีเทา

รูปที่ 3.8 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาของภาพเหรียญแบบหลายกอง

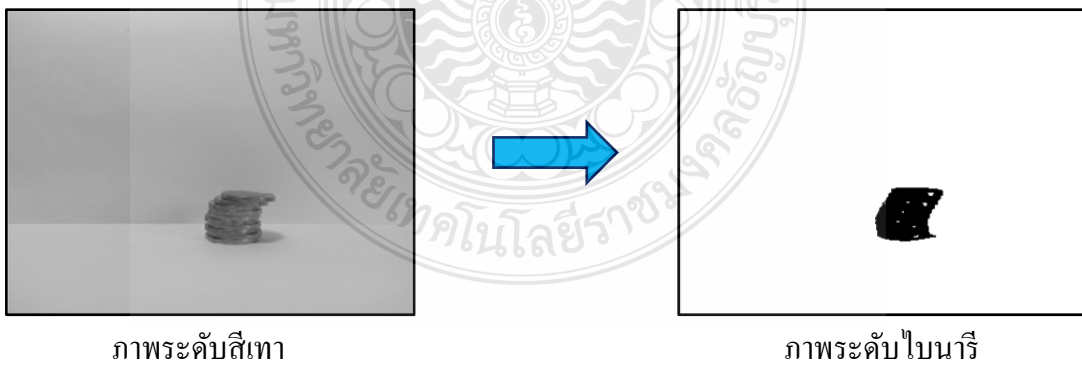
3.3 การแปลงภาพไบนารี

นำภาพระดับสีเทาทำการแปลงเป็นภาพระดับไบนารีภาพที่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำเป็นหลัก ในทางดิจิทัลหมายความว่ามีความเป็นไปได้เพียง 2 สถานะ คือ 0 และ 1 ถ้าพิกเซลใดมีค่าเป็น 0 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีดำ พิกเซลใดมีค่าเป็น 1 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีขาว ผลที่ได้จากการแปลงเป็นภาพไบนารี ดังรูปที่ 3.9

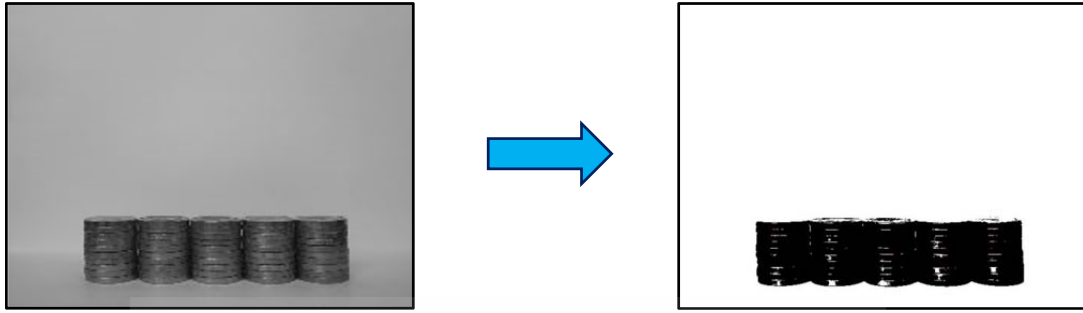


รูปที่ 3.9 ผลการแปลงเป็นภาพไบนารี

ผลการแปลงเป็นภาพระดับไบนารีของภาพนับจำนวนเหรียญแบบหนึ่งกองดังรูปที่ 3.10 และผลแปลงเป็นภาพระดับไบนารีของภาพนับจำนวนเหรียญแบบหลายกองดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 การแปลงภาพสีเทาเป็นภาพระดับไบนารีของภาพเหรียญแบบหนึ่งกอง



ภาพระดับสีเทา

ภาพระดับไบนารี

รูปที่ 3.11 การแปลงภาพสีเทาเป็นภาพระดับไบนารีของภาพเหรียญแบบหลายกอง

3.4 การกรองภาพ

ภาพที่ผ่านการแปลงเป็นภาพระดับไบนารีมีสัญญาณรบกวน จึงต้องมีการกรองข้อมูลภาพ เพื่อลดสัญญาณรบกวนดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการคอนโวลูชัน ซึ่งเป็นการกระทำกันระหว่างเทมเพลตในลักษณะต่างๆ กับภาพต้นฉบับ เทมเพลตเป็นเมตริกซ์ขนาด $M \times N$ ของชุดตัวเลขที่จะนำไปทับซ้อนกับภาพต้นฉบับที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชัน

3.4.1 การกรองภาพสำหรับการนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง

ทำการทดลองนับจำนวนวัตถุแบบหนึ่งกองโดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ในการทดลอง นำภาพที่ผ่านการแปลงเป็นภาพระดับไบนารีมาทำการกรองรูปภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion จนครบทุกรูป แล้วเปลี่ยนเป็นฟิลเตอร์ Average และ Laplacian ตามลำดับ เพื่อหาฟิลเตอร์ที่ดีที่สุด

3.4.1.1 การกรองภาพแบบ Motion

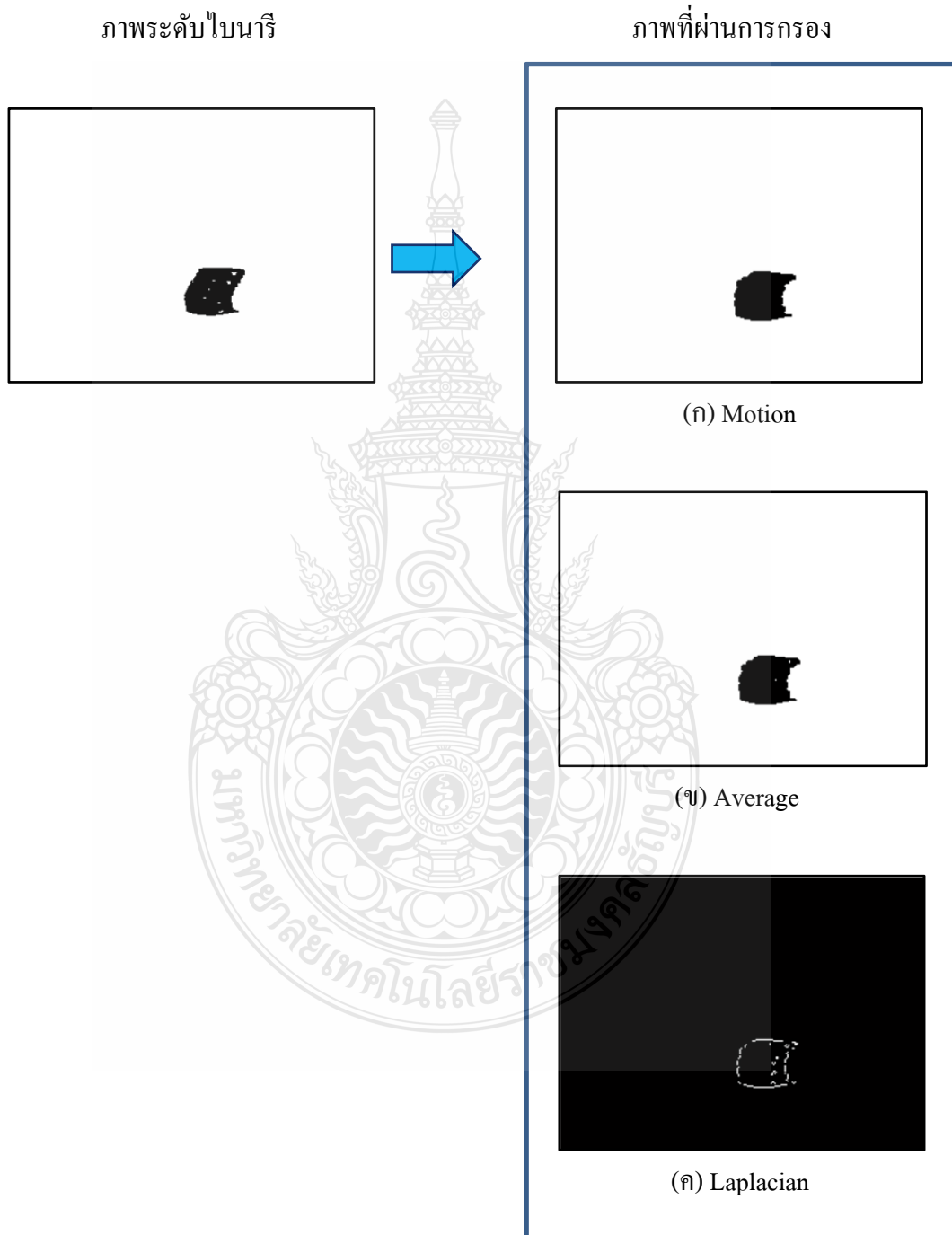
การกรองภาพด้วยฟิลเตอร์สัญญาณความถี่ต่ำ โดยใช้วิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) ผลที่ได้ดังรูปที่ 3.12(ก)

3.4.1.2 การกรองภาพแบบ Average

การกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ที่เป็นกระบวนการประมวลผลภาพโดยการใช้ตัวกรอง (filter mask) ทำการกวาดไล่ไปบนภาพ ซึ่งแนวคิดของการทำตัวกรองค่าเฉลี่ย คือการแทนค่าความเข้มในแต่ละจุดภาพ ด้วยค่าเฉลี่ยความเข้มของจุดภาพรอบๆจุดศูนย์กลาง รวมถึงค่าความเข้มของจุดศูนย์กลางที่อยู่ในตัวกรองที่กำหนดด้วย ผลจากการทำตัวกรองค่าเฉลี่ยจะทำให้ได้ภาพที่ไม่คมชัด (blurred) หรือลดสิ่งรบกวน (noise reduction) เป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ โดยใช้วิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) เหมือนกับฟิลเตอร์ Motion ผลที่ได้ดังรูปที่ 3.12(ข)

3.4.1.3 การกรองภาพแบบ Laplacian

การกรองภาพด้วยฟิลเตอร์สัญญาณความถี่สูง แตกต่างกับแบบ Motion กับ Average ที่เป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ ผลที่ได้ดังรูปที่ 3.12(ค)

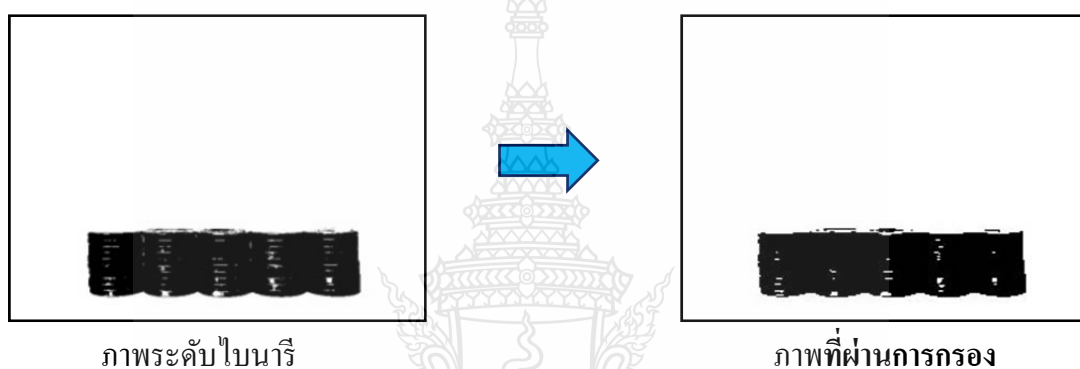


รูปที่ 3.12 การแปลงภาพระดับไบนารีเป็นภาพที่ผ่านการกรอง Motion, Average และ Laplacian

ผลของการกรองภาพโดยใช้เทมเพลตแบบ Motion, Average และ Laplacian การกรองแบบ Motion มีปริมาณสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นน้อย มีความสมบูรณ์ของภาพมากที่สุด จึงเหมาะที่สุดที่จะใช้ในการทดลองนี้

3.4.2 การกรองภาพสำหรับการนับจำนวนเหรียญหลายกอง

การนับจำนวนวัตถุแบบหลายกอง โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ในการทดลอง ได้ใช้การกรองแบบ Motion เพราะสามารถกรองสัญญาณรบกวนได้ดี การแปลงภาพระดับไบนารีเป็นภาพที่ผ่านการกรองแบบ Motion ผลที่ได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การแปลงภาพระดับไบนารีเป็นภาพที่ผ่านการกรองแบบ Motion ของเหรียญหลายกอง

3.5 การหาขอบภาพ

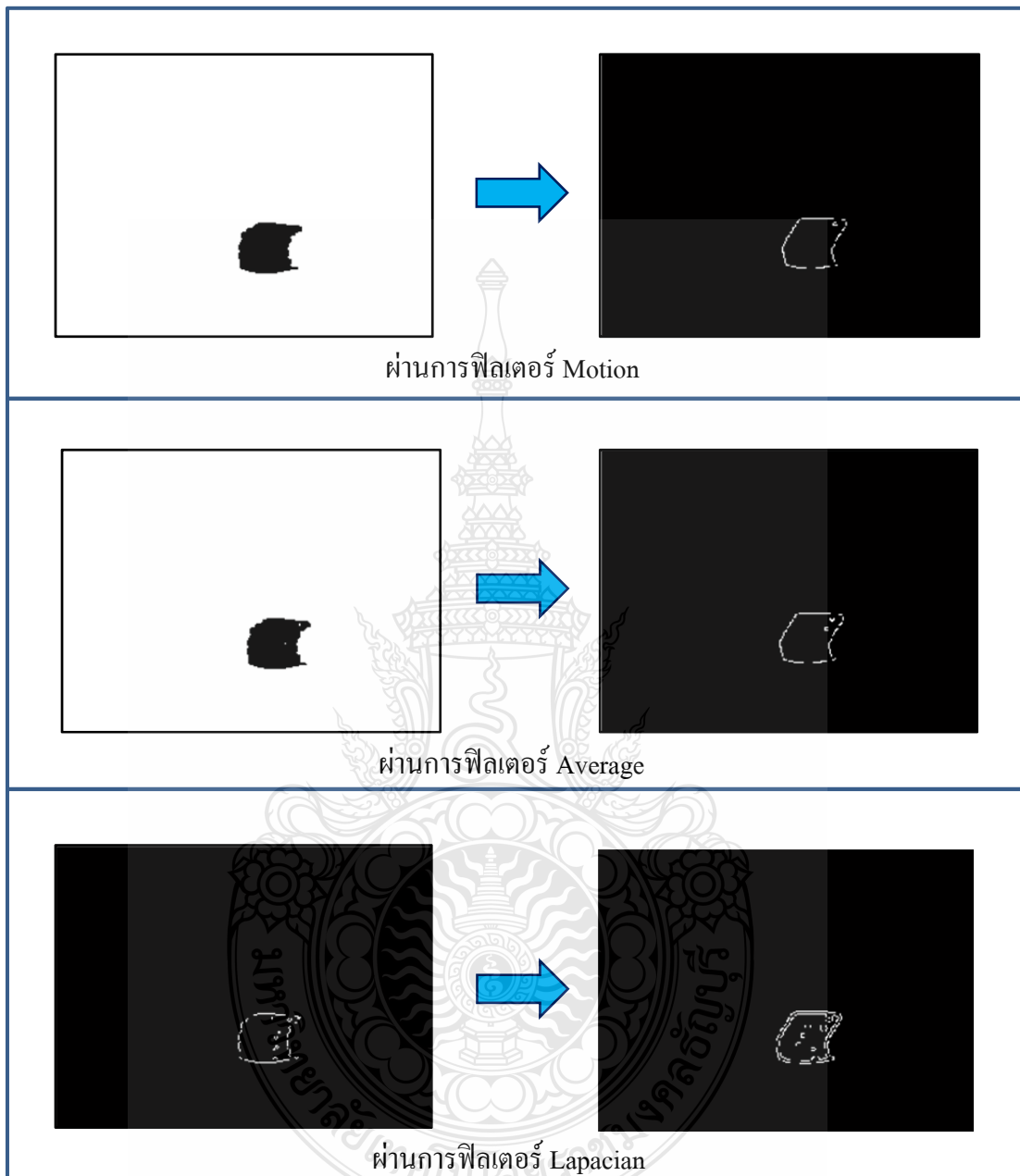
การค้นหาขอบภาพคือการหาเส้นรอบรูปที่เกิดจากความสว่างของภาพที่เปลี่ยนไปทันที โดยดูจากขนาดหรืออัตราการเปลี่ยนขนาด การค้นหาขอบภาพเป็นการดึงส่วนประกอบของภาพที่มีจุดเด่นออกจากพื้นหลัง ในการทดลองได้ทำการทดลองค้นหาขอบภาพโดยการใช้วิธี Canny เพราะสามารถแสดงขอบภาพได้อย่างชัดเจน มีกลุ่มของพิกเซลที่เป็นเส้นขอบของเหรียญต่อเนื่องกัน

3.5.1 การหาขอบภาพของการทดลองนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง

ภาพที่ผ่านการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion, Average และ Laplacian มาหาขอบภาพด้วยเทคนิค Canny เพื่อแสดงขอบภาพให้ชัดเจนขึ้น ผลจากการหาขอบภาพ ดังรูปที่ 3.14

ภาพที่ผ่านการกรอง

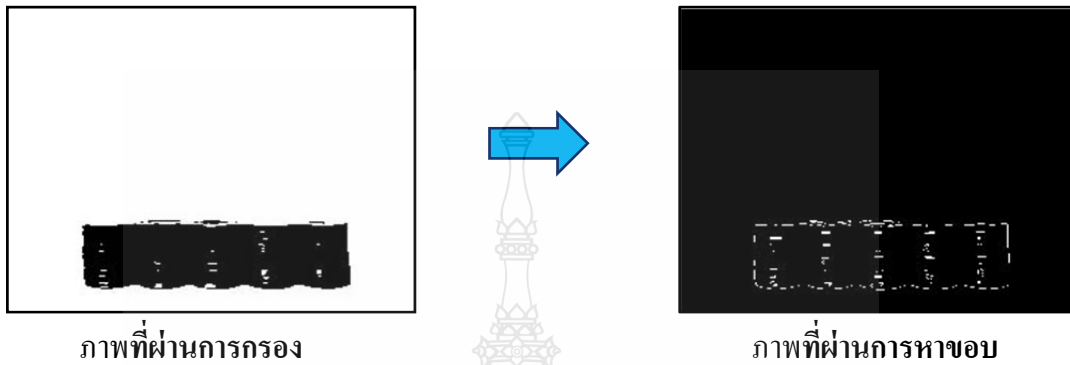
ภาพที่ผ่านการหาขอบ



รูปที่ 3.14 ผลของการหาขอบภาพเหรียญหนึ่งกอง โดยวิธี Canny

3.5.2 การหาขอบภาพของการทดลองนับจำนวนเหรียญหลายกอง

ภาพที่ผ่านการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion มาหาขอบภาพด้วยเทคนิค Canny เพื่อแสดงขอบภาพของเหรียญแต่ละกองให้ชัดเจนขึ้น ผลจากการหาขอบภาพดังรูปที่ 3.15



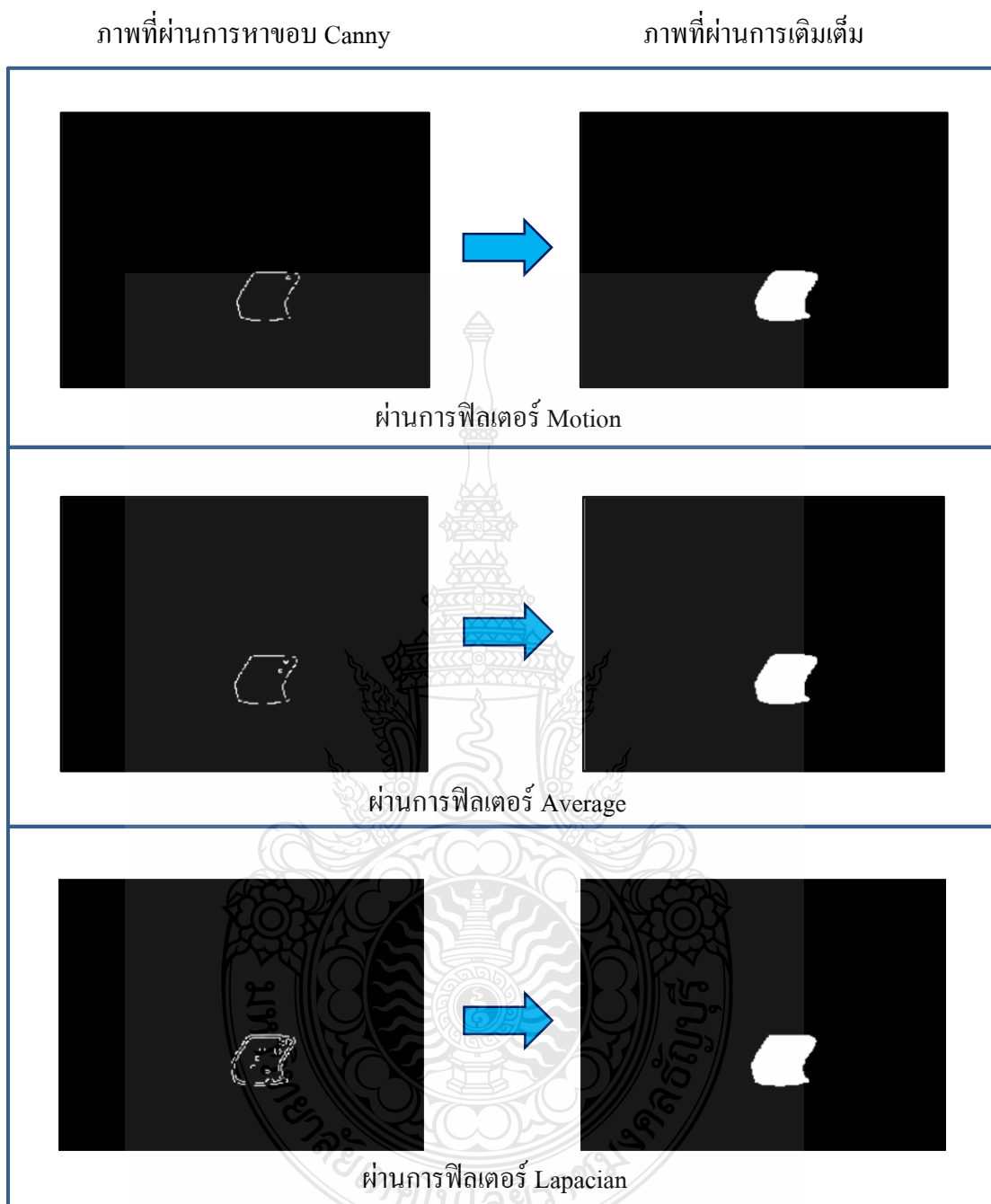
รูปที่ 3.15 ผลของการหาขอบภาพเหรียญหลายกองโดยวิธี Canny

3.6 การเติมเต็มภาพ

เติมพื้นที่ในช่องว่างที่มีลักษณะเป็นลูปปิด เพื่อให้ได้พื้นที่ของบริเวณตำแหน่งเหรียญที่สมบูรณ์

3.6.1 การเติมเต็มภาพของเหรียญหนึ่งกอง

นำภาพที่ผ่านการหาขอบ Canny มาเติมเต็มภาพ เพื่อแสดงรูปร่างของวัตถุให้มีความชัดเจนผลของการเติมเต็มภาพดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ผลของการเติมเต็มภาพเหรียญหนึ่งกอง

3.6.2 การเติมเต็มภาพของเหรียญหลายกอง

นำภาพเหรียญหลายกองที่ผ่านการหาขอบ Canny มาเติมเต็มภาพ เพื่อแสดงรูปร่างของวัตถุให้มีความชัดเจนผลของการเติมเต็มภาพดังรูปที่ 3.17



ภาพที่ผ่านการหาขอบ



ภาพที่ผ่านการเติมเต็ม

รูปที่ 3.17 ผลของการเติมเต็มภาพเหรียญหลายกอง

3.7 การนับจำนวนของเหรียญ

3.7.1 การนับจำนวนของเหรียญหนึ่งกอง

นำภาพที่ผ่านกระบวนการเติมพื้นที่ในช่องว่างที่มีลักษณะเป็นรูปปิด มาคำนวณหาจำนวนของเหรียญด้วยสมการ

$$N = \frac{\max Position - \min Position}{k}$$

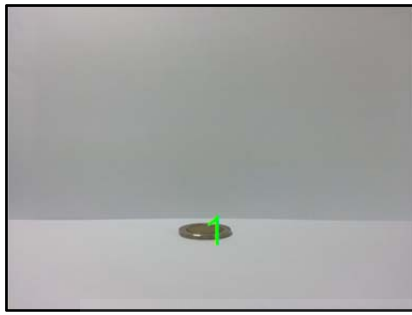
โดยที่ N คือ จำนวนเหรียญ

$\max Position$ คือ ตำแหน่งพิกเซลสูงสุดของเหรียญ

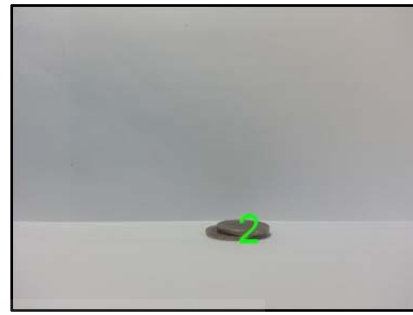
$\min Position$ คือ ตำแหน่งพิกเซลต่ำสุดของเหรียญ

k คือ ค่าคงที่ของแต่ละเหรียญ

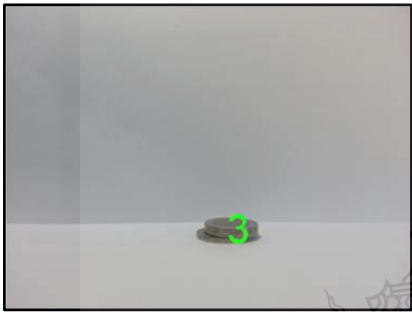
เมื่อคำนวณตามสมการเสร็จสมบูรณ์ จะแสดงผลการนับจำนวน ดังรูปที่ 3.18



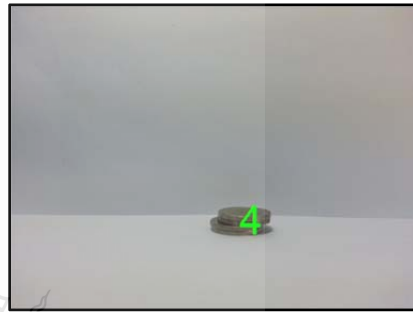
หนึ่งเหรียญ



สองเหรียญ



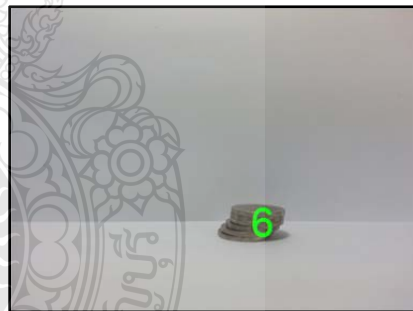
สามเหรียญ



สี่เหรียญ

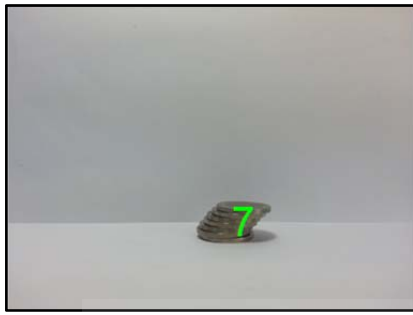


ห้าเหรียญ

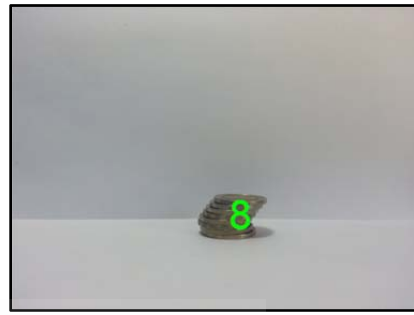


หกเหรียญ

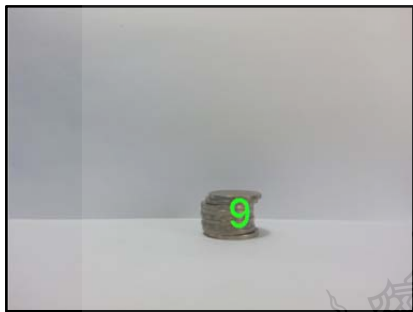
รูปที่ 3.18 ภาพแสดงการนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง



