การประยุกต์ใช้ระบบประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟู จากการทำกายภาพบำบัดปอด

Application of Digital Image Processing for Health Monitoring from Lung Rehabilitation

อัทธายุ หยูทอง

Athtayu Yuthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การประยุกต์ใช้ระบบประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟู จากการทำกายภาพบำบัดปอด

Application of Digital Image Processing for Health Monitoring from Lung Rehabilitation

อัทธายุ หยูทอง
Athtayu Yuthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University
2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ระบบประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอด
ผู้เขียน นายอัทธายุ หยูทอง
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(รองศาสตราจารย์ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ดร.รักกฤตว์ ดวงสร้อยทอง)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์)

.....กรรมการ
(ดร.รักกฤตว์ ดวงสร้อยทอง)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายอัทธายุ หยูทอง)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายอัทธายุ หยูทอง)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ระบบประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอด

ผู้เขียน นายอัทธายุ หยูทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการเสนอผลการศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดด้วยการตรวจจับภาพวัตถุจากวิดีโอการใช้งานอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอด เพื่อทำให้การติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดสามารถทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ขั้นตอนการทำงานของระบบประมวลผลภาพที่ได้ทำการวิจัยแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์ และส่วนที่สอง คือ การตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่เพื่อติดตามตำแหน่งของวัตถุชี้วัดอัตราการไหลของอากาศที่ถูกบรรจุอยู่ในอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอดและใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณปริมาตรปอด ในขั้นตอนการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมนั้นได้ศึกษาและเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วย Gabor Annulus Wavelet (GAW) และ Circular Hough Transform (CHT) พบว่า CHT เป็นวิธีการที่สามารถตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมได้ดีกว่าโดยมีค่าความแม่นยำในการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมจากวิดีโอตัวอย่างเท่ากับร้อยละ 97.97 ในขณะที่ GAW มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 84.13 และผลจากการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่พบว่าการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย Normalized Cross-Correlation เป็นวิธีการตรวจจับภาพวัตถุที่ดีที่สุดจากการทดลองด้วยวิธีการที่แตกต่างกันทั้งหมดหกวิธี โดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 1.38 พิกเซล และสามารถประมวลผลด้วยความเร็ว 29.92 เฟรมต่อวินาที เป็นวิธีการตรวจจับภาพวัตถุที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างและมีความเร็วในการประมวลผลสูง สามารถนำไปใช้งานเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดด้วยการประมวลผลแบบเวลาจริงได้

คำสำคัญ การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม การตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่ การทำกายภาพบำบัดเพื่อฟื้นฟูปริมาตรปอด อุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตร

Thesis Title Application of digital image processing for health monitoring from lung rehabilitation
Author Mr.Athtayu Yuthong
Major Program Electrical Engineering
Academic Year 2017

ABSTRACT

This thesis proposed an application of digital image processing for monitoring the lung expansion therapy with the object detection from flow-oriented incentive spirometer to enhance patient monitoring system for lung rehabilitation. The proposed image processing system consisted of 2 steps: first; the circle object detection for checking the validity of appliance position and second; the moving object detection for tracking the object indicator of air flow in the incentive spirometer and used as lung volume data. In the circle object detection step, the technical study and comparative result of circle object detection were used with Gabor Annulus Wavelet (GAW) and Circular Hough Transform (CHT). It indicated that CHT was the better method which had the accuracy value in circle object detection from sample videos as 97.97% while GAW had the accuracy value as 84.13%. The results of moving object detection found that comparative result of image similarity with Normalized Cross-Correlation (NCC) was the best object detection method for practical usage compared with other 5 methods. NCC provided the lowest Mean Absolute Error (MAE) value was 1.38 pixel and processed in 29.92 frames per second. Moreover, NCC algorithm has no effect with the illumination and it also can process with high speed for real-time application.

Keyword Circle object detection, Moving object detection, Lung expansion therapy, Incentive spirometer

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานเพื่อการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.รักกฤตว์ ดวงสร้อยทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษา ผู้คอยกระตุ้น ให้กำลังใจและชี้แนะแนวทางในการทำงานที่เหมาะสม จนกระทั่งวิทยานิพนธ์สามารถดำเนินไปในแนวทางที่ถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ ประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ให้คำแนะนำและอุทิศเวลาเพื่อการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูร์มากยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอกทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ มาตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนทางการศึกษาและสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

และสุดท้ายนี้ ข้าพระเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณสูงสุดที่ส่งเสริมและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างต่อข้าพเจ้าอย่างเต็มกำลังเสมอมา

อัทธายุ หยูทอง

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....(8)
รายการตาราง.....(10)
รายการภาพประกอบ.....(11)
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1. ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....2
1.4. ขอบเขตการวิจัย.....2
1.5. การทบทวนวรรณกรรม.....2
1.6. ประเด็นวิจัย.....7
1.7. ขั้นตอนและการดำเนินงาน.....8
1.8. ภาพรวมของวิทยานิพนธ์.....8
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....9
2.1. ภาพดิจิตอลและระบบสี.....9
1.1.1. ภาพดิจิตอล.....9
1.1.2. ระบบสี.....9
2.2. การคัดแยกภาพ.....11
2.2.1. Thresholding.....11
2.2.2. Otsu’s thresholding.....11
2.3. การสร้างภาพขอบของวัตถุ.....13
2.4. การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม.....15
2.6.1. Circular Hough Transform (CHT).....16
2.6.2. Gabor Annulus Wavelet (GAW).....16
2.5. การตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพ.....17
2.5.1. Background Subtraction.....17
2.5.2. Frame difference.....17
2.6. การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพ.....17
บทที่ 3 การออกแบบระบบและวิธีการทดลอง.....19
3.1. การออกแบบอุปกรณ์.....19
3.2. การออกแบบระบบประมวลผลภาพ.....20
3.3. วิธีการทดลอง.....21
3.3.1. การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม.....21

3.3.2. การตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่.....23
3.4. การประเมินประสิทธิภาพ.....30
บทที่ 4 การทดลองตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม.....31
4.1. การศึกษาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW.....31
4.1.1. การทดลองในภาพระดับเทา.....31
4.1.2. การทดลองในภาพสี RGB.....33
4.1.3. การทดลองในภาพขอบของวัตถุ.....36
4.2. การศึกษาการตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW ในภาพขอบของวัตถุ.....37
4.2.1 การทดลองในภาพสังเคราะห์.....37
4.2.2 การทดลองในภาพวัตถุจริง. 39
4.3. การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพวิดีโอ.....42
4.4. สรุปผลการทดลอง.....45
บทที่ 5 การตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่.....46
5.1. ผลการทดลองการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่.....46
5.2. สรุปผลการทดลอง.....53
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....54
6.1. สรุปผลการวิจัย.....54
6.2. ข้อเสนอแนะ.....55
บรรณานุกรม.....56
ภาคผนวก การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน.....59
ประวัติผู้เขียน.....66

รายการตาราง

หน้า

ตาราง 4-1 ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่เหมาะสม.....(38)
ตาราง 4-2 ผลการวัดค่าความแม่นยำจากการตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพวิดีโอ.....(43)
ตาราง 5-1 รายละเอียดของวิดีโอที่ใช้เพื่อการทดลองตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่.....(46)
ตาราง 5-2 ผลการทดลองการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่.....(52)

รายการภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1-1 Flow-oriented incentive spirometer....2
ภาพประกอบ 1-2 ลำดับการทำงานของ Game-base incentive spirometer and a method of quantifying and recording....3
ภาพประกอบ 1-3 ระบบตรวจสอบสุขภาพปอดด้วย Electrical impedance tomography....3
ภาพประกอบ 1-4 วงจรวัดอัตราการไหล....4
ภาพประกอบ 1-5 ลำดับการทำงานของ Real-time multiple object tracking in smart environments....5
ภาพประกอบ 1-6 ลำดับการทำงานของ Irregular moving object detecting and tracking based on color and shape in real-time system....5
ภาพประกอบ 1-7 ผลการระบุตำแหน่งของภาพเซลล์ซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมด้วย Gabor annulus wavelet 6
ภาพประกอบ 1-8 การหาค่า Correlation จากการแบ่งภาพต้นแบบออกเป็นหลายส่วน....7
ภาพประกอบ 1-9 ตำแหน่งของบอลและการประมาณอัตราการไหลของอากาศจากการหายใจ....7
ภาพประกอบ 2-1 กระบวนการสร้างภาพขอบของวัตถุด้วยวิธี Canny....13
ภาพประกอบ 2-2 เวฟเล็ตกาบอร์ 16
ภาพประกอบ 2-3 เวฟเล็ตกาบอร์รูปวงแหวน....16
ภาพประกอบ 3-1 ฐานสำหรับวาง Triflow กล้อง และฉากหลัง....20
ภาพประกอบ 3-2 ลำดับการทำงานของระบบประมวลผลภาพ....21
ภาพประกอบ 3-3 ภาพส่วนจริง ส่วนจินตภาพและแม็กนิจูดของ GAW จากตัวแปรที่แตกต่างกัน....22
ภาพประกอบ 3-4 ลำดับการทำงานของการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม....22
ภาพประกอบ 3-5 แผนภาพการทำงานของการตรวจสอบความถูกต้องในการจัดวางอุปกรณ์....23
ภาพประกอบ 3-6 แผนภาพแสดงระดับความสูงของลูกบอลทั้งสาม....24
ภาพประกอบ 3-7 การจำกัดขอบเขตของการตรวจจับภาพโดยใช้พิกัดจากจุดศูนย์กลางของบอล....25
ภาพประกอบ 3-8 วิธีการตรวจจับตำแหน่งของบอลขณะเคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดลอง....25
ภาพประกอบ 3-9 วิธีการตรวจจับตำแหน่งของบอลด้วยวิธี Background subtraction....26
ภาพประกอบ 3-10 ผลการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วย Frame difference....27
ภาพประกอบ 3-11 การระบุตำแหน่งของบอลจาก Frame difference....27
ภาพประกอบ 3-12 การตรวจจับตำแหน่งบอลจากความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย NCC 28
ภาพประกอบ 3-13 การตรวจจับภาพจากความคล้ายคลึงกันด้วย Part-based NCC....28
ภาพประกอบ 3-14 รูปแบบของภาพต้นแบบ....29
ภาพประกอบ 3-15 ภาพแสดงพิกัดที่ใช้สำหรับการเลื่อนแผนภาพCorrelationเข้าสู่จุดศูนย์กลาง...29
ภาพประกอบ 4-1 ตัวอย่างภาพวงกลมสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับการทดลอง....31

ภาพประกอบ 4-2 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 40 พิกเซลจากภาพระดับเทา.....32
ภาพประกอบ 4-3 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 35 พิกเซล จากภาพระดับเทา.....32
ภาพประกอบ 4-4 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 40 พิกเซลจากภาพสี RGB.....33
ภาพประกอบ 4-5 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 35 พิกเซล จากภาพสี RGB.....34
ภาพประกอบ 4-6 ภาพวงกลมสังเคราะห์สำหรับการทดสอบผลลัพธ์ของสีที่แตกต่างกัน
ของวงกลม.....35
ภาพประกอบ 4-7 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการใช้ GAW ในภาพระดับเทา.....35
ภาพประกอบ 4-8 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการใช้ GAW ในภาพสี RGB.....36
ภาพประกอบ 4-9 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมีต่างๆ จากภาพขอบของวัตถุ.....36
ภาพประกอบ 4-10 ผลลัพธ์จากทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร r0 และ f0.....37
ภาพประกอบ 4-11 การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW ภาพที่ 1.....39
ภาพประกอบ 4-12 การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW ภาพที่ 2.....40
ภาพประกอบ 4-13 การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพ Triflow.....41
ภาพประกอบ 4-14 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพ Triflow ในมุมมองสองมิติ.....41
ภาพประกอบ 4-15 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพ Triflow ในมุมมองสามมิติ.....42
ภาพประกอบ 4-16 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเพื่อทดสอบการตรวจจับวัตถุทรงกลมและเงื่อนไข
ในการจัดวางอุปกรณ์.....43
ภาพประกอบ 4-17 ผลการระบุตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลมในภาพเคลื่อนไหวด้วย GAW.....44
ภาพประกอบ 5-1 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอกลุ่มที่ 1.....47
ภาพประกอบ 5-2 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอกลุ่มที่ 2.....47
ภาพประกอบ 5-3 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของบอลจาการตรวจจับวัตถุขณะเคลื่อนที่ของบอล
ทั้งสามจากวิดีโอชุดที่ 9.....48
ภาพประกอบ 5-4 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของบอลจาการตรวจจับวัตถุขณะเคลื่อนที่ของบอล
ทั้งสามจากวิดีโอชุดที่ 15.....49
ภาพประกอบ 5-5 ผลกระทบจากแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนกระบอกพลาสติก.....50
ภาพประกอบ 5-6 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความสว่างและแสงสะท้อน.....51
ภาพประกอบ 5-7 ผลการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเป็นวงกลม.....51
ภาพประกอบ 5-8 ผลการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย Part-based NCC.....52

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

การติดตามผลการฟื้นฟูของร่างกายจากการทำกายภาพบำบัดเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้แพทย์สามารถวางโปรแกรมการทำกายภาพบำบัดได้อย่างเหมาะสม แต่การทำกายภาพบำบัดเป็นวิธีการรักษาที่อาศัยต้องกระทำอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ผู้ป่วยจึงจำเป็นต้องกลับไปทำกายภาพบำบัดด้วยตนเองที่บ้านและกลับมาพบแพทย์ตามระยะเวลาที่กำหนด ทำให้ผู้ป่วยต้องเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการเดินทางมาโรงพยาบาลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟู

การผ่าตัดเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อทำการรักษาโรคได้หลายชนิด [1] แต่การผ่าตัดช่องอกหรือช่องท้องนั้นอาจส่งผลให้ปอดและถุงลมได้รับการกระทบกระเทือน ทำให้เกิดภาวะปอดแฟบและเกิดอาการแทรกซ้อนจากระบบทางเดินหายใจเช่น อาการหายใจหอบเหนื่อย มีเสมหะคั่งและฟื้นตัวได้ช้า หลังการผ่าตัดผู้ป่วยต้องฝึกการหายใจเพื่อฟื้นฟูปริมาตรปอดด้วยเทคนิคทางกายภาพบำบัด เช่น การฝึกหายใจ การฝึกไอ การออกกำลังกาย รวมทั้งการฝึกใช้อุปกรณ์เพื่อกระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอด

อุปกรณ์เพื่อกระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอดที่นิยมใช้โดยทั่วไปตามโรงพยาบาลส่วนใหญ่ในประเทศไทยคือ Flow-oriented incentive spirometer [2] ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกพลาสติกใสและมีลูกบอลบรรจุอยู่ภายในดังภาพประกอบ 1-1 เป็นอุปกรณ์ฝึกเพิ่มปริมาตรปอดที่ผู้ฝึกจะต้องออกแรงสูดหายใจเพื่อให้อากาศในอุปกรณ์มีอัตราการไหลที่เพียงพอต่อการขยับลูกบอลในอุปกรณ์ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งสูงสุด สามารถใช้เพื่อเพิ่มปริมาตรปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจและเป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก วิธีการใช้งานไม่ซับซ้อน เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก และสามารถใช้เพื่อประเมินผลการฟื้นฟูปริมาตรปอดได้โดยปกติการวัดปริมาตรปอดจากการใช้งาน Flow-oriented spirometer โดยการสังเกตตำแหน่งของลูกบอลพร้อมทั้งจับเวลาที่ลูกบอลสามารถคงค้างอยู่ในตำแหน่งสูงสุดได้ แต่อย่างไรก็ตามการวัดปริมาตรปอดโดยการสังเกตและจับเวลาโดยแพทย์เช่นนี้ ทำให้การวัดเกิดความไม่แน่นอนและมีความผิดพลาดสูง

งานวิจัยนี้จึงเสนอการวัดปริมาตรปอดด้วยการนำเทคนิคการประมวลผลภาพเข้ามาปรับใช้เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งและเวลาที่ลูกบอลสามารถคงค้างอยู่ในตำแหน่งสูงสุด ทำให้สามารถคำนวณปริมาตรปอดและบันทึกผลเพื่อใช้ติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดได้อัตโนมัติโดยไม่ต้องดัดแปลงอุปกรณ์ Flow-oriented incentive เพื่อติดตั้งตัวรับค่า เช่น Flow sensor หรือ Pressure sensor ซึ่งทำให้อุปกรณ์ไม่เกิดการรั่วไหลของอากาศ ลดการติดเชื้อหรือการสูดเอาสิ่งแปลกปลอมเข้าไปภายในระบบหายใจ เหมาะแก่การนำไปติดตั้งยังศูนย์สุขภาพหรือศูนย์อนามัยต่างๆ

เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถรายงานผลการฟื้นฟูปริมาตรปอดไปยังแพทย์ผู้ดูแลโดยใช้ระบบการวัดปริมาตรที่มีมาตรฐานเดียวกันด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

ภาพประกอบ 1-1 Flow-oriented incentive spirometer

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้ระบบประมวลผลภาพสำหรับติดตามผลการฟื้นฟูของการทำกายภาพบำบัดปอด
2. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมที่มีความสามารถในการติดตามผลการฟื้นฟูของการทำกายภาพบำบัดปอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถประมาณปริมาตรปอดและติดตามผลการฟื้นฟูของการทำกายภาพบำบัดปอดได้
2. ช่วยลดภาระของแพทย์ในการติดตามผลการฟื้นฟู และลดภาระของผู้ป่วยในการเดินทางไปโรงพยาบาลเพื่อรายงานผลการฟื้นฟู
3. สามารถนำอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆได้

1.4. ขอบเขตการวิจัย

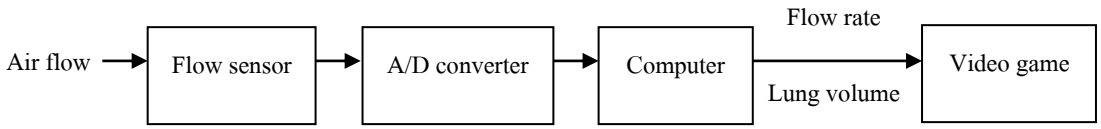
1. ระบบสามารถประมาณปริมาตรปอดได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ
2. ระบบมีความสามารถในการบันทึกผลและติดตามผลการฟื้นฟูปริมาตรปอด

1.5. การทบทวนวรรณกรรม

1. Game-base incentive spirometer and a method of quantifying and recording performance US 2013/0303930 A1 [3]

สิทธิบัตรนี้นำเสนอวิธีการวัดปริมาตรปอดและการเก็บบันทึกค่าที่วัดได้ พร้อมทั้งนำค่าที่วัดได้ไปประยุกต์ใช้กับวิดีโอเกมเพื่อกระตุ้นความสนใจในการการฝึกหายใจเพื่อขยายปริมาตรปอดดังลำดับการทำงานในภาพประกอบ 1-2 ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้ใช้ Air flow sensor เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากการหายใจเข้าหรือหายใจออกของผู้ป่วย จากนั้นจึงแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผล บันทึกผลพร้อมทั้งนำค่าอัตราการไหล

ไปใช้เป็นตัวกำหนดค่าในวิดีโอเกม ซึ่งวิดีโอเกมนี้ประกอบด้วยภาพพื้นหลังและเครื่องบิน ผู้ป่วยจะต้องออกแรงสูดอากาศเพื่อทำให้เครื่องบินลอยสูงขึ้นไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนด

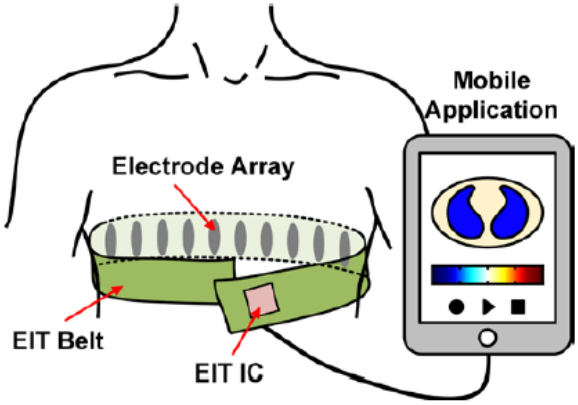


ภาพประกอบ 1-2 ลำดับการทำงานของ Game-base incentive spirometer and a method of quantifying and recording

2. Wearable lung-health monitoring system with electrical impedance tomography [4]

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบสุขภาพปอดโดยการใช้อิเล็กโทรด 32 ตัวเพื่อวัดค่า อิมพีแดนซ์บริเวณทรวงอก อิเล็กโทรดดังกล่าวติดตั้งอยู่บนเข็มขัดรัดหน้าอกซึ่งมี Electrical impedance tomography integrated circuit (EIT IC) เป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแส การวัดความต่างศักย์ การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์รวมไปถึงการส่งข้อมูลผ่านสาย USB-OTG เพื่อนำข้อมูลไปสร้างเป็นภาพซึ่งบ่งบอกถึงปริมาตรของปอดด้วยแอปพลิเคชั่นบนคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 1-3

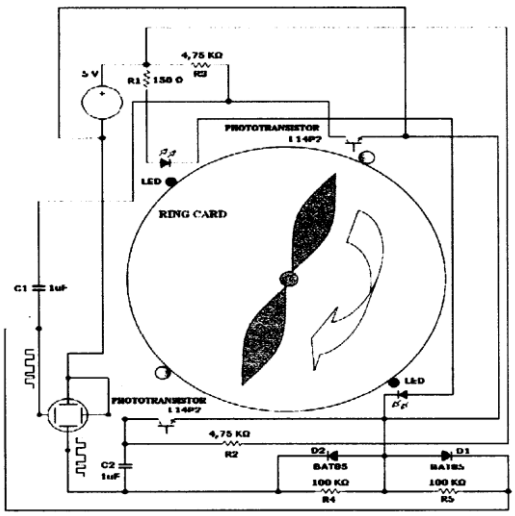
การวัดปริมาตรของปอดทำได้โดยการคำนวณหาพื้นที่ภาพของปอดด้วยระบบประมวลผลภาพดิจิตอล ซึ่งการหายใจเข้าหรือออกทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ภาพปอดที่ถูกสร้างขึ้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้ผู้วิจัยสามารถประเมินปริมาตรปอดจากพื้นที่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ แต่การวัดค่าอิมพีแดนซ์ให้ความถูกต้องและแม่นยำ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทำความสะอาดอิเล็กโทรดก่อนใช้งานทุกครั้ง พร้อมทั้งตรวจสอบหน้าสัมผัสของอิเล็กโทรดเพื่อตรวจสอบว่าอิเล็กโทรดสัมผัสกับผิวหนังอย่างแนบสนิทหรือไม่