เจ็ดเหรียญ



แปดเหรียญ



เก้าเหรียญ

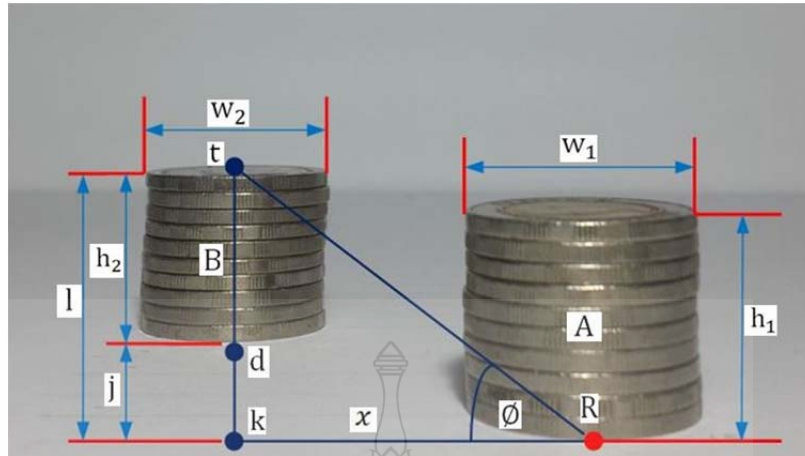


สิบเหรียญ

รูปที่ 3.18 ภาพแสดงการนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง (ต่อ)

3.7.2 การนับจำนวนของเหรียญหลายกอง

ภาพที่ใช้ในการทดลอง ถ้ามีการวางเหรียญที่ตำแหน่งโฟกัสเดียวกัน ขนาดความกว้างของกองเหรียญจะเท่ากันเสมอ ส่วนความสูงของกองเหรียญจะขึ้นอยู่กับจำนวนเหรียญของแต่ละกอง แต่ถ้ามีการวางกองเหรียญในระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน ขนาดความกว้างของกองเหรียญจะไม่เท่ากัน ความสูงของกองเหรียญก็ไม่เท่ากัน สามารถนับจำนวนเหรียญได้โดยใช้เทคนิค Intraframe Analysis ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ภาพถ่ายการวางกองเหรียญในตำแหน่งระยะ โฟกัสที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 3.19 จำนวนเหรียญในกองเท่ากับ 10 เหรียญ วางเหรียญที่จุดอ้างอิง R ความสูงของแต่ละเหรียญหาได้จาก

$$c = \frac{h_1}{10}$$

โดย c คือ ขนาดความสูงของแต่ละเหรียญ

h_1 คือ ขนาดความสูงของกองเหรียญ

ถ้าหากว่าจำนวนเหรียญในกองมีจำนวนไม่เท่ากับ 10 เหรียญ สามารถหาได้จากสมการ

$$n = \frac{h_1}{c}$$

โดย n คือ จำนวนเหรียญในกอง

เมื่อทราบขนาดความสูงของแต่ละเหรียญ ก็สามารถหาจำนวนเหรียญที่อยู่ในกองได้

เหรียญกอง B ยิ่งลึก ระยะ j ก็มากขึ้น ทำให้ระยะจากจุด t ถึงจุด R ยิ่งห่าง มุม ϕ ก็มากขึ้น ตำแหน่งจุด d จะแสดงความลึกในแนวแกน y และมีผลต่อระยะห่างของทั้ง 2 กอง ใน

แนวแกน x ถ้ากอง B ยิงใกล้กอง A มุม ϕ ก็ยิ่งกว้างขึ้น ค่าความกว้างของเหรียญกอง A กับกอง B ต้องเป็นอัตราส่วนต่อกัน

$$w_1 > w_2 \text{ เสมอ}$$

โดย w_1 คือ ค่าความกว้างของเหรียญกอง A

w_2 คือ ค่าความกว้างของเหรียญกอง B

สำหรับความสูงของเหรียญกอง B หาได้จากมุม ϕ และอัตราส่วน $\frac{w}{h}$ ของทั้งกอง A และ B จะมีขนาดการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กัน

จากรูปจะเห็นว่า

$$l = h_2 + j$$

โดย l คือ ระยะจากจุด k ถึงจุด t

j คือ ระยะจากจุด k ถึงจุด d

ซึ่งมุม ϕ ทำให้ทราบ h_2

$$\therefore h_n = \tan \phi \times x$$

โดย h_n คือ ขนาดความสูงของกองเหรียญที่วางในความลึกเปรียบเทียบกับจากกองอ้างอิง

จากสมการ $c_1 = \frac{h_1}{n_1}$ จะได้

$$h_1 = 10 \times c_1$$

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเหรียญในกอง ก็สามารถหาจำนวนเหรียญได้จากสมการ

$$n_1 = \frac{h_1}{c_1}; \text{ สำหรับกอง } A$$

$$n_2 = \frac{h_2}{c_2}; \text{ สำหรับกอง } B$$

ค่า W จะแปรผันตามค่า j ที่เกิดขึ้น ถ้าระยะ j เท่าเดิม ในแนวแกน x ไม่ว่าเหรียญกอง B จะอยู่ห่างหรือใกล้ ของกอง A จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า W ถึงแม้ขนาดของ h จะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม

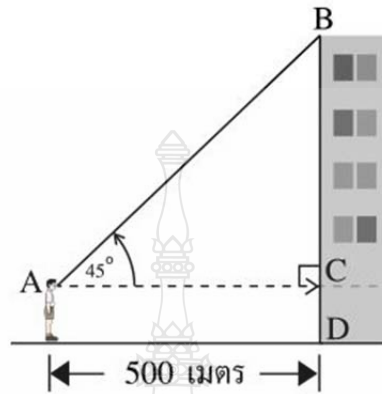
รูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ภายในภาพนับจำนวนวัตถุ (Intraframe Object Counting) ซึ่งได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ตามสมการที่กล่าวมา โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถยกตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ของฟังก์ชันให้เห็นดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ภาพแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 3.20 เมื่อวัดความสูงของต้นไม้ เช่น BC แทนความสูงของต้นไม้ วัดระยะจากโคนไม้คือ B ไปยังจุด A จากจุด D ซึ่งอยู่ระหว่าง A และ B ใช้ไม้ที่ทราบขนาดความสูงแล้ววางให้ตั้งฉากกับพื้นดิน และเล็งจากจุด A ให้จุด A จุด E และจุด C อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน โดยใช้คุณสมบัติของสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ $BC/DE = AB/AD$ หรือความสูง $BC = (AB \cdot DE)/AD$ เมื่อวัดระยะ AD ก็จะหาความสูง BC ได้ทันที และถ้าวัดระยะ AD เท่ากับความสูง DE ความสูงของต้นไม้ก็จะเท่ากับระยะ AB ได้ทันที และถ้าวัดระยะ AD เท่ากับความสูง DE ความสูงของต้นไม้ก็จะเท่ากับระยะ AB ด้วย

ความสัมพันธ์ดังกล่าว ถ้าทราบมุม ก็จะสามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของฟังก์ชันของตรีโกณมิติดังตัวอย่างรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของฟังก์ชันตรีโกณมิติ

จากรูปที่ 3.21 มีคนยืนห่างจากตึกเป็นระยะทาง 500 เมตร เขามีความสูง 185 เซนติเมตร ยอดตึกทำมุมกับสายตา 45 องศา สามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\tan 45^\circ = \frac{BC}{AC}$$

$\tan 45^\circ = 1$ จะได้

$$1 = \frac{BC}{500}$$

$$\therefore BC = 500$$

คนสูง 185 เซนติเมตร = 1.85 เมตร = BC

$$BD = BC + CD$$

แทนค่าสมการ

ตึกสูง $= 501.85$ เมตร

ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันจากตัวอย่างรูปที่ 3.20 และ รูปที่ 3.21 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับความสัมพันธ์ภายในภาพนับจำนวนวัตถุ (Intraframe Object Counting)

จากรูปที่ 3.19 ที่ได้แสดงความสัมพันธ์ภายในภาพนับจำนวนวัตถุ (Intraframe Object Counting) ทดลองวางกองเหรียญจำนวน 10 เหรียญ วางที่จุดอ้างอิง วางกองเหรียญอีกกองระยะ j เท่ากับ 1 cm. และระยะห่างจากกองอ้างอิงในแนวแกน X เท่ากับ 1 cm. หาอัตราส่วน $\frac{W}{h}$ ของเหรียญ 1 กอง และได้ทดลองวางเหรียญห่างจากกองอ้างอิงในแนวแกน X เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 cm. จนถึง 10 cm. อัตราส่วน $\frac{W}{h}$ ก็ยังคงที่ ถ้าจำนวนเหรียญยังคงเท่าเดิม ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวางกองเหรียญ ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

| ระยะกองเหรียญจากจุดอ้างอิง (cm.) | ความกว้างของกองเหรียญ (W) (cm.) | ความสูงของกองเหรียญ (h) (cm.) | ความสูงของ 1 เหรียญ $C = h/10^*$ (cm.) |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 5.25 | 4.85 | 0.485 |
| 2 | 5.05 | 4.55 | 0.455 |
| 3 | 4.70 | 4.25 | 0.425 |
| 4 | 4.45 | 4.10 | 0.410 |
| 5 | 4.25 | 3.90 | 0.390 |
| 6 | 4.05 | 3.70 | 0.370 |
| 7 | 3.85 | 3.50 | 0.350 |
| 8 | 3.70 | 3.30 | 0.330 |
| 9 | 3.55 | 3.25 | 0.325 |
| 10 | 3.40 | 3.05 | 0.305 |

*กำหนดให้แต่ละกองมีจำนวน 10 เหรียญ

จากตารางที่ 3.1 ถ้ากองเหรียญมีเหรียญอยู่จำนวนหนึ่ง มีค่า $W_{new} = 5.23$ ไม่รู้ค่าระยะของ j ที่ระยะ 1 cm. ความสูงของเหรียญ 1 เหรียญ = 0.485

ถ้าที่ 1 cm. ได้ค่า $h_{new} = 4.95$

∴ จะได้จำนวนเหรียญ

$$n = \frac{4.95}{0.485} = 10.2$$

ที่ 1 cm. ค่า $W = 5.25$ ความสูงของเหรียญ 1 เหรียญเท่ากับ 0.485

ถ้า $W_{new} = 5.23$ จะได้ความสูงของเหรียญ 1 เหรียญ

$$\frac{0.485}{5.25} \times 5.23 = 0.483$$

จากสมการ

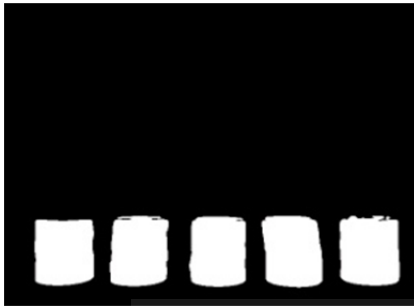
$$n = \frac{h}{c}$$

จะได้

$$n = \frac{4.95}{0.483} = 10.25$$

จะได้จำนวนเหรียญเท่ากับ 10 เหรียญ

จากสมการแสดงให้เห็นอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างกับความสูงของ
กองเหรียญ ที่มีระยะ โฟกัสที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการทดลองนี้ สามารถนับจำนวนเหรียญได้
ถูกต้อง โดยระยะโฟกัสไม่มีผลที่จะทำให้ความผิดพลาดในการทดลอง ภาพแสดงการนับจำนวน
เหรียญแบบหลายกองแสดงดังรูปที่ 3.20



ก่องห่างกัน



ก่องติดกัน

รูปที่ 3.22 ภาพแสดงการนับจำนวนเหรียญหลายก่อง



บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ในการทดลองได้วางเรียงซ้อนเหรียญในลักษณะที่แตกต่างกัน เทคนิคที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ รูปแบบแรกจะเป็นการทดลองนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท มีการวางเรียงซ้อนเหรียญในลักษณะที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 เหรียญ จนถึง 10 เหรียญ จำนวนหนึ่งกอง และรูปแบบที่สองเป็นการพัฒนาเทคนิคการทดลองนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท มีการวางเรียงซ้อนเหรียญในลักษณะที่แตกต่างกัน จำนวนหลายกอง ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

4.1 ผลการทดลองนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันจำนวนหนึ่งกอง

การนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันจำนวนหนึ่งกอง โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ในการทดลอง ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิลเตอร์จำนวน 3 รูปแบบ คือ Motion, Average และ Laplacian ว่าฟิลเตอร์แบบใดที่ให้ผลการทดลองออกมาถูกต้องมากที่สุด

4.1.1 นับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันโดยใช้ฟิลเตอร์ Motion

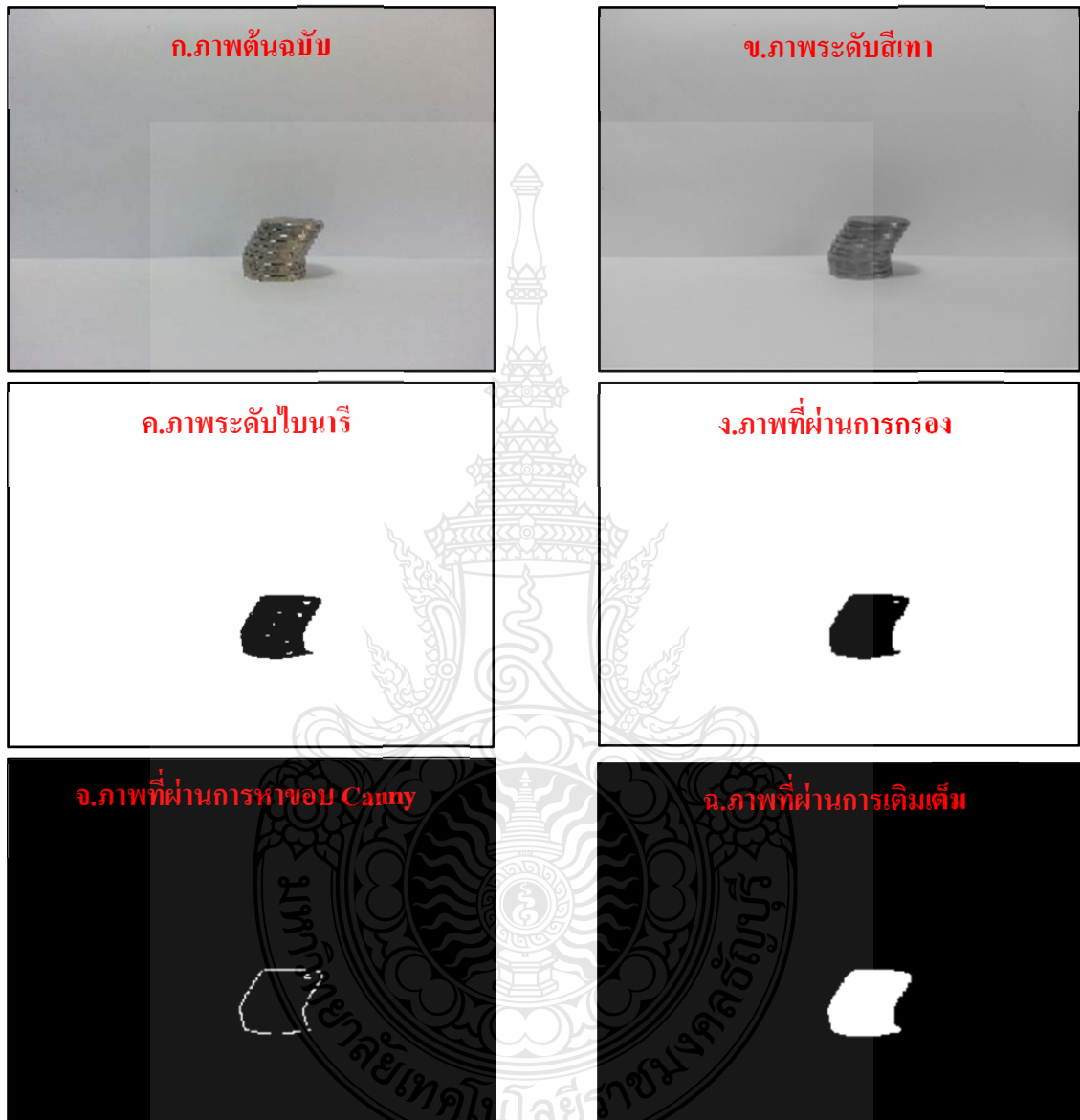
การกรองภาพที่มีการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ เป็นวิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) จะเป็นการช่วยให้ระบบสามารถที่จะทำการจับขอบภาพได้คมชัดมากยิ่งขึ้น ผลการทดลองโดยใช้ฟิลเตอร์แบบ Motion ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการทดลองใช้ฟิลเตอร์แบบ Motion

| Filter | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูก | คิดเป็นร้อยละ |
|--------|------------------|----------------|---------------|
| Motion | 200 | 200 | 100.0 |

จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 พบว่าการใช้ฟิลเตอร์ Motion กรองภาพกองวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท มาวางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน จำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ ให้

ค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 100 ในการทดลองใช้ภาพถ่ายจำนวน 200 ภาพ สามารถแสดงผลการทดลองออกมาถูกต้องทั้ง 200 ภาพ ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Motion



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Motion (ต่อ)

จากรูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Motion เริ่มด้วยการรับภาพต้นฉบับแปลงเป็นภาพระดับสีเทาที่ไม่มีค่าสี มีแต่ค่าของความสว่าง ทำได้โดยแยกแยะระดับสีแต่ละพิกเซลออกจากกัน ในภาพสีจากนั้นนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการ เพื่อคำนวณหาค่าสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดพิกเซลเดิม แล้วแปลงเป็นภาพระดับ ไบนารีที่มีเฉพาะสีดำกับสีขาว หรือ 0 กับ 1 ผ่านการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion เป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ กรองสัญญาณรบกวนได้ดี นำไปหาขอบภาพด้วยเทคนิค Canny แล้วก็เดิมเต็มภาพ ที่มีลักษณะลูปปิด นำภาพที่ได้ไปหาจำนวนเหรียญทั้งหมด จำนวนเหรียญที่แสดงออกมา หาได้จากขนาดของพิกเซลสูงสุด ลบด้วยพิกเซลต่ำสุด แล้วหารด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละเหรียญภายในภาพ แสดงตัวอย่างผลการนับออกมาดังรูปที่ 4.1 (ข)

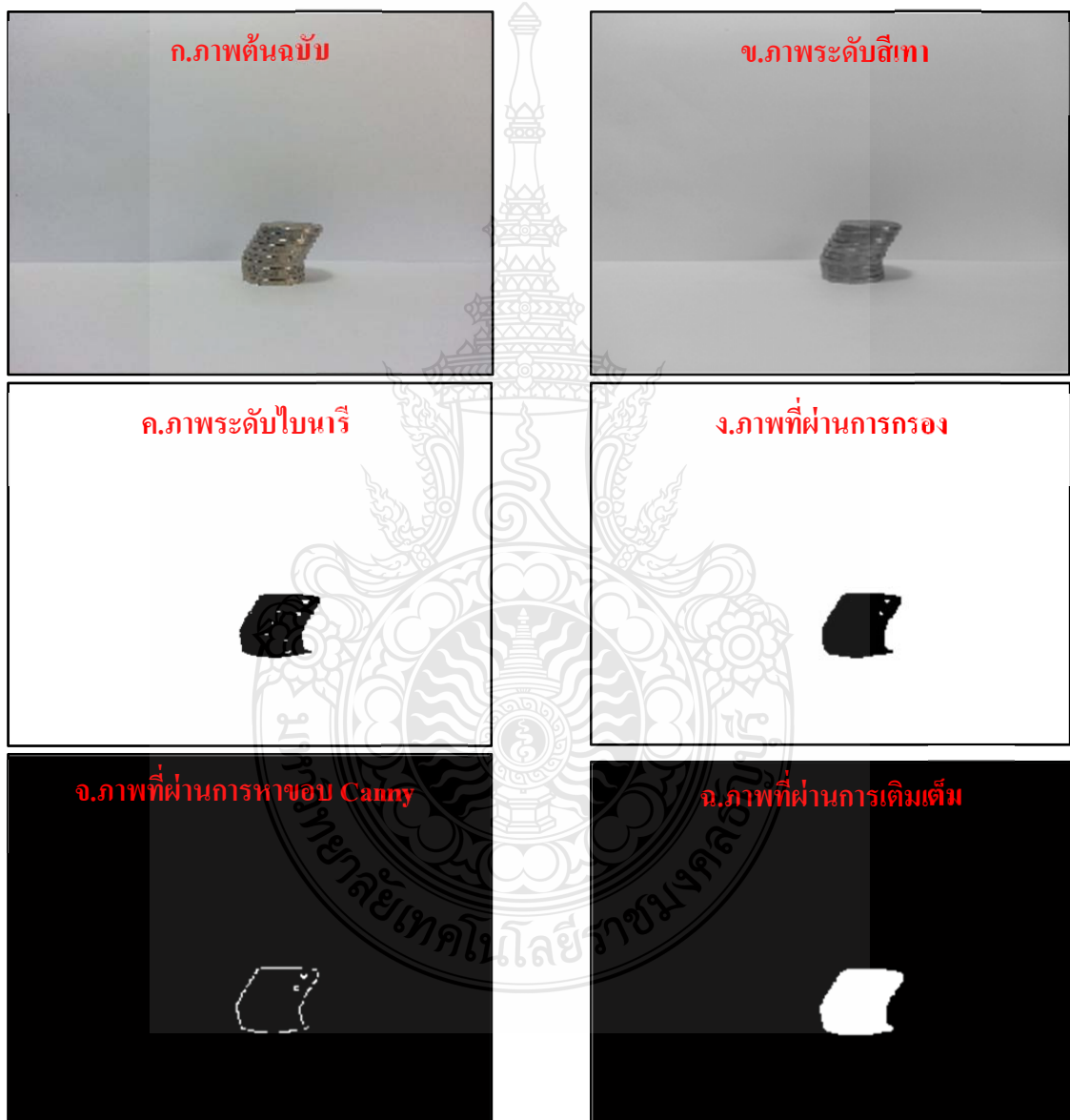
4.1.2 นับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันโดยใช้ฟิลเตอร์ Average

ตัวกรองค่าเฉลี่ย เป็นกระบวนการประมวลผลภาพโดยการใช้ตัวกรอง (filter mask) ทำการกวาดไล่ไปบนภาพ ลักษณะคล้ายกับฟิลเตอร์ Motion ที่มีการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ เป็นวิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) ผลการทดลองโดยใช้ฟิลเตอร์แบบ Average ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการทดลองใช้ฟิลเตอร์แบบ Average

| Filter | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูก | คิดเป็นร้อยละ |
|---------|------------------|----------------|---------------|
| Average | 200 | 197 | 98.5 |

จากผลการทดลองตารางที่ 4.2 พบว่าการใช้ฟิลเตอร์ Average กรองภาพของวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท มาวางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน จำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ ให้ค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 98.5 ในการทดลองใช้ภาพถ่ายจำนวน 200 ภาพ เป็นภาพเดียวกับที่ใช้ในการทดลองกับฟิลเตอร์ Motion สามารถแสดงผลการทดลองออกมาถูกต้อง 197 ภาพ ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Average



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Average (ต่อ)

จากรูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Average เริ่มด้วยการรับภาพต้นฉบับแปลงเป็นภาพระดับสีเทาที่ไม่มีค่าสี มีแต่ค่าของความสว่าง ทำได้โดยแยกระดับสีแต่ละพิกเซลออกจากกันในภาพสีจากนั้นนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการ เพื่อคำนวณหาค่าสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดพิกเซลเดิม แล้วแปลงเป็นภาพระดับไบนารีที่มีเฉพาะสีดำกับสีขาว หรือ 0 กับ 1 โดยมีกระบวนการและขั้นตอนเช่นเดียวกับฟิลเตอร์ Motion แล้วผ่านการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Average เป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ เหมือนกับฟิลเตอร์ Motion นำไปหาขอบภาพด้วยเทคนิค Canny แล้วก็เติมเต็มภาพ ที่มีลักษณะลูปปิด นำภาพที่ได้ไปหาจำนวนเหรียญทั้งหมด จำนวนเหรียญที่แสดงออกมา หาได้จากขนาดของพิกเซลสูงสุด ลบด้วยพิกเซลต่ำสุด แล้วหารด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละเหรียญภายในภาพ แสดงตัวอย่างผลการนับออกมาดังรูปที่ 4.2 (ข)

4.1.3 นับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันโดยใช้ฟิลเตอร์ Laplacian

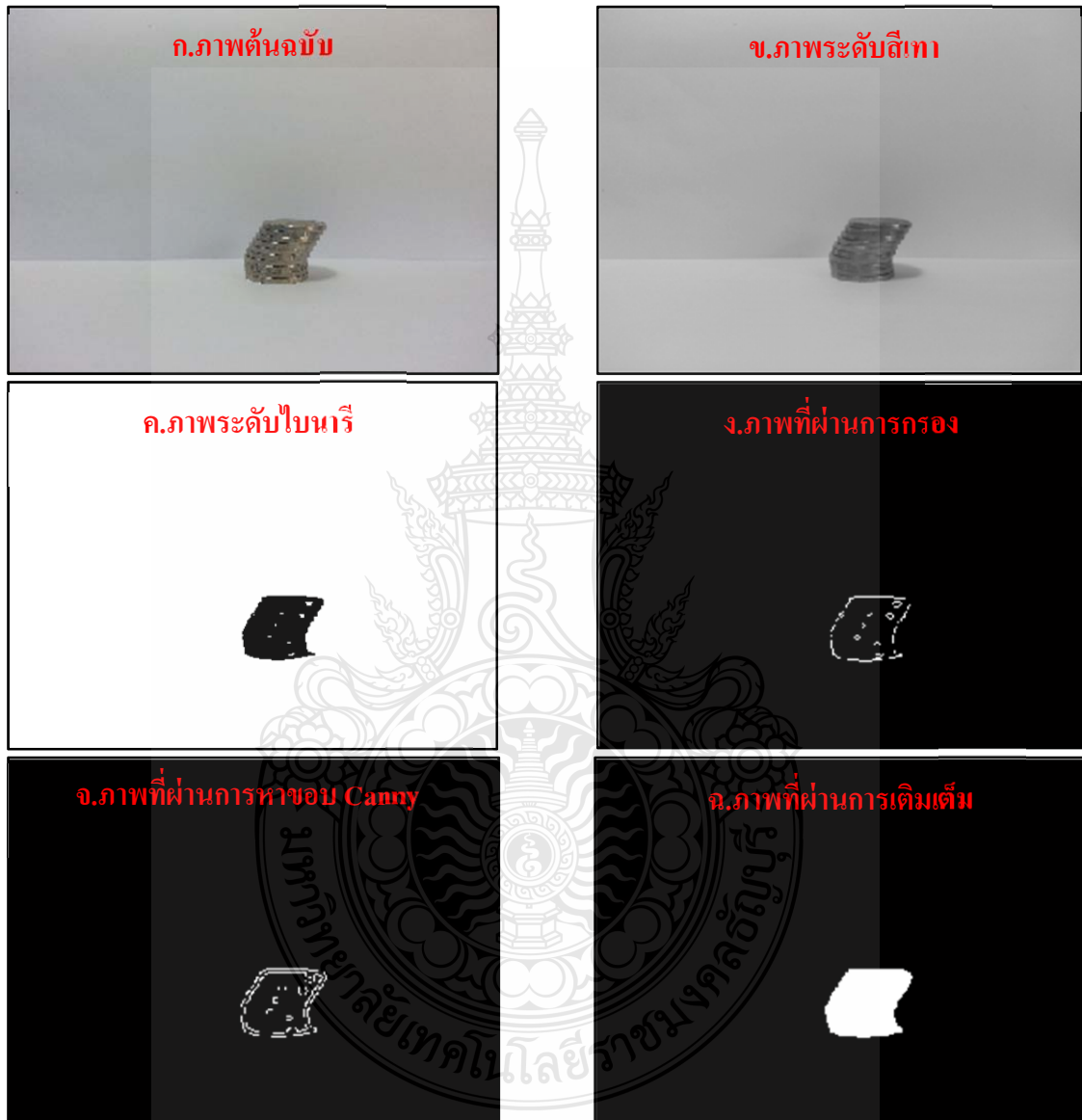
การกรองภาพที่มีการกรองสัญญาณความถี่สูง แตกต่างกับฟิลเตอร์ Motion และ Average ที่มีการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ ผลการทดลองโดยใช้ฟิลเตอร์แบบ Laplacian ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลที่ได้จากการทดลองใช้ฟิลเตอร์แบบ Laplacian

| Filter | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูกต้อง | คิดเป็นร้อยละ |
|-----------|------------------|--------------------|---------------|
| Laplacian | 200 | 172 | 86.0 |

จากผลการทดลองตารางที่ 4.3 พบว่าการใช้ฟิลเตอร์ Laplacian กรองภาพกองวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท มาวางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน จำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ

ให้ค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 86.0 ในการทดลองใช้ภาพถ่ายจำนวน 200 ภาพ เป็นภาพเดียวกับที่ใช้ในการทดลองกับฟิลเตอร์ Motion และ Average สามารถแสดงผลการทดลองออกมาถูกต้อง 172 ภาพ ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Laplacian



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Laplacian (ต่อ)

จากรูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างขั้นตอนผลการทดลองที่ใช้ฟิลเตอร์ Laplacian เริ่มด้วยการรับภาพต้นฉบับแปลงเป็นภาพระดับสีเทาที่ไม่มีค่าสี มีแต่ค่าของความสว่าง ทำได้โดยแยกระดับสีแต่ละพิกเซลออกจากกัน ในภาพสีจากนั้นนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการ เพื่อคำนวณหาค่าสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดพิกเซลเดิม แล้วแปลงเป็นภาพระดับไบนารีที่มีเฉพาะสีดำกับสีขาว หรือ 0 กับ 1 ผ่านการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Laplacian เป็นการกรองสัญญาณความถี่สูง นำไปหาขอบภาพด้วยเทคนิค Canny แล้วก็เติมเต็มภาพ ที่มีลักษณะลูปปิด นำภาพที่ได้ไปหาจำนวนเหรียญทั้งหมด จำนวนเหรียญที่แสดงออกมา หาได้จากขนาดของพิกเซลสูงสุด ลบด้วยพิกเซลต่ำสุด แล้วหารด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละเหรียญภายในภาพ แสดงตัวอย่างผลการนับออกมาดังรูปที่ 4.3 (ข)

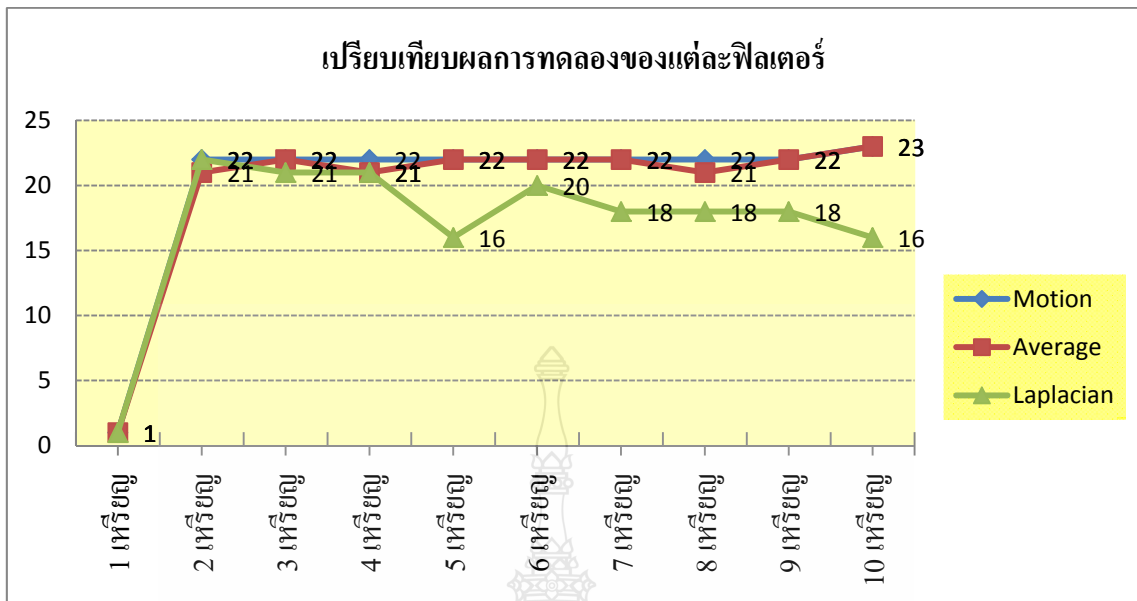
4.1.4 เปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละฟิลเตอร์

เมื่อนำผลการทดลองจากการใช้ฟิลเตอร์ Motion, Average และ Laplacian มาเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้จากการทดลอง พบว่าการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องร้อยละ 100 ส่วนการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Average สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 98.5 และการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Laplacian สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องร้อยละ 86 จะเห็นได้ว่าฟิลเตอร์ Motion และฟิลเตอร์ Average สามารถคำนวณผลได้อย่างถูกต้องเพราะทั้งสองฟิลเตอร์เป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ โดยใช้วิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) ซึ่งเหมาะกับการทดลองนี้ ส่วนฟิลเตอร์ Laplacian เป็นการกรองสัญญาณความถี่สูง ซึ่งไม่เหมาะกับการทดลองนี้ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการนับจำนวนเหรียญที่ถูกต้องของฟิลเตอร์ Motion, Average และ Laplacian

| เปรียบเทียบผลการนับจำนวนเหรียญที่ถูกต้องของฟิลเตอร์ Motion, Average และ Laplacian | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|--------|
| จำนวนเหรียญ/กอง | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | รวมทั้งหมด | ร้อยละ |
| จำนวนภาพ | 1 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 200 | 100 |
| Motion | 1 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 200 | 100 |
| Average | 1 | 21 | 22 | 21 | 22 | 22 | 22 | 21 | 22 | 23 | 197 | 98.50 |
| Laplacian | 1 | 22 | 21 | 21 | 16 | 20 | 18 | 18 | 18 | 16 | 172 | 86.00 |

จากตารางที่ 4.4 ภาพที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 200 ภาพ เป็นภาพกองละ 1 เหรียญ จำนวน 1 ภาพ ภาพกองละ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 เหรียญ อย่างละจำนวน 22 ภาพ และภาพกองละ 10 เหรียญ จำนวน 23 ภาพ การทดลองนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ใช้ฟิลเตอร์ Motion สามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้องทั้ง 200 ภาพ ส่วนฟิลเตอร์ Average นับจำนวนเหรียญได้ถูกต้อง 197 ภาพ ผิดพลาดร้อยละ 1.5 และฟิลเตอร์ Laplacian นับจำนวนเหรียญได้ถูกต้อง 172 ภาพ ผิดพลาดร้อยละ 14.0 แสดงให้เห็นว่าฟิลเตอร์ Motion เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองนี้ ดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นความแตกต่างของผลการทดลองแต่ละฟิลเตอร์

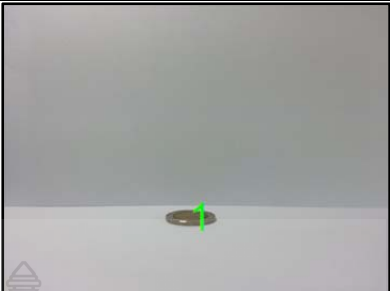
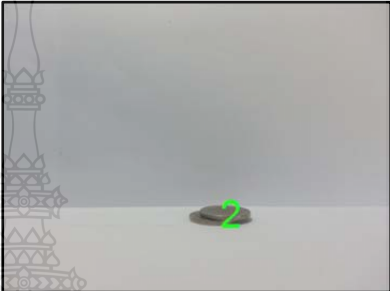

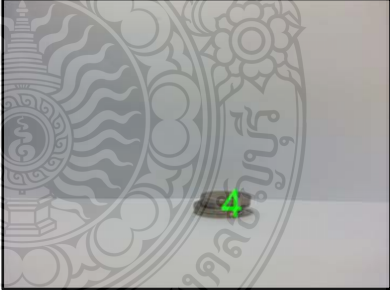
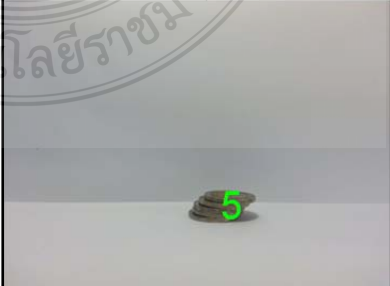


รูปที่ 4.4 ภาพแสดงเปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละฟิลเตอร์

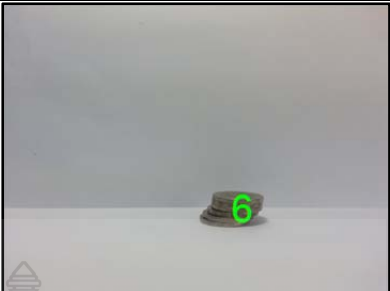
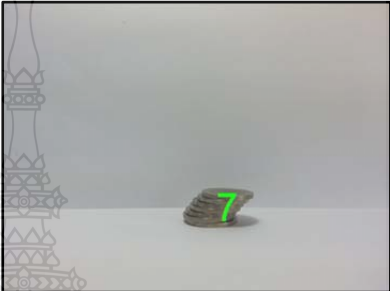
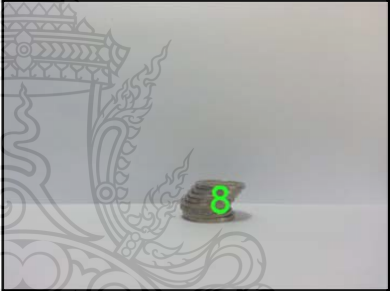
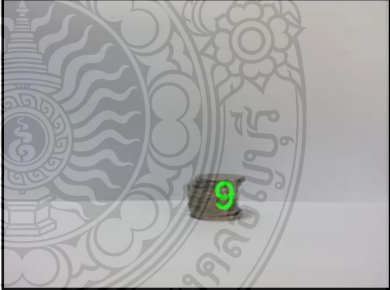

จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดลอง จะเห็นว่าการใช้ฟิลเตอร์ Motion และ Average ที่เป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ จะให้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากกว่า โดยฟิลเตอร์ Motion ให้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากที่สุด และฟิลเตอร์ Average ให้ผลการทดลองถูกต้องลงมา ส่วนฟิลเตอร์ Laplacian ที่เป็นการกรองสัญญาณความถี่สูง ให้ความถูกต้องน้อยที่สุดในการทดลอง

4.1.5 ผลการทดลองนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวน 1 กอง

ภาพผลการทดลองนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ จำนวน 1 กอง ดังรูปที่ 4.5

| จำนวนเหรียญ/กอง | ผลการทดลอง | |
|-----------------|------------|--|
| 1 เหรียญ | |  |
| 2 เหรียญ | |  |
| 3 เหรียญ | |  |
| 4 เหรียญ | |  |
| 5 เหรียญ | |  |

รูปที่ 4.5 ผลการทดลองนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง

| จำนวนเหรียญ/กอง | ผลการทดลอง | |
|-----------------|------------|--|
| 6 เหรียญ | |  |
| 7 เหรียญ | |  |
| 8 เหรียญ | |  |
| 9 เหรียญ | |  |
| 10 เหรียญ | |  |

รูปที่ 4.5 ผลการทดลองนับจำนวนเหรียญหนึ่งกอง (ต่อ)

4.2 ผลการทดลองนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกันจำนวนหลายกอง

ผลการนับจำนวนวัตถุหลายกอง โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท วางเรียงซ้อนในรูปแบบและจำนวนที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ ตัวอย่างขั้นตอนผลการทดลองดังรูปที่ 4.6





รูปที่ 4.6 ภาพแสดงขั้นตอนผลการทดลองนับจำนวนเหรียญหลายกอง

จากรูปที่ 4.6 ตัวอย่างขั้นตอนผลการทดลองนับจำนวนเหรียญหลายกอง นำภาพต้นฉบับมาแปลงเป็นภาพระดับสีเทา เป็นภาพที่ไม่มีค่าสี มีแต่ค่าของความสว่าง จากนั้นแปลงเป็นภาพระดับไบนารีที่มีค่าสีอยู่ 2 ค่า คือดำกับขาว หรือ 0 กับ 1 นำมาผ่านการกรอง Motion แล้วหาขอบภาพด้วย Canny และเติมเต็มในพื้นที่ ที่มีลักษณะลูปปิด นำภาพที่ได้มาคำนวณแสดงจำนวนของเหรียญ

การทดลองนี้ ได้ทำการทดลองนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท นำมาวางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน จำนวน 8 รูปแบบ

4.2.1 กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน

กองของเหรียญวางติดกัน และมีระยะโฟกัสเดียวกัน วางเรียงซ้อนกันตั้งแต่ 2 กองจนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.7

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|----------------------------|---|--|
| กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน

จากรูปที่ 4.7 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง มีกองละ 10 เหรียญ ระยะโฟกัสของภาพตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาตำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา แล้วแบ่งขนาดพิกเซลซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกองออกมา เพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมดก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโฟกัสในแนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งพิกเซลเดียวกัน ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกองมีค่าเท่ากัน ส่วน

ขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองถ้าจำนวนเหรียญเท่ากัน ขนาดพิกเซลความสูงก็จะเท่ากัน เพราะแต่ละกองอยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน

| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูก | คิดเป็นร้อยละ |
|----------------------------|------------------|----------------|---------------|
| กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน | 100 | 100 | 100.0 |

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดลองจากการวางกองเหรียญติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน สามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้องทั้ง 100 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 100 ไม่มีค่าความผิดพลาดในการทดลอง โดยแต่ละภาพ ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะโฟกัสเดียวกัน ระดับของแสงสว่างเดียวกัน เมื่อมาผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อนนำมานับจำนวน จึงทำให้ผลการทดลองถูกต้องทั้งหมด

4.2.2 กองติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

กองของเหรียญวางติดกัน โดยวางเหรียญที่ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน วางเรียงซ้อนกัน ตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลอง ที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.8

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|-------------------------------|---|--|
| กองติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 4.8 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองติดกัน ระยะโพกัสไม่เท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง มีกองละ 10 เหรียญ ระยะโพกัสของภาพไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาตำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา แล้วแบ่งขนาดพิกเซลซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกอง ออกมาเพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมด ก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโพกัสใน แนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งระยะโพกัส 2 ระดับ ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกอง แยกได้เป็น 2 ขนาด ส่วนขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองจะขึ้นอยู่กับจำนวนเหรียญ จากรูป จำนวนเหรียญเท่ากัน ขนาดพิกเซลความสูงก็จะเท่ากัน สำหรับกองเหรียญที่อยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน จะเห็นว่า กองที่อยู่ระยะโพกัสใกล้สุดจะมี 3 กอง โดยอยู่ในแนวแกน x ตำแหน่ง เดียวกัน และมี 2 กองที่อยู่ในตำแหน่งระยะโพกัสเดียวกัน แต่จะอยู่ไกลกว่า 3 กองแรก โดยขนาด พิกเซลความกว้างของกองเหรียญ จะแปรผันตามระยะโพกัสของกองเหรียญทั้ง 2 ระดับ ในแนวแกน x ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองติดกัน ระยะโพกัสไม่เท่ากัน

| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูก | คิดเป็นร้อยละ |
|-------------------------------|------------------|----------------|---------------|
| กองติดกัน ระยะโพกัสไม่เท่ากัน | 100 | 99 | 99.0 |

จากตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจากการวางกองเหรียญติดกัน ระยะโพกัสไม่เท่ากัน สามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้อง 99 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 99 ผิดพลาดร้อยละ 1 ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะโพกัสแตกต่างกัน ระดับของแสงสว่างเดียวกัน ห้องที่ใช้ถ่ายภาพใช้แสงสว่างจากหลอดไฟภายในห้อง เมื่อมาผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อนนำมา นับจำนวน จึงให้ผลการทดลองที่ถูกต้องเกือบทั้งหมด ผิดพลาดไป 1 ภาพ ความผิดพลาดเกิดจากสัญญาณรบกวนของแสงภายในภาพ

4.2.3 กองไม่ติดกัน ระยะโพกัสเท่ากัน

กองของเหรียญวางไม่ติดกัน โดยวางเหรียญที่ระยะโพกัสเท่ากัน มีตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.9

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|-----------------------------------|---|--|
| กองไม่ติดกัน ระยะ โฟกัสเท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน

จากรูปที่ 4.9 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง มีกองละ 10 เหรียญ ระยะโฟกัสของภาพตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาดำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกองออกมาเพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมด ก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโฟกัสในแนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งพิกเซลเดียวกัน ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกองมีค่าเท่ากัน ส่วนขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองถ้าจำนวนเหรียญเท่ากัน ขนาดพิกเซลความสูงก็จะเท่ากัน เพราะว่าแต่ละกองอยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน



| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูก | คิดเป็นร้อยละ |
|-----------------------------------|------------------|----------------|---------------|
| กองไม่ติดกัน ระยะ โฟกัสเท่ากัน | 100 | 100 | 100.0 |

จากตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจากการวางกองเหรียญไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน สามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้องทั้ง 100 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 100 ไม่มีค่าความผิดพลาดในการทดลอง โดยแต่ละภาพ ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะโฟกัสเดียวกัน กองเหรียญแต่ละกอง

วางไม่ติดกัน ระดับของแสงสว่างเดียวกัน เมื่อมาผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อนนำมานับจำนวน จึงทำให้ผลการทดลองถูกต้องทั้งหมด

4.2.4 กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

กองของเหรียญวางไม่ติดกัน โดยวางเหรียญที่ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน มีตั้งแต่ 2 กองจนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.10

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|----------------------------------|--|---|
| กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 4.10 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง มีกองละ 10 เหรียญ ระยะโฟกัสของภาพไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาตำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกองออกมาเพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมดก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโฟกัสในแนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งระยะโฟกัส 2 ระดับ ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกองแยกได้เป็น 2 ขนาด ส่วนขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองจะขึ้นอยู่กับจำนวนเหรียญ จากรูปจำนวนเหรียญเท่ากัน ขนาดพิกเซลความสูงก็จะเท่ากัน สำหรับกองเหรียญที่อยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน จะเห็นว่า กองที่อยู่ระยะโฟกัสใกล้สุดจะมี 3 กอง โดยอยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน และมี 2 กองที่อยู่ในตำแหน่งระยะ

โฟกัสเดียวกัน แต่จะอยู่ไกลกว่า 3 กองแรก โดยขนาดพิทเชลความกว้างของกองเหรียญ จะแปรผันตามระยะโฟกัสของกองเหรียญทั้ง 2 ระดับ ในแนวแกน x ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูกต้อง | คิดเป็นร้อยละ |
|----------------------------------|------------------|--------------------|---------------|
| กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 100 | 99 | 99.0 |

จากตารางที่ 4.8 ผลการทดลองจากการวางกองเหรียญไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากันสามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้อง 99 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 99 ผิดพลาดร้อยละ 1 ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะโฟกัสแตกต่างกัน ระดับของแสงสว่างเดียวกัน ห้องที่ใช้ถ่ายภาพใช้แสงสว่างจากหลอดไฟภายในห้อง เมื่อมาผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อน นำมานับจำนวน จึงให้ผลการทดลองที่ถูกต้องเกือบทั้งหมด ผิดพลาดไป 1 ภาพ ความผิดพลาดเกิดจากสัญญาณรบกวนของแสงภายในภาพ

4.2.5 กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน

กองของเหรียญวางติดกัน โดยวางเหรียญที่ระยะโฟกัสเท่ากัน มีตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ การวางของเหรียญแต่ละกอง จะไม่ได้เรียงจำนวนเหรียญตามลำดับกอง ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.11

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|------------------------------------|---|--|
| กองไม่เท่ากัน ระยะ โฟกัสเท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน

จากรูปที่ 4.11 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญแตกต่างกัน สลับกัน ระยะโฟกัสของภาพตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาค่าตำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา แล้วแบ่งขนาดพิกเซลซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกองออกมา เพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมดก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโฟกัสในแนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งพิกเซลเดียวกัน ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกองมีค่าเท่ากัน ส่วนขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองจะขึ้นอยู่กับจำนวนเหรียญในแต่ละกอง ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน

| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูก | คิดเป็นร้อยละ |
|------------------------------------|------------------|----------------|---------------|
| กองไม่เท่ากัน ระยะ โฟกัสเท่ากัน | 100 | 100 | 100.0 |

จากตารางที่ 4.9 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากันสามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้อง 100 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 100 ไม่มีค่าความ

ผิดพลาดในการทดลอง โดยแต่ละภาพ ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะ โฟกัสเดียวกัน ระดับของแสงสว่างเดียวกัน เมื่อผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อนนำมานับจำนวน จึงทำให้ผลการทดลองถูกต้องทั้งหมด

4.2.6 กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

กองของเหรียญวางไม่ติดกัน ตำแหน่งระยะโฟกัสไม่เท่ากัน มีตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ การวางของเหรียญแต่ละกอง จะไม่ได้เรียงจำนวนเหรียญตามลำดับกอง ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.12

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|-----------------------------------|--|---|
| กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 4.12 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญแตกต่างกัน ระยะโฟกัสของภาพไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาตำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกองออกมา เพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมดก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโฟกัสในแนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งระยะโฟกัส 2 ระดับ ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกองแยกได้เป็น 2 ขนาด ส่วนขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองจะขึ้นอยู่กับจำนวนเหรียญของแต่ละกอง จะเห็นว่า กองที่อยู่ระยะโฟกัสใกล้สุดจะมี 3 กอง โดยอยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน และมี 2 กองที่อยู่ในตำแหน่งระยะโฟกัสเดียวกัน แต่จะอยู่ไกลกว่า 3 กองแรก โดยขนาดพิกเซลความกว้างของ

กองเหรียญ จะแปรผันตามระยะโฟกัสของกองเหรียญทั้ง 2 ระดับ ในแนวแกน x ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูกต้อง | คิดเป็นร้อยละ |
|-----------------------------------|------------------|--------------------|---------------|
| กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน | 100 | 98 | 98.0 |

จากตารางที่ 4.10 ผลการทดลองจากการวางเหรียญ กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากันสามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้อง 98 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 98 ผิดพลาดร้อยละ 2 ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะโฟกัสแตกต่างกัน ระดับของแสงสว่างเดียวกัน ห้องที่ใช้ถ่ายภาพใช้แสงสว่างจากหลอดไฟภายในห้อง เมื่อมาผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อน นำมานับจำนวน จึงให้ผลการทดลองที่ถูกต้องเกือบทั้งหมด ผิดพลาดไป 2 ภาพ ความผิดพลาดเกิดจากสัญญาณรบกวนของแสงภายในภาพ

4.2.7 กองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสเท่ากัน

กองของเหรียญวางไม่ติดกัน กองเบี้ยว ตำแหน่งระยะโฟกัสเท่ากัน มีตั้งแต่ 2 กองจนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ การวางของเหรียญแต่ละกอง จะมีจำนวนเหรียญเท่ากัน ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.13

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|--------------------------------------|---|--|
| กองเท่ากันเบียด ระยะ โฟกัสเท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญของรูปแบบกองเท่ากันเบียด ระยะโฟกัสเท่ากัน

จากรูปที่ 4.13 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองเท่ากันเบียด ระยะโฟกัสเท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญเท่ากัน ระยะโฟกัสของภาพตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาตำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกองออกมา เพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมด ก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโฟกัสในแนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งพิกเซลเดียวกัน ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกองมีค่าเท่ากัน ส่วนขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองถ้าจำนวนเหรียญเท่ากัน ขนาดพิกเซลความสูงก็จะเท่ากัน เพราะว่าแต่ละกองอยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองเท่ากันเบียด ระยะโฟกัสเท่ากัน

| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูก | คิดเป็นร้อยละ |
|-------------------------------------|------------------|----------------|---------------|
| กองเท่ากันเบียด ระยะโฟกัสเท่ากัน | 100 | 100 | 100.0 |

จกตารางที่ 4.11 ผลการทดลองจากการวางกองเหรียญ กองเท่ากันเบียด ระยะโฟกัสเท่ากันสามารถนับจำนวนเหรียญได้ถูกต้อง 100 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 100 ไม่มีค่าความผิดพลาดในการทดลอง โดยแต่ละภาพ ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะโฟกัสเดียวกัน ระดับของแสงสว่าง

เดียวกัน เมื่อมาผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อนนำมานับจำนวน จึงทำให้ผลการทดลองถูกต้องทั้งหมด

4.2.8 กองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

กองของเหรียญวางไม่ติดกัน กองเบี้ยว ตำแหน่งระยะโฟกัสไม่เท่ากัน มีตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญ 1 ถึง 10 เหรียญ การวางของเหรียญแต่ละกอง จะมีจำนวนเหรียญเท่ากัน ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดลองที่นำไปนับจำนวนเหรียญดังรูปที่ 4.14

| รูปแบบการวาง | ภาพต้นฉบับ | ภาพที่นำไปนับจำนวน |
|--------------------------------------|--|---|
| กองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน |  |  |