ภาพประกอบ 1-3 ระบบตรวจสอบสุขภาพปอดด้วย Electrical impedance tomography [4]

3. Breath flow sensing via spirometric instrumentation: pathology prediction using a genetic algorithm [5]

บทความนี้ได้นำเสนอการวัดอัตราการไหลของการหายใจจากการใช้กังหันชนิดสองใบพัดควบคู่กับวงจรไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ LED และ Phototransistor ดังภาพประกอบ 1-4 เมื่อผู้ใช้งานสูดอากาศหายใจผ่านอุปกรณ์จะทำให้กังหันหมุนไปตามการไหลของอากาศและการหมุนของกังหันในบางตำแหน่งทำให้เกิดการบดบังลำแสงของ LED ที่ส่งไปยัง Phototransistor ส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ที่ Phototransistor เกิดการเปลี่ยนแปลงตามคาบเวลาการบัดบังลำแสงของใบพัด ผู้วิจัยจึงนำความถี่ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ใน Phototransistor มาประยุกต์ใช้เพื่อวัดอัตราการไหล และใช้ Genetic algorithm ซึ่งเป็นเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการคำนวณค่าอัตราการไหล

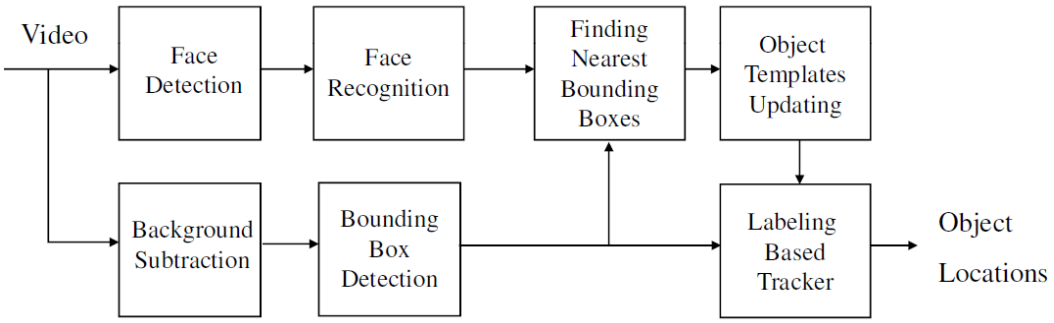


ภาพประกอบ 1-4 วงจรวัดอัตราการไหล [5]

4. Real-time multiple object tracking in smart environments [6]

บทความนี้นำเสนอวิธีการติดตามภาพการเคลื่อนที่ของมนุษย์โดยการแบ่งขั้นตอนการตรวจจับภาพออกเป็นสองขั้นตอนคือ การตรวจจับลักษณะเด่นของภาพใบหน้า และการตรวจจับภาพวัตถุที่เกิดการเคลื่อนไหวด้วยวิธีการ Background subtraction ซึ่งเป็นวิธีการตรวจจับภาพที่สามารถทำได้โดยการบันทึกภาพพื้นหลังเพื่อนำไปใช้เป็นภาพอ้างอิง จากนั้นจึงนำค่าความเข้มสีของภาพพื้นหลังนี้ไปลบกับค่าความเข้มสีของภาพในเฟรมปัจจุบันเผื่อตรวจจับพื้นที่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ระบบทำงานดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 1-5 เมื่อตรวจจับภาพวัตถุที่ต้องการได้แล้วจึงหาค่าลักษณะเด่นของใบหน้าและส่วนที่เคลื่อนไหวเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการระบุตัวตนของภาพมนุษย์ในภาพถัดไป ทำให้ระบบสามารถระบุตัวตนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่กรณีที่สีของเครื่องแต่งกายของผู้ทดสอบมีความใกล้เคียงกับสีของภาพพื้นหลังพบว่าตำแหน่งของการตรวจจับและติดตาม

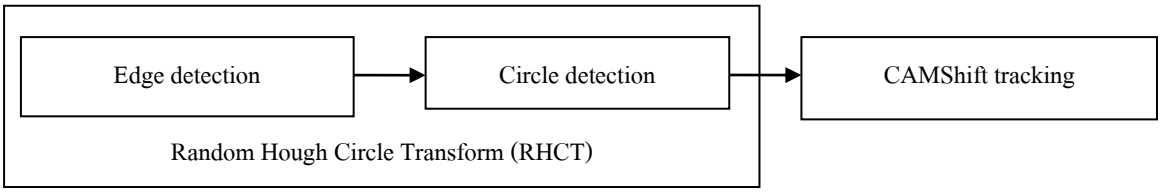
อาจคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริงหรือในบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างภาพอ้างอิงและภาพปัจจุบันมีไม่มากพอ ทำให้ไม่สามารถตรวจจับด้วย Background subtraction ได้



ภาพประกอบ 1-5 ลำดับการทำงานของ Real-time multiple object tracking in smart environments [6]

5. Irregular moving object detecting and tracking based on color and shape in real-time system [7]

บทความนี้นำเสนอการตรวจจับและติดตามภาพวัตถุจากสีและรูปทรงของวัตถุ โดยทำการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วยวิธีการ Random Hough Circle Transform (RHCT) ซึ่งจะทำการเลือกจุดสามจุดจากภาพขอบของวัตถุเพื่อใช้หาจุดศูนย์กลางและรัศมีของวัตถุทรงกลม เมื่อสามารถตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมได้แล้ว จึงติดตามภาพวัตถุด้วยวิธี CAMShift ซึ่งเป็นวิธีการติดตามภาพจากฮิสโตแกรมของสี ทำให้ระบบนี้สามารถตรวจจับและติดตามภาพวัตถุจากรูปทรงของวัตถุและสีของวัตถุดังลำดับการทำงานในภาพประกอบ 1-6



ภาพประกอบ 1-6 ลำดับการทำงานของ Irregular moving object detecting and tracking based on color and shape in real-time system

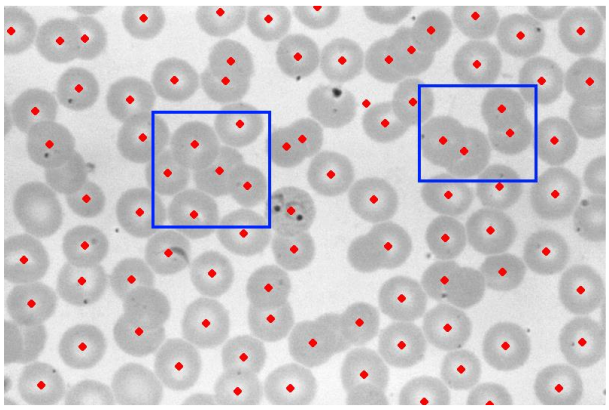
6. Object tracking : a survey [8]

บทความนี้เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์เทคนิคการตรวจจับและติดตามภาพวัตถุด้วยวิธีการต่างๆที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีวิธีการใดที่สามารถตรวจจับและติดตาม

ภาพวัตถุได้สมบูรณ์แบบ แต่ละวิธีล้วนมีจุดเด่นและจุดด้อย ฉะนั้นการวิเคราะห์ลักษณะของวัตถุเช่น สี รูปร่าง ทิศทางการเคลื่อนที่ หรือผลกระทบจากสภาพแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนแปลงของสว่าง ความคล้ายคลึงกันของวัตถุและภาพพื้นหลัง การซ้อนทับกันของวัตถุ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ออกแบบระบบติดตามภาพวัตถุจะต้องทำความเข้าใจเพื่อวิเคราะห์หาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับลักษณะของวัตถุและสภาพแวดล้อม

7. Circle detection using a Gabor annulus [9]

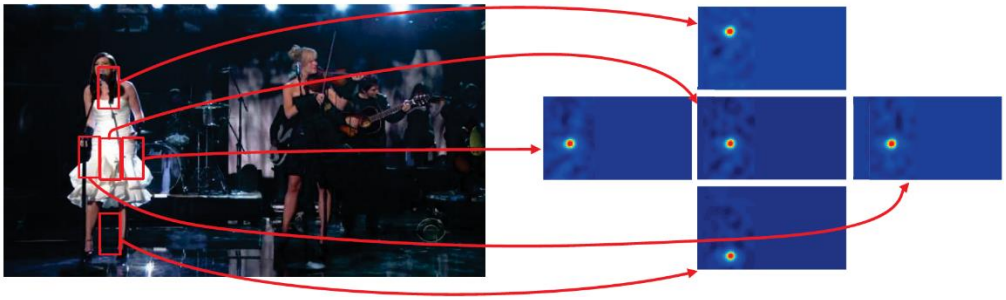
ในบทความนี้ได้นำเสนอการการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมจากภาพที่ทราบขนาดของวงกลมที่สนใจโดยการกรองภาพด้วยเวฟเล็ตกาบอร์รูปวงแหวน ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถระบุตำแหน่งภาพวงกลมได้จากภาพขอบของวัตถุทั้งยังสามารถระบุตำแหน่งของวงกลมได้จากภาพระดับเทาโดยตรง ทำให้ผลลัพธ์จากการตรวจจับวงกลมที่มีขอบไม่สมบูรณ์หรือเป็นวงกลมที่ซ้อนทับกันนั้นให้ผลที่แม่นยำกว่าการตรวจจับวงกลมด้วย Circular hough transform จากภาพขอบของวัตถุ แต่ยังพบปัญหาในการระบุค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเวฟเล็ตกาบอร์รูปวงแหวนเพื่อใช้สำหรับตรวจจับภาพวงกลมที่มีขนาดแตกต่างกันและปัญหาในการแบ่งเกณฑ์เพื่อระบุขนาดที่ชัดเจนของวงกลมที่ตรวจจับได้



ภาพประกอบ 1-7 ผลการระบุตำแหน่งของภาพเซลล์ซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมด้วย Gabor annulus wavelet [9]

8. Real-time part-based visual tracking via adaptive correlation filters [10]

ในบทความนี้ได้กล่าวถึงการติดตามภาพวัตถุโดยใช้พื้นฐานการวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างภาพที่สนใจและภาพต้นแบบด้วย Correlation filters และวิธีการลดความผิดพลาดในการติดตามวัตถุที่รายละเอียดภายในภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกบดบังโดยการแบ่งภาพต้นแบบออกเป็นหลายส่วนและวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างภาพที่สนใจและภาพต้นแบบแต่ละส่วนด้วย Adaptive correlation filters แล้วจึงระบุตำแหน่งของวัตถุด้วยตำแหน่งที่มีค่า Correlation สูงที่สุดจากการรวมผลลัพธ์จาก Adaptive correlation filters แต่ละส่วน



ภาพประกอบ 1-8 การหาค่า Correlation จากการแบ่งภาพต้นแบบออกเป็นหลายส่วน [10]

1.6. ประเด็นวิจัย

ระบบประมวลผลภาพจากแต่ละบทความความถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อลักษณะเฉพาะของวัตถุที่สนใจในระบบนั้นๆ เช่น ลักษณะของวัตถุ รูปแบบการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมไปถึงผลกระทบจากสภาพแวดแวดล้อม ซึ่งจากการสืบค้นพบว่าไม่มีบทความใดได้ทำการประดิษฐ์หรือออกแบบระบบประมวลผลภาพเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดจากภาพการใช้งาน Flow-oriented incentive spirometer ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจต่อการออกแบบระบบตรวจจับและติดตามภาพวัตถุที่เหมาะสมกับ Flow-oriented spirometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักกลศาสตร์ของไหลหรือแรงดึงดูดของอากาศจากการหายใจเพื่อดึงดูดให้ลูกบอลที่บรรจุอยู่ภายในลอยขึ้นสู่ตำแหน่งสูงสุด และประมาณปริมาตรปอดที่เกิดขึ้นจากอัตราการไหลของกาศจากการลอยตัวของลูกบอลดังภาพประกอบ 1-9 ทำให้การติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดสามารถทำได้โดยการตรวจจับการเคลื่อนไหวของลูกบอลทั้งสาม ซึ่งบอลแต่ละลูกมีสีที่แตกต่างกัน และเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวดิ่งด้วยความเร็วสูงภายในกระบอกพลาสติกใสที่สามารถสะท้อนแสงได้ ฉะนั้นอัลกอริทึมที่เลือกใช้จึงต้องมีความสามารถในการตรวจจับและติดตามภาพวัตถุได้พร้อมกันหลายวัตถุ สามารถทำงานได้รวดเร็วและถูกต้องในสภาพแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบจากแสงสะท้อนหรือการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง

(ก) (ข) (ค)

ภาพประกอบ 1-9 ตำแหน่งของบอลและการประมาณอัตราการไหลของอากาศจากการหายใจ

ก. 600 ลบ.ซม ข. 900 ลบ.ซม ค. 1,200 ลบ.ซม

1.7. ขั้นตอนและการดำเนินงาน

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อเรียนรู้วิธีการตรวจจับและติดตามวัตถุด้วยระบบประมวลผลภาพด้วยวิธีการต่างๆ
2. ศึกษาคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดและศึกษาวิธีการประมวลผลภาพที่เหมาะสมกับลักษณะของอุปกรณ์
3. ออกแบบระบบประมวลผลภาพสำหรับติดตามการกายภาพบำบัดเพื่อการฟื้นฟูปริมาตรปอด เช่น ระบบตรวจจับและติดตามวัตถุ ระบบการคำนวณปริมาตร
4. เขียนโปรแกรมประมวลผลภาพสำหรับติดตามการกายภาพบำบัดเพื่อการฟื้นฟูปริมาตรปอด
5. ทำการทดสอบโปรแกรมและวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพและหาข้อบกพร่องของระบบ
6. ปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ
7. สรุปผลและเขียนรายงานการวิจัย

1.8. ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดด้วยการนำเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอลมาประยุกต์ใช้กับภาพการใช้งานอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอด โดยใช้วิธีการตรวจจับและติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อนำผลการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวัตถุไปใช้เพื่อคำนวณหาปริมาตรปอดจากการหายใจของผู้ป่วย โดยบทที่ 2 อธิบายทฤษฎีของภาพดิจิตอล วิธีการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพและหลักการทำงานของอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอด บทที่ 3 เป็นการออกแบบวิธีการทดลองเพื่อเลือกตัวแปรและวิธีการที่เหมาะสมต่อการตรวจจับวัตถุในอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอด บทที่ 4 คือการทดลองการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมเพื่อเลือกใช้วิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการนำไปใช้งาน บทที่ 5 เป็นการทดลองวิธีการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่ด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันพร้อมทั้งเปรียบเทียบความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุและสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในบทที่ 6

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอด โดยมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับทฤฎีของภาพดิจิตอลและระบบสี การคัดแยกภาพและการสร้างภาพขอบของวัตถุ ซึ่งเป็นวิธีปรับปรุงรายละเอียดของภาพให้ง่ายต่อการประมวลผลและนอกจากนี้ยังกล่าวถึงทฤษฎีการตรวจจับภาพวัตถุด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน คือ การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วย Circular Hough Transform (CHT) และ Gabor Annulus Wavelet (GAW) การตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพด้วย Background Subtraction และ Frame difference การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย Euclidean Distance (ED) และ Normalized Cross-Correlation (NCC)

2.1. ภาพดิจิตอลและระบบสี

3.1.1. ภาพดิจิตอล

ภาพดิจิตอลเป็นข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบของเมทริกซ์สองมิติ [11] โดยที่จำนวนแถวและหลักของเมทริกซ์แสดงถึงขนาดของภาพดิจิตอล ซึ่งตำแหน่งในแต่ละแถวและหลักของเมทริกซ์หรือพิกเซล (Pixel) เปรียบได้กับหน่วยย่อยของภาพดิจิตอลที่จัดเก็บค่าความเข้มของแสงไว้ตามแต่ละระบบสี

3.1.2. ระบบสี [12]

โดยทั่วไปภาพดิจิตอลจะจัดเก็บในระบบสี RGB ซึ่งเป็นการจัดเก็บภาพที่บันทึกค่าความเข้มของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในรูปแบบของเมทริกซ์สองมิติซ้อนทับกันสามชั้นและแต่ละองค์ประกอบสีสามารถแบ่งระดับความเข้มของสีได้เป็น 256 ระดับ โดยแต่ละพิเซลในภาพระบบภาพสี RGB สามารถแสดงค่าความเข้มของสีได้แตกต่างกันถึง 16,777,216 ระดับ

ภาพระบบสี RGB เป็นที่นิยมเนื่องจากการแสดงสีที่ใกล้เคียงกับมุมมองคล้ายคลึงกับสีที่เกิดขึ้นจากการผสมสีด้วยแม่สีทั้งสาม คือสีแดง เขียวและน้ำเงิน แต่สำหรับระบบประมวลผลภาพดิจิตอลการแปลงค่าความเข้มของสีในระบบสี RGB ไปยังระบบสีอื่นทำให้ความสามารถในการรับรู้รายละเอียดของภาพเปลี่ยนแปลงไป

ภาพระดับเทา (Gray-scale image) เป็นการแปลงภาพระบบสี RGB ที่แสดงถึงความเข้มสีในแต่ละองค์ประกอบสีให้เป็นภาพที่แสดงถึงค่าความสว่างของแสงเพียงอย่างเดียว โดยทั่วไปภาพระดับเทาสามารถแบ่งระดับของความสว่างได้แตกต่างกัน 256 ระดับ โดยพิกเซลที่มืดที่สุดมีค่าเท่า 0 และพิกเซลที่สว่างที่สุดมีค่าเท่ากับ 255 นอกจากนี้การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทาสามารถลดเวลาในการประมวลผลภาพดิจิตอลจากการลดจำนวนมิติของข้อมูลในภาพสี

RGB ที่จัดเก็บด้วยเมทริกซ์สองมิติซ้อนทับกันสามชั้นให้ลดลงเหลืองเพียงเมทริกซ์สองมิติเพียงชั้นเดียวในภาพระดับเทาดังสมการ

$$Gray(x,y) = 0.2989 \times R(x,y) + 0.5870 \times G(x,y) + 0.1140 \times B(x,y) \quad (2\text{-}1)$$

เมื่อ *Gray(x,y)* คือ ค่าระดับเทา ณ ตำแหน่ง *(x,y)*

R(x,y) G(x,y) B(x,y) คือ ค่าระดับสีในแต่ละองค์ประกอบสีของภาพ RGB ณ ตำแหน่ง *(x,y)*

ระบบสี HSV เป็นการแปลงค่าความเข้มจากแต่ละองค์ประกอบสีของระบบสี RGB ออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแสดงลักษณะของสี ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉดสี (Hue,H) กับค่าความบริสุทธิ์ของสี (Saturate,S) และส่วนแสดงค่าความสว่าง (Value,V) โดยที่ค่าเฉดสีสามารถแบ่งออกได้เป็น 360 ระดับดังสมการ 2-2 และ 2-3 ที่มีเฉดสีหลัก คือ แดง เหลือง เขียว ฟ้า น้ำเงิน ม่วง และกลับมาสู่เฉดสีแดงที่มีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งความเข้มข้มของสีในแต่ละเฉดสีนั้นสามารถระบุได้จากค่าความบริสุทธิ์ของสีที่คำนวณได้ด้วยสมการ 2-4 มีค่าในช่วง 0 ถึง 1 เช่นเดียวกับค่าความสว่างที่บ่งบอกถึงความสว่างของแสงที่ปรากฏในภาพซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2-5

$$H = \begin{cases} \theta & , B \le G \\ 360 - \theta & , B > G \end{cases} \quad (2\text{-}2)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{(R-G)+(R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \quad (2\text{-}3)$$

$$S = 1 - \frac{\max(R+G+B)}{\min(R+G+B)} \quad (2\text{-}4)$$

$$V = \frac{\max(R+G+B)}{255} \quad (2\text{-}5)$$

ระบบสี YCbCr เป็นการจัดเก็บข้อมูลภาพอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งแยกข้อมูลเกี่ยวกับความสว่างออกจากข้อมูลสี โดยเก็บค่าความสว่างของภาพในองค์ประกอบ Y ส่วนองค์ประกอบสี Cb และ Cr บันทึกค่าความเข้มของสีน้ำเงินและสีแดงซึ่งแตกต่างจากค่าความเข้มขององค์ประกอบสี R และ B ในระบบสี RGB คือ Cb และ Cr นั้นแสดงเฉพาะค่าความเข้มของสีที่หักล้างค่าความสว่างออกไป ซึ่งการแปลงภาพระบบสี RGB เป็นภาพระบบสี YCbCr สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2-6, 2-7 และ 2-8

$$Y = 16 + (65.481R + 128.553G + 24.966B) \quad (2\text{-}6)$$

$$Cb = 128 + (-37.797R - 74.203G + 112.0B) \quad (2\text{-}7)$$

$$Cr = 128 + (112.0R + 93.786G + 18.214B) \quad (2\text{-}8)$$

ภาพขาวดำ (Binary image) เป็นภาพที่แบ่งระดับความเข้มของสีได้เป็นสองระดับ คือ 0 แสดงภาพสีดำและ 1 แสดงภาพสีขาว การจัดเก็บข้อมูลโดยใช้พื้นที่น้อยและสามารถประมวลผลได้เร็ว นิยมใช้สำหรับบ่งบอกพิกเซลหรือกลุ่มพิกเซลที่ต้องการนำมาใช้เพื่อการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคการคัดแยกภาพและการหาภาพขอบของวัตถุ

2.2.การคัดแยกภาพ

3.2.1. Thresholding

การคัดแยกภาพ (Segmentation) มีจุดประสงค์เพื่อแปลงข้อมูลภาพที่มีค่าความเข้มของสีที่มีค่าแตกต่างกันหลายระดับให้เป็นภาพที่มีค่าความเข้มของสีเพียงสองระดับโดยใช้ค่าความเข้มของสีค่าหนึ่ง (Threshold value) เป็นเส้นขีดแบ่งกลุ่มพิกเซลที่สนใจออกจากกลุ่มพิกเซลอื่นๆ โดยทั่วไปกลุ่มพิกเซลที่สนใจจะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 และให้พิกเซลอื่นๆมีค่าเท่ากับ 0 [13] ดังสมการ 2-9

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & , f(x,y) > Th \\ 0 & , f(x,y) \le Th \end{cases} \quad (2\text{-}9)$$