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างภาพที่นำไปนับจำนวนเหรียญ ของรูปแบบกองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 4.14 ภาพตัวอย่างการนับจำนวนเหรียญของรูปแบบการวางเหรียญ กองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน ภาพต้นฉบับในการทดลองมีเหรียญ 10 บาท วางเรียงกัน 5 กอง แต่ละกองมีจำนวนเหรียญเท่ากัน ระยะโฟกัสของภาพไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดลองแสดงภาพที่นำไปนับจำนวน จะมีการหาตำแหน่งพิกเซลขอบภาพซ้าย ขวา ของเหรียญแต่ละกองออกมา เพื่อแสดงจำนวนกองเหรียญทั้งหมด ก่อนจะนำไปคำนวณหาจำนวนเหรียญ ตำแหน่งโฟกัสในแนวแกน x ของแต่ละกอง อยู่ในตำแหน่งระยะโฟกัส 2 ระดับ ขนาดความกว้างพิกเซลของแต่ละกองแยกได้เป็น 2 ขนาด ส่วนขนาดพิกเซลความสูงของแต่ละกองจะขึ้นอยู่กับจำนวนเหรียญ จากรูปจำนวนเหรียญเท่ากัน ขนาดพิกเซลความสูงก็จะเท่ากัน สำหรับกองเหรียญที่อยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน จะเห็นว่า กองที่อยู่ระยะโฟกัสใกล้สุดจะมี 3 กอง โดยอยู่ในแนวแกน x ตำแหน่งเดียวกัน และมี 2 กองที่อยู่ตำแหน่งระยะโฟกัสเดียวกัน แต่จะอยู่ไกลกว่า 3 กองแรก โดยขนาดพิกเซลความกว้างของกอง

เหรียญ จะแปรผันตามระยะ โฟกัสของกองเหรียญทั้ง 2 ระดับ ในแนวแกน x ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองจากการวางเหรียญกองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน

| รูปแบบการวาง | จำนวนภาพที่ทดลอง | จำนวนภาพที่ถูกต้อง | คิดเป็นร้อยละ |
|---|------------------|--------------------|---------------|
| กองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่ เท่ากัน | 100 | 98 | 98.0 |

จากตารางที่ 4.12 ผลการทดลองจากการวางเหรียญ กองเท่ากันเบี้ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน สามารถนับจำนวนเหรียญ ได้ถูกต้อง 98 ภาพ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 98 ผิดพลาดร้อยละ 2 ถ่ายภาพที่ตำแหน่งระยะโฟกัสแตกต่างกัน ระดับของแสงสว่างเดียวกัน ห้องที่ใช้ถ่ายภาพใช้แสงสว่างจากหลอดไฟภายในห้อง เมื่อมาผ่านกระบวนการทดลอง ที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปก่อนนำมานับจำนวน จึงให้ผลการทดลองที่ถูกต้องเกือบทั้งหมด ผิดพลาดไป 2 ภาพ ความผิดพลาดเกิดจากสัญญาณรบกวนของแสงภายในภาพ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท แปลงภาพสีต้นฉบับเป็นภาพระดับสีเทา แปลงภาพระดับสีเทา เป็นภาพไบนารี แล้วผ่านกระบวนการกรองภาพ เป็นการแปลงภาพที่ได้จากการนำภาพขาว – ดำ มากระทำเพื่อที่จะทำการกำจัด สิ่งรบกวน (Noise) ออกจากภาพ โดยการกำจัดสิ่งรบกวนนั้นจะเป็นการช่วยให้ระบบสามารถที่จะทำการจับขอบภาพได้คมชัดมากยิ่งขึ้น และหาขอบภาพด้วยวิธี Canny เติมพื้นที่ในช่องว่างที่มีลักษณะเป็นลูปปิด เพื่อให้ได้พื้นที่ของบริเวณตำแหน่งเหรียญ แล้วนำมาคำนวณนับจำนวนของเหรียญ มีรูปแบบในการทดลองนับจำนวนของวัตถุ โดยใช้กับภาพถ่ายเหรียญหนึ่งกอง และนับจำนวนของวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญหลายกอง

5.1 การนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวนหนึ่งกอง

การนับจำนวนเหรียญ 10 บาท จำนวนหนึ่งกอง จากภาพถ่ายจำนวน 200 ภาพ ที่วางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ ในการทดลองได้เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการกรองภาพด้วย 3 ฟิลเตอร์ คือ Motion, Average และ Laplacian ปรากฏว่าการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องร้อยละ 100 ส่วนการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Average สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องร้อยละ 98.5 นับผิดพลาดร้อยละ 1.5 และการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Laplacian สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องร้อยละ 86 นับผิดพลาดร้อยละ 14 จะเห็นได้ว่าฟิลเตอร์ Motion สามารถคำนวณผลได้อย่างถูกต้องร้อยละ 100 เพราะเป็นฟิลเตอร์ที่มีการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ โดยใช้วิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) ซึ่งเหมาะกับการทดลองนี้ ส่วนฟิลเตอร์ Laplacian เป็นการกรองสัญญาณความถี่สูง ไม่เหมาะที่จะใช้กับการทดลองนี้

5.2 การนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวนหลายกอง

การนับจำนวนเหรียญ 10 บาท จำนวนหลายกอง โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวนตั้งแต่ 2 กอง จนถึง 5 กอง มาวางเรียงซ้อนในลักษณะที่แตกต่างกัน ผ่านกระบวนการกรองภาพฟิลเตอร์ Motion ที่เลือกใช้ฟิลเตอร์ Motion เพราะให้ผลของการทดลองนับจำนวนเหรียญหนึ่งกองได้ดีที่สุด โดยมีรูปแบบการวางเหรียญในการทดลอง 8 รูปแบบ คือ แบบกองติดกัน ระยะโพกัสเท่ากัน

ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 100 แบบกองติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 99 แบบกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 100 แบบกองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 99 แบบกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 100 แบบกองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 98 แบบกองเท่ากันเบียด ระยะโฟกัสเท่ากัน ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 100 และแบบกองเท่ากันเบียด ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน ใช้ภาพถ่ายในการทดลอง 100 ภาพ สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ร้อยละ 98

ถ้ามีการวางวัตถุที่ตำแหน่งโฟกัสเดียวกัน ขนาดความกว้างของกองวัตถุจะเท่ากันเสมอ ส่วนความสูงของกองวัตถุจะขึ้นอยู่กับจำนวนวัตถุของแต่ละกอง ดังรูปที่ 5.1 (ก) แต่ถ้ามีการวางกองวัตถุในระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน ขนาดความกว้างของกองวัตถุจะไม่เท่ากัน ความสูงของกองวัตถุก็ไม่เท่ากัน แต่อัตราส่วนระหว่างความกว้างกับความสูงของกองวัตถุจะมีความสัมพันธ์กัน ถ้าวัตถุมีขนาดเท่ากันและมีจำนวนแต่ละกองเท่ากัน ไม่ว่าจะวางอยู่ในความลึกที่แตกต่างกันของภาพ ดังรูปที่ 5.1 (ข)



(ก) กองวัตถุระยะ โฟกัสเดียวกัน

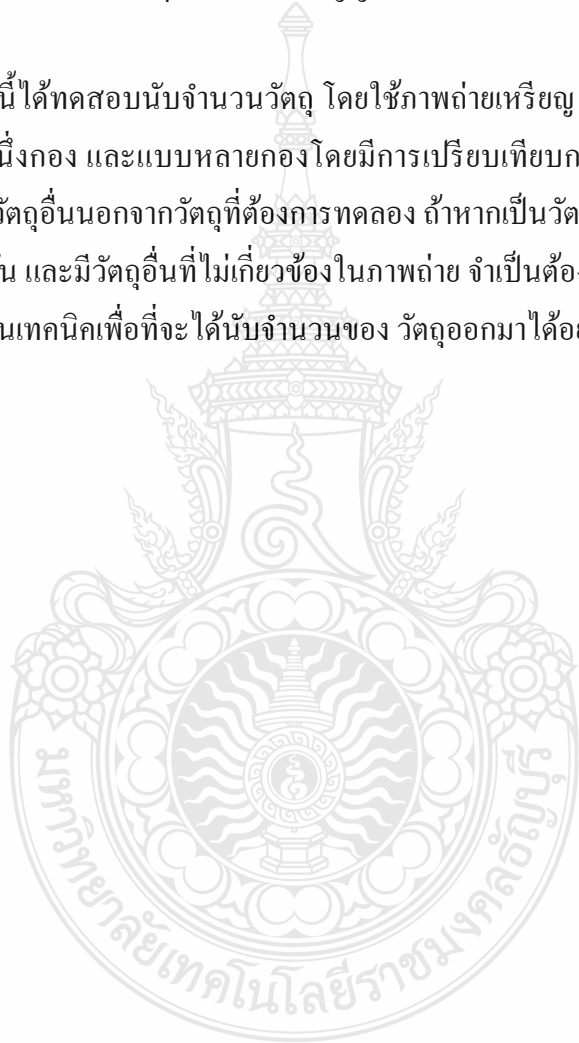
(ข) กองวัตถุไม่ใช่ระยะโฟกัสเดียวกัน

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างภาพถ่ายแสดงตำแหน่งของวัตถุในภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากการทดลองที่ผ่านมาและผลการทดลองที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จะสังเกตเห็นว่าเงื่อนไขในการทำงานที่สมบูรณ์ในส่วนของกระบวนการประมวลผลภาพ สัญญาณรบกวนภาพจะมีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งหากต้องการเพิ่มค่าความถูกต้องจำเป็นต้องลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นให้ได้มากที่สุด ภาพถ่ายที่ใช้ในการทดลอง ใช้แสงความสว่างจากหลอดไฟภายในห้อง ทำให้แสงมีผลต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลอง แสงเป็นสาเหตุของการเกิดสัญญาณรบกวน เป็นผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบนับจำนวนวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท วางกองเรียงซ้อนกันในลักษณะแบบหนึ่งกอง และแบบหลายกองโดยมีการเปรียบเทียบการวางกองเหรียญในหลายรูปแบบ ภาพถ่ายไม่มีวัตถุอื่นนอกจากวัตถุที่ต้องการทดลอง ถ้าหากเป็นวัตถุที่ขนาดไม่เท่ากัน วางกองเรียงในภาพถ่ายเดียวกัน และมีวัตถุอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในภาพถ่าย จำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคนิคในการทดลองหรือปรับเปลี่ยนเทคนิคเพื่อที่จะได้นับจำนวนของ วัตถุออกมาได้อย่างถูกต้อง



บรรณานุกรม

- [1] เกศินี ตะละ และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร, “การเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจหาป้ายจำกัดความเร็วในเงื่อนไขที่ถูกสภาพแวดล้อมบดบัง”, การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ (ECTI-CARD) ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร, วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2554, หน้า 286-290
- [2] Ya-Li Hou, “**People Counting and Human Detection in a Challenging Situation**”, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol. 41, no. 1, January 2011, pp. 24–33.
- [3] วิษณุ สมัครมิ่ง และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร, “การใช้ประโยชน์ระบบการมองเห็นในระบบรักษาสมดุลสำหรับหุ่นยนต์ขึ้นบันได”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, นครนายก, วันที่ 29-31 ตุลาคม 2551, หน้า 795-798
- [4] Jakkree Srinonchat and Teerapon Yodrot, “**Enhancement of Multi License Plate Location Technique Using Subtract Morphology Technique**”, International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology 2013, 21-24 August 2013, Bangkok, Thailand.
- [5] Rui Zhao and Xiaogang Wang, “**Counting Vehicles from Semantic Regions**”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 2, June 2013, pp. 1016–1022.
- [6] S. Nayar, Y. Nakagawa, “**Shape from focus**”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Issue 16, 1994, pp. 824–831.
- [7] Phawis Thammasorn, Sukitta Boonchu, Aram Kawewong, “**Real-Time Method for Counting Unseen Stacked Objects in Mobile**”, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2013, pp. 4103–4107.
- [8] Swaraj Raman, Sukanya, “**A Novel Labelling Algorithm for Object Counting**”, 2012 Third International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT'12), 26-28 July 2012, Coimbatore, India.
- [9] Md. Sharifur Rahman, Md. Rafiqul Islam, “**Counting objects in an image by Marker Controlled Watershed Segmentation and Thresholding**”, IEEE International Advance Computing Conference (IACC), 2013, pp. 1251–1256.

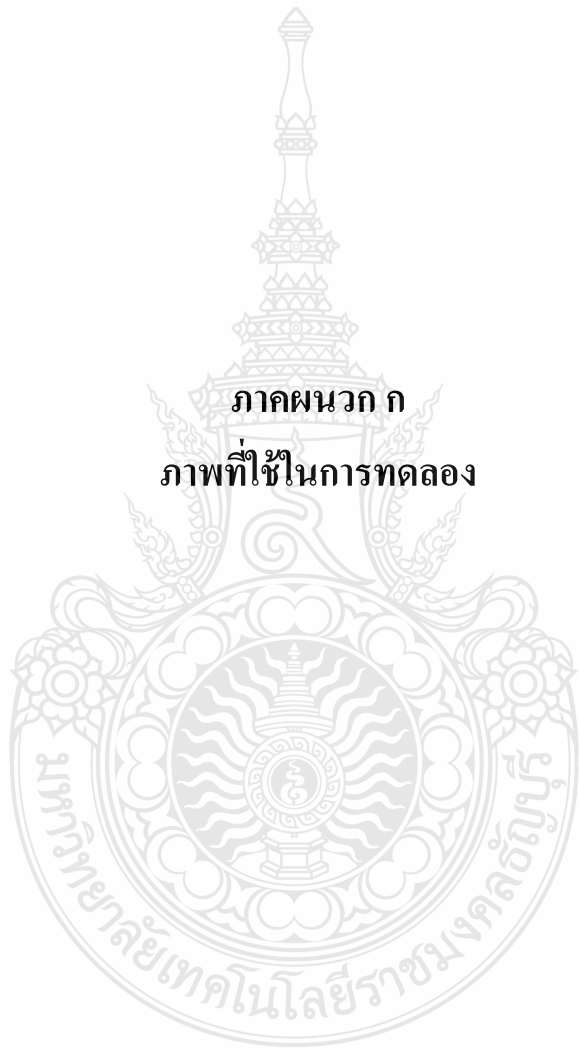
บรรณานุกรม (ต่อ)

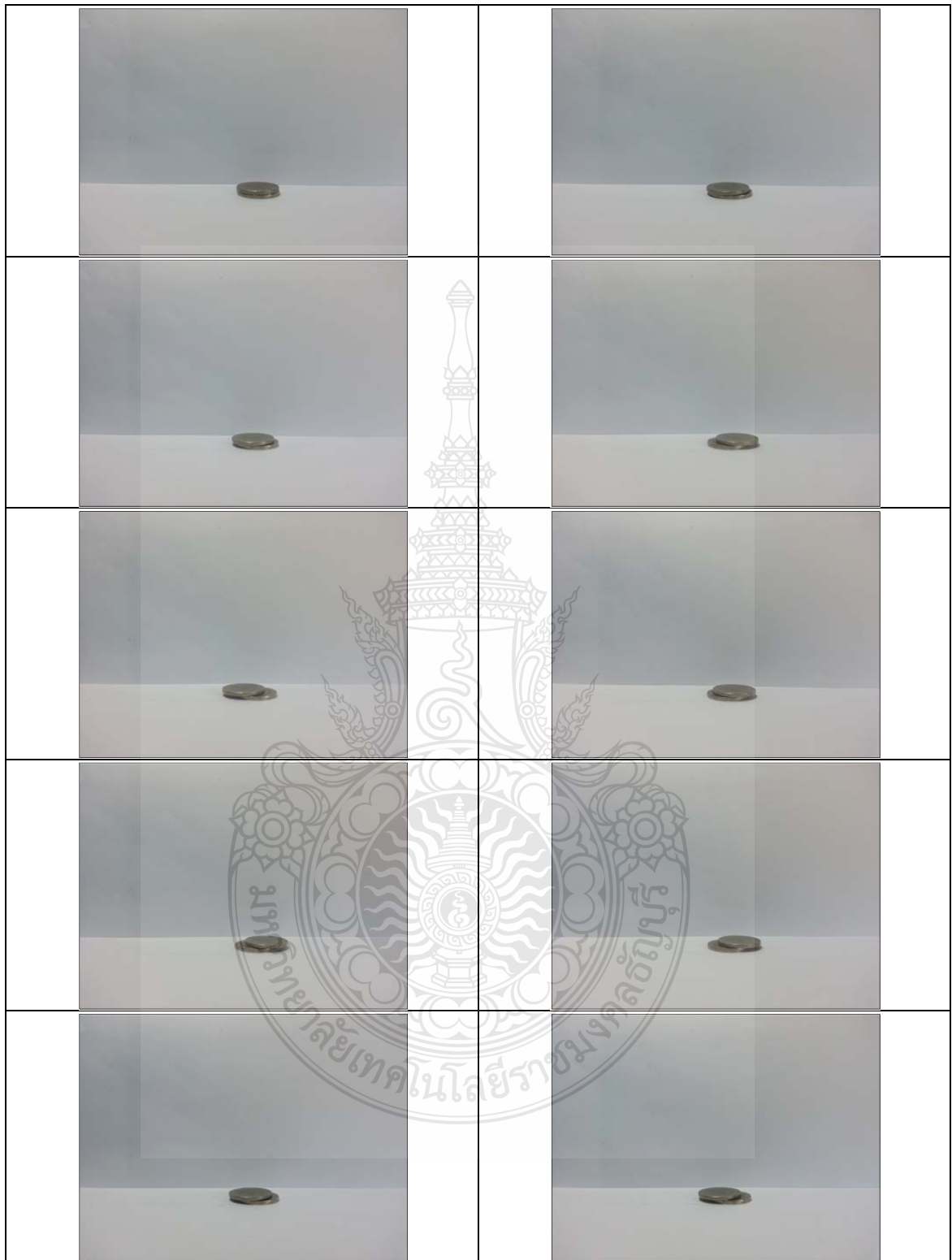
- [10] P. S. Khude¹, S. S. Pawar, “**Object Detection, Tracking and Counting using enhanced BMA on static background videos**”, IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 2013.
- [11] Yoginee B. Bramhe(Pethe), P.S. Kulkarni, “**An implementation of Moving Object Detection, Tracking and Counting Objects for Traffic Surveillance System**”, IEEE International Conference on Computational Intelligence and Communication Systems, 2011, pp. 143–148.
- [12] P.H. Perera, W.S.K. Fernando, G.M.R.I. Godaliyadda, M.P.B. Ekanayake, “**A Generic Object Counting Algorithm under Partial Occlusion Conditions**”, 2013 IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIS 2013, Aug. 18-20, 2013, Sri Lanka, pp. 554-559.
- [13] Selcuk SEVGEN, Fethullah KARABIBER, Eylem YUCEL and Sabri ARIK, “**Implementation of a CNN based Object Counting Algorithm on Bi-i Cellular Vision System**”, Electrical and Electronics Engineering, 2009. ELECO 2009. International Conference on, vol.3, Nov. 5-8, 2009, pp. 394–397.
- [14] Sandeep Konam, Nageswara Rao Narni, “**Statistical Analysis of Image Processing Techniques for Object Counting**”, 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Page 2464-2469.
- [15] E.Christophe, J.Inglada, “**Object Counting in High Resolution Remote Sensing Images With OTB**”, 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2009), vol.4, July 12-17, 2009, pp. 737–740.
- [16] Yao Zhou and Jiebo Luo, “**A Practical Method for Counting Arbitrary Target Objects in Arbitrary Scenes**”, Multimedia and Expo (ICME), 2013 IEEE International Conference on, July 15-19, 2013, pp. 1–6.

ภาคผนวก

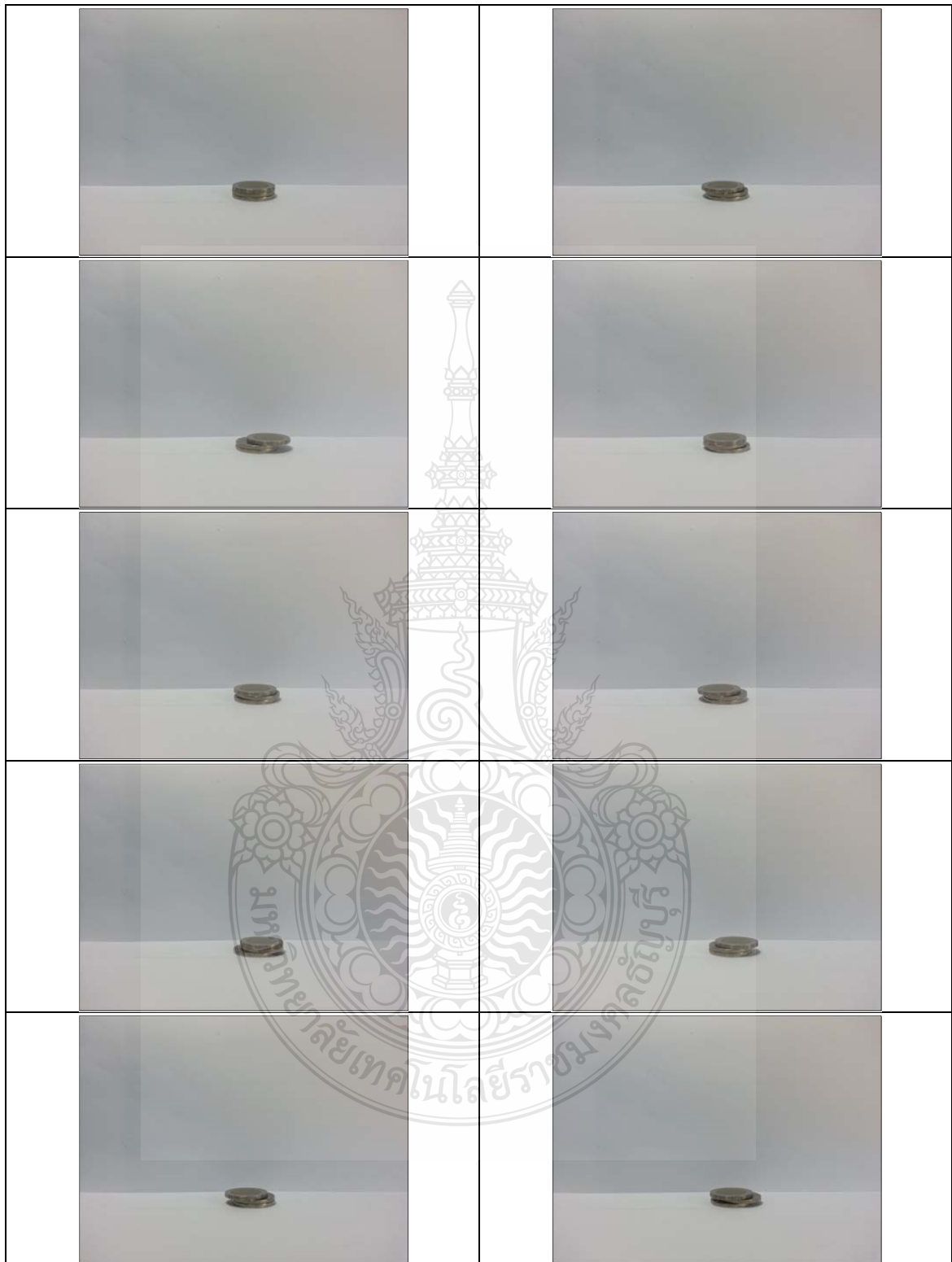


ภาคผนวก ก
ภาพที่ใช้ในการทดลอง

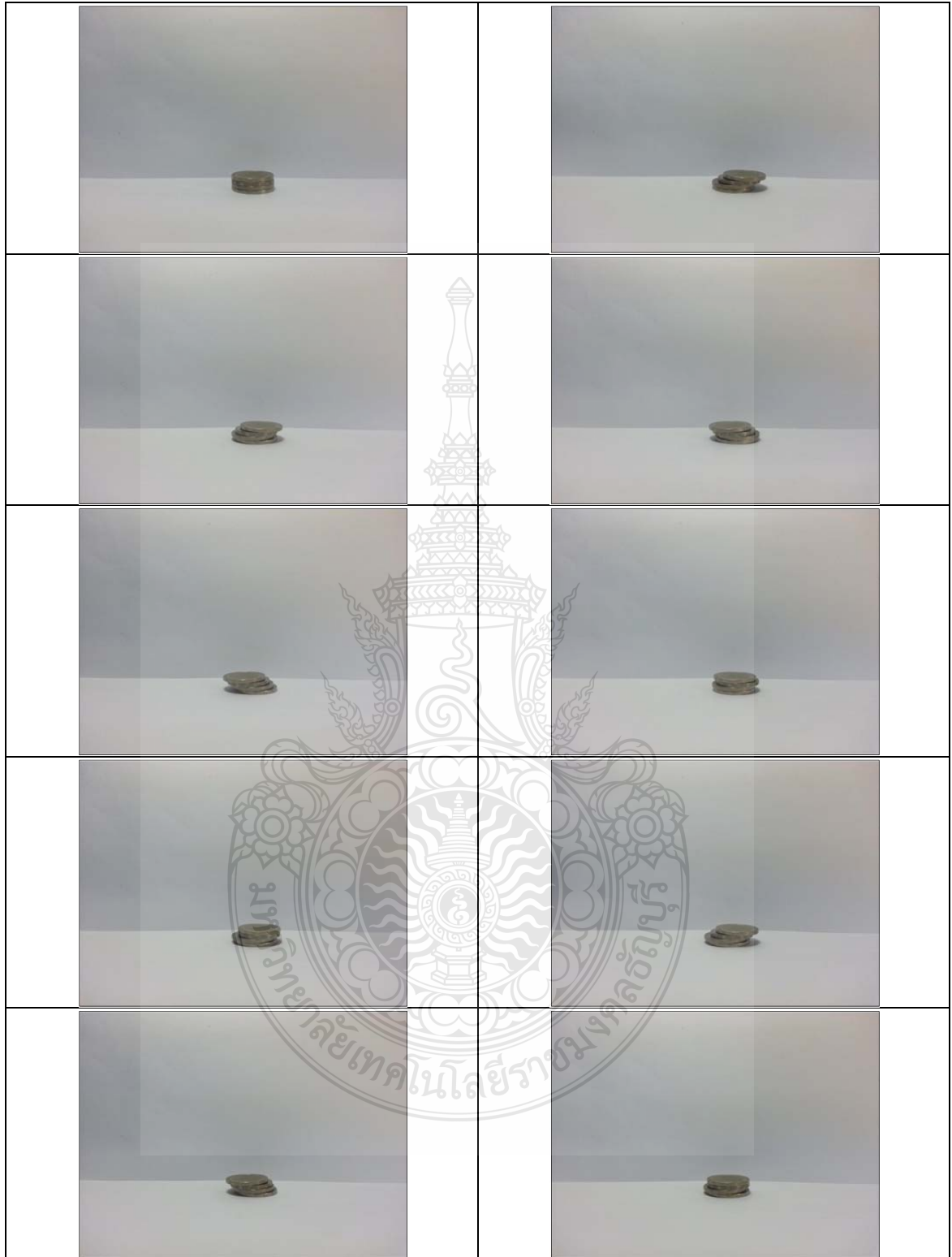




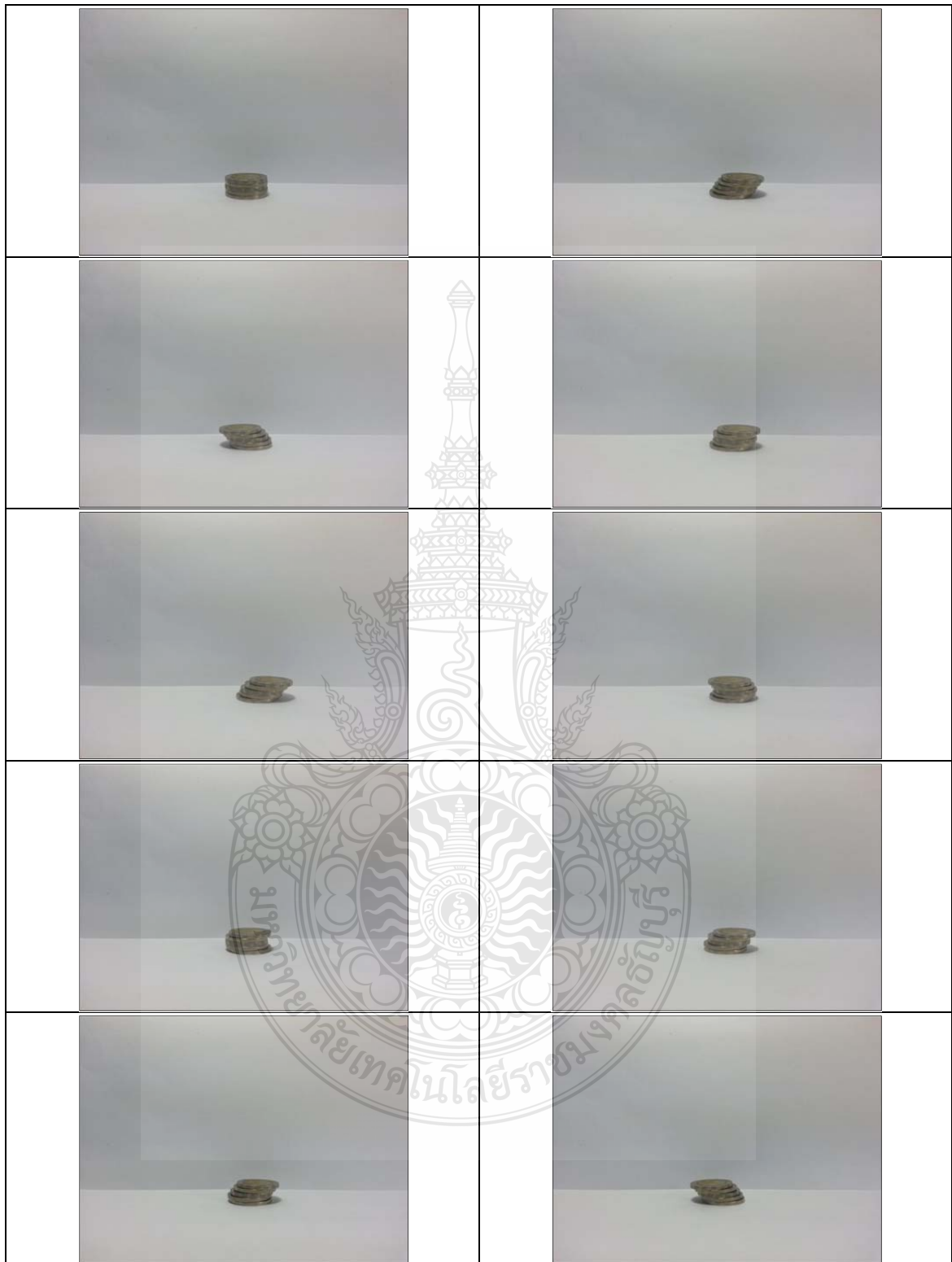
รูปที่ ก.1 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกองจำนวน 2 เหรียญ



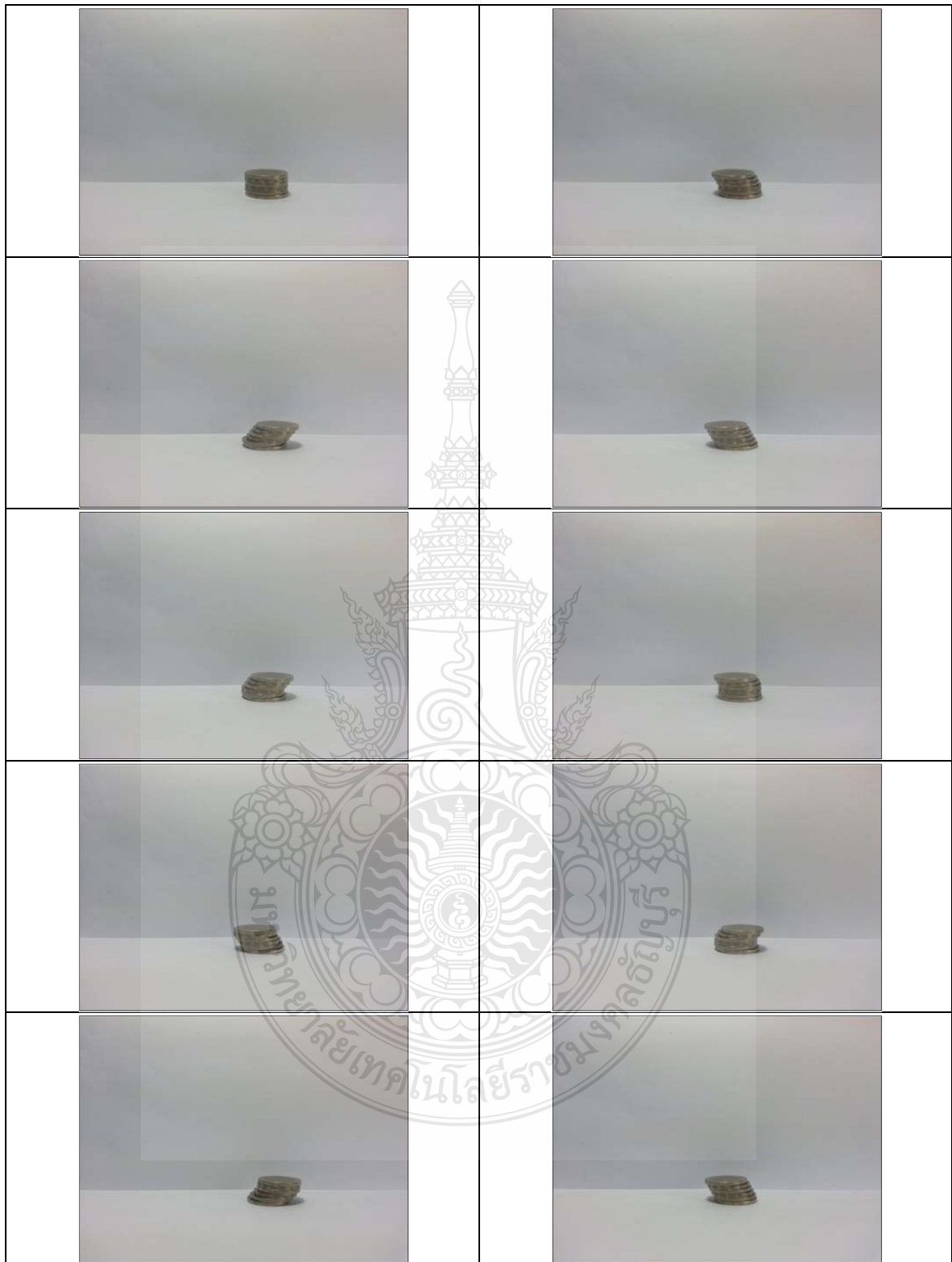
รูปที่ ก.2 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 3 เหรียญ



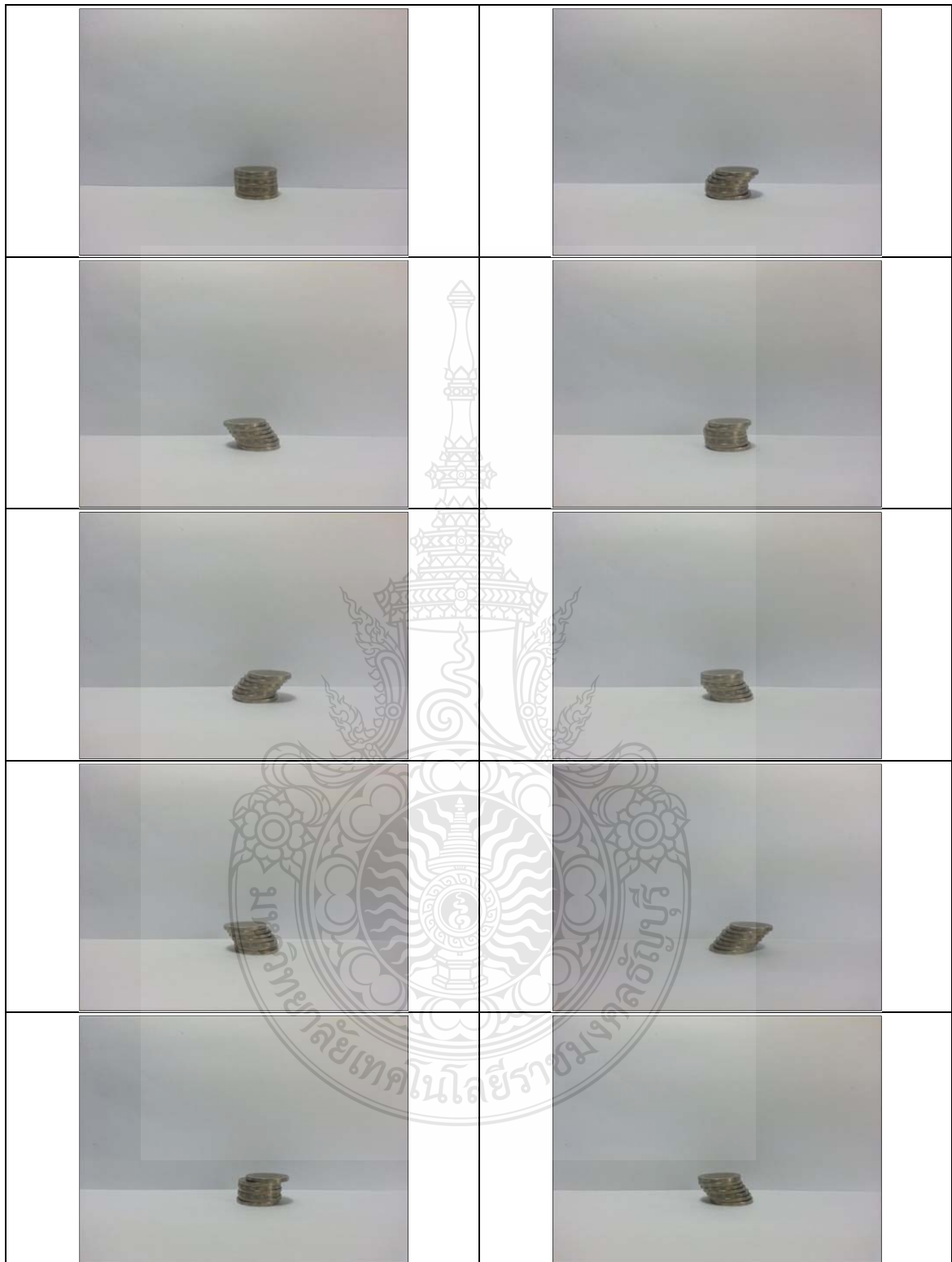
รูปที่ ก.3 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 4 เหรียญ



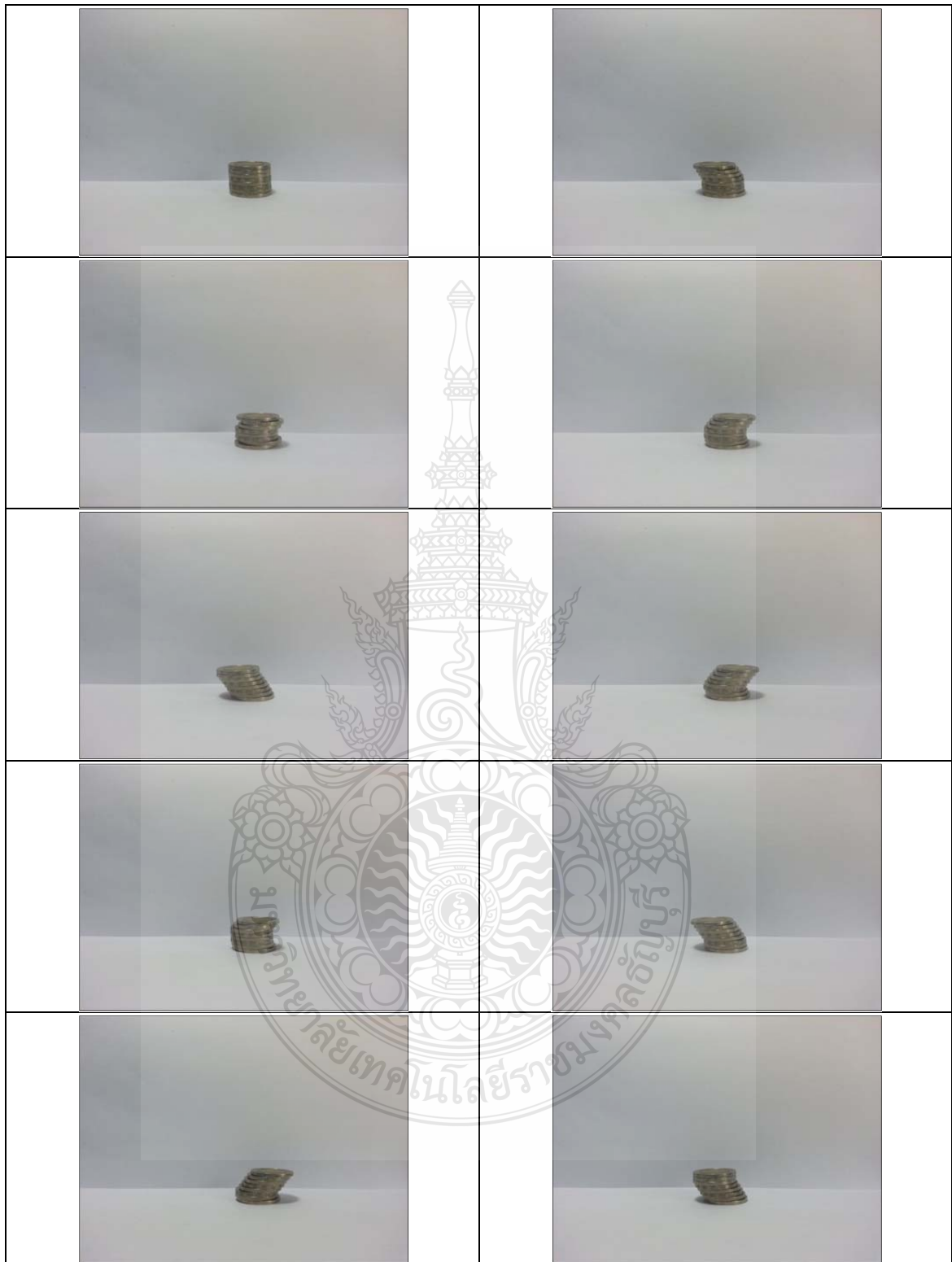
รูปที่ ก.4 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 5 เหรียญ



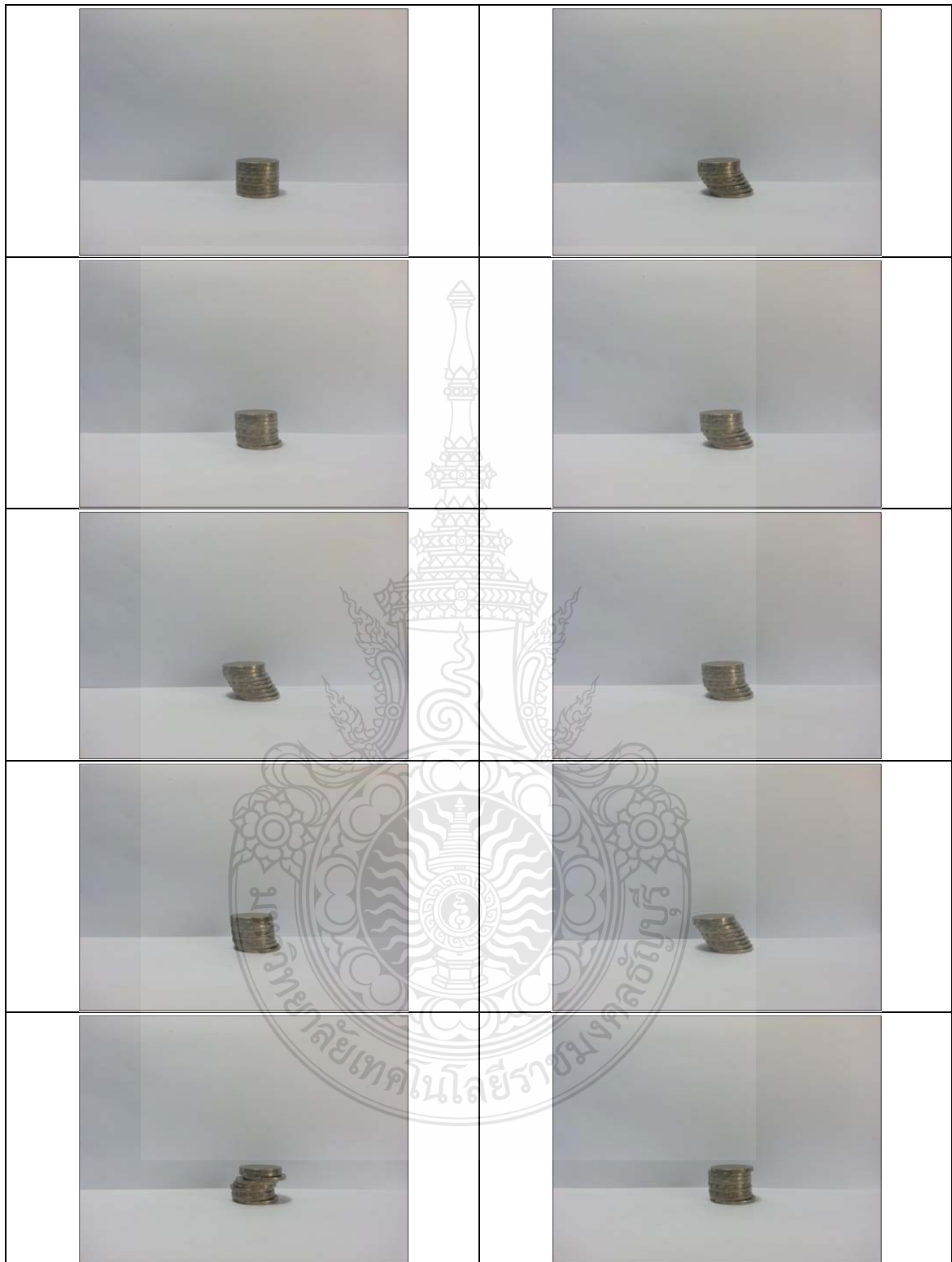
รูปที่ ก.5 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 6 เหรียญ



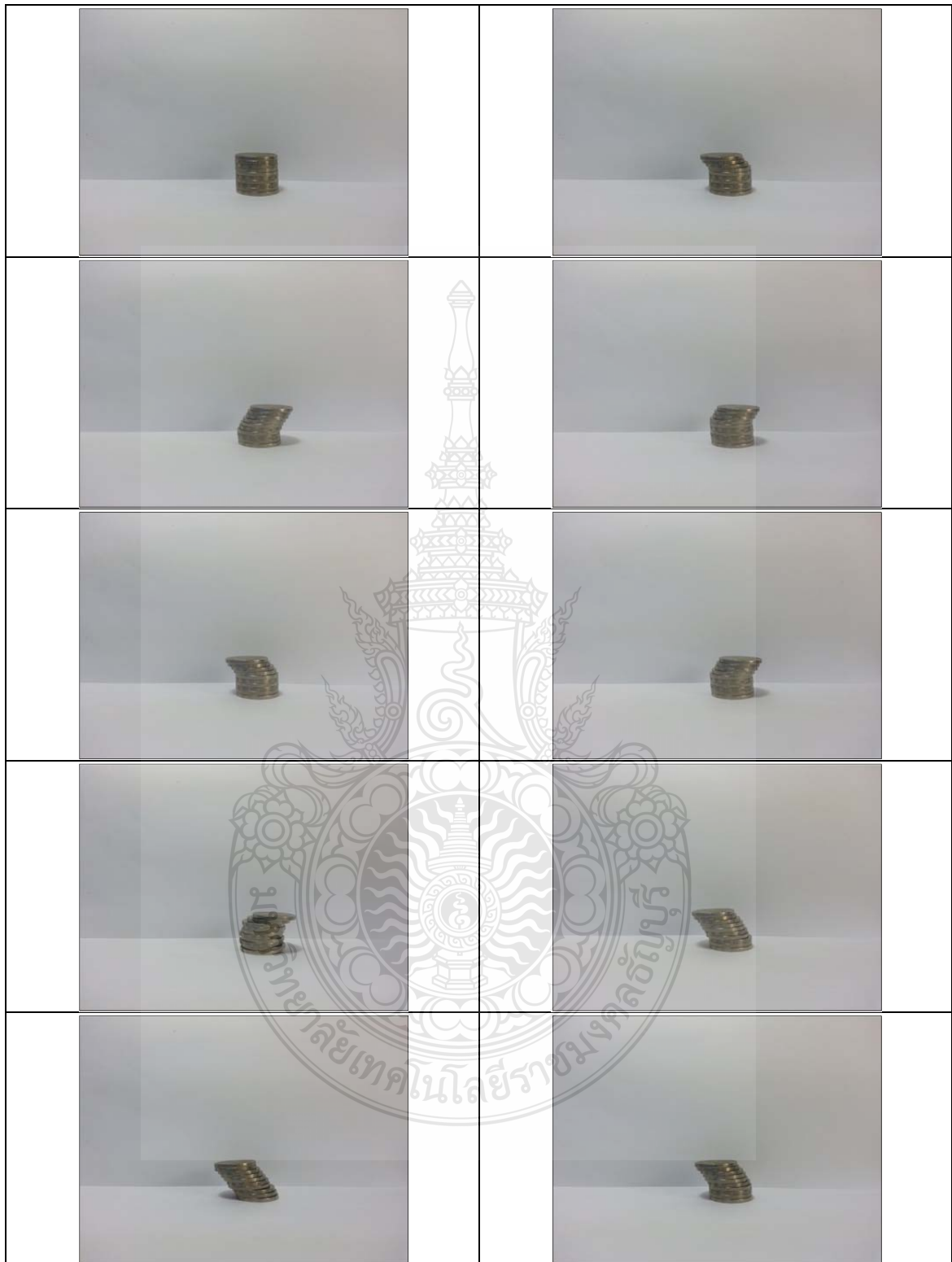
รูปที่ ก.6 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 7 เหรียญ



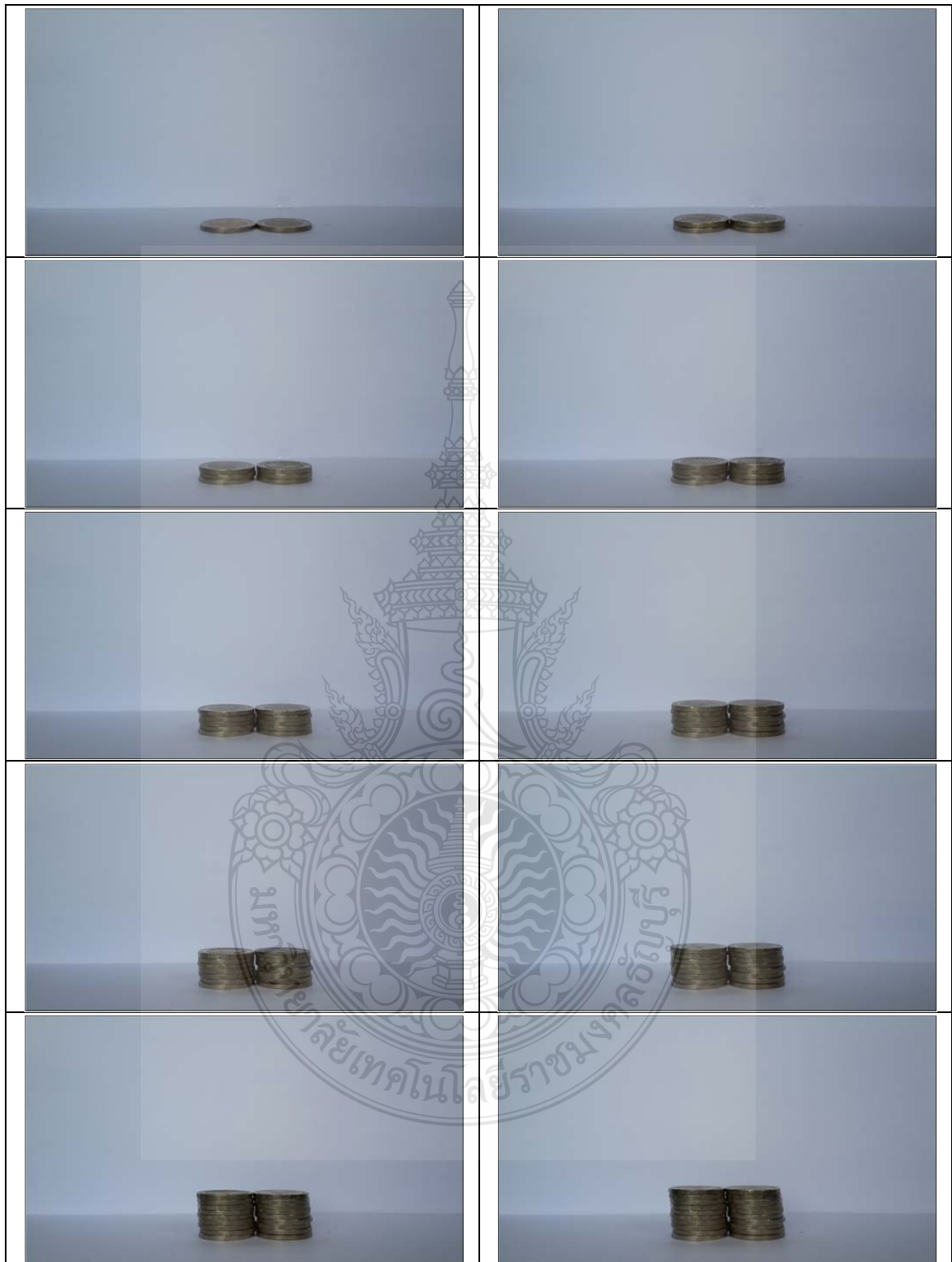
รูปที่ ก.7 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 8 เหรียญ