เมื่อ *g(x,y)* คือ ภาพขาวดำซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการคัดแยกภาพด้วยค่าความเข้มของสีเท่ากับ *Th* *f(x,y)* คือ ค่าความเข้มของสีจากองค์ประกอบสีใดๆ ณ ตำแหน่ง *(x,y)*

3.2.2. Otsu's thresholding

วิธีการหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมกับลักษณะการกระจายตัวของความเข้มของสีที่นิยมใช้คือวิธีของ Otsu (Otsu's method) [14] ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าขีดแบ่งโดยการสร้างฮิสโทรแกรมของภาพที่แสดงค่าความถี่ของระดับสีจากพิกเซลทั้งหมดภายในภาพและคำนวณหาความน่าจะเป็นของความเข้มสี จากสมการ 2-10 แล้วจึงคำนวณหาผลรวมของความน่าจะเป็นที่พิกเซลจะถูกกำหนดค่าให้เท่ากับ 0 และ 1 เมื่อใช้ค่าขีดแบ่งที่มีค่าเท่ากับ *Th* ดังสมการ 2-11 และ 2-12 จากนั้นจึงหาค่าความแปรปรวนที่มากที่สุดจากการใช้ค่าขีดแบ่งทั้งหมดที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 0 ซึ่งเป็นระดับความเข้มที่มีค่าต่ำสุดจนถึง *L-1* ซึ่งเป็นระดับความเข้มที่มีค่ามากที่สุดดังสมการ 2-13

ผลลัพธ์จากวิธีการข้างต้นสามารถระบุค่าขีดแบ่งที่ใช้เพื่อการแปลงภาพกลุ่มพิกเซลที่สนใจจากภาพระบบสีต่างๆให้เป็นภาพขาวดำ โดยคงรูปร่างของวัตถุที่สนใจในภาพขาวดำได้ใกล้เคียงกับลักษณะเดิมในภาพสีด้วยค่าขีดแบ่งเท่ากับ *Th* ที่ทำให้เกิดค่าความแปรปรวนที่มีค่ามากที่สุด

$$p_i = n_i / N \tag{2-10}$$

เมื่อ p_i คือ ความน่าจะเป็นของความเข้มสีที่มีค่าเท่ากับ *i*
n_i คือ จำนวนพิกเซลที่มีค่าความเข้มสีเท่ากับ *i*
N คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดภายในภาพ

$$g_0(Th) = \sum_{i=0}^{Th} p_i \tag{2-11}$$

$$g_1(Th) = \sum_{i=Th+1}^{L-1} p_i \tag{2-12}$$

เมื่อ g_0 คือ ผลรวมของความน่าจะเป็นของพิกเซลที่ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
g_1 คือ ผลรวมของความน่าจะเป็นของพิกเซลที่ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1
L คือ จำนวนระดับความเข้มของสีที่มีค่ามากที่สุด

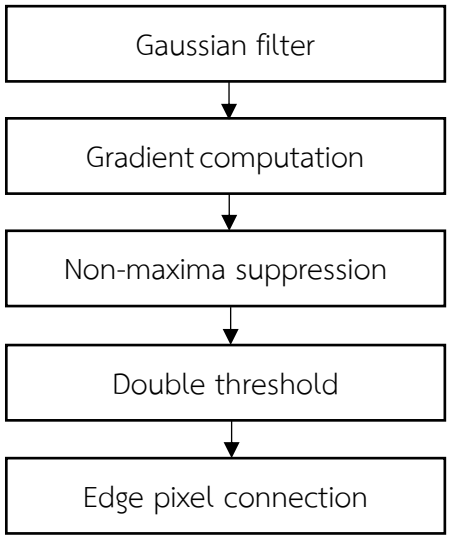
$$\sigma^2(Th) = g_0(Th)g_1(Th)\left[(\mu_0 - \mu_1)^2\right] \tag{2-13}$$
$$\sigma^2(Th^*) = \max_{0 \le Th < L-1} \sigma^2(Th)$$

เมื่อ σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มพิกเซลที่ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 และ 1
μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสีจากพิกเซลที่ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสีจากพิกเซลที่ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1
Th^* คือ ค่าขีดแบ่งที่ทำให้ค่าความแปรปรวนมีค่ามากที่สุด

2.3.การสร้างภาพขอบของวัตถุ

ภาพขอบของวัตถุ (Edge image) คือ ภาพขาวดำที่แสดงพิกเซลซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างกลุ่มพิกเซลที่มีค่าแตกต่างกันมาก รายละอียดในภาพขอบของวัตถุสามารถบอกถึงขนาดและรูปร่างของวัตถุได้จากการกำหนดให้พิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุมีค่าเท่ากับ 1 และกำหนดให้กลุ่มของพิกเซลที่มีความเข้มของสีใกล้เคียงกันมีค่าเท่ากับ 0 [15] ซึ่งการหาขอบของวัตถุนี้สามารถแบ่งได้เป็นสองวิธี คือ วิธีการหาขอบของภาพด้วยอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งและอันดับที่สอง โดยงานวิจัยนี้นำ Canny edge detection [16] ซึ่งเป็นการหาขอบของภาพด้วยอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งมาใช้เนื่องจากภาพขอบของวัตถุที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการดังกล่าวมีรายละเอียดของขอบวัตถุที่สมบูรณ์และสามารถกำจัดขอบของกลุ่มพิกเซลที่มีค่าใกล้เคียงกันออกไปได้มาก

กระบวนการทำงานของการสร้างภาพขอบของวัตถุด้วยวิธีของ Canny สามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังภาพประกอบ 2-1 โดยเริ่มต้นด้วยการลดรายละเอียดของภาพด้วยตัวกรองเกาเซียน (Gaussian filter) แล้วจึงหาขอบของวัตถุด้วยอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง จากนั้นจึงลดขนาดขอบของให้บางลงด้วย Non-maxima suppression แล้วจึงใช้ค่าขีดแบ่งแบบสองค่า (Double threshold) เพื่อแยกขอบของวัตถุที่แท้จริงออกจากสัญญาณรบกวน จากนั้นจึงเชื่อมต่อพิกเซลที่มีค่าความเข้มของสีที่มีค่าในช่วงระหว่างค่าขีดแบ่งแบบสองค่าเข้ากับพิกเซลที่เป็นขอบที่แท้จริงของวัตถุ



ภาพประกอบ 2-1 กระบวนการสร้างภาพขอบของวัตถุด้วยวิธี Canny

การกรองภาพด้วยตัวกรองเกาเซียนหรือการหาผลรวมของการประสาน (Convolution) ระหว่างภาพต้นแบบและตัวกรองเกาเซียนดังสมการ 2-14 ทำให้ความต่างของค่าความเข้มสีจากแต่ละพิกเซลมีค่าลดลง สามารถลดรายละเอียดหรือสัญญาณรบกวนและทำให้ภาพถูกปรับให้เรียบแต่คงไว้ซึ่งระดับความเข้มสีของพิกเซลที่มีค่าโดดเด่นจากพิกเซลอื่น

$$S(x,y) = G_{\alpha}(x,y) * I(x,y) \tag{2-14}$$

เมื่อ *S(x,y)* คือ ผลลัพธ์จากการกรองภาพด้วยตัวกรองเกาเซียน
I(x,y) คือ ภาพต้นแบบหรือภาพที่ต้องการปรับให้เรียบขึ้น
$G_{\alpha}(x,y)$ คือ ตัวกรองเกาเซียนที่มีค่าควบคุมระดับการกรองเท่ากับ α

การค้นหาขอบของวัตถุโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Operator) ใช้ประโยชน์จากความไม่ต่อเนื่องของรายละเอียดในภาพบริเวณรอยต่อระหว่างภาพวัตถุและภาพพื้นหลังโดยการหา Gradient ของภาพจากขอบของวัตถุในแนวนอน (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) ดังสมการ 2-15 และ 2-16 เพื่อคำนวณขนาดและทิศทางของ Gradient ดังสมการ 2-17 และ 2-18

$$S_h(x,y) = \frac{\partial}{\partial x} S(x,y) \tag{2-15}$$

$$S_v(x,y) = \frac{\partial}{\partial y} S(x,y) \tag{2-16}$$

$$Mag(x,y) = \sqrt{S_v{}^2(x,y) + S_h{}^2(x,y)} \tag{2-17}$$

$$\theta(x,y) = \tan^{-1}\left[\frac{S_v(x,y)}{S_h(x,y)}\right] \tag{2-18}$$

เมื่อ $S_h(x,y)$ คือ ขอบของวัตถุในแนวนอน
$S_v(x,y)$ คือ ขอบของวัตถุในแนวตั้ง
Mag(x,y) คือ ขนาดของ Gradient
$\theta(x,y)$ คือ ทิศทางของ Gradient

ขนาดของ Gradient มีลักษณะเป็นขอบที่กว้าง สามารถบอกถึงตำแหน่งที่อาจเป็นขอบของวัตถุได้แต่การลดขนาดขอบของงวัตถุให้บางลงด้วยวิธี Non-maxima suppression สามารถกำจัดขอบที่เป็นส่วนเกินออกไปได้โดยการหาแนวเส้นที่มีค่าสูงสุด (local Maxima) ของ Gradient และเลือกขอบจากจุดในแนวเส้นที่มีค่าสูงสุดที่มีทิศทางเดียวกับ Gradient

หลังจากลดขนาดของขอบวัตถุให้บางลงด้วย Non-maxima suppression ผลลัพธ์ที่ได้จะประกอบด้วยขอบจริงของวัตถุและขอบที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน ซึ่งการคัดแยกขอบของวัตถุด้วยค่าขีดแบ่งแบบสองค่าสามารถลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งขอบของวัตถุได้โดยการแบ่งขอบของวัตถุออกเป็นสามกลุ่ม โดยใช้ค่าขีดแบ่งค่าที่มีค่าสูง (Th_{high}) เพื่อระบุกลุ่มของขอบวัตถุที่ชัดเจน ใช้ค่าขีดแบ่งค่าต่ำ (TH_{low}) เพื่อระบุกลุ่มที่ไม่ใช่ขอบของวัตถุ และระบุกลุ่มสุดท้ายซึ่งมีค่าระหว่างค่าขีดแบ่งค่าสูงและค่าต่ำเป็นกลุ่มของขอบวัตถุที่ไม่ชัดเจน

กลุ่มของขอบวัตถุที่ไม่ชัดเจนประกอบด้วยขอบที่เกิดขึ้นจากภาพรอยต่อของวัตถุและขอบที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน ซึ่งการกำจัดส่วนของสัญญาณรบกวนออกจากพิกเซลกลุ่มนี้ทำให้สามารถจัดกลุ่มของขอบวัตถุที่ไม่ชัดเจนเป็นส่วนหนึ่งของขอบจริงของวัตถุเช่นเดียวกับกลุ่มขอบวัตถุที่ชัดเจนได้โดยการกำหนดให้พิกเซลใดๆในกลุ่มของขอบวัตถุที่ไม่ชัดเจนที่มีตำแหน่งติดกันกับกลุ่มของขอบวัตถุที่ชัดเจนเป็นส่วนหนึ่งของขอบจริงของวัตถุและให้พิกเซลใดๆในกลุ่มของขอบวัตถุที่ไม่ชัดเจนที่ไม่เชื่อมต่อกับพิกเซลในกลุ่มของขอบวัตถุที่ชัดเจนเป็นพิกเซลที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน

2.4.การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม

3.4.1. Circular Hough Transform (CHT)

การแปลงฮัปแบบวงกลม (Circular hough transform) [17] คือ วิธีการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมเพื่อค้นหาตำแหน่งและขนาดของวงกลมโดยใช้แต่ละพิกเซล x_i,y_i ในภาพขอบของวัตถุแทนตำแหน่งของจุดศูนย์กลางวงกลมรัศมี R_i ดังสมการ 2-19 และผลจากการวาดวงกลมรัศมี R_i ผ่านพิกัด (x,y) จะถูกสะสมค่าในเมทริกซ์สามมิติ $A(x,y,R_i)$ ซึ่งบ่งบอกถึงจำนวนเส้นรอบวงกลมขนาดต่างๆที่วาดผ่านพิกัดใดๆภายในรูปและสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุทรงกลมได้จากพิกัดที่เกิดการซ้อนทับกันมากที่สุด

$$(x-x_i)^2-(y-y_i)^2=R_i^2 \tag{2-19}$$

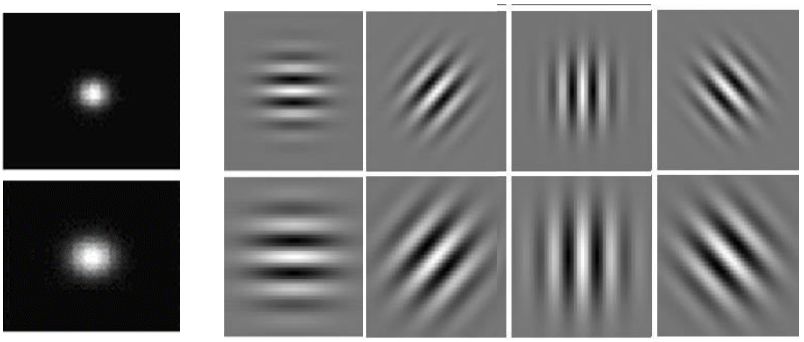
โดยที่ $$x=x_i+R_i\cos\theta$$

และ $$y=y_i+R_i\sin\theta$$

3.4.2. Gabor Annulus Wavelet (GAW)

เวฟเล็ตกาบอร์รูปวงแหวน (Gabor annulus wavelet) เป็นเวฟเล็ตแบบสองมิติที่ประกอบด้วยค่าส่วนจริงและส่วนจินตภาพที่ประยุกต์มาจากเวฟเล็ตกาบอร์ (Gabor Wavelet) [9] ซึ่งแม็กนิจูดมีลักษณะเป็นแนวตรง เกิดจากการจายตัวแบบเกาเซียนตามค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_x ในแนวแกนหลักและ σ_y ในแนวแกนตั้งฉาก ด้วยลักษณะของสัญญาณรูป sin หรือ cos บนระนาบเชิงซ้อนซึ่งกระจายตัวด้วยความถี่ f_0 ดังแสดงในภาพประกอบ 2-2 ตามสมการ 2-20

$$G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}e^{-\pi\left[\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2}+\frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2}\right]}e^{i[2\pi f_0 x]} \tag{2-20}$$



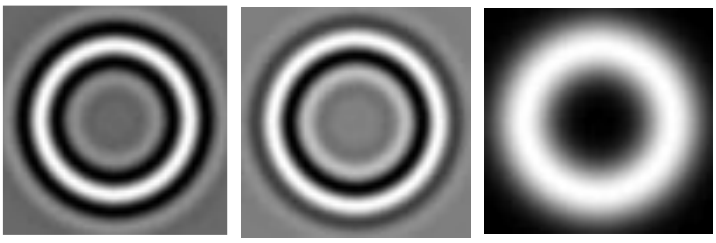
(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2-2 เวฟเล็ตกาบอร์ ก. ภาพแม็กนิจูดของเวฟเล็ตกาบอร์ ข. ภาพส่วนจริงของเวฟเล็ตกาบอร์

การปรับปรุงเวฟเล็ตกาบอร์เพื่อใช้ตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมสามารถทำได้โดยการแปลงค่า x , y ในสมการที่ 2-20 ให้อยู่ในรูปแบบรัศมีของวงกลมหรือ r และกระจายตัวแบบเกาเซียนในแนวแกนหลักและแนวตั้งฉากด้วยค่าที่เท่ากันตามค่า σ ดังสมการที่ 2-21 ซึ่งผลจากการปรับปรุงสมการนี้ทำให้ค่าส่วนจริงและส่วนจินตภาพของเวฟเล็ตกระจายตัวในรูปแบบของวงกลมและทำให้แม็กนิจูดของเวฟเล็ตมีลักษณะเป็นรูปวงแหวนดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ2-3

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma r_0} e^{-\pi\left[\frac{(r-r_0)^2}{\sigma^2}\right]} e^{i[2\pi f_0(r-r_0)]} \tag{2-21}$$

โดยที่ $$r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$$



(ก) (ข) (ค)

ภาพประกอบ 2-3 เวฟเล็ตกาบอร์รูปวงแหวน

ก. ภาพส่วนจริง ข. ภาพส่วนจินตภาพ ค. ภาพแม็กนิจูด

2.5.การตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพ

3.5.1. Background Subtraction

การตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพด้วยวิธีการ Background subtraction [18] เป็นวิธีการที่อาศัยความแตกต่างกันของค่าสีในแต่ละพิกเซลโดยใช้วิธีการลบกันระหว่างภาพพื้นหลังกับภาพในเฟรมปัจจุบันพร้อมทั้งหาค่าสัมบูรณ์ของค่าที่ได้จากการลบกันดังกล่าวแล้วจึงนำไปเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่งดังสมการ 2-22 ผลลัพธ์จากการคำนวณสามารถนำมาใช้เพื่อระบุตำแหน่งของภาพที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมในรูปแบบของภาพขาวดำ

$$F = \left| F_n - F_{ref} \right| > Th \tag{2-22}$$

3.5.2. Frame difference

ตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพด้วยวิธีการ Frame difference [18] มีความคล้ายคลึงกับวิธีการ Background subtraction ที่อาศัยความแตกต่างของค่าสีในแต่ละพิกเซล แต่ Frame difference นั้นใช้การหาค่าความแตกต่างระหว่างภาพในเฟรมปัจจุบันกับภาพในเฟรมก่อนหน้าดังสมการ 2-23 เพื่อลดผลกระทบจากค่าความเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นจากแสงหรือสิ่งรบกวนอื่นๆที่อาจทำให้วิธีการ Background subtraction ไม่สามารถตรวจจับภาพวัตถุที่เกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง

$$F = \left| F_n - F_{n-1} \right| > Th \tag{2-23}$$

2.6.การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพ

3.6.1. Normalized Cross-Correlation (NCC)

การค้นหาภาพวัตถุที่มีลักษณะเฉพาะจากภาพที่สนใจด้วย Normalized Cross-Correlation อาศัยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของค่าความเข้มสีระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่สนใจเพื่อระบุตำแหน่งหรือพื้นที่ของภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด [19] ถือเป็นเทคนิคการประมวลผลภาพที่มีประสิทธิภาพและสามารถประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับและติดตามภาพวัตถุซึ่งมีขนาดคงที่และมีพื้นหลังที่ไม่ซับซ้อน ทั้งยังทนทานต่อความเปลี่ยนแปลงของอัตาส่วนความสว่างระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่สนใจเนื่องจากการใช้ค่ากลางของภาพที่สนใจ $\bar{f}$ และค่ากลางของภาพต้นแบบ $\bar{t}$ ดังสมการ 2-24 เพื่อแก้ไขปัญหาค่า Correlation ที่แปรผันตามระดับความเข้มของพิกเซลในภาพที่สนใจ

$$R(u,v)=\frac{\sum_{x,y}[f(x,y)-\overline{f}_{u,v}][t(x-u,y-v)-\overline{t}]}{\sqrt{\sum_{x,y}[f(x,y)-\overline{f}_{u,v}]^2\sum_{x,y}[t(x-u,y-v)-\overline{t}]^2}} \tag{2-24}$$

บทที่ 3

การออกแบบระบบและวิธีการทดลอง

การออกแบบและการกำหนดขั้นตอนการทำงานของระบบประมวลผลภาพดิจิตอลเป็นส่วนสำคัญที่ให้การพัฒนาระบบสามารถทำได้ในแนวทางที่ถูกต้อง รวดเร็วและตอบสนองต่อจุดประสงค์ของการใช้งานระบบ โดยมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลทั้งสามภายในอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอดที่ถูกต้องตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลูกบอลที่เกิดขึ้นจริงและนำผลการติดตามการเคลื่อนที่มาคำนวณหาปริมาตรปอดและบันทึกผลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดในผู้ป่วยแต่ละราย

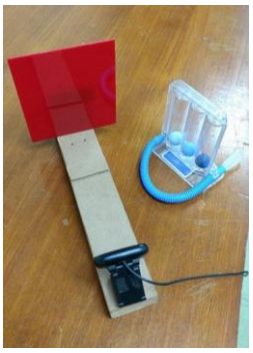
การออกแบบระบบโดยเลือกใช้วิธีการตรวจจับภาพวัตถุที่เหมาะสมเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการออกแบบระบบเพราะการออกแบบระบบนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมขณะใช้งาน ลักษณะการใช้งานและความสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความถูกต้องในการตรวจจับภาพวัตถุได้

3.1 การออกแบบอุปกรณ์

การออกแบบอุปกรณ์เพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดนี้ได้เลือกใช้กล้อง Logitech C170 ที่สามารถบันทึกภาพเคลื่อนไหวที่มีความละเอียด 640x480 พิกเซลด้วยความเร็วสูงสุด 30 เฟรมต่อวินาที และเลือกใช้อุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูของปริมาตรปอดรุ่น TRIFLO® II ที่ใช้ลูกบอลสีขาว ฟ้า และน้ำเงินเป็นตัวบ่งชี้อัตราการไหลของอากาศ ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้เป็นอุปกรณ์หลักสำหรับการกระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอดของผู้ป่วยในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์สมควรต่อการนำมาใช้เพื่อการศึกษาและทดลอง เนื่องจากเราสามารถนำผลลัพธ์จากการศึกษาและทดลองนี้ไปใช้งานจริงกับผู้ป่วยภายในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์และสามารถนำผลตอบรับจากการใช้งานมาแก้ไขและพัฒนาระบบให้มีสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นได้ในอนาคต

ลักษณะของ Triflow ที่เป็นกระบอกพลาสติกใสทำให้การประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลในกระบอกพลาสติกใสอาจเกิดความผิดพลาดเมื่อมีวัตถุที่มีสีใกล้เคียงกันกับสีของลูกบอลอยู่ด้านหลังกระบอกพลาสติกนี้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการควบคุมสภาพแวดด้วยการประมวลผลภาพภายในระบบปิดเช่นการใช้กล่องดำและแหล่งกำเนิดแสงเพื่อประมวลผลด้วยความสว่างที่เหมาะสมโดยไม่มีวัตถุอื่นใดมารบกวน แต่การออกแบบอุปกรณ์เช่นนี้ไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากผู้ป่วยไม่สามารถสังเกตตำแหน่งการลอยตัวของลูกบอลเพื่อรักษาระดับการลอยตัวและอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการหายใจให้สัมพันธ์กับความยากง่ายในการฝึกฝนได้ ดังนั้นวิธีการที่สามารถแก้ปัญหาความผิดพลาดจากปัญหาเรื่องสีของวัตถุอื่นที่ใกล้เคียงกับสีของลูกบอลทั้งยังสามารถมองเห็น Triflow ได้ขณะใช้งานอุปกรณ์คือการสร้างฐานสำหรับวาง Triflow และกล้อง โดยใช้ฉากที่มีสีต่างจากสีของลูกบอลวางไว้ด้านหลัง Triflow ดังภาพประกอบ 3-1 โดยกำหนด

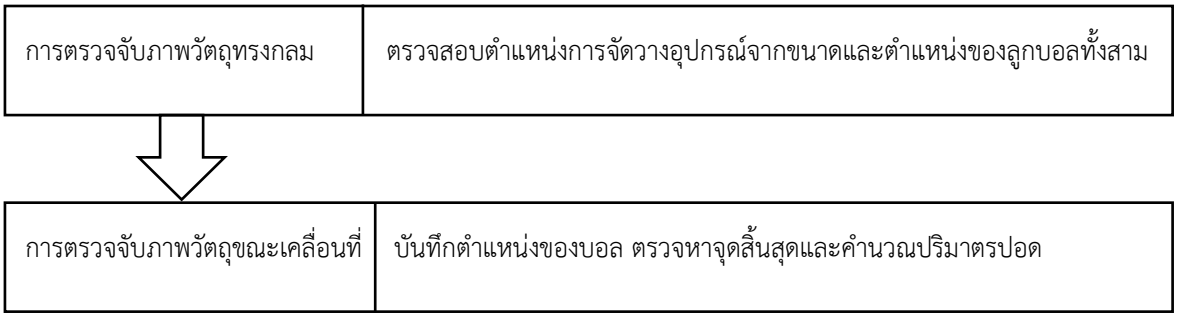
ระยะห่างระหว่าง Triflow และกล้องที่ระยะ 20 ซ.ม. เพื่อให้กล้องสามารถจับภาพครอบคลุมตำแหน่งต่ำสุดและตำแหน่งสูงสุดที่ลูกบอลสามารถเคลื่อนที่ไปได้ อีกทั้งยังเป็นฐานที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย สะดวกต่อการนำไปใช้ยังหอผู้ป่วยและสามารถสับเปลี่ยน Triflow ได้ง่ายเหมาะแก่การนำไปใช้งานเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดในกลุ่มผู้ป่วยที่มีจำนวนมาก



ภาพประกอบ 3-1 ฐานสำหรับวาง Triflow กล้อง และฉากหลัง

3.2 การออกแบบระบบประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดโดยการตรวจจับการเคลื่อนที่ของลูกบอลภายใน Triflow จำเป็นต้องตรวจสอบการจัดวางตำแหน่งระหว่าง Triflow และกล้องทั้งในแนวระดับและในตั้งฉากเพื่อนำตำแหน่งหรือความสูงของการลอยตัวของลูกบอลที่ถูกต้องไปใช้เพื่อคำนวณปริมาตรปอด ทั้งยังต้องมีความสามารถในการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการใช้งาน Triflow เพื่อนำตำแหน่งการติดตามการเคลื่อนที่ในช่วงดังกล่าวไปใช้เพื่อคำนวณหาปริมาตรปอด ซึ่งทำให้แบ่งระบบออกได้เป็นสองส่วนดังแสดงในภาพประกอบ3-2 คือ การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมขณะวัตถุหยุดนิ่งเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์ในแนวตั้งฉากด้วยการวัดขนาดของบอลแต่ละลูกว่ามีขนาดเท่ากันหรือไม่พร้อมทั้งตรวจสอบการจัดวางในระดับด้วยความสูงของบอลแต่ลูกที่ปรากฏในภาพว่ามีความสูงเท่ากันหรือไม่และเมื่อระบบตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์แล้วจึงตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่ด้วยการแยกภาพออกเป็นสามส่วนแล้วตรวจหาตำแหน่งของบอลจากภาพแต่ละส่วนพร้อมทั้งหาจุดสิ้นสุดของการใช้งานอุปกรณ์เพื่อหยุดขั้นตอนการตรวจจับและนำผลลัพธ์จากการติดตามตำแหน่งไปคำนวณปริมาตรปอดพร้อมทั้งบันทึกผลหรือรายงานผลแก่ผู้ใช้งาน

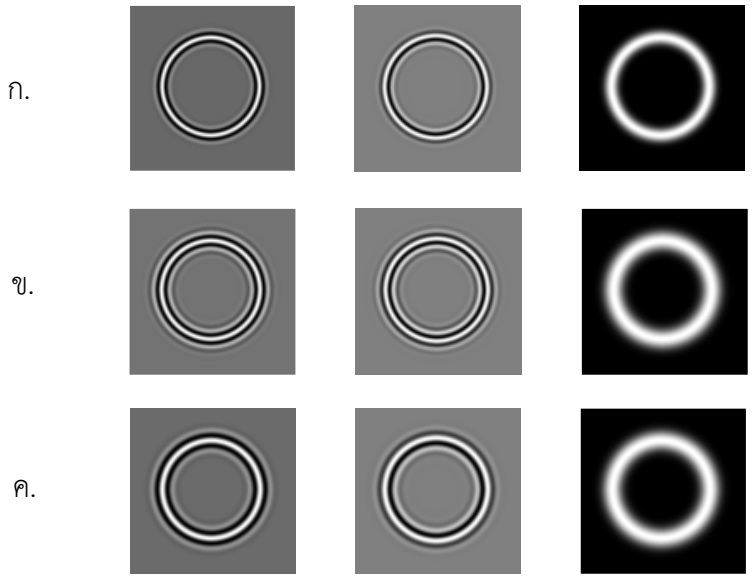


ภาพประกอบ 3-2 ลำดับการทำงานของระบบประมวลผลภาพ

3.3 วิธีการทดลอง

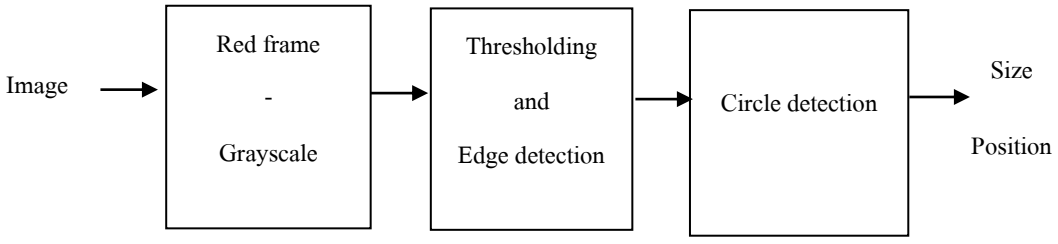
3.3.1 การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม

จากลักษณะเด่นของอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอด Triflow ที่บอลทรงกลม ทำให้เราสามารถนำเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมเช่น CHT หรือ GAW มาใช้งานเพื่อประโยชน์ต่อการตรวจสอบความถูกต้องในการจัดวางอุปกรณ์ได้ แต่การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วย GAW ยังมีส่วนที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อการการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมที่มีรัศมีแตกต่างกัน คือ ตัวแปร σ และ f_0 ในสมการ 2-21 ที่ควบคุมความกว้างของการกระจายตัวและความถี่ของการกระจายตัวของตัวกรองรูปวงแหวนดังแสดงในภาพประกอบ 3-3 ก และ ข ที่ใช้ค่าตัวแปร f_0 เท่ากับ 0.2 แต่ภาพ ข มีค่า σ ที่มากกว่าจึงทำให้ความกว้างของการกระจายตัวมีค่ามากกว่าและเมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 3-3 ข และ ค ที่ใช้ค่าตัวแปร σ เท่ากับ 10 แต่ภาพ ค มีค่า f_0 ที่น้อยกว่าทำให้ภาพ ค กระจายตัวเป็นรูปวงแหวนด้วยความถี่ที่น้อยกว่าภาพ ข ซึ่งแตกต่างจากการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วย CHT ที่ได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงต้องทำการทดลองเพื่อศึกษาและระบุค่าตัวแปรที่เหมาะสมของ GAW โดยการสังเคราะห์ภาพวงวงกลมที่มีรัศมีแตกต่างกันตั้งแต่ 20-40 พิกเซลโดยใช้วงกลมและฉากพื้นหลังที่ทีสีแตกต่างกันและทำการทดลองทั้งในภาพสี RGB ภาพระดับเทาและภาพขอบของวัตถุ จากนั้นจึงนำตัวแปรที่เหมาะสมจากการทดลองไปใช้เพื่อตรวจจับภาพวัตถุทรงใน Triflow และเปรียบเทียบผลกับการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วย CHT เพื่อเลือกใช้วิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจสอบการจัดวางอุปกรณ์



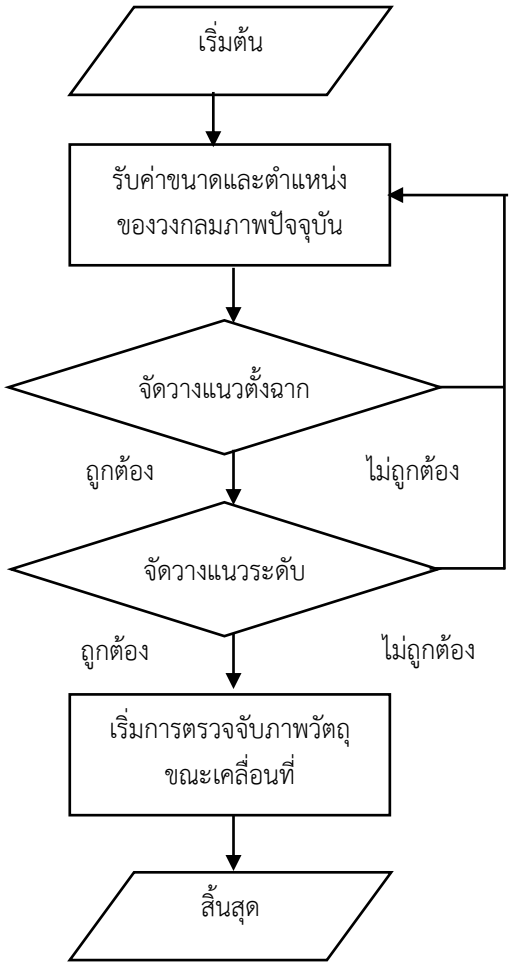
ภาพประกอบ 3-3 ภาพส่วนจริง ส่วนจินตภาพและแม็กนิจูดของGAWจากตัวแปรที่แตกต่างกัน
ก. σ เท่ากับ 7 และ f_0 เท่ากับ 0.2 ข. σ เท่ากับ 10 และ f_0 เท่ากับ 0.2
ค. σ เท่ากับ 10 และ f_0 เท่ากับ 0.15

การทดลองตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมใน Triflow ใช้ภาพที่มีขนาด 320x240 พิกเซลและลดเวลาในการประมวลผลโดยใช้ข้อมูลภาพเฉพาะภาพครึ่งล่างซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลูกบอลปรากฏในภาพขณะตรวจสอบการจัดวางอุปกรณ์ แต่การทดลองนั้นอาจพบความผิดพลาดของการตรวจจับในภาพขอบของวัตถุเนื่องจากแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนกระบอกพลาสติกส่งผลให้ภาพขอบของวัตถุที่เกิดขึ้นมีลักษณะการเป็นวงกลมที่ไม่สมบูรณ์แต่สามารถลดทอนความผิดพลาดได้ด้วยการทำ Preprocessing โดยใช้ประโยชน์จากการติดตั้งฉากหลังสีแดงที่ทำให้เราสามารถใช้วิธีการลบกันของภาพองค์ประกอบสีแดงและภาพระดับเทาและใช้ค่าขีดแบ่งด้วยวิธีการของ Otsu เพื่อแยกวัตถุที่ไม่ใช้สีแดงออกจากพื้นหลังที่เป็นสีแดง แล้วจึงสร้างภาพขอบของวัตถุด้วยวัตถุด้วยวิธีการของ Canny และตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมดังแสดงลำดับการทำงานในภาพประกอบ3-4



ภาพประกอบ 3-4 ลำดับการทำงานของการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม

ผลจากการตรวจจับวัตถุทรงกลมซึ่งประกอบด้วยขนาดและตำแหน่งของวงกลมถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจัดวางอุปกรณ์ดังแสดงในภาพประกอบ 3-5 โดยมีเงื่อนไขแรก คือ ขนาดของวงกลมที่ตรวจจับได้ทั้งสามต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน คือมีขนาดประมาณ 18-22 พิกเซล โดยที่ระยะห่างในนอนระหว่างบอลลูกที่หนึ่ง สอง และสามมีค่าใกล้เคียงกันและเงื่อนไขที่สองคือตำแหน่งในแนวตั้งของวงกลมที่ตรวจจับได้แตกต่างกันน้อยกว่า 5 พิกเซล และสิ้นสุดขั้นตอนการตรวจสอบเมื่อจัดวางอุปกรณ์ได้ถูกต้องและต่อเนื่องเกินกว่า 50 เฟรม

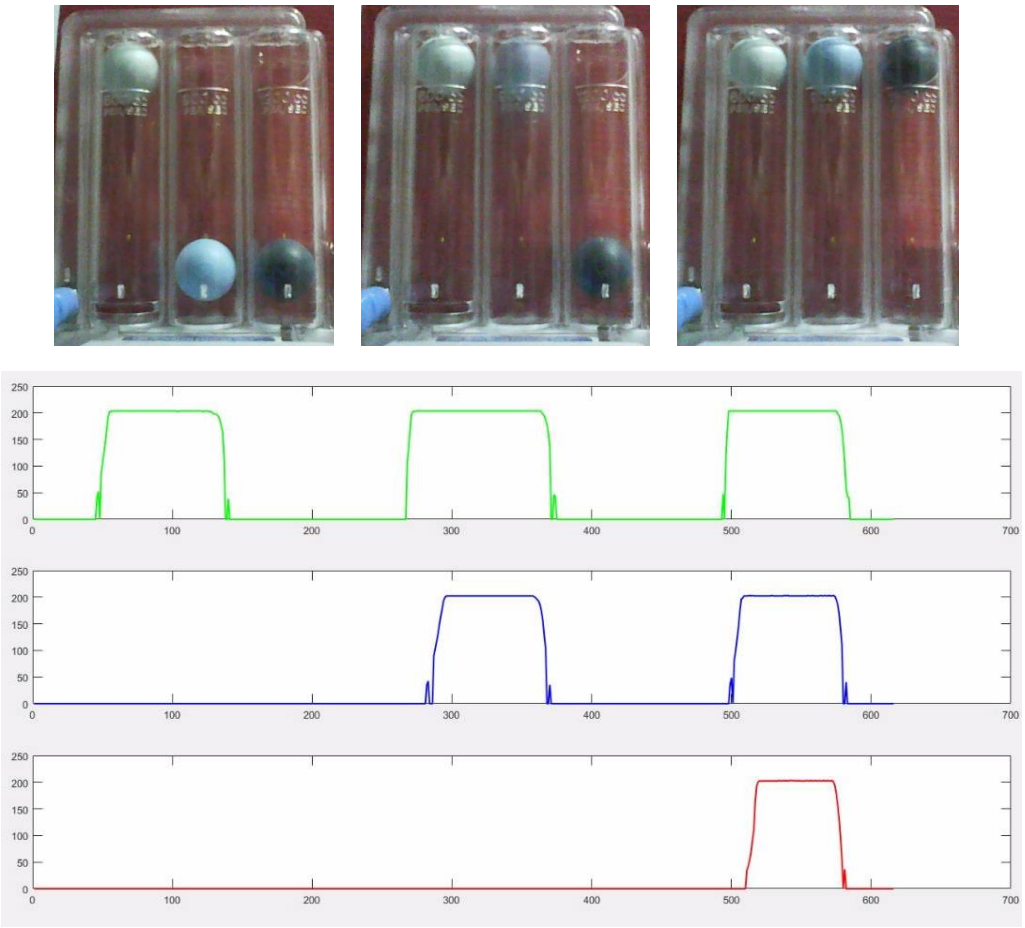


ภาพประกอบ 3-5 แผนภาพการทำงานของการตรวจสอบความถูกต้องในการจัดวางอุปกรณ์

3.3.2 การตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่

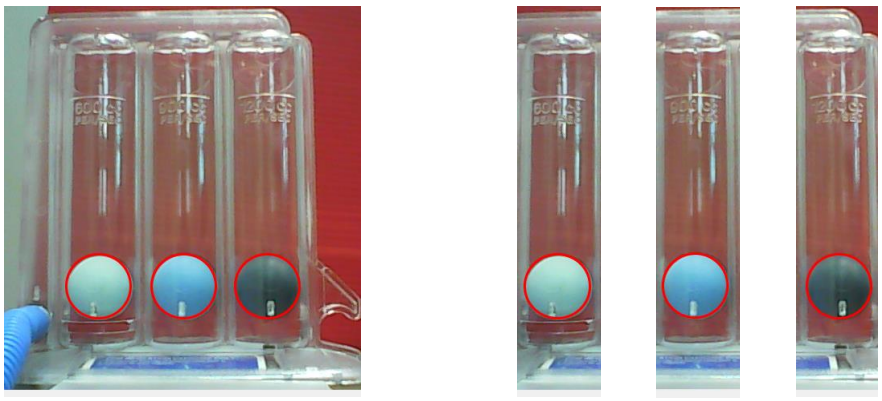
กระบวนการสำคัญอีกกระบวนการหนึ่งหลังจากการตรวจสอบความถูกต้องในการจัดวางอุปกรณ์คือการตรวจจับและติดตามการเคลื่อนที่ของบอลแต่ละลูกเพื่อใช้สร้างเป็นแผนภาพการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกบอลแต่ละลูกดังแสดงในภาพประกอบ 3-6 โดยที่แผนภาพเส้นสีเขียว น้ำเงิน แดง แสดงตำแหน่งในแนวตั้งของบอลลูกที่หนึ่ง สอง สามในแกนเวลาเดียวกัน จากแผนภาพที่

แสดงนี้สามารถคำนวณหาปริมาตรปอดได้จากการคำนวณพื้นที่ใต้แผนภาพและอัตราการไหลของอากาศที่สัมพันธ์กับการลอยตัวของบอลแต่ละลูก



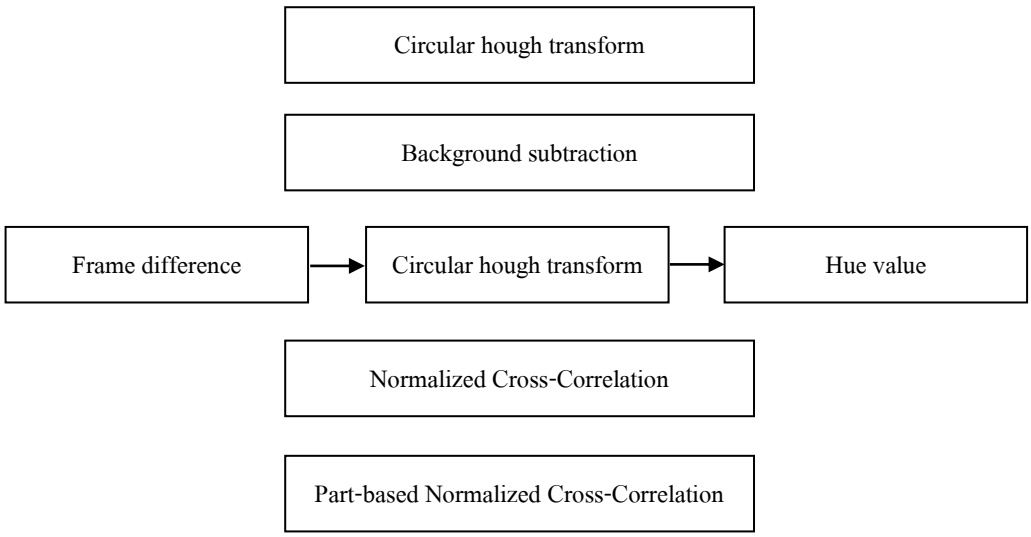
ภาพประกอบ 3-6 แผนภาพแสดงความสูงจากการติดตามการเคลื่อนที่ของลูกบอล

การเลือกใช้วิธีการตรวจจับการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับวัตถุที่สนใจทำให้ความถูกต้องและความต่อเนื่องในการระบุตำแหน่งของลูกบอลมีความแม่นยำ ส่งผลให้ความถูกต้องของการคำนวณปริมาตปอดเพิ่มสูงขึ้น เพราะเหตุนี้วิธีการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพด้วย Background subtraction และ Frame difference วิธีการตรวจจับวงกลมด้วย CHT และการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย NCC จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองเพื่อค้นหาวิธีการที่เหมาะสมกับการระบุตำแหน่งของบอลมากที่สุดโดยใช้ประโยชน์จากการรู้ตำแหน่งของบอลทั้งสามจากการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมในขั้นตอนการตรวจสอบการจัดวางอุปกรณ์เพื่อจำกัดพื้นที่และแบ่งพื้นที่ของการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่ออกเป็นสามส่วนดังแสดงในภาพประกอบ 3-7 ซึ่งจำกัดขอบเขตโดยใช้พิกัดจากจุดศูนย์กลางของบอลแต่ละลูกและขยายพื้นที่ให้ครอบคลุมตำแหน่งที่บอลสามารถเคลื่อนที่ไปได้โดยใช้เลือกเอาพื้นที่ซึ่งมีขนาดกว้าง 50 พิกเซลเป็นพื้นที่ที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุขณะเคลื่อนที่เพราะเป็นขนาดที่ครอบคลุมรัศมีของวงกลมที่มีขนาดประมาณ 20 พิกเซล และทำให้ไม่เกิดพื้นที่ทับซ้อนกันระหว่างภาพทั้งสาม



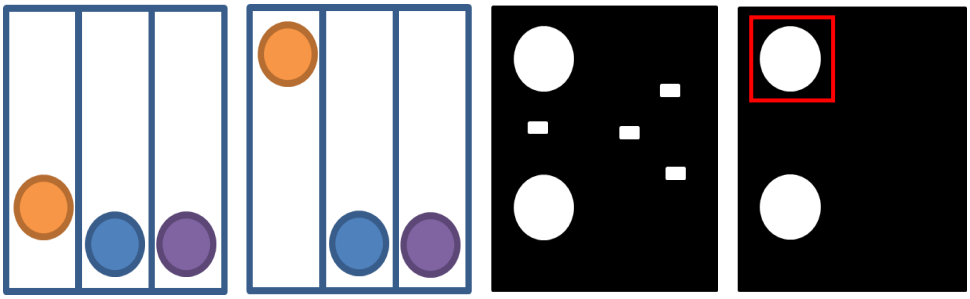
ภาพประกอบ 3-7 การจำกัดขอบเขตของการตรวจจับภาพโดยใช้พิกัดจากจุดศูนย์กลางของบอล

พื้นที่จากการจำกัดขอบเขตทั้งสามจะถูกนำมาใช้เพื่อทดลองค้นหาตำแหน่งของลูกบอลขณะเคลื่อนที่ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพประกอบ 3-8 ซึ่งวิธีแรกใช้ CHT ซึ่งตรวจหาวัตถุที่มีลักษณะเป็นทรงกลม วิธีที่สองใช้การตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพด้วย Background subtraction เพื่อระบุตำแหน่งของลูกบอลที่เกิดการเคลื่อนที่ วิธีที่สามตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพด้วย Frame difference และค้นหาความเปลี่ยนแปลงซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมด้วย CHT และใช้ค่าสี Hue จากองค์ประกอบสี HSV เป็นตัวช่วยในการระบุความเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเป็นวงกลมและมีสีเหมือนกับสีของลูกบอล วิธีที่สี่ใช้ NCC และการบันทึกภาพต้นแบบหรือภาพบอลแต่ละลูกขณะหยุดนิ่งเพื่อค้นหาตำแหน่งของบอลขณะเคลื่อนที่ และวิธีที่ห้าใช้ Part-base NCC ซึ่งเป็นวิธีการที่แบ่งภาพต้นแบบออกเป็นหลายส่วนแล้วจึงค้นหาพื้นที่ที่ความคล้ายคลึงกับภาพต้นแบบแต่ละส่วนมากที่สุดและหาตัวแทนของภาพเพื่อระบุตำแหน่งของบอล



ภาพประกอบ 3-8 วิธีการตรวจจับตำแหน่งของบอลขณะเคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนการตรวจจับภาพด้วย CHT ให้ผลลัพธ์เป็นพิกัดของบอลแต่ละลูกได้โดยตรง แต่ผลลัพธ์จากวิธีการอื่นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการคัดแยกหรือประมวลผลเพิ่มเติมเพื่อระบุตำแหน่งของบอลเช่นผลลัพธ์จากวิธี Background subtraction ในภาพประกอบ 3-9 มีลักษณะเป็นวงกลมคู่ขนาน คือเป็นพื้นที่ของวงกลมจากภาพในเฟรมก่อนหน้าและภาพของวงกลมในเฟรมปัจจุบันที่อาจปะปนด้วยสัญญาณรบกวนขขนาดเล็ก ซึ่งการระบุตำแหน่งของบอลสามารถทำได้โดยคัดแยกเอาเฉพาะพื้นที่ที่มีขนาดมากกว่าพื้นที่ครึ่งหนึ่งของวงกลมมาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและเลือกเอาพื้นที่ที่อยู่ในตำแหน่งสูงสุดในภาพเป็นตำแหน่งของบอลในเฟรมปัจจุบัน



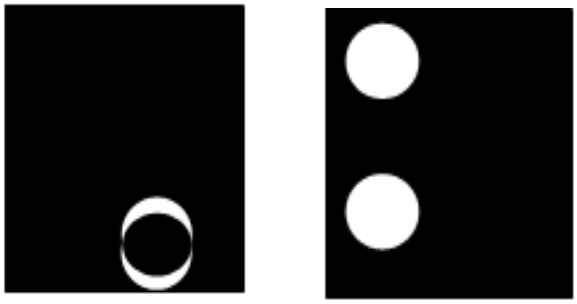
ก. ข. ค. ง.

ภาพประกอบ 3-9 วิธีการตรวจจับตำแหน่งของบอลด้วยวิธี Background subtraction

ก.ภาพเฟรมที่หนึ่ง ข.ภาพเฟรมที่สอง ค.ผลลัพธ์จาก Background subtraction
ง. ผลการระบุตำแหน่งของลูกบอลจากเงื่อนไขที่กำหนด

การตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วย Frame difference สามารถระบุพื้นที่ซึ่งเกิดความเปลี่ยนแปลงได้จากการหาค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างภาพในเฟรมก่อนหน้าและภาพในเฟรมปัจจุบัน โดยผลลัพธ์จากกระบวนการ Frame difference มีความแตกต่างตามรูปแบบการเคลื่อนที่ของวัตถุดังภาพประกอบ 3-10 ที่ผลลัพธ์จากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำมีลักษณะคล้ายพระจันทร์เสี้ยวหรือเป็นวงกลมที่ไม่สมบูรณ์ และผลลัพธ์จากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดเป็นภาพวงกลมคู่ขนาดที่มีลักษณะเป็นวงกลมที่สมบูรณ์ซึ่งทั้งสองกรณีอาจเกิดสัญญาณรบกวนจากแสงสว่างที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการทดลองและแม้ว่าภาพผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายผลลัพธ์จาก Background subtraction แต่การระบุตำแหน่งที่แท้จริงของบอลไม่สามารถใช้เงื่อนไขเดียวกันกับวิธี Background subtraction ที่เลือกเอาพื้นที่ที่อยู่ในตำแหน่งสูงสุดมาใช้ได้ เช่นกรณีที่บอลกำลังเคลื่อนตัวลง ตำแหน่งที่แท้จริงของบอลคือพื้นที่ที่อยู่ด้านล่าง ฉะนั้นจึงต้องอาศัยการประมวลผลภาพเพิ่มเติมเพื่อระบุตำแหน่งที่จริงของบอลโดยใช้ CHT เพื่อระบุความเปลี่ยนแปลงของภาพที่มีลักษณะเป็นวงกลมจากภาพขอบของวัตถุและใช้ค่าเฉลี่ยของสีในองค์ประกอบสี Hue ระบุตำแหน่งความเปลี่ยนแปลงที่เป็นวงกลมและมีสีตรงกันกับสีของลูกบอลดังภาพประกอบ 3-11 ซึ่งภาพ ก. แสดงผลจากการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงด้วย Frame difference ภาพ ข. แสดงผลการตรวจจับภาพวัตถุทรงจากจากภาพ ก. โดยผลลัพธ์ที่ได้ประกอบด้วยพื้นที่สามส่วนคือพื้นที่ภายในกรอบสีแดง สีน้ำเงิน

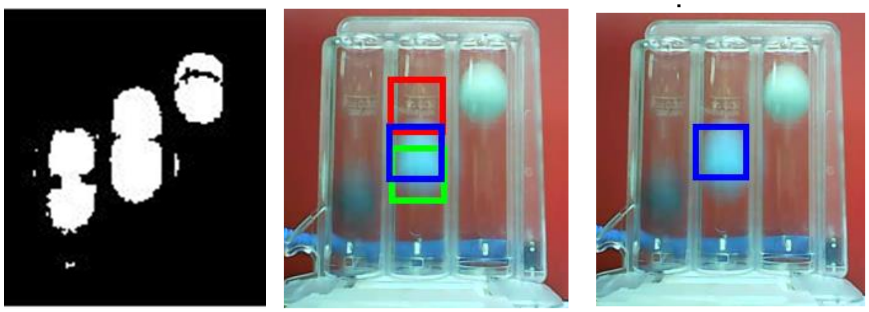
และสีเขียว และภาพ ค. คือผลลัพธ์จากการระบุตำแหน่งของบอลด้วยการหาค่าเฉลี่ยของสีจากพื้นที่ทั้งสามแล้วเลือกเอาพื้นที่ในกรอบสีน้ำเงินซึ่งมีค่าสีที่ใกล้เคียงกับสีของบอลมากที่สุด



ก. ข.

ภาพประกอบ 3-10 ผลการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วย Frame difference

ก.ผลลัพธ์จากวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ข.ผลลัพธ์จากวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

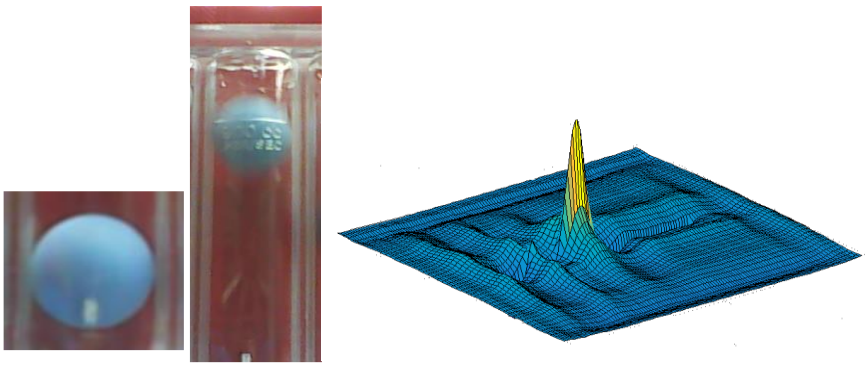


ก. ข. ค.

ภาพประกอบ 3-11 การระบุตำแหน่งของบอลจาก Frame difference

ก.ภาพจากวิธี Frame difference ข.ผลลัพธ์จากการใช้ CHT
ค.ผลจากการระบุตำแหน่งโดยใช้ค่าเฉลี่ยของสี

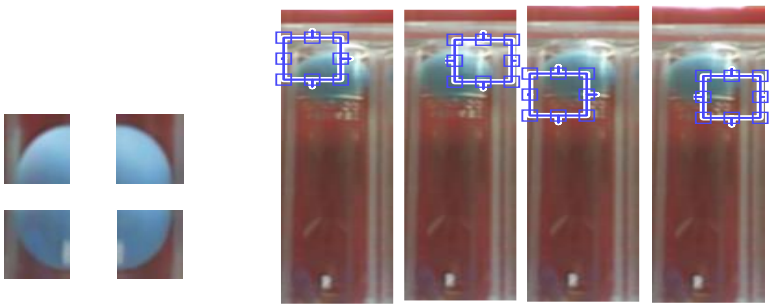
การบันทึกภาพลูกบอลขณะหยุดนิ่งและใช้ NCC เพื่อค้นหาพื้นที่ที่มีความคล้ายคลึงกับภาพลูกบอลต้นแบบมากที่สุดดังภาพประกอบ 3-12 ให้ผลลัพธ์คือแผนภาพของ Correlation ที่แสดงความคล้ายคลึงกันระหว่างภาพบอลและภาพที่สนใจโดยสามารถระบุตำแหน่งของบอลได้จากพิกัดที่มีค่า สูงสุดในแผนภาพ Correlation แตกต่างจากวิธี Part-based NCC ที่แบ่งภาพต้นแบบออกเป็นหลายส่วนเพื่อแก้ไขปัญหาการซ้อนทับกันของวัตถุหรือในกรณีนี้คือปัญหาจากแสงสะท้อนบนกระบอกพลาสติกที่ทำให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งลดต่ำลง ซึ่งผลจากการแบ่งภาพต้นแบบออกเป็นหลายส่วนทำให้ผลลัพธ์ในแผนภาพ Correlation แสดงตำแหน่งของบอลในส่วนต่างๆดังภาพประกอบ 3-13 ที่เป็นผลลัพธ์ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้เพื่อระบุตำแหน่งศูนย์กลางของบอลได้



ก. ข. ค.

ภาพประกอบ 3-12 การตรวจจับตำแหน่งบอลจากความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย NCC

ก.ภาพต้นแบบ ข.ภาพที่สนใจ ค.แผนภาพ Correlation

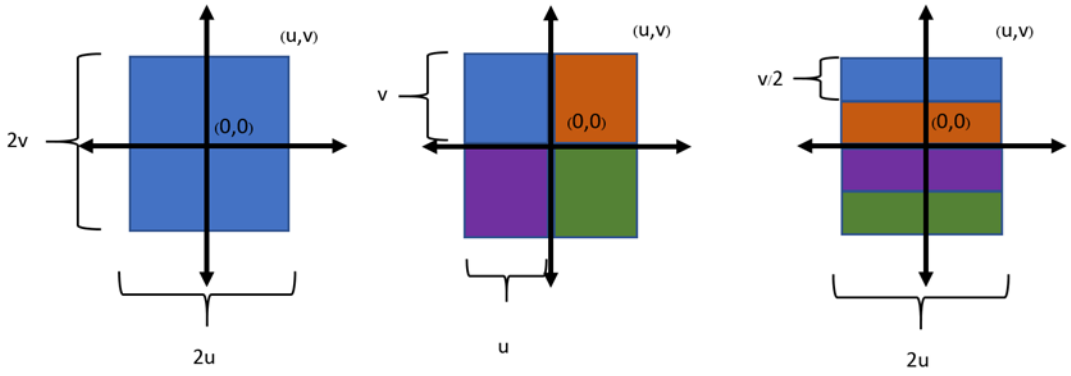


ก. ข.

ภาพประกอบ 3-13 การตรวจจับภาพจากความคล้ายคลึงกันด้วย Part-based NCC

ก.ภาพต้นแบบ ข.ผลการตรวจจับภาพด้วย Part-based NCC

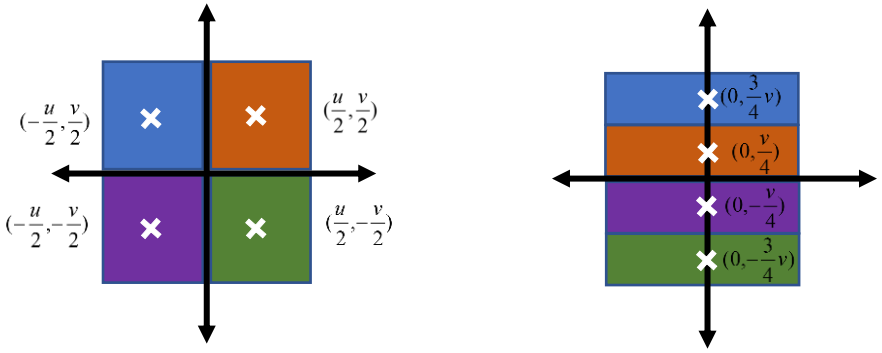
การระบุตำแหน่งศูนย์กลางของลูกบอลจากวิธี Part-based NCC สามารถทำได้โดยการรวมแผนภาพ Correlation จากภาพต้นแบบแต่ละส่วนเข้าด้วยกันแต่เนื่องจากการระบุตำแหน่งที่ไม่สัมพันธ์กันระหว่างภาพต้นแบบแต่ละส่วนจึงต้องอาศัยการเลื่อนพิกัดเพื่อย้ายตำแหน่งผลลัพธ์ให้สัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางของลูกบอล ดังภาพ ภาพประกอบ 3-14 ซึ่งแสดงรูปแบบของการแบ่งภาพต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง คือใช้ภาพต้นแบบขนาดใหญ่สำหรับวิธี NCC และแบ่งภาพต้นแบบขนาดใหญ่ออกเป็นสี่ส่วนในรูปแบบของสี่เหลี่ยมจตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับวิธี Part-based NCC ซึ่งผลลัพธ์จากภาพต้นแบบสำหรับวิธี Part-based NCC แต่ละรูปแบบต้องเลื่อนพิกัดเข้าสู่จุดศูนย์กลางของภาพดังแสดงในภาพประกอบ 3-15



ก. ข. ค.

ภาพประกอบ 3-14 รูปแบบของภาพต้นแบบ

ก.ภาพต้นแบบขนาดใหญ่ ข.การแบ่งส่วนภาพต้นแบบรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส
ค.การแบ่งส่วนภาพต้นแบบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ก. ข.

ภาพประกอบ 3-15 ภาพแสดงพิกัดที่ใช้สำหรับการเลื่อนแผนภาพ Correlation เข้าสู่จุดศูนย์กลาง

ก.พิกัดในภาพต้นแบบรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ข.พิกัดในภาพต้นแบบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เมื่อทำการเลื่อนพิกัดแล้วจึงหาผลรวมของแผนภาพ Correlation จากภาพต้นแบบแต่ละส่วนเพื่อหาตำแหน่งที่แท้จริงของลูกบอล ดังสมการ 3-1 ซึ่ง N คือ จำนวนส่วนของภาพต้นแบบ R^t คือแผนภาพ Correlation จากการสมการ 2-23 ที่ผ่านการเลื่อนพิกัดและ C^t คือผลรวมของแผนภาพ Correlation จากภาพต้นแบบแต่ละส่วน

$$C^t = \sum_{i=1}^{N} R_i^t \tag{3-1}$$

การรวมกันของแผนภาพ Correlation ทำให้อัตราส่วนของค่า Correlation บริเวณศูนย์กลางของวัตถุเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่า Correlation บริเวณอื่นของภาพและสามารถนำตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดในแผนภาพ C^t ไปใช้เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุและนำไปสร้างเป็นแผนภาพแสดงผลการติดตามการเคลื่อนที่ของลูกบอลเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาตรปอดขณะใช้งานอุปกรณ์

3.4 การประเมินประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดจากขั้นตอนการตรวจจับวัตถุทรงกลมในหัวข้อ 3.3.1 ใช้การวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) [20] เพื่อวัดค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของลูกบอลจากวิดีโอตัวอย่าง ซึ่งความแม่นยำของการตรวจจับภาพจากวิธีการต่างๆสามารถคำนวณได้ดังสมการ 3-2

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \tag{3-2}$$

เมื่อ *TP* (True positive) คือ จำนวนของการตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลที่มีขนาดเท่ากับรัศมีเป้าหมายได้ถูกต้อง

TN (True negative) คือ จำนวนของการไม่ตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลเมื่อลูกบอลมีขนาดเกินกว่ารัศมีเป้าหมาย

FP (False positive) คือ จำนวนของการตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลเมื่อลูกบอลมีขนาดเกินกว่ารัศมีเป้าหมาย

FN (False negative) คือ จำนวนของการไม่ตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลเมื่อลูกบอลมีขนาดเท่ากับรัศมีเป้าหมาย

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดจากขั้นตอนการตรรวจจับวัตถุขณะเคลื่อนที่ในขั้นตอน 3.3.2 ใช้การวัดค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute error, MAE) [21] เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการระบุตำแหน่งลูกบอลจากวิธีการตรวจจับภาพบอลขณะเคลื่อนที่ด้วยวิธีการต่างๆจากวิดีโอทั้งหมด โดยค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์จากบอลทั้งสามจากแต่ละวิดีโอคำนวณได้ดังสมการ 3-3

$$MAE = \frac{1}{M}\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N}\left|X_{ij}^{m} - X_{ij}^{t}\right| \tag{3-3}$$

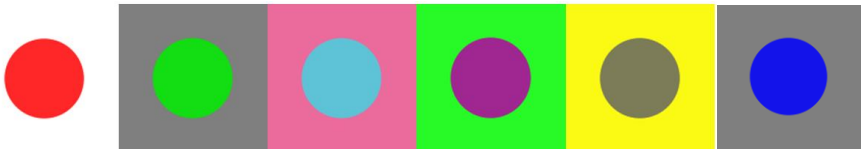
เมื่อ X^m คือ ตำแหน่งของบอลจากผลการตรวจจับภาพวัตถุ X^t คือ ตำแหน่งที่แท้จริงของลูกบอล N คือ จำนวนเฟรมจากวิดีโอที่กำลังตรวจจับภาพวัตถุ M คือ จำนวนของลูกบอลซึ่งมีค่าเท่ากับ 3

บทที่ 4

การทดลองตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม

4.1 การศึกษาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW

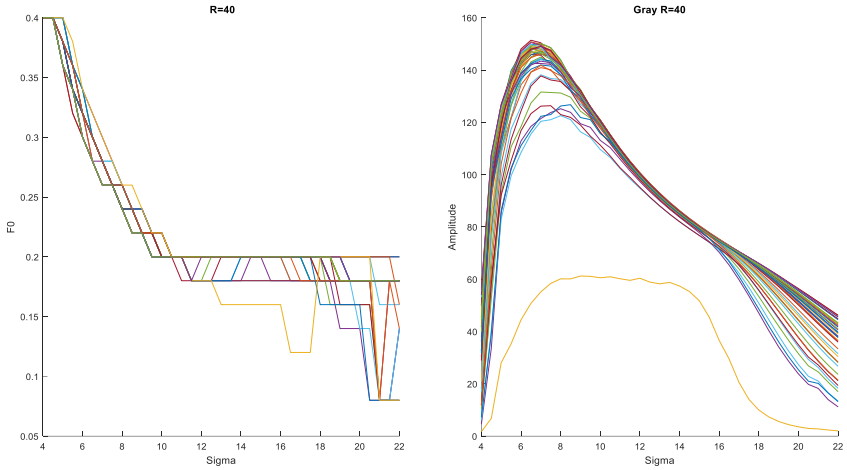
การทดลองและการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการใช้ GAW เพื่อตรวจจับภาพวงกลมที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถทำความเข้าใจรูปแบบหรือความสัมพันธ์ระหว่าง GAW กับภาพวงกลม และประสิทธิภาพของตัวกรองที่มีผลต่อการตรวจจับภาพวงกลมได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้ภาพวงกลมที่มีสีและรัศมีที่แตกต่างกันบนภาพขนาด 150x150 พิกเซล ซึ่งภาพวงกลมที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นนี้ประกอบด้วยวงกลมรัศมีขนาด 40 35 30 25 และ 20 พิกเซล ซึ่งแต่ละขนาดประกอบด้วยวงกลมทั้งหมดหกสีบนพื้นหลังที่มีสีแตกต่างกันห้าสี โดยภาพทั้งหมดนี้จะถูกนำมาใช้ในการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่าง f_0 , σ และ r_0 จากการประมวลผลบนภาพสี RGB ภาพระดับเทาและภาพขอบของวัตถุ



ภาพประกอบ 4-1 ตัวอย่างภาพวงกลมสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

4.1.1 การทดลองในภาพระดับเทา

GAW ที่ใช้สำหรับตรวจจับภาพวงกลมรัศมี 40,35,30,25 และ 20 พิกเซล ถูกสร้างขึ้นจากสมการที่ 2 ด้วยตัวแปร r_0 ที่มีค่าเท่ากับ 40,35,30,25 และ 20 ตามลำดับ โดยใช้ σ และ f_0 ที่แตกต่างกันเพื่อค้นหาค่าที่เหมาะสมต่อการตรวจจับวงกลมขนาดต่างๆ จากภาพระดับเทาโดยการเปลี่ยนแปลงค่า σ จากค่าเท่า 4 จนถึง 22 ด้วยการเปลี่ยนแปลงครั้งละ 0.5 และเปลี่ยนแปลงค่า f_0 ครั้งละ 0.02 จาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 จนถึง 0.4

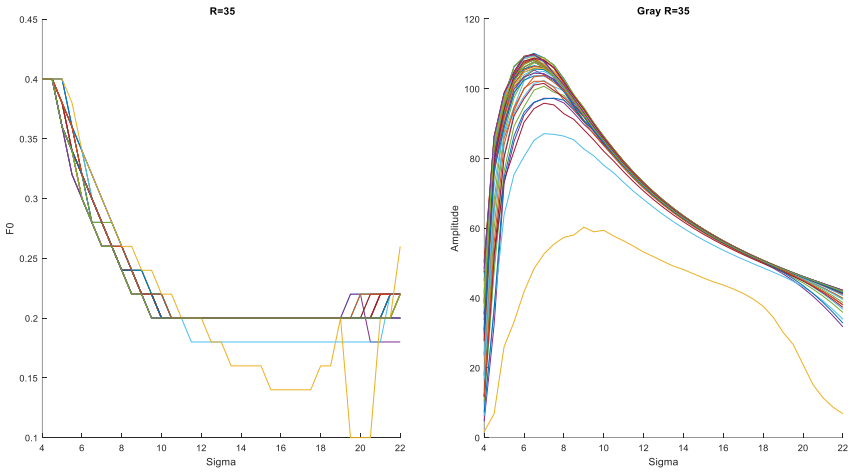


ก. ข.

ภาพประกอบ 4-2 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 40 พิกเซลจากภาพระดับเทา

ก. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงที่สุดที่ศูนย์กลางวงกลม

ข. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และแอมพลิจูด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางวงลม



ก. ข.

ภาพประกอบ 4-3 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 35 พิกเซล จากภาพระดับเทา

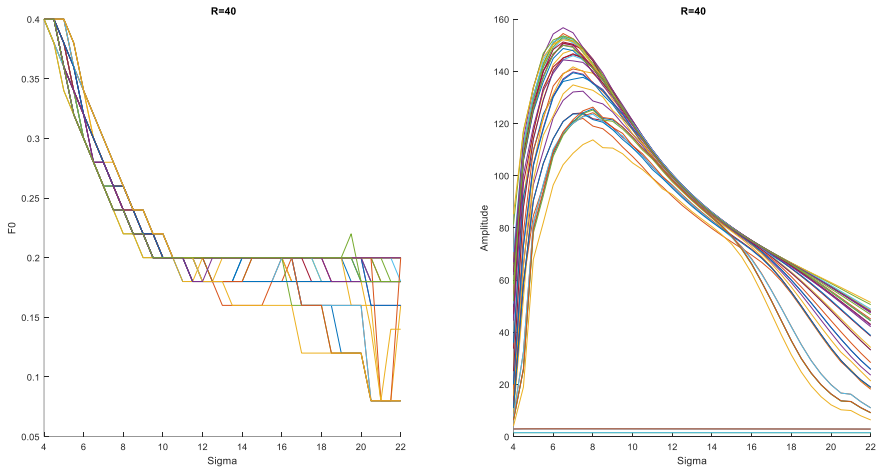
ก. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงที่สุดที่ศูนย์กลางวงกลม

ข. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และแอมพลิจูด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางวงลม

ผลจากการกรองภาพวงกลมด้วย GAW ที่สร้างขึ้นด้วยตัวแปร σ และ f_0 ที่มีค่าแตกต่างกันบนภาพภาพระดับเทาแสดงดังภาพประกอบ 4-2 และ 4-3 โดยภาพ ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงที่สุด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางวงลม ภาพ ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และแอมพลิจูด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางวงลม จากภาพทั้งสองพบว่าค่า σ และ f_0ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดที่สูงที่สุดจากภาพวงกลมแต่ละภาพนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ σ มีค่าประมาณ 7 และ f_0 มีค่าประมาณ 0.3 แต่ขนาดของแอมมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากการกรองภาพวงกลมที่มีรัศมี 40 มีค่ามากกว่าการกรองภาพวงกลมที่มีรัศมี 35 เนื่องจากขนาดของวงกลมที่ใหญ่กว่าทำให้เกิดพื้นที่ที่ซ้อนทับกันระหว่างตัวกรอง GAW และพื้นที่ของวงกลม นอกจากนี้ยังพบว่าแอมพลิจูดจากวงกลมบางภาพนั้นมีค่าต่ำกว่าปกติเนื่องจากสีของภาพวงกลมและภาพพื้นหลังมีค่าใกล้เคียงกันเช่นในภาพวงกลมสีเทาบนภาพพื้นหลังสีเทา

4.1.2 การทดลองในภาพสี RGB

การกรองภาพวงกลมในภาพระดับเทาด้วย GAW ไม่สามารถดึงค่าแอมพลิจูดของวงกลมที่มีสีใกล้เคียงกบพื้นหลังออกมาได้มากพอ ซึ่งอาจทำให้การตรวจจับภาพวงกลมเกิดความผิดพลาดในกรณีที่ตรวจจับภาพวงกลมที่มีสีแตกต่างกันพร้อมกัน ซึ่งการกรองภาพวงกลมจากแต่ละองค์ประกอบสีของภาพ RGB จะทำให้เราสามารถเพิ่มปริมาณข้อมูลในด้านของความแตกต่างกันระหว่างสีวงกลมและสีพื้นหลังจากการคำนวณโดยตรงจากแต่ละองค์ประกอบสี

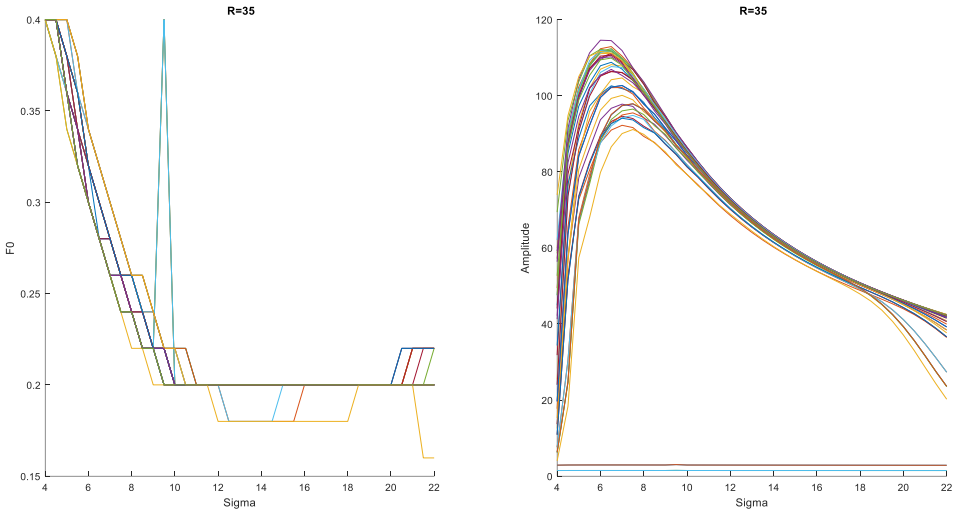


ก. ข.

ภาพประกอบ 4-4 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 40 พิกเซลจากภาพสี RGB

ก. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงที่สุดที่ศูนย์กลางวงกลม

ข. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และแอมพลิจูด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางวงลม



ก. ข.

ภาพประกอบ 4-5 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมี 35 พิกเซล จากภาพสี RGB

ก. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงที่สุดที่ศูนย์กลางวงกลม

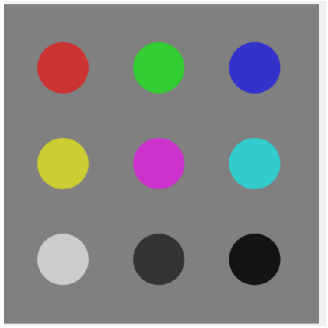
ข. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และแอมพลิจูด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางวงลม

ผลจากการกรองภาพวงกลมด้วย Gabor Annulus wavelet ที่สร้างขึ้นด้วยตัวแปร σ และ f_0 ที่มีค่าแตกต่างกันบนภาพ RGB แสดงภาพประกอบ 4-3 และ 4-4 ซึ่งพบว่าค่า σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดที่สูงที่สุดจากภาพวงกลมแต่ละภาพนั้นมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง คือ σ มีค่าประมาณ 7 และ f_0 มีค่าประมาณ 0.3 แต่แอมมพลิจูดของวงกลมที่เคยมีค่าต่ำกว่าปกตินั้นจะมีค่าสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับแอมพลิจูดจากวงกลมอื่นๆ

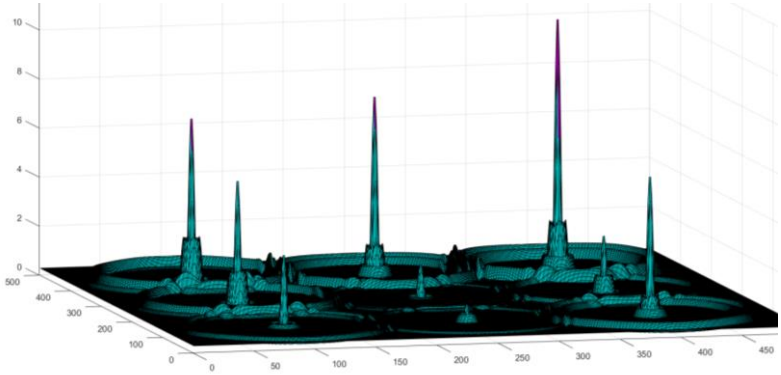
จากผลการทดลองพบว่า σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดที่สูงที่สุดนั้นมีค่าเท่ากันทั้งในภาพระดับเทาและภาพสี RGB แต่การนำ GAW ไปใช้สำหรับตรวจจับภาพวงกลมสีต่างๆนั้นสมควรเลือกใช้ค่า σ และ f_0 ที่ทำให้แอมพลิจูดที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่ง Gabor Annulus wavelet ที่ σ มีค่า 7 และ f_0 มีค่า 0.3 สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีค่าสูงสุดได้จริง แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างแอมพลิจูดของวงกลมแต่ละวงจะพบว่ามีความแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่า σ ในช่วง 10 ถึง 15

ภาพประกอบ 4-6 เป็นภาพตัวอย่างที่สามารถอธิบายความแตกต่างของการใช้ GAW ในภาพระดับเทาและภาพสี RGB สำหรับวงกลมที่มีรัศมีเท่ากันและมีสีแตกต่างกันได้ โดยการสังเกตแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นในภาพประกอบ 4-6 และ 4-7 ซึ่งแสดงผลลัพธ์จากการใช้ GAW ในภาพระดับเทาและภาพสี RGB ตามลำดับ โดยแอมพลิจูด ณ จุดศูนย์กลางวงกลมของผลลัพธ์จากภาพ

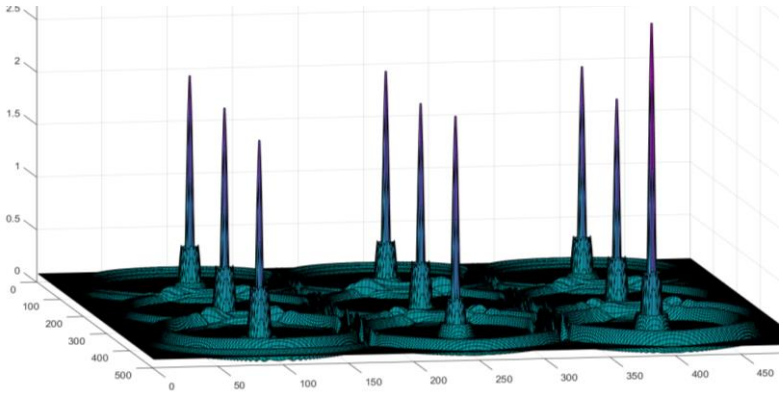
ระดับเทานั้นมีค่าสูงกว่าบริเวณพื้นหลัง แต่เมื่อเปรียบเทียบกกันกับแอมพลิจูดระหว่างวงกลมที่มีสีแตกต่างกันพบว่าค่าแอมพลิจูดมีความแตกต่างกันมาก ต่างจากผลลัพธ์ในภาพสี RGB ที่ประมวลผลจากองค์ประกอบสีแดง เขียว และน้ำเงิน แล้วนำผลการประมวลรวมเข้าด้วยกัน ทำให้แอมพลิจูดของวงกลมแต่ละวงมีค่าใกล้เคียงกัน เหมาะต่อการนำไปใช้งานเพื่อตรวจจับวงกลมจำนวนมากที่มีสีแตกต่างกันภายในภาพเดียวกันแต่จำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 4-6 ภาพวงกลมสังเคราะห์สำหรับการทดสอบผลลัพธ์ของสีที่แตกต่างกันของวงกลม



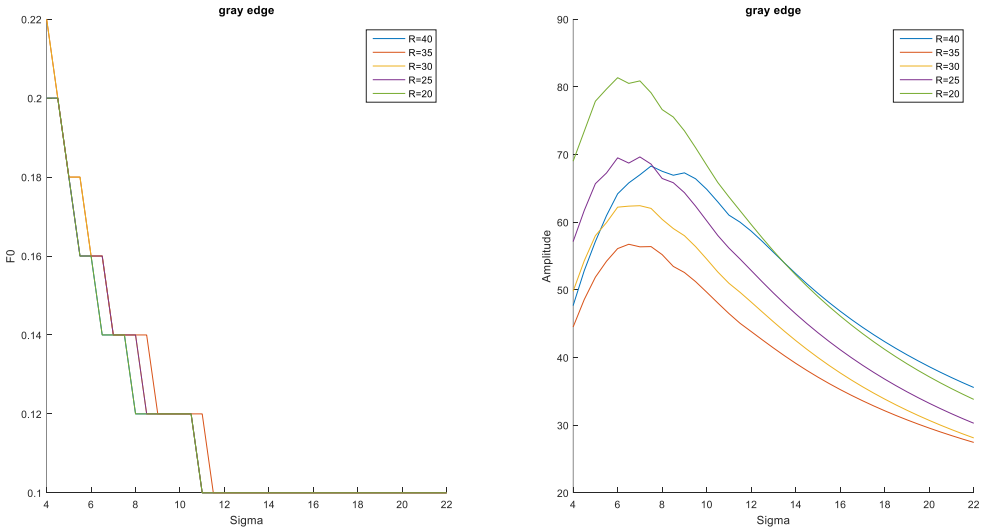
ภาพประกอบ 4-7 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการใช้ GAW ในภาพระดับเทา



ภาพประกอบ 4-8 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการใช้ GAW ในภาพสี RGB

4.1.3 การทดลองในภาพขอบของวัตถุ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบปัญหาจากความต่างของแอมพลิจูดของภาพวงกลมที่มีรัศมีเท่ากัน เนื่องจากการตรวจจับภาพวงกลมที่มีสีแตกต่างกันและมีพื้นหลังที่แตกต่างกัน ซึ่งการใช้ Canny edge detection เพื่อแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขอบของวัตถุ แล้วนำ GAW มาใช้ตรวจจับวงกลมจากภาพขอบของวัตถุ จะสามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากสีที่แตกต่างกันได้ดังผลการทดลองในภาพประกอบ 4-9 ซึ่งพบว่าแอมพลิจูดของจุดศูนย์กลางวงกลมที่มีรัศมีเท่ากันมีค่าแอมพลิจูดเท่ากัน โดย σ ที่มีค่าเท่ากับ 7 และ f_0 ที่มีค่าเท่ากับ 0.14 สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีค่าแอมพลิจูดสูงที่สุด



ก. ข.

ภาพประกอบ 4-9 ผลการกรองภาพวงกลมรัศมีต่างๆ จากภาพขอบของวัตถุ

ก. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และ f_0 ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงที่สุดที่ศูนย์กลางวงกลม

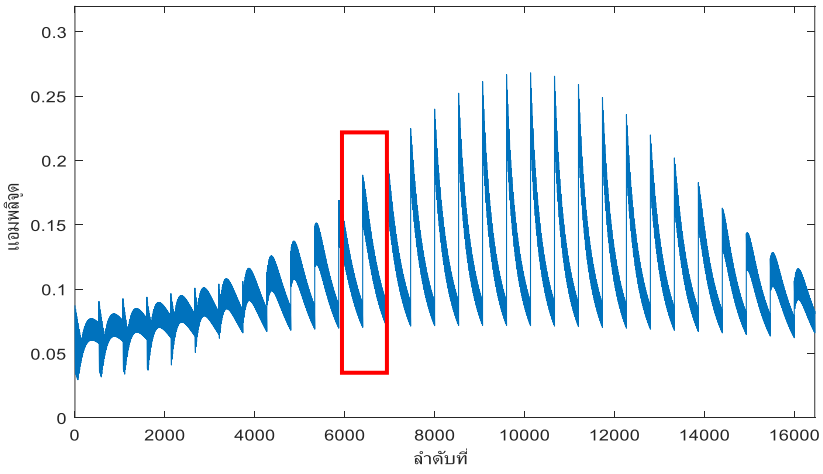
ข. ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และแอมพลิจูด ณ ตำแหน่งศูนย์กลางวงลม

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมต่อการนำ GAW ไปใช้งานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจัดวางอุปกรณ์ซึ่งจำเป็นต้องตรวจจับลูกบอลหลายสีและมีขนาดที่ไม่แน่นอน การเลือกประมวลผลจากภาพขอบของวัตถุที่สามารถกำจัดปัญหาเรื่องสีของวงกลมจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม แต่ยังคงต้องศึกษาค่าตัวแปรที่ใช้ในการสร้างตัวกรอง GAW เพื่อทำความเข้าต่อแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากวงกลมที่มีรัศมีแตกต่างกัน

4.2 การศึกษาการตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW ในภาพขอบของวัตถุ

4.2.1 การทดลองในภาพสังเคราะห์

การทดลองและการศึกษาการตรวจจับวัตถุทรงกลมที่มีรัศมีแตกต่างกันด้วย GAW ในภาพขอบของวัตถุใช้ภาพวงกลมสังเคราะห์ที่มีขนาดตั้งแต่ 15 ถึง 45 พิกเซล โดยใช้ค่าตัวแปร r_0 σ และ f_0 ที่แตกต่างกัน โดยการใช้ค่า r_0 ที่ใกล้เคียงกับขนาดของวงกลมที่กำลังประมวลผลคือใช้ค่า r_0 น้อยกว่าขนาดของวงกลม 3 พิกเซล และเพิ่มค่า r_0 ครั้งละ 0.2 จนถึงขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดของวงกลม 3 พิกเซล โดยใช้ค่า σ จาก 1.4 จนถึง 12 ด้วยการเปลี่ยนแปลงครั้งละ 0.2 และใช้ค่า f_0 จาก 0.10 จนถึง 0.42 ด้วยการเปลี่ยนแปลงครั้งละ 0.02 ซึ่งผลจากการทดลองโดยใช้การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรทั้งสามด้วยต่อภาพวงกลมขนาดต่างๆให้ผลที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันดังแสดงในภาพประกอบ 4-10 ซึ่งหนึ่งรูปคลื่นดังเช่นสัญญาณในกรอบสีแดงของภาพประกอบ 4-10 คือแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจาก r_0 ค่าหนึ่ง และเมื่อค่า r_0 เพิ่มสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับขนาดของวงกลมทำให้แอมพลิจูดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุด ก่อนจะค่อยๆลดลงเมื่อ r_0 มีค่ามากกว่าขนาดของวงกลม และภายในหนึ่งรูปคลื่นยังประกอบไปด้วยผลลัพธ์จากค่า σ และ f_0 ที่เปลี่ยนแปลงไป



ภาพประกอบ 4-10 ผลลัพธ์จากทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร r_0 σ และ f_0

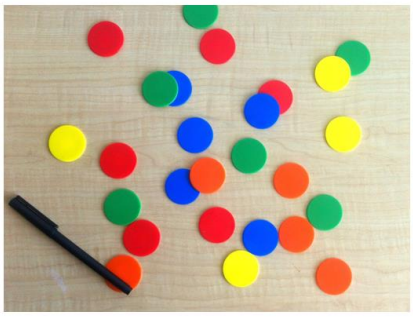
ตาราง 4-1 ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่เหมาะสม

ขนาดวงกลม	r_0	σ	f_0	แอมพลิจูด
15	15.8	3	0.34	0.2683
16	16.8	2.6	0.38	0.2769
17	17.8	2.8	0.36	0.2639
18	18.8	2.8	0.36	0.2942
19	19.8	3	0.34	0.2784
20	20.8	2.8	0.36	0.2807
21	21.8	2.6	0.38	0.2862
22	22.8	2.8	0.36	0.2784
23	23.8	3	0.34	0.2755
24	24.8	2.8	0.36	0.2745
25	25.8	2.8	0.36	0.2828
26	26.8	3	0.36	0.2623
27	27.8	2.8	0.36	0.2805
28	28.8	2.8	0.36	0.2771
29	29.8	2.8	0.36	0.2711
30	30.8	3	0.34	0.2782
31	31.8	3	0.34	0.2843
32	32.8	2.6	0.38	0.2961
33	33.8	3	0.34	0.2695
34	34.8	2.6	0.38	0.2918
35	35.8	3	0.34	0.2769
36	36.8	3	0.34	0.2705
37	37.8	2.8	0.36	0.2797
38	38.8	3.4	0.32	0.2620
39	40	3	0.36	0.2664
40	40.8	3	0.36	0.2656
41	41.8	3.6	0.3	0.2378
42	43	3	0.36	0.2655
43	43.8	4	0.28	0.2366
44	44.8	3.8	0.3	0.2363
45	45.8	3.4	0.32	0.2493
ค่าเฉลี่ย		3.0	0.35	0.2715

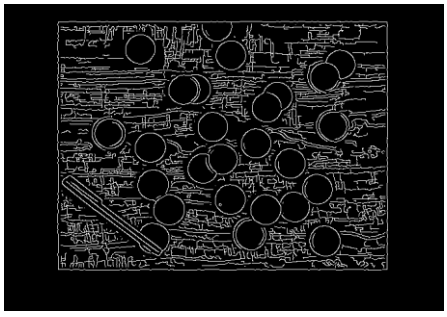
ตาราง 4-1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเพื่อตรวจจับวงกลมขนาดต่างๆ ซึ่งพบว่าแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2715 เป็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากตัวแปร r_0 ที่มีค่ามากกว่าขนาดของวงกลม 0.8 และมีค่าเฉลี่ยของ σ และ f_0 เท่ากับ 3 และ 0.35 ตามลำดับ ซึ่งค่าตัวแปรดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการทดลองตรวจจับภาพวงกลมจากวัตถุจริงและตรวจจับบอลจากอุปกรณ์ Triflow พร้อมกับการเปรียบเทียบกับผลการตรวจจับวงกลมด้วย CHT ในลำดับถัดไป

4.2.1 การทดลองในภาพวัตถุจริง

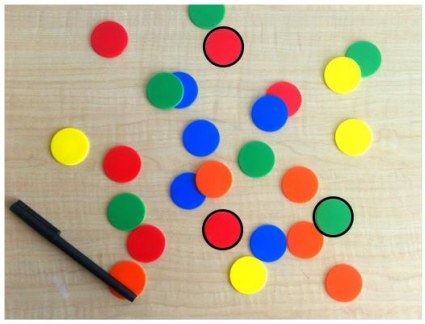
จุดประสงค์ของการทดลองในภาพวัตถุจริงคือการศึกษาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ GAW ในภาพวงกลมที่อาจมีลักษณะของวงกลมที่ไม่สมบูรณ์หรือมีส่วนโค้งของวงกลมที่ไม่ชัดเจนและศึกษาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจากภาพวงกลมที่ทราบขนาดรัศมีของวงกลมดังเช่นตัวอย่างการทดลองในภาพประกอบ 4-11 ภาพ ก คือภาพวงกลมที่มีขนาด 23 พิกเซล ภาพ ข คือภาพขอบของวัตถุของภาพ ก ภาพ ค และ ง แสดงผลลัพธ์จาก GAW ที่สร้างขึ้นจากค่าตัวแปร r_0 σ และ f_0 เท่ากับ 23.8, 3 และ 0.35 ตามลำดับ โดยใช้ใช้ค่าขีดแบ่งเท่ากับร้อยละ 80 และร้อยละ 40 จากแอมพลิจูดที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอมพลิจูด ณ จุดศูนย์กลางวงกลมของภาพวัตถุจริงนั้น มีค่าต่ำกว่าแอมพลิจูดที่ได้จากวงกลมที่สังเคราะห์ขึ้นอย่างมาก เช่นเดียวกับผลการทดลองจากภาพวงกลมที่ 2 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-12 ที่ใช้ ค่าขีดแบ่งเท่ากับร้อยละ 40 ของค่า 0.2715 หรือเท่ากับ 0.1086 เพื่อทำให้ GAW สามารถระบุตำแหน่งของวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ 28 และ 23 ได้ถูกต้องดังรูป ค และ ง ตามลำดับ 23

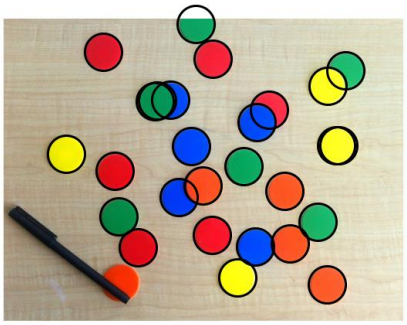


ก. ภาพตัวอย่าง



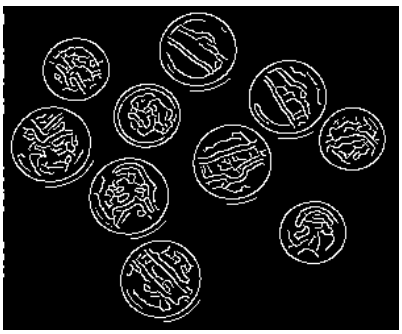
ข. ภาพขอบของวัตถุ



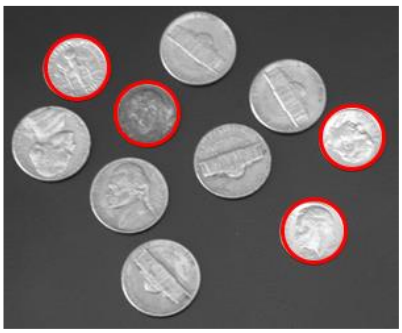


ค. ผลลัพธ์จากค่าขีดแบ่งเท่ากับร้อยละ 80 ง. ผลลัพธ์จากค่าขีดแบ่งเท่ากับร้อยละ 40

ภาพประกอบ 4-11 การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW ภาพที่ 1



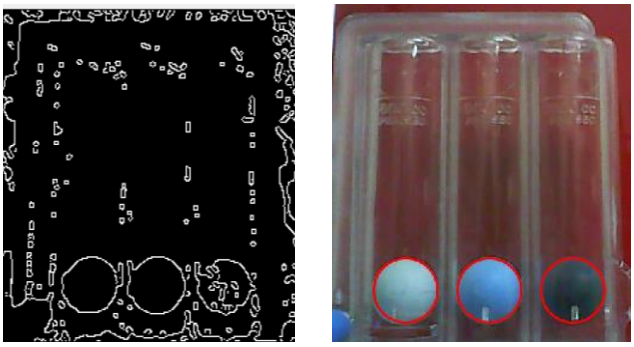
ก. ภาพตัวอย่าง ข. ภาพขอบของวัตถุ



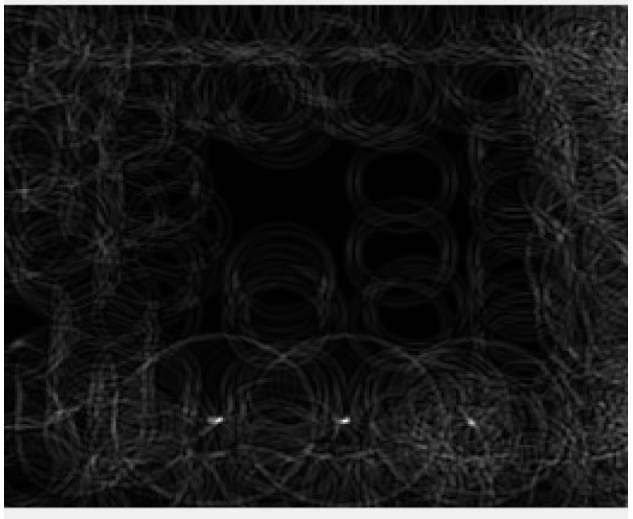
ค. ผลการระบุตำแหน่งของวงกลมรัศมี 28 ง. ผลการระบุตำแหน่งของวงกลมรัศมี 23

ภาพประกอบ 4-12 การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมด้วย GAW ภาพที่ 2

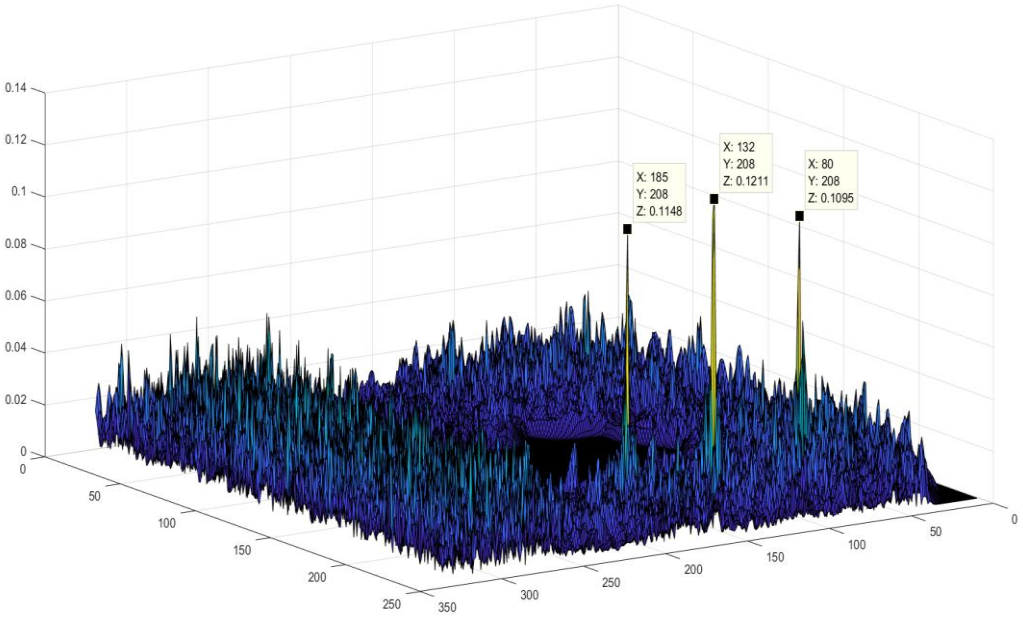
จากการทดลอง GAW ในภาพตัวอย่างทั้งสองซึ่งพบว่าการใช่ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 0.1086 สามารถนำไปใช้ระบุตำแหน่งศูนย์กลางวงกลมได้ถูกต้อง ค่าขีดแบ่งดังกล่าวและตัวแปร r_0 σ f_0 จึงถูกนำไปใช้กับภาพ Triflow ขนาดรัศมีเท่ากับ 20 พิกเซล ซึ่งภาพขอบของวัตถุที่ใช้ในการประมวลผลและผลการระบุตำแหน่งแสดงดังภาพประกอบ 4-13 โดยที่ภาพประกอบ 4-14 และ 4-15 แสดงแอมพลิจูดที่เกิดขึ้น GAW เป็นมุมมองสองมิติและสามมิติที่แสดงให้ถึงแอมพลิจูด ณ จุดศูนย์กลางวงกลมที่มีค่ามากกว่าแอมพลิจูดจากวัตถุอื่นๆภายในภาพ



ภาพประกอบ 4-13 การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพ Triflow



ภาพประกอบ 4-14 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพ Triflow ในมุมมองสองมิติ



ภาพประกอบ 4-15 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพ Triflow ในมุมมองสามมิติ

4.3 การทดลองตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพวิดีโอ

วิดีโอที่ใช้ในการทดลองการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมประกอบไปด้วยภาพที่มี Triflow ปรากฏในวิดีโอทั้งหมด 5 ลักษณะ ด้วยขนาดและตำแหน่งที่แตกต่างกันเพื่อการทดสอบและเลือกวิธีการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมที่จะนำไปใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์ในระบบประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอด ซึ่งวิดีโอที่ใช้ในการทดลองแต่ละวิดีโอมีความยาว 300 เฟรมต่อวิดีโอ ภาพตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 4-16 โดยมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ วิดีโอที่ 1 และ 2 จัดวาง Triflow ในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยภาพของลูกบอลที่บันทึกได้มีขนาดเท่ากับ 20 พิกเซล ส่วนวิดีโอที่ 3 จัดวาง Triflow ให้เอียงไปทางขวาเพื่อให้ตำแหน่งของบอลลูกที่ 1 สูงกว่าตำแหน่งของบอลลูกอื่นๆ วิดีโอที่ 4 จัดวาง Triflow ให้เอียงไปทางซ้ายเพื่อให้ตำแหน่งของบอลลูกที่ 3 สูงกว่าตำแหน่งของบอลลูกอื่นๆ โดยที่ขนาดของลูกบอลที่ปรากฏบนภาพยังคงมีขนาดเท่ากับ 20 พิกเซล แตกต่างจากวิดีโอที่ 5 และ 6 คือ วิดีโอที่ 5 จัดวาง Triflow ในตำแหน่งที่ใกล้กว่าปกติทำให้ขนาดของลูกบอลที่ปรากฏในภาพมีขนาดมากกว่า 22 พิกเซล ในขณะที่วิดีโอที่ 6 จัดวาง Triflow ให้เอียงเข้าหากล้องบันทึกภาพเพื่อให้ภาพลูกบอลแต่ละลูกที่บันทึกมีขนาดที่แตกต่างกัน

ก. วิดีโอที่ 1 ข.วิดีโอที่ 2 ค. วิดีโอที่ 3

ง. วิดีโอที่ 4 จ.วิดีโอที่ 5 ฉ. วิดีโอที่ 6

ภาพประกอบ 4-16 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเพื่อทดสอบการตรวจจับวัตถุทรงกลมตามเงื่อนไขในการจัดวางอุปกรณ์

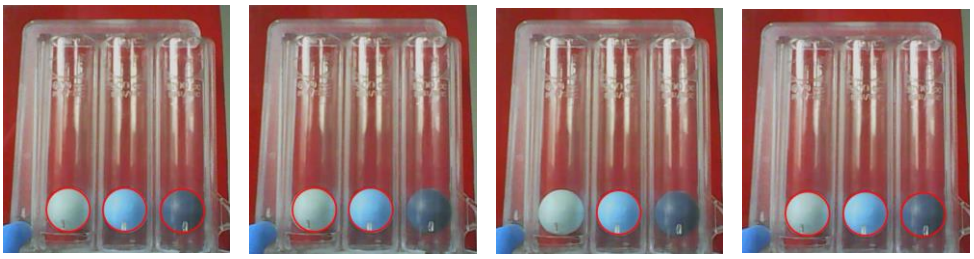
ตาราง 4-2 ผลการวัดค่าความแม่นยำจากการตรวจจับวัตถุทรงกลมจากภาพวิดีโอ

วิดีโอ	GAW	CHT
1	84.56	99.67
2	94.33	99.78
3	82.78	99.67
4	81.44	99.11
5	93.2	91.78
6	68.44	97.78
ค่าเฉลี่ย	84.13	97.97

ความแม่นยำจากการตรวจจับภาพวัตถุทรกลมด้วย GAW และ CHT พบว่าทั้งสองวิธีสามารถระบุตำแหน่งของจุดศูนย์กลางวงกลมที่มีขนาดประมาณ 20 พิกเซลได้ด้วยความเร็วในการประมวลผลเฉลี่ยเท่ากับ 11.2 และ 13.4 เฟรมต่อวินาทีตามลำดับ แต่ความแตกต่างของผลลัพธ์จากทั้งสองวิธีคือ CHT ให้ผลลัพธ์ที่สามารถระบุได้ทั้งรัศมีและจุดศูนย์กลางของวงกลม ในขณะที่ GAW สามารถระบุได้เพียงตำแหน่งของกลมที่มีรัศใกล้เคียงกับรัศมีเป้าหมาย และเมื่อพิจารณาค่าความ

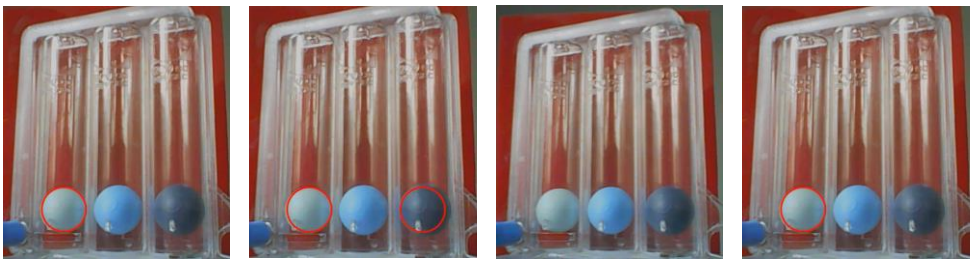
แม่นยำจากตารางที่ 4-2 พบว่าค่าความแม่นจากการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมในแต่ละวิดีโอด้วย GAW มีค่าน้อยกว่าการตรวจจับภาพวงกลมด้วย CHT เกือบทั้งหมด ยกเว้นวิดีโอที่ 5 ซึ่งเป็นภาพวิดีโอที่ลูกบอลนั้นมีขนาดใหญ่กว่ารัศมีเป้าหมาย ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของการตรวจจับซึ่งตรวจจับเพียงวงกลมที่มีรัศมีใกล้เคียงกับค่าตัวแปรที่ใช้สร้าง GAW เท่านั้น และเมื่อพิจารณาภาพประกอบ 4-17 ซึ่งแสดงผลการระบุตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลมจากวิดีโอที่ 1,3 และ 6 ด้วย GAW พบว่าการระบุตำแหน่งของวัตถุที่มีลักษณะเป็นทรงกลมสามารถทำได้ถูกต้อง แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของทรงกลมนั้นได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวงกลมจาก GAW มีค่าเท่ากับร้อยละ 84.13 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลจากการระบุตำแหน่งจาก CHT ที่สามารถระบุตำแหน่งที่ถูกต้องได้ร้อยละ 97.97

ก.



ข.

ค.



ภาพประกอบ 4-17 ผลการระบุตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลมในภาพเคลื่อนไหวด้วย GAW
ก. ผลลัพธ์จากวิดีโอที่ 1 ข. ผลลัพธ์จากวิดีโอที่ 3 ค. ผลลัพธ์จากวิดีโอที่ 6

4.4 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาและการทดลองในบทนี้ทำให้เราสามารถเลือกใช้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง GAW เพื่อนำ GAW ที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับวัตถุทรงกลมจากทั้งภาพนิ่งและวิดีโอได้ และผลจากการทดลองทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับวงกลมด้วย GAW ที่แม้ว่าจะสามารถระบุตำแหน่งของลูกบอลแต่ได้แต่ความแปรปรวนของแอมพลิจูดที่เกิดจากการกรองภาพแต่ละเฟรมจากการบันทึกภาพเคลื่อนไหวนั้น ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของการระบุตำแหน่งส่งผลให้ค่าความแม่นยำในระบุตำแหน่งวัตถุทรงกลมด้วย GAW มีค่าน้อยกว่า CHT และจากการเปรียบเทียบดังกล่าวจึงได้เลือกใช้ CHT เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์และใช้ตำแหน่งของบอลทั้งสามที่ได้จากการประมวลผลเพื่อประโยชน์ในการจำกัดพื้นที่ของการประมวลผลและสร้างภาพต้นแบบที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพในการตรวจจับภาพวัตถุขณะเกิดการเคลื่อนที่ในบทถัดไป

บทที่ 5

การตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่

5.1 ผลการทดลองการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่

การทดลองใช้วิดีโอซึ่งบันทึกภาพเคลื่อนไหวขณะใช้งานอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอดในสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วยความละเอียดขนาด 320x240 พิกเซล จำนวน 15 วิดีโอ แต่ละวิดีโอมีความยาวทั้งหมด 200 เฟรม โดยที่ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ Triflow และกล้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงขณะบันทึกวิดีโอ โดยตรวจจับการเคลื่อนที่ของบอลด้วยวิธีที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 วิธี วิธีแรกคือการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วย CHT วิธีที่สองใช้การตรวจจับความเปลี่ยนด้วยของภาพด้วย Background subtraction วิธีที่สามคือการตรวจจับความเปลี่ยนที่มีลักษณะเป็นวงกลมด้วยFrame difference CHT และใช้ค่าเฉลี่ยของสี และวิธีที่สี่คือการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของวัตถุด้วย NCC วิธีที่ห้าและหกคือการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของวัตถุด้วย Part-base NCC ที่มีภาพต้นแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามลำดับ ซึ่งวิดีโอทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองสามารถแจกแจงได้เป็นสองกลุ่มตามสถานการณ์ที่จำลองขึ้นคือ กลุ่มที่หนึ่ง อุปกรณ์ติดตั้งอยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ขณะบันทึกวิดีโอ และกลุ่มที่สองมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ขณะใช้งานเพื่อจำลองสถานการณ์จริงที่ทิศทางของแสงซึ่งตกกระทบกระบอกพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปเมื่อนำอุปกรณ์ไปใช้งานจริง และสามารถแจกแจงรูปแบบของการเคลื่อนของบอลขณะบันทึกวิดีโอได้ดังนี้

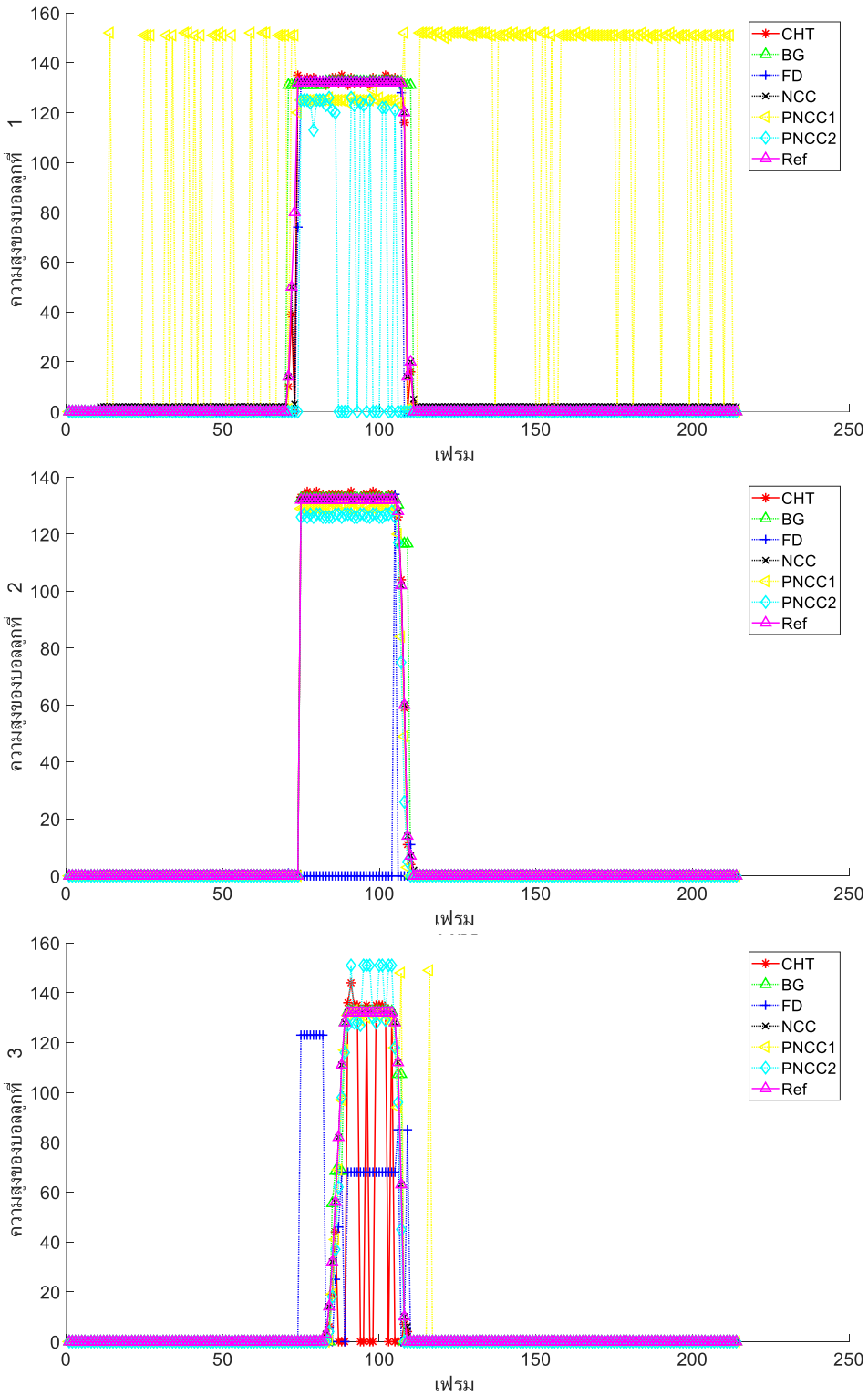
ตาราง 5-1 รายละเอียดของวิดีโอที่ใช้เพื่อการทดลองตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่

กลุ่มที่	จำนวนวิดีโอ	การเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง	การเคลื่อนที่ของบอลลูกที่ 1	การเคลื่อนที่ของบอลลูกที่ 2	การเคลื่อนที่ของบอลลูกที่ 3
1	3	✘	✓	✘	✘
	3	✘	✓	✓	✘
	3	✘	✓	✓	✓
2	2	✓	✓	✘	✘
	2	✓	✓	✓	✘
	2	✓	✓	✓	✓

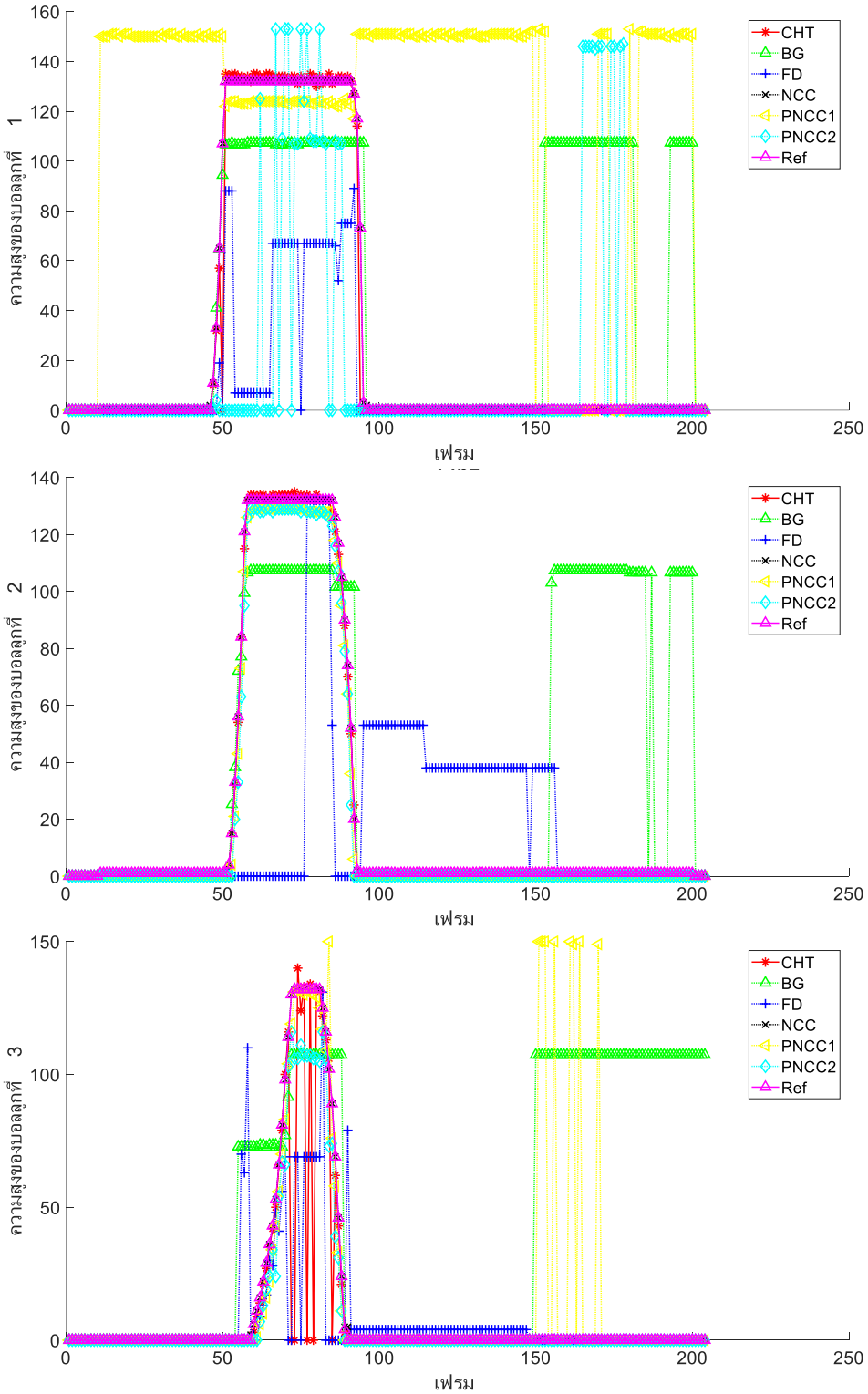
การพิจารณาความแตกต่างของภาพจากวิดีโอกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สองด้วยตาเปล่านั้นสามารถทำได้ยาก แต่ความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสองกลุ่มนี้ส่งผลต่อความถูกต้องของการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่ เนื่องจากทิศทางของแสงที่เปลี่ยนทำให้เกิดแสงสะท้อนที่บดบังภาพวัตถุทำให้รายละเอียดของภาพเกิดเปลี่ยนแปลง ดังเช่นภาพประกอบ 5-1 ซึ่งแสดงภาพอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ขณะบันทึกวิดีโอ ทำให้ปริมาณมุมตกกระทบของแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ต่างจากภาพประกอบ 5-2 ที่มีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ขณะบันทึกวิดีโอทำให้ปริมาณแสงที่ตกกระทบลูกบอลหรือแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนกระบอกพลาสติกเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งตัวอย่างของผลการติดตามภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่ของวิดีโอกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สองแสดงดังภาพประกอบ 5-3 และ 5-4

ภาพประกอบ 5-1 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอกลุ่มที่ 1

ภาพประกอบ 5-2 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอกลุ่มที่ 2



ภาพประกอบ 5-3 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของบอลจากการตรวจจับวัตถุขณะเคลื่อนที่ของบอลทั้งสามจากวิดีโอชุดที่ 9



ภาพประกอบ 5-4 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของบอลจากการตรวจจับวัตถุขณะเคลื่อนที่ของบอลทั้งสามจากวิดีโอชุดที่ 15

ภาพประกอบ 5-3 และ 5-4 แสดงตัวอย่างผลการเปรียบเทียบตำแหน่งจากการตรวจจับวัตถุขณะเคลื่อนที่ด้วยวิธีการต่างๆจากวิดีโอชุดที่ 9 และ 15 ในสถานการณ์ที่บอลทั้งสามเกิดการเคลื่อนที่ขณะอุปกรณ์ติดตั้งอยู่กับที่และขณะมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ตามลำดับ ซึ่งผลการระบุตำแหน่งจากการทดลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงซึ่งเป็นตำแหน่งที่แท้จริงของบอลแต่ละลูก โดยพบว่าผลการตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลทั้งสามด้วยวิธีการที่แตกต่างกันทั้งหมดหกวิธีดังที่ได้นำเสนอนั้น สามารถระบุตำแหน่งของลูกบอลจากวิดีโอชุดที่ 9 ได้ค่อนข้างแม่นยำและมีค่าใกล้เคียงกัน แตกต่างจากผลการระบุตำแหน่งจากวิดีโอชุดที่ 15 ซึ่งมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ขณะบันทึกวิดีโอ ทำให้ผลการตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลมีค่ากระจายตัว โดยพบว่าบางวิธีการนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์สูง แต่วิธีการตรวจจับภาพวัตถุด้วย CHT และ NCC สามารระบุตำแหน่งของบอลทั้งสามได้ด้วยความแม่นยำสูงจากวิดีโอทั้งสองชุด ทั้งนี้ยังพบการแกว่งของความสูงที่ตรวจจับบอลสีน้ำเงินด้วย CHT ขณะบอลลอยตัว ณ ตำแหน่งสูงสุด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบจากแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบริเวณกระบอกพลาสติกดังผลลัพธ์ในภาพประกอบ 5-5 ซึ่งไม่พบปัญหาดังกล่าวในผลลัพธ์จากวิธี NCC

ภาพประกอบ 5-5 ผลกระทบจากแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนกระบอกพลาสติก

ปัญหาจากแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนกระบอกพลาสติกนั้นส่งผลให้ความถูกต้องในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพด้วยวิธี Background subtraction เป็นอย่างมากดังแสดงในภาพประกอบ 5-6 ซึ่งสามารถใช้อธิบายผลกระทบจากแสงสว่างได้เป็นสองปรากฏการณ์ คือ ผลจากความสว่างของแสงที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าสีบนผิวลูกบอลเกิดความเปลี่ยนแปลงเกินกว่าค่าขีดแบ่ง ทำให้ระบบตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของลูกบอลได้แม้ลูกบอลไม่เกิดการเคลื่อนที่ นอกจากนี้แสงสว่างที่เปลี่ยนแปลงนั้นทำให้เกิดแสงสะท้อนบนกระบอกพลาสติก ทำให้การระบุตำแหน่งของลูกบอลนั้นเกิดความผิดพลาด โดยปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยวิธี Frame difference ซึ่งเป็นวิธีตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพอีกวิธีหนึ่งที่หาความเปลี่ยนแปลงระหว่างภาพในเฟรมก่อนหน้าและภาพในเฟรมปัจจุบัน แต่การใช้ Frame difference ไม่สามารถแยกความเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่ของวัตถุและความเปลี่ยนแปลงจากแสงได้ออกจากกันได้ ซึ่งผลลัพธ์ดังภาพประกอบ 5-7 สามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเป็นวงกลมจากการทำงานต่อเนื่องกันจาก Frame difference CHTและค่าเฉลี่ยจากองค์ประกอบสี Hue ซึ่งความเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเป็นวงกลมจากการ

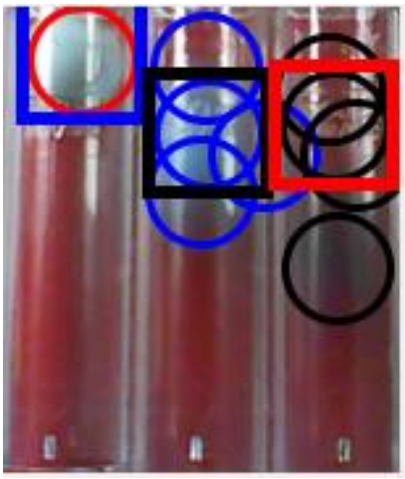
เคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมมักเกิดขึ้นพร้อมกันจากตำแหน่งของวงกลมในเฟรมก่อนหน้าและวงกลมจากเฟรมปัจจุบันและอาจเกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวนหรือแสงสะท้อนที่มีลักษณะโค้งมน ดังเส้นรอบวงกลมที่แสดงในภาพประกอบ 5-7 ซึ่งการใช้ค่าเฉลี่ยจากองค์ประกอบสี Hue ทำให้ระบบสามารถระบุตำแหน่งที่แท้จริงของบอลดังกรอบสี่เหลี่ยมในภาพประกอบ 5-7

ก. ข.

ภาพประกอบ 5-6 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความสว่างและแสงสะท้อน

ก. ผลการระบุตำแหน่งที่เกิดความเปลี่ยนแปลง

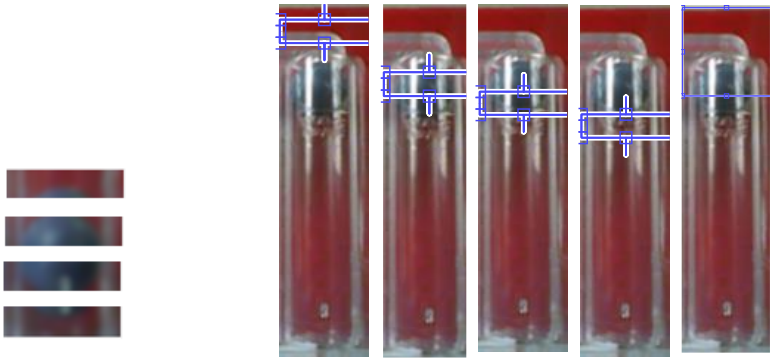
ข. ภาพแสดงผลการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยวิธีการ Background subtraction



ภาพประกอบ 5-7 ผลการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเป็นวงกลม

ความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งด้วยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพจาก Part-based NCC พบได้มากดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 5-8 ซึ่งเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันโดยใช้ภาพต้นแบบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อค้นหาตำแหน่งของภาพที่คล้ายคลึงกับภาพบอลแต่ละส่วนมากที่สุด จากภาพ 5-8 พบว่าการระบุชิ้นส่วนของบอลนั้นสามารถทำได้ถูกต้อง แต่ผล

จากการรวมกันของแผนภาพ Correlation แต่ละส่วนไม่สามารถระบุตำแหน่งจุดศูนย์กลางวัตถุที่ถูกต้อง



ก. ข.

ภาพประกอบ 5-8 ผลการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย Part-based NCC

ก. ภาพต้นแบบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ข. ภาพแสดงผลการระบุตำแหน่งจากภาพต้นแบบแต่ละส่วน

ตาราง 5-2 ผลการทดลองการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่

วิธีการ	MAE (พิกเซล)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเร็วในการประมวลผล (เฟรมต่อวินาที)
CHT	2.00	6.40	27.44
BG	21.99	28.28	77.56
FD	14.11	27.08	45.37
NCC	1.38	3.63	29.92
PNCC1	28.39	28.13	8.95
PNCC2	6.38	14.55	7.60

ตารางที่ 5-2 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการตรวจจับภาพวัตถุด้วยวิธีการต่างๆ โดยใช้การเปรียบเทียบตำแหน่งที่ตรวจจับได้กับตำแหน่งอ้างอิงของบอลทั้งสามจากวิดีโอทั้งหมด 15 วิดีโอ ซึ่งพบว่าการตรวจจับภาพด้วยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพโดยวิธี NCC มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 1.38 และ 3.63 ตามลำดับ โดยมีความเร็วในการประมวลผลอยู่ที่ 29.92 เฟรมต่อวินาที ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้เพื่อประมวลผลภาพแบบเวลาจริง

จากการวิเคราะห์ผลการตรวจจับภาพด้วยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพโดยวิธี NCC พบว่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งมักเกิดขึ้นขณะที่บอลเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งที่ต่ำที่สุดหรือตกลงสู่ตำแหน่งที่ต่ำที่สุด ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เกิดขึ้นเพียง 3-4 เฟรมต่อวิดีโอ โดยมีสาเหตุจากรายเอียดของภาพ ณ ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ใกล้กันกับตำแหน่งของภาพต้นแบบของ NCC เป็นอย่างมาก ทำให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเล็กน้อย ณ บริเวณดังกล่าว

5.2 สรุปผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดสอบการตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่จากวิดีโอการใช้งานอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอดด้วยวิธีการการต่างๆทั้งหมด 6 วิธี ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพด้วยวิธี NCC มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเพื่อติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดมากที่สุด เนื่องจากผลการระบุตำแหน่งของ NCC มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่ต่ำที่สุดและมีความเร็วในการประมวลผลมากพอต่อการนำไปใช้เพื่อประมวลผลแบบเวลาจริง มีความทนทานต่อความเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างและแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอด และเป็นวิธีการที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดในสถานการณ์จริงที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างได้ตลอดเวลา

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการติดตามผลการฟื้นฟูจากการทำกายภาพบำบัดปอดจากการประมวลผลภาพดิจิตอล เพื่อช่วยให้การติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็วโดยใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นของปริมาตรปอดซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานตามโรงพยบาลในประเทศไทย ทำให้ผู้ป่วยสามารถทำกายภาพบำบัดควบคู่ไปกับการติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดด้วยระบบที่ได้รับการออกแบบให้มีความสามารถในการตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์ด้วยวิธีการตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม และคัดเลือกวิธีที่เหมาะต่อการติดตามตำแหน่งของตัวชี้วัดปริมาตรปอดที่บรรจุอยู่ภายในอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นปริมาตรปอด

ผลจากการศึกษาและทดลองตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมด้วยวิธี Gabor Annulus Wavelet และ Circular Hough Transform พบว่า Gabor Annulus Wavelet เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้เพื่อระบุตำแหน่งของวงกลมที่รัศมีใกล้เคียงกับขนาดรัศมีที่สนใจได้จากภาพระดับเทาและภาพขอบของวัตถุ แต่พบข้อจำกัดในการใช้งานเพื่อตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมจากวิดีโอซึ่งไม่สามารถระบุตำแหน่งได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ Circular Hough Transform สามารถระบุตำแหน่งและรัศมีของวงกลมได้จากภาพขอบของวัตถุจากวิดีโอได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่อง และด้วยค่าความแม่นยำที่มีค่าสูง Circular Hough Transform จึงถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์และทำให้การติดตามตำแหน่งของตัวชี้วัดปริมาตรปอดสามารถทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วยการจำกัดพื้นที่ในการประมวลผล

จากผลการทดลองเพื่อตรวจจับภาพวัตถุขณะเคลื่อนที่ด้วยวิธีการตรวจจับภาพวัตถุที่แตกต่างกันคือ การตรวจจับภาพวัตถุทรงกลม การตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของภาพและการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพ พบว่า Normalized Cross-Correlation ซึ่งเป็นวิธีการตรวจจับภาพวัตถุโดยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่สนใจนั้นมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำที่สุด มีความทนทานต่อความเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างทั้งยังสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในสถานการณ์จริงและนำไปใช้งานเพื่อการประมวลผลแบบเวลาจริงได้

ผลจากการออกแบบและการวิจัยนี้ทำให้สามารถคัดเลือกวิธีประมวลผลภาพดิจิตอลที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดได้โดยอาศัยการสร้างฉากหลังที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพ ซึ่งช่วยให้การตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกร์ทำได้ง่ายขึ้น แต่ถือเป็นข้อจำกัดหนึ่งของระบบที่ต้องเลือกใช้ฉากหลังที่มีสีแตกต่างจากตัวชี้วัดปริมาตรปอดที่บรรจุอยู่ภายในอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นปริมาตรปอด ซึ่งการเลือกใช้การ

ตรวจจับภาพวัตถุทรงกลมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์นั้นช่วยลดข้อจำกัดของการประมวลผลภาพได้ด้วยการอาศัยการตรวจจับลักษณะหรือรูปร่างของวัตถุโดยไม่คำนึงถึงสีของวัตถุ จึงสามารถนำวิธีการที่นำเสนอไปปรับใช้กับอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นปริมาตรปอดรุ่นอื่นๆได้ไม่ยาก และการตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์ยังช่วยให้ทราบตำแหน่งและขนาดที่แน่นอนของวัตถุ ส่งผลให้การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่สนใจ เพื่อตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุทำได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาวิธีการตรวจจับภาพวัตถุให้มีสามารถตรวจจับภาพวัตถุที่สนใจได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วถือหนึ่งในเป้าหมายหลักของการพัฒนาระบบประมวลผลภาพดิจิตอล ซึ่งผลจากการศึกษาและพัฒนาทางด้านการประมวลผลภาพดิจิตอลนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับงานที่หลากหลายได้ เช่น การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพด้วย Normalized Cross-Correlation หรือ Correlation filter ประเภทอื่นๆที่สามารถนำไปใช้เพื่อตรวจจับวัตถุที่สนใจได้โดยไม่จำกัดเฉพาะกลุ่มภาพวัตถุทรงกลม และการศึกษาวิธีการตรวจจับภาพวัตถุที่หลากหลายควบคู่ไปกับการศึกษาวิธีการติดตามภาพวัตถุและการเรียนรู้ภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์สามารถช่วยให้ผู้ที่สนใจสามารถพัฒนากระบวนที่เหมาะสมต่อวัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบประมวลผลภาพดิจิตอลของผู้ที่สนใจได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยที่ควรพัฒนาต่อเนื่องจากงานวิจัยนี้คือการพัฒนาวิธีที่การตรวจจับภาพวัตถุให้สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นของปริมาตรปอดที่มีหลากหลายยี่ห้อ ซึ่งแต่ละยี่ห้ออาจมีสีและขนาดของบอลที่แตกต่างกัน ผู้ที่สนใจสามารถนำกระบวนที่ได้นำเสนอไปใช้เพื่อติดตามผลการฟื้นฟูของปริมาตรปอดจากอุปกรณ์กระตุ้นการฟื้นฟูปริมาตรปอดรุ่นอื่นๆได้โดยเลือกใช้ฉากพื้นหลังที่มีสีตัดกันกับสีของบอล หรือพัฒนากระบวนการตรวจจับภาพบอลซึ่งเป็นตัวชี้วัดปริมาตรปอดของผู้ใช้งานให้สามารถตรวจจับได้อย่างแม่นยำโดยไม่จำเป็นต้องใช้ฉากพื้นหลังซึ่งถือเป็นความท้าทายหนึ่งของการพัฒนาที่ต้องทำควบคู่ไปกับการพัฒนาวิธีติดตามภาพวัตถุที่มีประสิทธิภาพและการพัฒนาฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับบันทึกผลการติดตามการฟื้นฟูของปริมาตรปอดเพื่อให้งานวิจัยสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสาธารณะได้มากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

[1] P. Agostini, B. Naidu, H. Cieslik, R. Steyn, P. B. Rajesh, E. Bishay, M. S. Kalkat, and S. Singh, "Effectiveness of incentive spirometry in patients following thoracotomy and lung resection including those at high risk for developing pulmonary complications", *Thorax,* vol. 68, no. 6, pp. 580–585, Jan. 2013.

[2] J. Weindler and R.-T. Kiefer, "The efficacy of postoperative incentive spirometry is influenced by the device-specific imposed work of breathing", *Chest,* vol. 119, no. 6, pp. 1858–1864, 2001.

[3] E. John, B. Joseph, D. Michael, " Game-based incentive spirometer and a method of quantifying and recording performance", U.S. Patent 0 303 930, November 14, 2013.

[4] S. Hong, J. Lee, and H.-J. Yoo, "Wearable lung-health monitoring system with electrical impedance tomography", *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS*), vol. 2015-November, pp. 1707–1710, 2015.

[5] A. Lay-Ekuakille, G. Vendramin, and A. Trotta, " Breath flow sensing via spirometric instrumentation: Pathology prediction using a genetic algorithm", *Proceedings of the 3rd International Conference on Sensing Technology (ICST),* 2008, pp. 313–317.

[6] W. You, H. Jiang, and Z.-N. Li, "Real-time multiple object tracking in smart environments*", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO),* pp. 818–823, 2008.

[7] T. T. Trang and C. Ha, "