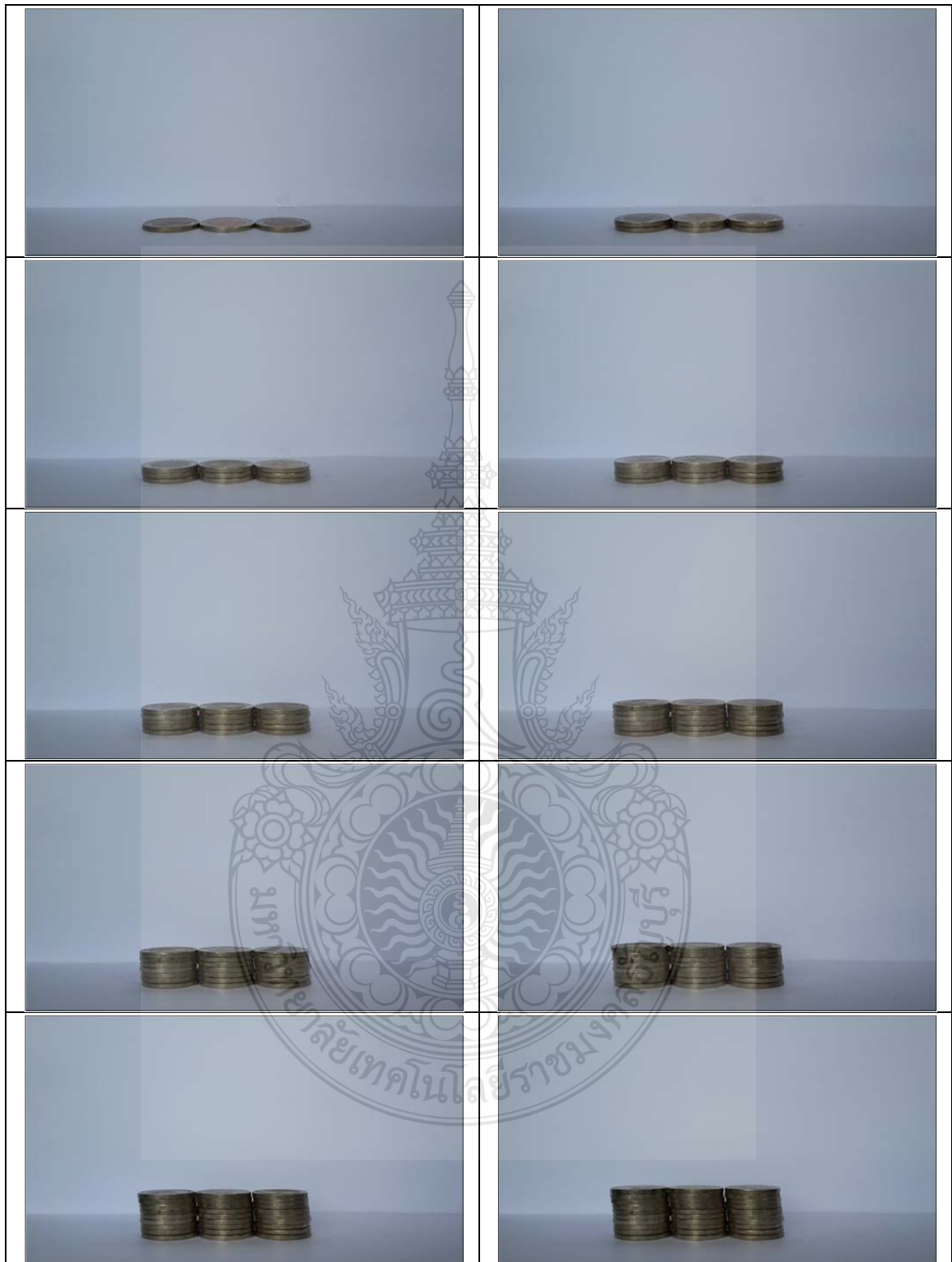
รูปที่ ก.8 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 9 เหรียญ



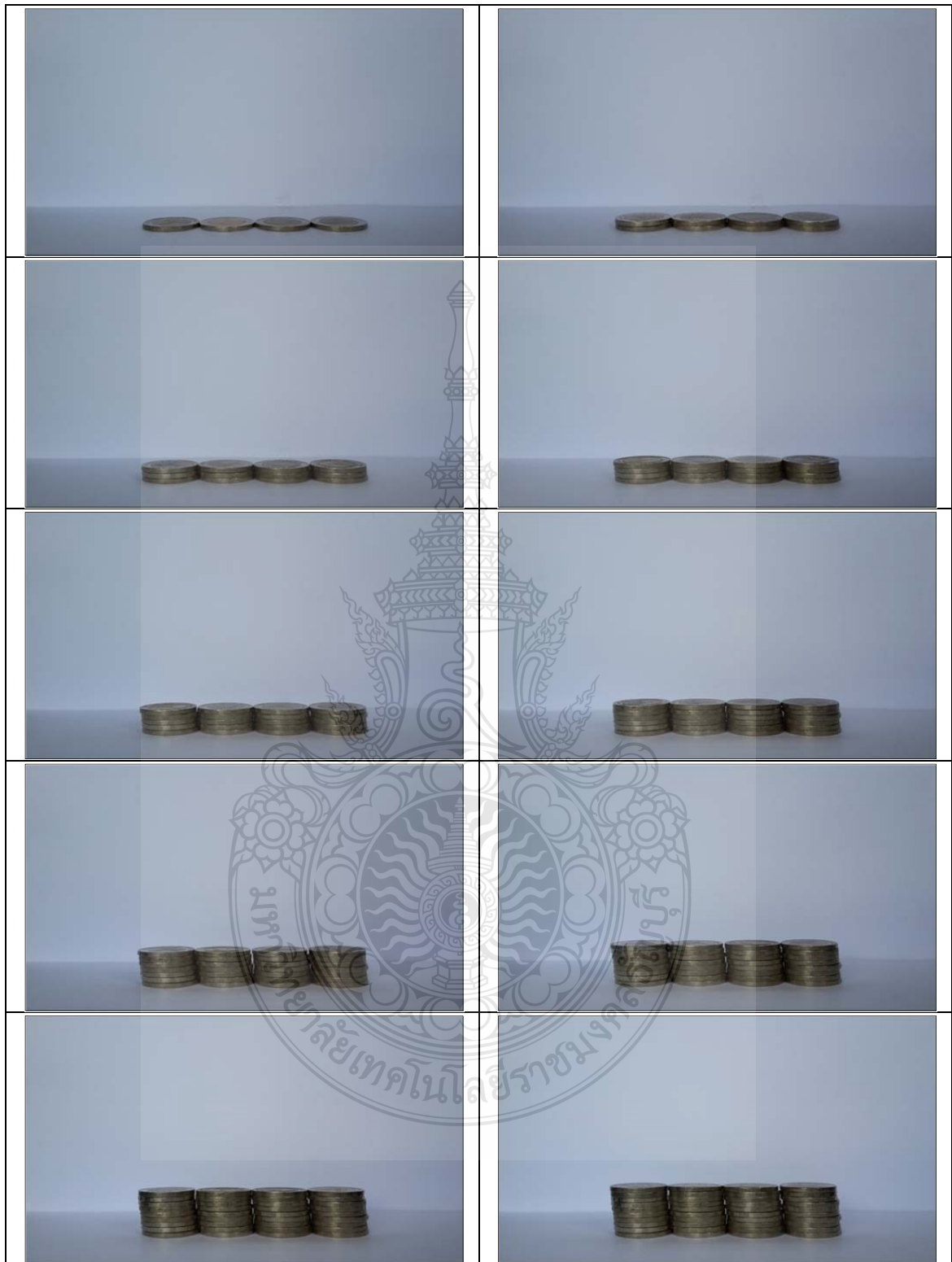
รูปที่ ก.9 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวนแบบหนึ่งกอง จำนวน 10 เหรียญ



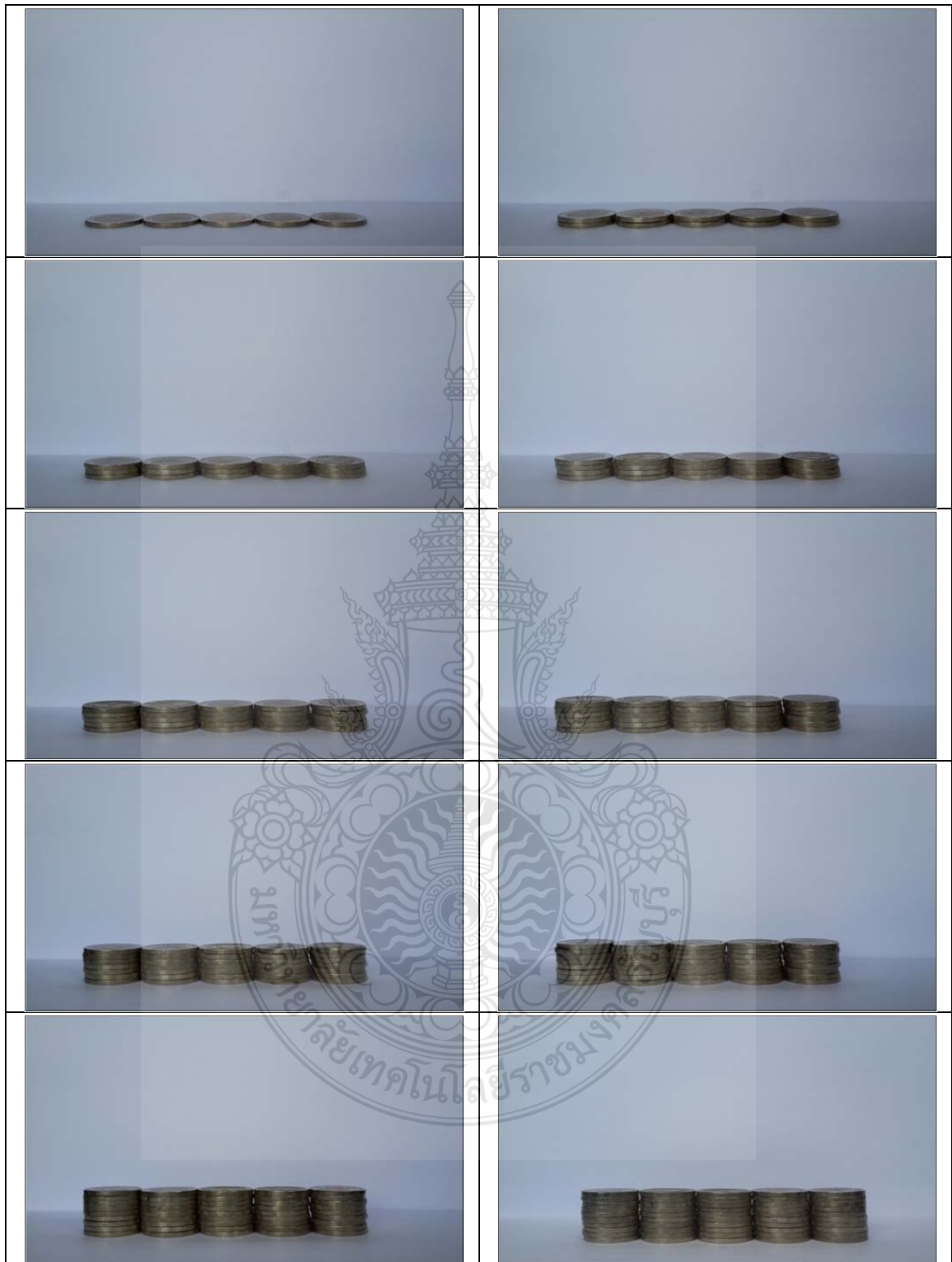
รูปที่ ก.10 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 2 กอง



รูปที่ ก.11 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 3 กอง



รูปที่ ก.12 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 4 กอง



รูปที่ ก.13 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 5 กอง



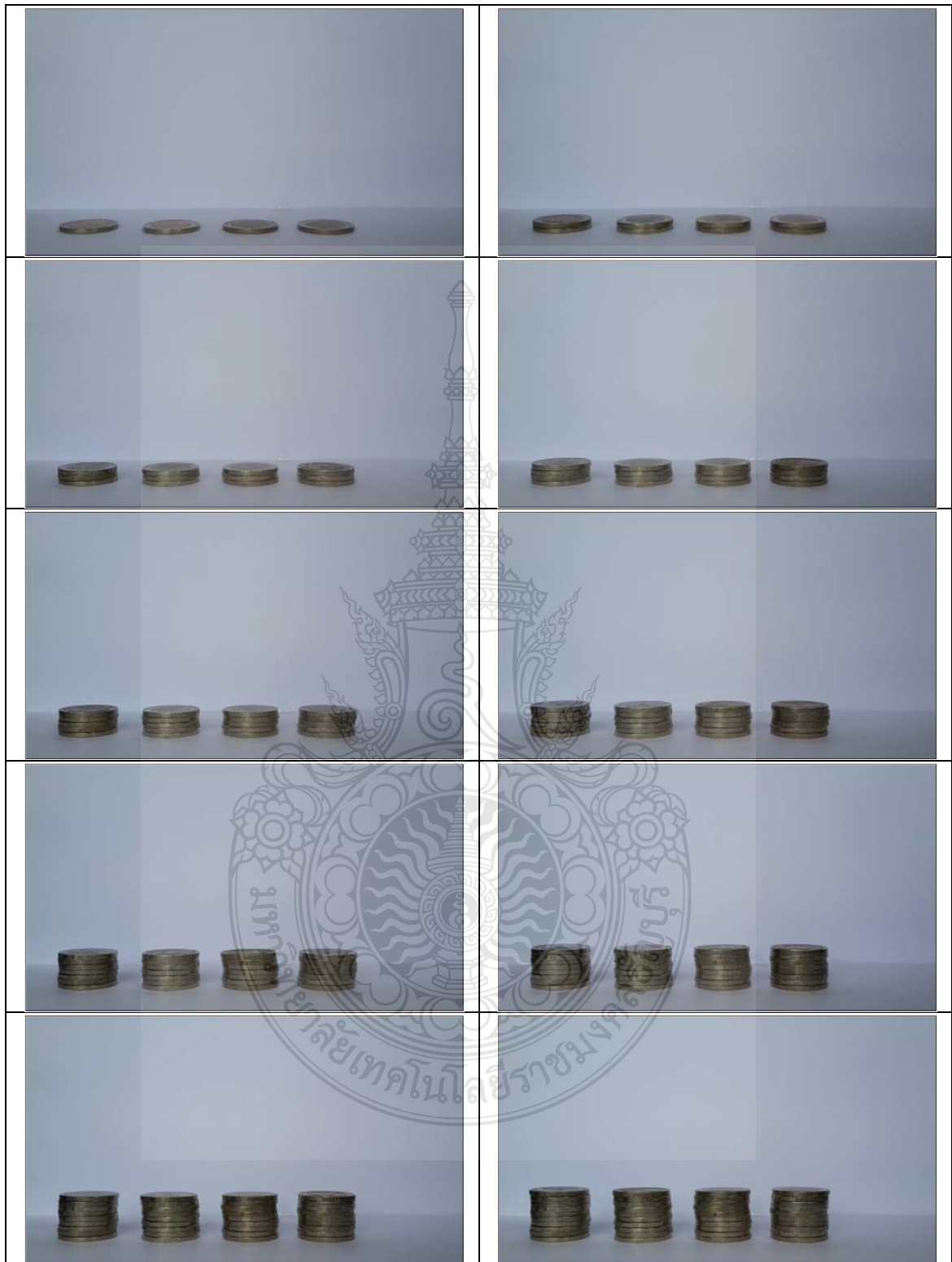
รูปที่ ก.14 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน



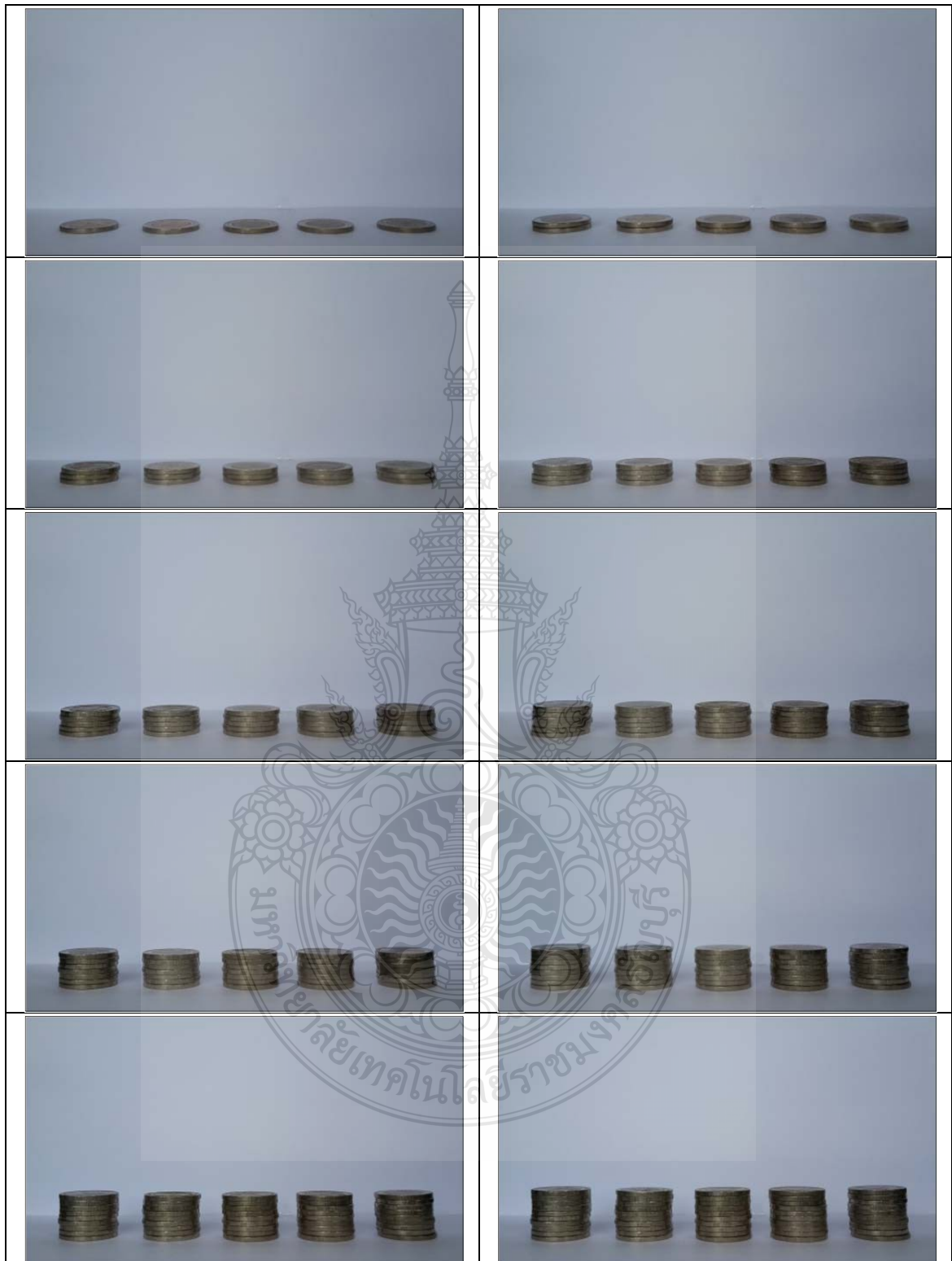
รูปที่ ก.15 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 2 กอง



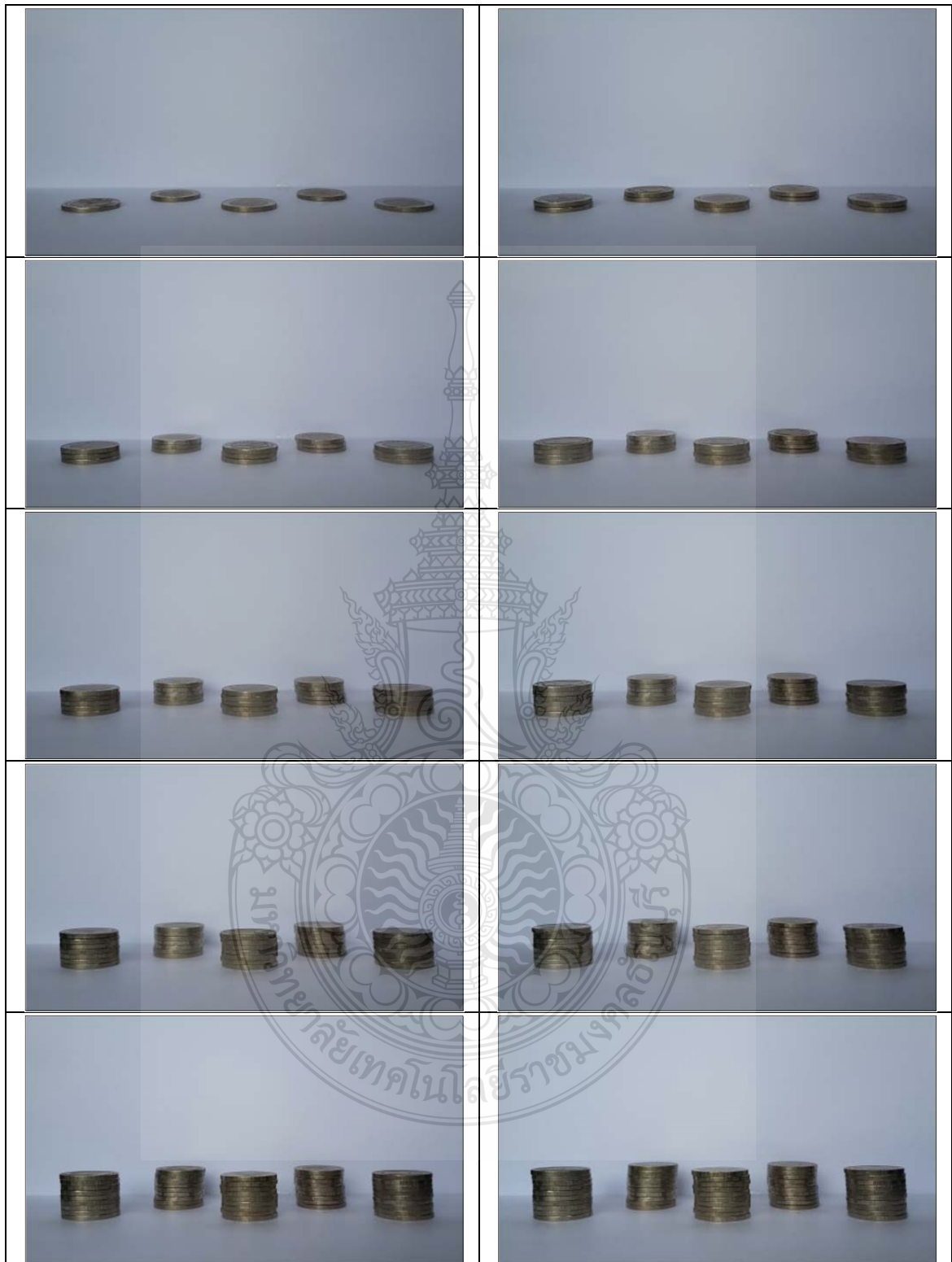
รูปที่ ก.16 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 3 กอง



รูปที่ ก.17 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 4 กอง



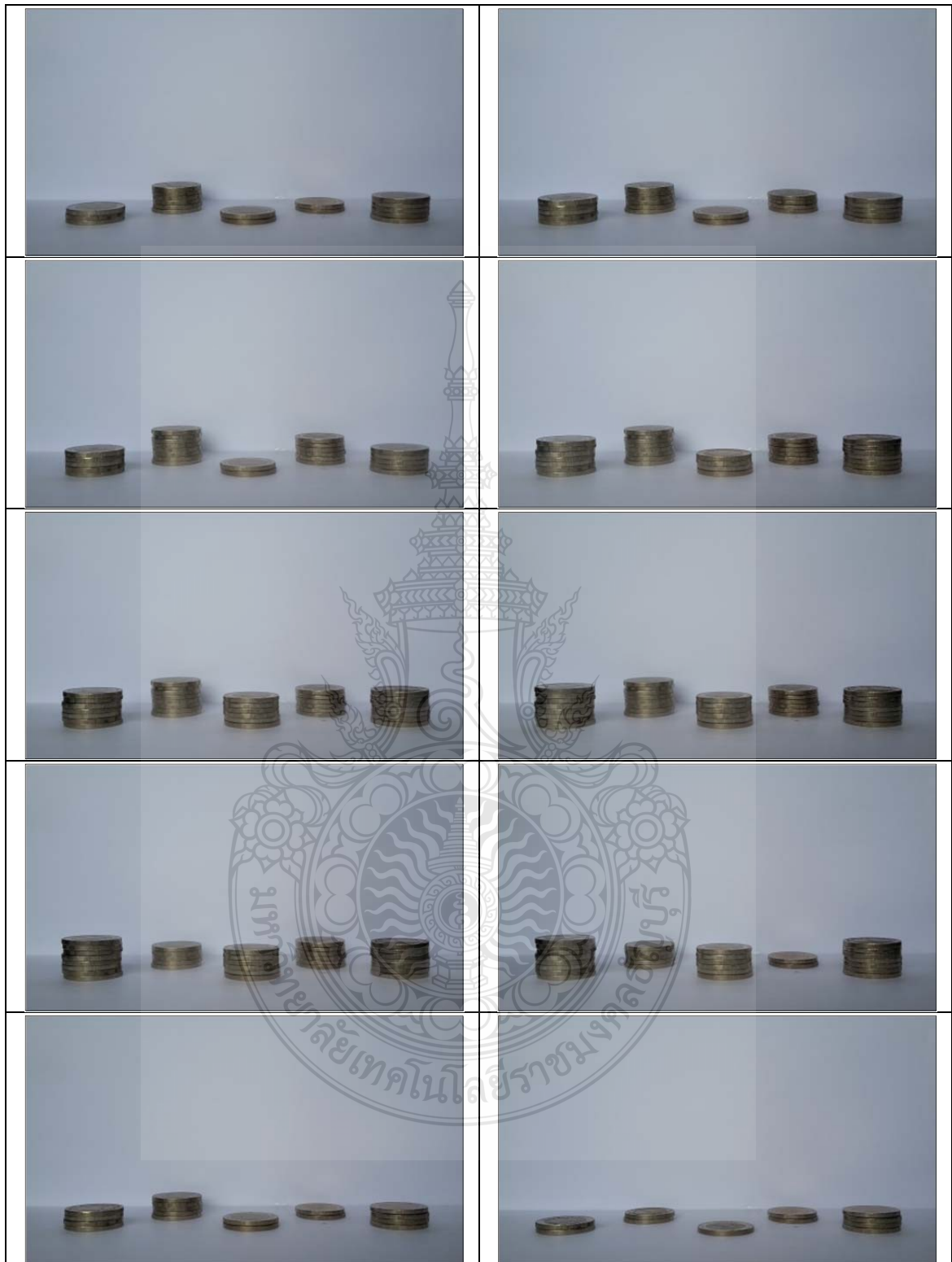
รูปที่ ก.18 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสเท่ากัน จำนวน 5 กอง



รูปที่ ก.19 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองไม่ติดกัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน



รูปที่ ก.20 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสเท่ากัน



รูปที่ ก.21 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองไม่เท่ากัน ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน



รูปที่ ก.22 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองเท่ากันเนี้ยว ระยะโฟกัสเท่ากัน



รูปที่ ก.23 ภาพที่ใช้ในการทดสอบนับจำนวน กองเท่ากันเนี่ยว ระยะโฟกัสไม่เท่ากัน



ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] นพดลย์ อิชฎาธิคม และ จักรี ศรีนนท์นัฏ. “การนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อนโดยใช้การกรองภาพ”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 (Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)). 26-28 มีนาคม 2557, ระเบียบ: หน้า 881-884.
- [2] Noppadon Itsadatikom and Jakkree Srinonchat. “Enhancement Machine Vision for Object Counter”, 2015 3rd International Conference on Electronics Engineering and Technology (ICEET 2015), April 2-3, 2015, Phuket, Thailand.





การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **ครั้งที่ ๖**

6th Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference
นวัตกรรมวิจัยแห่งเทคโนโลยี ตอบสนองเออีซีด้านโครงข่ายพลังงาน
Technology Research Innovation for Responding
to the Energy Network of AEC

Volume II

- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)



๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗

ณ มารีไทม์ ปาร์คแอนสปาร์ตอร์ท จังหวัดกระบี่



ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาบทความ

| | |
|---|--|
| รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิมเรศ | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ | มหาวิทยาลัยศรีปทุม |
| รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพาน โท | สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน |
| รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ธัญญศิริวัฒน์ | สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน |
| รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมพรธรรมากุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.ภาพงษ์ เกิดชื่น | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.สมพันธ์ อ้าพาวิน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัญญาจินดาเพชร | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัชกรณ์ อารีย์กุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิศักดิ์พิชญ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย ทิระญูโรตม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีรินทร์จักร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวารี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเริง ฮินท่าไม้ | มหาวิทยาลัยศรีปทุม |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ จารุมิตร | สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ครอบกิจศิริ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุลมเลขกะ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สาละรังค์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักดิ์วัฒน์ จันทร์ศิริ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตวิทย์ บัวใหญ่ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ ศรีสัจดิ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรธพล ป้อมสัจดิ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เดชธรรมรงค์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำบ้าน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำแสน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินทะ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา อินองกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ทองเล็ก | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาคยา คล้ายเรือ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสทรโยม | มหาวิทยาลัยสยาม |

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | |
|--|---------------------------------------|
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาวิตรี ตัญญาบุษ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธวัชชัย ทางรัตน์สุวรรณ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย แดงแอม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทอง ลานธารทอง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ คารพพงษ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรารัฐ ทองกุลภัทร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล เรื่องพัฒนาวิวัฒน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี กรุดพันธ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ พงษ์พฤกษ์ธาตุ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมคิด สีลาชนะชัยพงษ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์ ดร. วรฤทธิ์ วิชกุล | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| อาจารย์ ดร. ณัฐภัทร์ พันธุ์คง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร. จิตรชัย สุภพิทักษ์สกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร. พงศยอน นันทนาวงศา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร. ศิริชัย เติรมลันเลิศ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร. กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร. วิเชียร อุบลแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร. สุริยา แก้วอาษา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. กฤษดา สมสัย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. พรเทพ ปัญญาแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. พิชัย อยู่ปี่สำ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. เมธา ทิศกร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. นำพน พิพัฒน์ไพบูรณ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. สัมพรจันท์ ทองแดง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. เสกสรร พลสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| อาจารย์ ดร. ฌีวู โขติ รักไทยเจริญชีพ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์ ดร. ฌีวู พงศ์ พันธนะ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์ ดร. พนา คูสิติการ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ เดชฟุ้ง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์ ดร. พิชัย สุวรรณภิงคาร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์ ดร. ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทวีพย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์ ดร. อุมรินทร์ แสงพานิช | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| อาจารย์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | |
|--------------------------------------|---|
| อาจารย์ ดร.ศรีสุภา ไชยทองสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์ ดร.สมพร ศรีวัฒนพล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร.พินิจ ศิริธร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร.วรรณวิทย์ วงศ์ไครรัตน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร.มงคล คูพิมาย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร.ประสพโชค โททองคำ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์ ดร.มนตรี สมดุลยภรณ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เซยชื่น | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ ทิพจร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.วิฑูรย์ พรหมมี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.นพพร พืชประทีป | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.ชาญฤทธิ์ กาญจนพิบูลย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ เคลือบวัง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.ยุพดี หัตถลีน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.ขวัญชัย เอื้อวิธานกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.สุนงศ โดโพบูลย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.อนนท์ นำอิน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.จตุรฤทธิ์ ทองปรอน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ สมศักดิ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| อาจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อาจารย์ ดร.สายชล ชูดีเจือจิน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อาจารย์ ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์ ดร.ปฏิมากร จันทร์พรม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์ ดร.ชยานันท์ บุญสนิท | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| ดร.สุวิทย์ อัจริยะเมต | สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย |
| ดร.อรรถ พยอมหอม | การไฟฟ้านครหลวง |
| อาจารย์พินิจ จิตจริง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์นิติพงศ์ ปานกลาง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์ภัทรพงศ์ อัญชันภาติ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก |
| อาจารย์สมยศ สันติมาลัย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก |
| อาจารย์วุฒิไกร จันทร์จามเรียน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก |
| อาจารย์ตะวัน ชูนอาสา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์มนัส บุญเกียรติทอง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์สาคร วุฒิพัฒน์พันธ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | |
|--------------------------------|---|
| อาจารย์พูนศรี วรรณการ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์เวรินทร์ ธีญสิประเสริฐ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์จรงค์ จรุงเชิดชัยสกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์อดิศักดิ์ วิทยกรรม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์ธนารัตน์ คັນมณีประเสริฐ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์อานนท์ สิงห์เสถียร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์อภิษฎา ทองรักษ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์นิลมิต นิลาศ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| อาจารย์พัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์มาลีลา คังจิตเจษฎา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์ธานี สมวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์ปฎิวัติ บุญมา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์อานนท์ พ่วงชิงงม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์วิสุทธิ์ คันทิวงศ์เรือง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| อาจารย์ชูศักดิ์ กมลขันติธร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อาจารย์บุญช่วย เจริญผล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อาจารย์เอกพล อนุสุเรนทร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อาจารย์วินัย เมธาวีทิต | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |
| อาจารย์มงคล ตานบำรุงพระกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน |
| อาจารย์อดิศักดิ์ แข็งสารกิจ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์โสภา แจ่มแจ้ง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์ศิวพล จำเริญกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์กาญจน์บุษยา พานิชเจริญ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์ปกรณ์ ทัฬไพบระ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์ชาญยุทธ อุปายโกศล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์พีรวัฒน์ มีสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| อาจารย์อากาศพล มหาวิทยาลัย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน |
| อาจารย์นิกร แสงงาม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| อาจารย์คนใจ ปานทองคำ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์อัมพร บุญราม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์พิทักษ์ สติธรรมธนะ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์กิติ มีนา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์ชัชชัย สัตยรักษ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์ธีรพงษ์ ฉิมเพชร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์ภราดร เรืองกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| อาจารย์สาธิต ละอองโชค | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |

| บทความสาขาระบบควบคุมและการวัด (CT) | | หน้า |
|---|---|------|
| CT-B | | |
| CT12 | การพัฒนา Redundant Bus Library สำหรับ Arduino เพื่อเพิ่มความคงทนให้กับระบบควบคุม 'ฉานัน หายมรงค์' 'เรืองยศ เกตุรักษา' 'สัญญา สมัยมาก' 'วิทยา ทิพย์สุวรรณพร' 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์' 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' | 861 |
| CT13 | การประมาณค่าแรงกักโดยใช้กระแสมอเตอร์แทนด้วยตัวส่งเกด อติศักดิ์ แข็งสารกิจ เรืองชาย สมประชา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ | 865 |
| บทความสาขาระประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS) | | |
| DS-A | | |
| DS01 | การหาพื้นที่พีวีซีสเตอริโอด้วยการกรองแบบมอร์โฟโลยี 'สุพรรณิ ศรีนิมาศ' 'สุภาวณิ กรสิงห์' 'จักรี ศรีนนท์ฉัตร' 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี' 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน' | 869 |
| DS02 | การปรับปรุงคุณภาพของภาพดิจิทัลโดยวิธีการปรับเท่าสีสโตแกรมออกเป็นสองส่วนผ่านทางเวฟเล็ต ทวีศักดิ์ ตรงศิริกุล ฉัฐพงษ์ พันธนะ ชลกายุจน์ วงศ์ก่อทรัพย์ พรอุทธร เขาวศวี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | 873 |
| DS03 | การแยกแยะใบหน้าด้วยวิธี PCA และ SFAM กฤษฎา ทาสันเทียะ ประชวบ อินระ วงศ์ วุฒิชัย สว่างาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน | 877 |
| DS04 | การนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อนโดยใช้การกรองภาพ นพคลีย์ อินภูวณิกม จักรี ศรีนนท์ฉัตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | 881 |
| DS05 | อัลกอริทึมสำหรับการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาว 'ไชยชรัตน์ อุทธิเย็น' 'สุชาติ แยมเม่น' 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา' 'มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ' | 885 |
| DS06 | การสร้างรหัสลับด้วยสถิติชีวภาพ กิริติ อินทวิเศษ นราธร สังข์ประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย | 889 |
| DS07 | การปรับแต่งสัญญาณในโดเมนความถี่แบบปรับตัวได้สำหรับระบบเอฟดีเอ็มเอชเอ็นคสอินพาร์ตเดียว 'อภิษฎา ทองรักษ์' 'สุชาคา สิทธิจงสภาพ' 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร' 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร' | 893 |

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

การนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อนโดยใช้การกรองภาพ

An Coincide Object Counting Using Image Filters

นพพลย์ อธิภูษิตม และ จักรวี ศรีนนท์ฉัตร¹

^{1,2}ห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02-549-3588 Email: jalkree1@en.nmutt.ac.th, thailand_doo@hotmail.com

บทคัดย่อ

การประมวลผลภาพได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน บทความนี้นำเสนอการนับจำนวนของวัตถุที่ทับซ้อนโดยใช้การกรองภาพ จากภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ จำนวน 200 ภาพ ผ่านกระบวนการกรองภาพ ที่เปรียบเทียบกับฟิลเตอร์ 3 รูปแบบ คือ Motion, Laplacian และ Average จากนั้นใช้เทคนิคการหาขอบภาพแบบ Canny เพิ่มความคมชัดของขอบเหรียญ ผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นแล้วว่าฟิลเตอร์แบบ Motion มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยสามารถแสดงจำนวนเหรียญที่วางซ้อนกันได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ และเทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ประยุกต์กับการหาขนาดของวัตถุหรือการนับจำนวนวัตถุที่วางทับซ้อน มากกว่า 1 กลุ่มวัตถุในภาพ

คำสำคัญ: การนับจำนวนวัตถุ, การกรองภาพ, การหาขอบภาพ

Abstract

The image Processing is recently applied to industrial area especially in coincide object counting. This article present a coincide object counting using image filters. The 200 images of 10 both coin image from 1 – 10 coins are used to be an input experiment. The input is pass through the image filter: which are compared of three filters, Motion, Laplacian and Average. The Canny technique is then applied to find and increase the edge of object. The result: show that the motion filters provides the best efficiency. It provides 100% accuracy of the coincide object. Furthermore, this technique can be apply to search the size of coincide object or counting the coincide object which includes more than 2 groups of object in one image

Keywords: counting object, image filter, edging image.

1. บทนำ

ในปัจจุบันงานวิจัยทางด้านการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุและหาขนาดของวัตถุ (การนับจำนวนวัตถุ) เป็นที่นำมาใช้ในการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นในวิจัยของ [1] ได้นำเสนอการนับจำนวนของคนโดยใช้การนับจำนวนบนพื้นฐานอัลกอริทึม Expectation Maximization งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการหาลักษณะเด่นใน Kanade-Lucas-Tomasi ซึ่งผลการทดลองพบว่า Kanade-Lucas-Tomasi ที่ถูกพัฒนาในการจัดกลุ่ม มีการนับจำนวนคนและการค้นหาตำแหน่งของคนดีกว่าการหาลักษณะเด่นของ Gaussian ในงานวิจัยของ [2] ได้นำเสนอการตรวจหาวัตถุโดยการสร้างกรอบครอบวัตถุที่อยู่ด้านบนในภาพถ่ายดิจิทัล 2D โดยใช้ภาพถ่ายผลแอปเปิ้ล ภาพตัวอย่างใช้แอปเปิ้ล 3-8 ผล/ภาพ จัดวางในลักษณะต่างๆ การทดลองนี้ใช้เทคนิคการหาขอบภาพของวัตถุ แล้วทำการตรวจจับขอบวัตถุที่มีความสมบูรณ์ของขอบภาพ จากนั้นทำการสร้างกรอบครอบวัตถุที่อยู่บนสุด ผลลัพธ์แสดงให้เห็นความถูกต้องที่ 80 % งานวิจัยของ [3] ได้นำเสนอการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์โดยใช้เทคนิคมอร์ฟโอโลยีแบบทอปลิง โดยแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทากรองภาพด้วย มอร์ฟโอโลยีแบบ Top-hat ตามด้วย Closing แล้วนำภาพที่ได้จาก Top-hat ที่ผ่านการ Closing และ Top-hat มาทำการหาค่าความไม่ต่อเนื่องเพื่อหาความไม่สมบูรณ์ของแสงและลดสัญญาณรบกวน จากนั้นหาขอบด้วยวิธี Canny และเติมพื้นที่ในช่องว่างเพื่อระบุตำแหน่ง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นความถูกต้องที่ 97 % และวิจัยของ [4] ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการนับจำนวนยานพาหนะ จากภาพถ่ายวิดีโอ โดยวิธีการจัดกลุ่มแยกเป็นเส้นทางที่วิ่งไปในแนวทางเดียวกัน บนเส้นทางแต่ละแยก ใช้อัลกอริทึม Hungarian เชื่อมโยงเส้นทางการจราจรเข้าด้วยกัน

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนวัตถุที่วางเรียงซ้อนกัน โดยใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท ในการทดลอง ใช้การกรองภาพ และหาขอบภาพแบบ Canny ซึ่งมีการออกแบบและขั้นตอนในหัวข้อที่ 3 ของงานวิจัย ผลการทดลองแสดงในส่วนที่ 4 ของงานวิจัย และผลสรุปการทดลองจะอยู่ในส่วนที่ 5 ตามลำดับ

26-28 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยปาร์คแอนสเปิร์ตส์ จังหวัดกระบี่

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

2. การประมวลผลภาพ

2.1 การแปลงภาพระดับสีเทา

การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทาที่มีค่าของความสว่าง ไม่มีค่าของสี เป็นภาพที่มีความแตกต่างของระดับความเข้มแสง โดยมีค่าระดับสีในแต่ละพิกเซล 256 ระดับ คือ ค่า 0 ถึง 255 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา ดังสมการที่ (1)

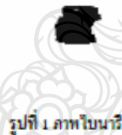
$$G(x,y)=0.2989R(x,y)+0.5870G(x,y)+0.1140B(x,y) \quad (1)$$

เมื่อ $G(x,y)$ คือ ค่าระดับสีเทาที่ได้จากการแปลงที่พิกเซล (x,y)

$R(x,y), G(x,y), B(x,y)$ คือ ค่าระดับ R, G, B ของภาพสีที่พิกเซล (x,y)

2.2 การแปลงภาพไบนารี

ภาพที่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำเป็นหลัก ในทางดิจิทัล หมายความว่าไม่มีเพียง 2 สถานะ คือ 0 และ 1 ถ้าพิกเซลใดมีค่าเป็น 0 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีดำ พิกเซลใดมีค่าเป็น 1 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีขาว ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพไบนารี

2.3 การกรองภาพ (Image Filtering)

2.3.1 การกรองภาพแบบ Motion

สำหรับวิธีการคอนโวลูชัน (Convolution) ซึ่งเป็นกระบวนการที่กันระหว่างเทมเพลต (Template) กับภาพ (Image) เทมเพลต คือ เมทริกซ์ขนาด $M \times N$ ของชุดตัวเลขที่จะใช้ในการหาลักษณะของคอนโวลูชัน ได้ดังสมการที่ (2) โดยใช้ตัวกรองแบบ Motion ซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงการเคลื่อนไหวจริงต้นของพิกเซล

$$\hat{I}(X,Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(x,y)I(X-i,Y-j) \quad (2)$$

โดย $\hat{I}(X,Y)$ แทน ภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชันกับภาพ $T(x,y)$ แทน เทมเพลต

จากสมการจะเห็นว่าระดับความเข้มแสง ณ จุด (x,y) ในภาพ ผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณที่เทมเพลตทับอยู่ จากสมการตัวชี้ตำแหน่งจุดในภาพ $(X-i,Y-j)$ แสดงให้เห็นว่ามีการพลิกเทมเพลตทางแกนอนและแกนตั้ง

2.3.2 การกรองภาพแบบ Average

ตัวกรองค่าเฉลี่ย เป็นกระบวนการประมวลผลภาพโดยการใช้ตัวกรอง (filter mask) ทำการกวาดไล่ไปบนภาพ ซึ่งแนวคิดของการทำตัวกรองค่าเฉลี่ย คือการแทนค่าความเข้มในแต่ละจุดภาพ ด้วยค่าเฉลี่ยความเข้มของจุดภาพรอบๆจุดศูนย์กลาง รวมถึงค่าความเข้มของจุดศูนย์กลางที่อยู่ในตัวกรองที่กำหนดด้วย ผลจากการทำตัวกรองค่าเฉลี่ยจะทำให้ได้ภาพที่ไมคมชัด (blurred) หรือลดสิ่งรบกวน (noise reduction)

2.3.3 การกรองภาพแบบ Laplacian

การวัดความชัดจะพัฒนาบนพื้นฐานงานของ S. Nayar ซึ่งเป็นการวัดแบบ SML [5] วิธีคือการหาผลรวมของการแปลง Modified Laplacian โดยการแปลงนั้นจะทำ การ Convolution ภาพกับ Mask ในแนวกแกน X และแนวกแกน Y

$$\phi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} \Delta_m I(i,j) \quad (3)$$

สมการที่ 3 แสดงการหาผลรวมของการแปลง Modified Laplacian ส่วน Δ_m คือการแปลง Modified Laplacian หาได้โดย

$$\Delta_m I = |I * L_x| + |I * L_y| \quad (4)$$

สมการที่ 4 เป็นการนำ Convolution ระหว่างภาพกับ Mask ในแนวกแกน X และแนวกแกน Y ส่วน Mask ที่ใช้จะมีค่าดังนี้

$$L_x = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \text{ และ } L_y = L_x^T$$

ที่ตำแหน่งพิกเซลใดๆ $I(x,y)$ จะได้ค่าผลรวมการแปลง Modified Laplacian เป็น $\phi_{x,y}$ ค่านี้จะแปรผันตามความชัดของภาพ ถ้าตำแหน่งใดมีค่ามากก็แสดงว่าตำแหน่งนั้นได้โฟกัสซึ่งมีความชัด

2.4 การหาขอบภาพด้วยวิธีการ canny

การหาขอบของวัตถุด้วยวิธี Canny เป็นขั้นตอนที่ไร้หาขอบของวัตถุที่มีประสิทธิภาพและได้ผลลัพธ์ที่ดีเป็นเส้นขอบที่มีความ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

ต่อเนื่องชัดเจนและเกิดความผิดพลาดน้อย รายละเอียดสามารถดูได้จาก [6]

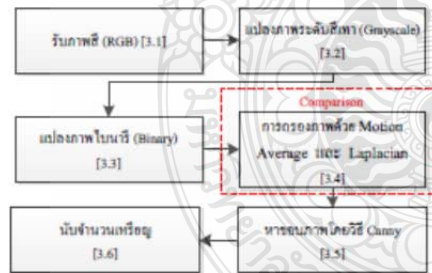
3. การทดลอง

3.1 การเตรียมการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท จำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 10 เหรียญ โดยวางเหรียญในลักษณะที่แตกต่างกัน และตั้งกล้องถ่ายภาพในระยะ 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2 (ก-ง) โดยขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์เป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาทในลักษณะต่างๆ



รูปที่ 3 ขั้นตอนกระบวนการทดลองนับจำนวนเหรียญ

3.2 การแปลงภาพเป็นระดับสีเทา

นำภาพสีต้นฉบับดังรูปที่ 4(ก) มาทำการแปลงเป็นภาพระดับสีเทา ที่มีเฉพาะค่าของความสว่างและไม่มีค่าของสีเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 4(ข)

3.3 การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นไบนารี

นำภาพระดับสีเทาดังรูปที่ 4(ข) ทำการแปลงเป็นภาพระดับไบนารี เป็นภาพที่มีเพียง 2 สถานะ คือ ดำ และ ขาว

3.4 การกรองภาพ

นำภาพไบนารีมาทำการกรองรูปภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion จนครบทุกรูป แล้วเปลี่ยนเป็นฟิลเตอร์ Average และ Laplacian ตามลำดับ เพื่อหาฟิลเตอร์ที่ดีที่สุดของการทดลองนี้ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4(ค)

3.5 การหาขอบภาพ

นำภาพที่ผ่านการกรองภาพ ดังรูปที่ 4(ค) มาหาขอบภาพด้วยเทคนิค Canny เพื่อแสดงขอบภาพให้ชัดเจนขึ้น ผลการทดลองดังรูปที่ 4(ง) จากนั้นเติมพื้นที่ในช่องว่างที่มีลักษณะเป็นรูปปิด เพื่อให้ได้พื้นที่ของบริเวณตำแหน่งเหรียญที่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 4(จ)

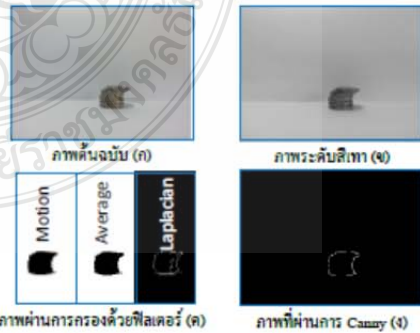
3.6 การนับจำนวนของเหรียญ (Counting)

นำภาพที่ผ่านกระบวนการเติมพื้นที่ในช่องว่างที่มีลักษณะเป็นรูปปิด ดังรูปที่ 4(จ) มาคำนวณหาจำนวนของเหรียญด้วยสมการ (5)

$$N = \frac{\max Position - \min Position}{k} \quad (5)$$

โดยที่ N คือ จำนวนเหรียญ
 $\max Position$ คือ ตำแหน่งที่กเซลสูงสุดของเหรียญ
 $\min Position$ คือ ตำแหน่งที่กเซลต่ำสุดของเหรียญ
 k คือ ค่าคงที่ของแต่ละเหรียญ
 เมื่อคำนวณตามสมการเสร็จสมบูรณ์ จะแสดงผลการนับ

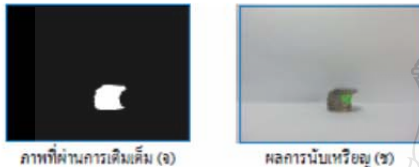
จำนวน ดังรูปที่ 4(ข)



บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)



รูปที่ 4 ภาพผลการทดลอง

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองนำเสนอนับจำนวนเหรียญ 10 บาท ที่มี การวางเรียงซ้อนเหรียญที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 เหรียญ จนถึง 10 เหรียญ จำนวน 200 ภาพ ขนาด 3264x2448 พิกเซล มีผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลที่ได้จากการทดลองและเปรียบเทียบของฟิลเตอร์แบบต่างๆ

| Filter | จำนวนภาพที่ ทดลอง | จำนวนภาพที่ ถูก | เปอร์เซ็นต์ |
|-----------|-------------------|-----------------|-------------|
| Motion | 200 | 200 | 100.0 % |
| Average | 200 | 197 | 98.5 % |
| Laplacian | 200 | 172 | 86.0 % |

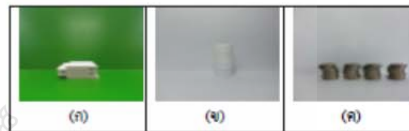
จากผลการทดลองตารางที่ 1 พบว่าการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Motion สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้อง 100 % ส่วนการกรอง ภาพด้วยฟิลเตอร์ Average สามารถนับจำนวนเหรียญได้อย่างถูกต้องที่ 98.5 % และการกรองภาพด้วยฟิลเตอร์ Laplacian สามารถนับจำนวน เหรียญได้อย่างถูกต้อง 86 % จะเห็นได้ว่าฟิลเตอร์ Motion และฟิลเตอร์ Average สามารถคำนวณผลได้อย่างถูกต้องเพราะทั้งสองฟิลเตอร์เป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ โดยใช้วิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) ซึ่งเหมาะกับการทดลองนี้ ส่วนฟิลเตอร์ Laplacian เป็นการกรองสัญญาณความถี่สูง ซึ่งไม่เหมาะกับการทดลองนี้

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอนับจำนวนวัตถุที่วางซ้อนกัน โดยใช้ ภาพถ่ายเหรียญ 10 บาท แปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา แปลงภาพ ระดับสีเทา เป็นภาพไบนารี แล้วผ่านกระบวนการกรองภาพ ที่ เปรียบเทียบฟิลเตอร์ 3 รูปแบบ คือ Motion, Laplacian และ Average เป็น การแปลงภาพที่ได้จากการนำภาพขาว - ดำ เพื่อที่จะทำการกำจัด สิ่งรบกวน (Noise) ออกจากภาพ โดยการกำจัดสิ่งรบกวนนั้นจะเป็นการ ช่วยให้ระบบสามารถที่จะทำการจับขอบภาพได้คมชัดมากยิ่งขึ้น และหา

ขอบภาพด้วยวิธี Canny เดิมพื้นที่ในช่องว่างที่มีลักษณะเป็นรูปปิด เพื่อให้ได้พื้นที่ของบริเวณตำแหน่งเหรียญ

จากการทดลองนี้ พบว่าการกรองภาพที่มีการกรองสัญญาณ ความถี่ต่ำแบบ Motion ให้ผลการทดลองที่ถูกต้องที่สุด เนื่องจากวิธีนี้ใช้ วิธีการปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing) ซึ่งเหมาะสมกับภาพในการ ทดลองนี้และสามารถนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ต่อได้กับกรณีนับจำนวน เหรียญหรือวัตถุอื่นๆ ดังรูปที่ 5 แต่ก็มีข้อจำกัดขนาดของวัตถุที่วางเรียง ซ้อนกันเป็นต้องมีขนาดที่เท่ากัน จึงจะประมวลผลออกมาได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 5 ภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ya-Li Hou, Senior Member and IEEE "People Counting and Human Detection in a Challenging Situation" IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol. 41, no. 1, January 2011, Page 24-33.
- [2] ชวัญจิต ออแก้วหา และจกวี ศรีนนท์จิตร "การตรวจหาวัตถุโดย เทคนิคการจูนอนุสเปซและมอร์โฟโลยี", การประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35, 12-14 ธันวาคม 2555, กทม., 2555, หน้า 853-856.
- [3] Jakkree Srinoochut and Teerapon Yodrot "Enhancement of Multi License Plate Location Technique Using Subtract Morphology Technique" International Conference on Engineering, Applied Science, and Technology 2013, 21-24 August 2013, Bangkok, Thailand.
- [4] Rui Zhao and Xiaogang Wang "Counting Vehicles from Semantic Regions" IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, vol. 14, no. 2, June 2013, Page 1016-1022.
- [5] S. Nayar, Y. Nakagawa, "Shape from focus," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Issue 16, 1994, Page 824-831.
- [6] ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://en.wikipedia.org/wiki/Canny_edge_detector [30 มี.ย 1614 2556]



Welcome to ICEET 2015 ➔

2015 3rd International Conference on Electronics Engineering and Technology (ICEET 2015) will be held in Phuket, Thailand during April 2-3, 2015. The aim objective of ICEET 2015 is to present the latest research and results of scientists (preferred students, PhD Students, and post-doc scientist) related to Electronics Engineering and Technology topics. This conference provides opportunities for the different areas delegates to exchange new ideas and application experiences face to face, to establish business or research relations and to find global partners for future collaboration.

About Publication ➔ [Read More](#)



All accepted papers of ICEET 2015 will be published in the International Journal of Electronics and Electrical Engineering (ISSN: 2301-380X).



*IJEE is indexed by Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, EBSCO, Engineering & Technology Digital

Library, etc.

Some papers will be recommended to International Journal of Computer and Electrical Engineering (IJCEE)



ISSN: 1793-8163
DOI: 10.7783/IJCEE

Abstracting/ Indexing: Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, EBSCO, Engineering & Technology Digital Library, Crossref, ProQuest, Ei (INSPEC, IET), and Electronic Journals Library

*All papers will be blind reviewed and accepted papers will be published bimonthly by the ETPublishing which is available online ([open access](#)) and in printed version.

Important Dates ➔

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Full Paper Submission | January 20, 2015 |
| Notification of Acceptance | February 10, 2015 |
| Final Paper Submission | February 25, 2015 |
| Author Registration Conference | April 2-3, 2015 |

Latest News! ➔ [Read More](#)

December 10, 2014 News!

The last round of submission has begun. Welcome to submit your paper.

November 10, 2014 News!

The second round of submission has begun. Welcome to submit your paper.

October 24, 2014 News!

Welcome Prof. Francisco Eduardo Rivera, Federal Aviation Administration, USA to make a keynote speech in the conference. [\(Click\)!](#)

October 15, 2014 News!

The ICEET 2015 has chosen the Grand Mercure Phuket Patong hotel as the conference venue. [\(Click\)!](#)

June 18, 2014 News!

ICEET 2015 will be held in Phuket, Thailand during April 2-3, 2015!

April 11, 2014 News! Congratulate Fatma Boufera, from Mascara University, Algeria for winning the best paper! [\(Click\)](#)

April 11, 2014 News!

Welcome to download the conference group photo. [\(Click\)](#)

Submission Methods ➔

Please log in the **Electronic Submission System** to submit your paper; (.pdf only);

For any inquiry about the submission and conference, please free free to contact us via email : iceet@iact.net.

Send your query to us

Your Name

Your mail:

About the query

Your query

Contact

Ms. Emma Wang
Email: iceet@iact.net
Tel: +1-661-888-4278 (USA)
+86-28-86528298 (China Branch)
9:30am--12am,
2pm-5:30pm,
Monday to Friday

Important Dates

Download

Registration



ISSN 2301-380X



IJE



International Journal of Electronics and Electrical Engineering

Vol. 3, No. 6, December 2015

www.ijeee.net

International Journal of Electronics and Electrical Engineering
(IJEEE, ISSN 2301-380X)

Editor-in-Chief



Prof. Adrian Olaru
University Politehnica of Bucharest, Romania

Executive Editor-in-Chief

Prof. Zhusheng Kang
University of Electronic Science and Technology of China, China

Associate Executive Editor

Ms. Scene Jiang
International Journal of Electronics and Electrical Engineering

Editorial Board

- | | |
|--|---|
| Prof. David Zhang Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong | Prof. Sabira Khatun Queensland University, Australia |
| Prof Dr Mohamed Othman Universiti Putra Malaysia, Malaysia | Prof. Wei-Chang Yeh National Tsing Hua University, Taiwan |
| Prof. Shamsuddin Sulaiman Universiti Putra Malaysia, Malaysia | Prof. Murat Orhun Istanbul Bilgi University, Istanbul, Turkey |
| Prof. Sheng-Uei Guan Xi'an Jiaotong-Liverpool University, P.R. China | Prof. Maode Ma Nanyang Technological University, Singapore |
| Prof. Nader Nariman-zadeh Guilan University, Iran | Prof. Andreas Nuchter Jacobs University, Germany |
| Prof. Huang Lin Metropolitan State University of Denver, USA | Prof. Marc Meeker US Science and Technology Center, Japan |
| Prof. Chi-Cheng Cheng National Sun Yat-Sen University, Taiwan | Prof. IL DONG KIM Doowon Technical University, Korea |
| Prof. Jay Robert B. Del Rosario De LA Salle University, Philippines | Prof. Jiang Xudong Nanyang Technological University, Singapore |
| Prof. Branislav Vuksanovic School of Engineering, University of Portsmouth, Portsmouth, UK | |

The current and past issues are made available on-line at <http://www.ijeee.net/>. Opinions expressed in the papers are those of the author(s) and do not necessarily express the opinions of the editors or IJEEE. The papers are published as presented and without change, in the interests of timely dissemination.

International Journal of Electronics and Electrical Engineering

CONTENTS

Volume 3, Number 6, December 2015

Electronics and Electrical Engineering

| | |
|---|-----|
| Design and Analysis of Directive Microstrip Patch Array Antennas with Series, Corporate and Series-Corporate Feed Network | 416 |
| <i>H. Errifi, A. Baghdad, A. Badri, and A. Sahel</i> | |
| Combination of Energy Storage and Wind Turbine with Conventional Generation Using Scheduling Technique | 424 |
| <i>M. Khodapanah and M. Shahrazad</i> | |
| Smart-Grid Based Real-Time Load Management Methodology for Power Deficient Systems | 431 |
| <i>M. Amin, A. Rasheed, A. A. Raja, A. Lateef, S. Khalid, and B. Khan</i> | |
| Anti-Phase Synchronization of the Yu-Wang and Burke-Shaw Chaotic Dynamic Systems via Nonlinear Controllers | 438 |
| <i>Edwin A. Umoh</i> | |
| Fuzzy Speed Sensorless Vector Control of Dual Star Induction Motor Drive Using MRAS Approach..... | 445 |
| <i>K. Kouzi, T. Seghier, and A. Natouri</i> | |
| Grid Load Balancing Using Parallel Genetic Algorithm | 451 |
| <i>Nadra Tabassam Inam, Daud Awan, and Hameed Ur Rehman</i> | |
| Exploiting the Reconfigurability of Programmable Hardware for Neural Engineering | 457 |
| <i>Arfan Ghani</i> | |
| Fault Diagnosis Methods in Dynamic Systems: A Review..... | 465 |
| <i>R. S. Sharma, L. Dewan, and S. Chatterji</i> | |
| Pure Cycle Cascaded Binary Geothermal Power Plant | 472 |
| <i>Kola Leleedhar Rao</i> | |
| Circuit Architecture for Photon Counting Pixel Detector with Thresholds Correction | 477 |
| <i>Suliman Abdalla, Marwa Mekki, and Amin Babiker</i> | |
| Artificial Neural Network Based Backup Differential Protection of Generator-Transformer Unit..... | 482 |
| <i>H. Balaga, D. N. Vishwakarma, and H. Nath</i> | |
| Enhancement Machine Vision for Object Counter | 488 |
| <i>N. Itsadatikom and J. Srinonchat</i> | |
| GPS Based Phasor Technology in Electrical Power System..... | 493 |
| <i>Rohini P. Haridas</i> | |

Enhancement Machine Vision for Object Counter

N. Itsadatikom and J. Srinonchat

Signal Processing Research Laboratory, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Email: {thailand_don, jakkree_s}@hotmail.com

Abstract—Machine vision is recently used for automatic counting objects system which exploits the image processing to achieve the target. This article presents an intraframe analysis technique for object counter. It uses to solve the counting objects system which objects are located in different focus. It uses only one image can count it all. The canny technique is used to detect and recognize the object. Then the intraframe relation is used to calculate and count the small components in each object. The results show that it provides counting accuracy at least 98%.

Index Terms—intraframe, counting objects, machine vision

I. INTRODUCTION

In recent years, Machine vision [1]-[10] for automatic counting has a large number of applications which uses in the industrial area. It has been an increased scope for the automatic analysis of object counting. It uses the additional numbers of cameras and other sensors, enhanced infrastructure, and consequent accessibility of data. In addition, the advancement of analytical techniques for processing the video (and other) data, together with increased computing power, has enabled new applications. However, this article is exploited the intraframe relation in image processing part to achieve the object counting.

There are many researches that develop in the machine vision for object counting. In [11] introduces a review of computer vision techniques for the analysis of urban traffic. It focuses on recent approaches for monocular road-side cameras in urban environments used by human operators to provide automated solutions to the aforementioned monitoring problems. In [12] introduces the people counting and human detection in a challenging situation. It aims to develop an effective method for estimating the number of people in a complicated outdoor scene. The application of methods based on segmenting the foreground has been extended to detection of people who are moving only slightly. In [13] introduces a robust crowd counting using detection flow. Crowd counting which aims at obtaining the number of people within a scene is an important computer vision task. It uses the detection flow which is defined as a set of object detection responses along the temporal video sequence. It is robust to temporal object occlusions and noises. Also it is more competent to give specific descriptions of the

crowd. In [14] presents an image-based system for measuring objects on oblique plane and its applications in 2-D localization. It presents an image-based framework for measuring target objects on an oblique plane by using a single charge-coupled device camera and two laser projectors mounted in parallel beside the camera. Experimental results have demonstrated the effectiveness of the proposed approach in distance measurement, as well as localization of objects on an oblique plane. In [15] presents a classification and counting of composite objects in traffic scenes using global and local image analysis. It proposed a multimodal multiscale appearance-based blob classification approach. It addresses the problem of classifying and counting composite objects such as bicyclists among simpler objects such as pedestrians. It is also compared our approach with a blob morphology and velocity classifier. The results indicate the importance of appearance based methods and the significance of both global and local image analysis. In [16] presents a counting vehicles from semantic regions. Automatically counting vehicles in complex traffic scenes from videos is challenging. It proposes a new approach of counting vehicles through exploiting contextual regularities from scene structures. It is based on tracking and clustering feature points and can be summarized in threefold. First, an algorithm is proposed to automatically learn the models of scene structures. A traffic scene is segmented into local semantic regions by exploiting the temporal co-occurrence of local motions. Local semantic regions are connected into global complete paths using the proposed fast marching algorithm. Second, an algorithm is proposed to cluster trajectories of feature points into objects and to estimate average vehicle sizes at different locations from initial clustering results. Third, trajectories of features points are often fragmented due to occlusions. Experimental results on a complex traffic scene show the effectiveness of our approach. In [17] presents a counting vehicles from semantic regions. It proposes an algorithm to estimate the average vehicle sizes at different locations along each path that helps to cluster feature points into objects in turn. The Hungarian algorithm is used to associate fragmented trajectories considering the contextual information added by the models of semantic regions, sources, and sinks. Experimental results show that it has some limitations and can be improved in several aspects.

This article investigates the intraframe analysis technique to count the objects for machine vision system.

Manuscript received November 10, 2014; revised March 6, 2015.

Those objects are located in difference distance from reference point.

II. PREPROCESSING

A. Grayscale

Image processing [18]-[22] can be divided into four categories: Binary, Grayscale, Color and Indexed. In grayscale, each pixel is a shade of gray, normally from 0 (black) to 255 (white). This range means that each pixel can be represented by 8 bits. This is a very natural range for image file handling.

B. Convolution

In image processing, many operators are based on applying some function to the pixels within a local window. That is, when finding the value of an output pixel, a window is centered at that location, and only the pixels falling within this window are used when calculating the value of that output pixel. If the f is the image that does want to filter, g the corresponding output image, and let h be the convolution kernel (the "flipped" weight matrix):

$$g(x, y) = \sum_{i=-ww}^w \sum_{j=-wh}^w h(i, j) f(x-i, y-j) \tag{1}$$

where the size of the kernel is $(2w+1) \times (2w+1)$.

The convolution [23]-[29] operator is linear, that is, it provides the same result if it performs the convolution on two separate images and sum their results as if it was to sum the two images before we apply the convolution.

C. Edge Detection

Edge contains some of the most useful information in an image. It may use edge to measure the size of objects in an image, to isolate particular objects from their back ground. Many edge-finding operators are based on differentiation [30]-[36]: to apply continuous derivative to a discrete image, first recall the definition of the derivative:

$$\frac{df}{dx} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \tag{2}$$

Since in an image, the smallest possible value of h is 1, being the difference between the index values of two adjacent pixels, a discrete version of the

$$f(x+1) - f(x) \tag{3}$$

Other expressions for the derivative are

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(x-h)}{h}, \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} \tag{4}$$

With discrete counterparts

$$f(x) - f(x-1), \frac{(f(x+1) - f(x-1))}{2} \tag{5}$$

D. Canny

Canny [37]-[40] showed that the best filter to use for beginning his algorithm was a Gaussian (for smoothing, followed by the derivative of the Gaussian, which

$$\left(-\frac{x}{\sigma^2}\right) e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \tag{6}$$

These filters have the effect of the both smoothing noise and finding possible candidate pixels for edges. The canny provides the three criteria for edge detection:

- 1) Low error rate of detection. It should find all edges and nothing but edges.
- 2) Localization of edges. The distance between actual edges in the image and edges found by this algorithm should be minimized.
- 3) Single response. The algorithm should not return multiple edge pixels when only a single exists.

E. Intraframe Analysis

In the condition of the different focus point of objects, it always makes the counting object error in machine vision system. Fig. 1 shows two objects which located in difference position of focusing.

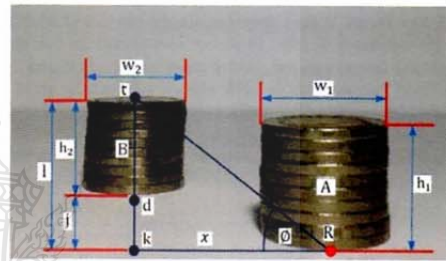


Figure 1. The intraframe correlation

There are two objects (Fig. 1); A and B, which locates in difference focus. Each object contains of 10 coins equally. But this image shows that the size of each coin (w_1 and w_2) and height of each object (h_1 and h_2) is not equal. w_2 is always less than w_1 . At this point, how the machine vision can count the coin inside each object in the same time. This article presents the intraframe analysis technique to solve above problem.

Firstly, the height (c) of each coin in object A can be find as (7).

$$c = \frac{h_1}{10} \tag{7}$$

The amount (n) of object A can be find as (8)

$$n = \frac{h_1}{c} \tag{8}$$

Therefore,

$$n_1 = \frac{h_1}{c_1} \tag{9}$$

And

$$n_2 = \frac{h_2}{c_2} \tag{10}$$

If the point R in the object A is the reference point, the j distance is the distance of the object B in the condition of comparing with the level of R in object A. At the top of object B (t) occurs from the θ angle to the reference point (R).

$$l = \tan\theta \cdot x \tag{11}$$

Therefore the high of object B relates to the θ . Moreover, the ration of the width and the height of both objects ($\frac{w_1}{h_1}$ and $\frac{w_2}{h_2}$) are related in each other.

Refer to Fig. 1, it can notice that the length of object B (l) to the reference point (R) can be found as Equation 12.

$$l = h_2 + j \quad (12)$$

where l is the length of object B (l) to the reference point (R)

j is the distance from the base of object B (d) and the level of to the reference point (k)

$$j \propto w \quad (13)$$

III. EXPERIMENT AND RESULTS

There are 10 coins in each object which locates in the difference focus to use as input image as show in Fig. 2.

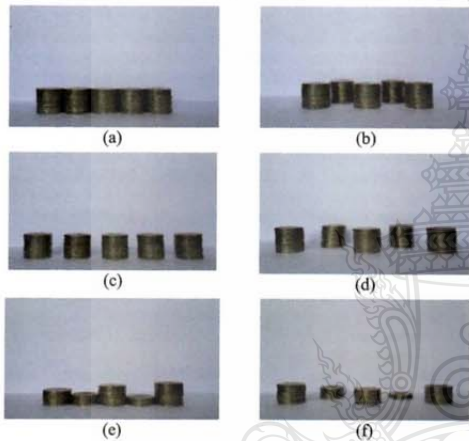


Figure 2. The different location of objects

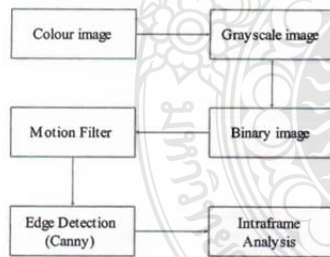


Figure 3. The diagram of process

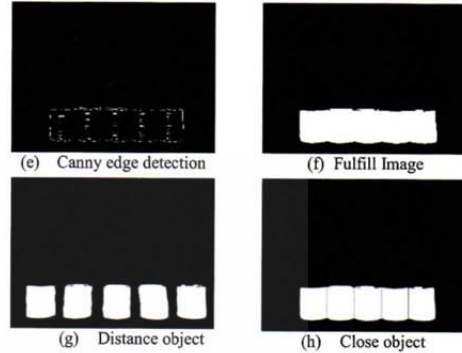
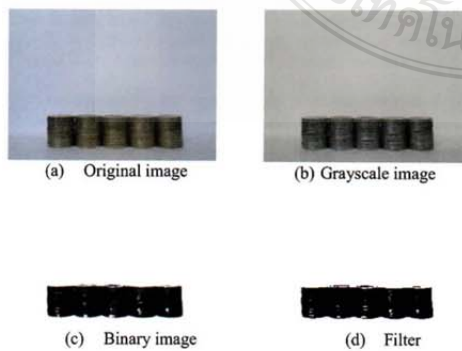


Figure 4. The process results

The difference number of coins and focus are used as the input as well. The process of this technique is shown in Fig. 3.

The primary results of this technique are shown in Fig. 4.

Secondary experiments with 100 images.

Condition A: Each object locates close in each other and have the same amount of coin.

Condition B: Each object locates in difference distance each other and has the same amount of coin.

Condition C: Each object locates in difference distance each other and has the difference amount of coin.

Condition D: Each object locates in difference distance each other and has the same amount of coin.

TABLE I. TWO OBJECTS LOCATE IN DIFFERENT POSITION

| Distance of object B from reference point (R) (cm.) | Width of the object (w_2) (cm.) | High of the object (h_2) (cm.) | High of each coin (c_2) (cm.) |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 5.25 | 4.85 | 0.485 |
| 2 | 5.05 | 4.55 | 0.455 |
| 3 | 4.70 | 4.25 | 0.425 |
| 4 | 4.45 | 4.10 | 0.410 |
| 5 | 4.25 | 3.90 | 0.390 |
| 6 | 4.05 | 3.70 | 0.370 |
| 7 | 3.85 | 3.50 | 0.350 |
| 8 | 3.70 | 3.30 | 0.330 |
| 9 | 3.55 | 3.25 | 0.325 |
| 10 | 3.40 | 3.05 | 0.305 |

TABLE II. THE ACCURACY COUNTING OBJECT

| Condition | Condition of focus | Number of correct image | Counting Accuracy (%) |
|-----------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| A | same | 100 | 100 |
| A | difference | 99 | 99 |
| B | same | 100 | 100 |
| B | difference | 99 | 99 |
| C | same | 100 | 100 |
| C | difference | 98 | 98 |
| D | same | 100 | 100 |
| D | difference | 98 | 98 |

From Table I and Table II, the results show that the intraframe technique provides counting accuracy at 100% in the condition of same focus position. However, it provides the minimum counting accuracy at 98% in the condition of difference focus.

IV. SUMMARY

This article presents the intraframe analysis technique for object counter in machine vision. The grayscale and binary technique are used in the pre-process. The motion filter is used to reduce the back ground noise from the image. The canny edge detection technique is used to search and bound the object. Finally the intraframe analysis technique is used to calculate and count the components in each object which each object is located in different position and focus. It used the relation position and θ angle to count the components

The system shows that it can be perform at least 98% of counting accuracy in the condition of the objects that located in different position and focus. This technique will be applied to the machine vision system for counting object such the paper production industrial.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thanks Rajamangala University of Technology Thanyaburi for the technical support and the National Research Council of Thailand (NRCT) for the financial support in this project (NRPM: 2557A16502018 project code: 99805).

REFERENCES

- [1] G. F. Blackwell, "Machine vision in the tire industry," in *Proc. IEEE Conference Electrical Engineering Problems in the Rubber and Plastics Industries*, 1989, pp. 67-79.
- [2] S. Tsugawa, "Vision-Based vehicles in Japan machine vision systems and driving control systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 41, no. 4, pp. 398-405, 1994.
- [3] M. J. Callaghan, T. M. McGinnity, and L. McDaid, "Third order loose coupled hybrid intelligent system for machine vision applications," in *Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2004, vol. 4, pp. 3680-3685.
- [4] P. I. Corke, "The machine vision toolbox: a MATLAB toolbox for vision and vision-based control," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 12, no. 4, pp. 16-25, 2005.
- [5] H. Sako, "Recognition strategies in machine vision applications," in *Proc. International Conference Machine Vision and Image Processing*, 2007, pp. 3-8.
- [6] J. Nilsson, M. Ericsson, and F. Danielsson, "virtual machine vision in computer aided robotics," in *Proc. IEEE Conference on emerging Technologies & Factory Automation*, 2009, pp. 1-8.
- [7] J. F. Shi, C. J. Hua, and G. H. Li, "A simplifying method of vision attention simulating human vision in machine vision system," in *Proc. International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2010, vol. 6, pp. 3097-3100.
- [8] S. Ma, H. Wang, Z. Hao, L. Bai, and H. Yu, "Application research of machine vision technique in intelligent empty bottle inspection system," in *Proc. 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2010, pp. 4462-4466.
- [9] M. Mamat and S.A. Samad, "Classification of beverages using electronic nose and machine vision systems," in *Proc. Association Annual Summit and Conference Asia-Pacific Signal and Information Processing*, 2012, pp. 1-6.
- [10] M. Weyrich, Y. Wang, and M. Scharf, "Quality assessment of row crop plants by using a machine vision system," in *Proc. 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2013, pp. 2466-2471.
- [11] N. Buch, S. A. Velastin, and J. A. Orwell, "Review of computer vision techniques for the analysis of urban traffic," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 920-939, 2011.
- [12] Y. L. Hou and G. K. H. Pang, "People counting and human detection in a challenging situation," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 41, no. 1, pp. 24-33, 2011.
- [13] J. Xing, H. Ai, L. Liu, and S. Lao, "Robust crowd counting using detection flow," in *Proc. 18th IEEE International Conference on Image Processing*, 2011, pp. 2061-2064.
- [14] M. C. Lu, C. C. Hau, and Y. Y. Lu, "Image-Based system for measuring objects on an oblique plane and its applications in 2-D localization," *IEEE Journal of Sensors*, vol. 12, no. 6, pp. 2249-2261, 2012.
- [15] G. Somasundaram, R. Sivalingam, V. Morellas, and V. Papanikolopoulos, "Classification and counting of composite objects in traffic scenes using global and local image analysis," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 69-81, 2013.
- [16] R. Zhao and X. Wang, "Counting vehicles from semantic regions," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 2, pp. 1016-1022, 2013.
- [17] K. Sandeep and N. Nageswara, "Statistical analysis of image processing techniques for object counting," in *Proc. International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*, 2014, pp. 2464-2469.
- [18] S. L. Eddins and M. T. Orchard, "Using MATLAB and C in an image processing lab course," in *Proc. IEEE International Conference Image Processing*, 1994, vol. 1, pp. 515-519.
- [19] Z. Ping and L. Y. kui, "Grain counting method based on image processing," in *Proc. International Conference on information Engineering and Computer Science*, 2009, pp. 1-3.
- [20] H. Cao and Y. Shen, "Application of MATLAB image processing technology in sewage monitoring system," in *Proc. 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, 2009, pp. 3-993 - 3-995.
- [21] W. Xu, Z. Liang, and D. Wang, "Image processing based on seamless integration technology between LabVIEW and MATLAB," in *Proc. International Conference on Information Networking and Automation*, 2010, vol. 1, pp. 219-223.
- [22] P. R. V. Chowdary, M. N. Babu, T. V. Subbareddy, and V. Elamaran, "Image processing algorithms for gesture recognition using MATLAB," in *Proc. International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies*, 2014, pp. 1511-1514.
- [23] R. Reeves and K. Kubik, "Compressed domain image matching using symmetric convolution," in *Proc. IEEE Region 10 Annual Conference. Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunications*, 1997, vol. 2, pp. 543-546.
- [24] S. J. Sangwine, "Colour image edge detector based on quaternion convolution," *Electronics Letters*, vol. 34, no. 10, pp. 969-971, 1998.
- [25] J. M. Palomares, J. Gonzalez, E. Ros, and A. Prieto, "General logarithmic image processing convolution," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 11, pp. 3602-3608, 2006.
- [26] S. H. Chan, "Constructing a sparse convolution matrix for shift varying image restoration problems," in *Proc. 17th IEEE International Conference on Image Processing*, 2010, pp. 3601-3604.
- [27] Y. O. Zhang and X. J. Wu, "An image fusion method based on region segmentation and Cauchy convolution," in *Proc. 21st International Conference on Pattern Recognition*, 2012, pp. 392-395.
- [28] L. Busheng and H. J. fang, "Design and implementation of image effects based on convolution algorithm," in *Proc. Fifth International Conference on Computational and Information Sciences*, 2013, pp. 144-147.
- [29] L. Guangcan, C. Shiyu, and Y. M. Blind, "Image deblurring using spectral properties of convolution operators," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 23, no. 12, pp. 5047-5056, 2014.
- [30] L. Chunhua, K. He, and J. Zhou, "Edge detection of image on the local feature," in *Proc. Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application*, 2008, vol. 2, pp. 320-330.
- [31] L. Yanyu and L. Deliang, "A novel algorithm of image edge detection based on the order morphology," in *Proc. International*

- Forum on Computer Science-Technology and Applications*, 2009, pp. 458-461
- [32] L. Jiang, W. Zhou, and Y. Wang, "Study on improved algorithm for image edge detection," in *Proc. The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering*, 2010, vol. 4, pp. 476-479.
- [33] W. Zhong, C. Qin, C. Liu, H. Li, and H. Wang, "The edge detection of rice image based on mathematical morphology and wavelet packet," in *Proc. International Conference on Measurement, Information and Control*, 2012, pp. 801-804.
- [34] R. Zhang, T. Zhao, and H. Wang, "Research on image matting technology based on image edge detection," in *Proc. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2012, pp. 1199-1203.
- [35] H. K. Bashier, L. S. Hoe, and P. Y. Han, "Graphical password: Pass-Images edge detection," in *Proc. IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 2013, pp. 111-116.
- [36] P. M. L. Nguyen, J. H. Cho, and S. B. Cho, "An architecture for real-time hardware co-simulation of edge detection in image processing using Prewitt edge operator," in *Proc. International Conference on Electronics, Information and Communications*, 2014, pp 1-4.
- [37] X. He, J. Li, D. Wei, W. Jia, and Q. Wu, "Canny edge detection on a virtual hexagonal image structure," in *Proc. Joint Conferences on Pervasive Computing*, 2009, pp. 167-172.
- [38] X. Geng, K. Chen, and X. Hu, "An improved Canny edge detection algorithm for color image," in *Proc. 10th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2012, pp. 113-117.
- [39] H. Shi and R. Ward, "Canny edge based image expansion," in *Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2002, vol. 1, pp. 1-785 - 1-788.
- [40] C. X. Deng, G. B. Wang, and X. R. Yang, "Image edge detection algorithm based on improved Canny operator," in *Proc. International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, 2013, pp. 168-172.



Speech and Image Processing.

Noppadon Itsadatikom received the B.Eng. degree in electrical engineering from the Rajamangala University of Technology Thanyaburi, in 2003. Now he is studying the M.Eng degree in electrical engineering from the Rajamangala University of Technology Thanyaburi. He joins the Signal Processing Research Laboratory to do his research in machine vision. Also his current research interests include Digital Signal Processing,



Image Processing.

Jakkree Srinonchat received the B.Eng. degree in electrical engineering from the Rajamangala University of Technology Thanyaburi, in 1995. He received the Ph.D. degree in electrical engineering from University of Northumbria at Newcastle, UK in 2005. Now he works as a lecturer at Rajamangala University of Technology Thanyaburi. His current research interests include Digital Signal Processing, Speech and



ประวัติผู้เขียน

| | |
|--------------------|---|
| ชื่อ - นามสกุล | นายพนพลย์ อิชญาธิคม |
| วัน เดือน ปีเกิด | 20 เมษายน 2522 |
| ที่อยู่ | 66 ซ.นักกีฬาแหลมทอง 3 แยก 2-1 แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง กรุงเทพมหานคร 10250 |
| ประวัติการศึกษา | ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ประสบการณ์การทำงาน | วิศวกร บริษัท เนติก (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2545 ถึง 2553 วิศวกร บริษัท ยูไนเต็ด อินฟอร์เมชั่น ไฮเวย์ จำกัด พ.ศ. 2553 ถึงปัจจุบัน |
| เบอร์โทรศัพท์ | 08-8227-2498 |
| อีเมล | thailand_don@hotmail.com |

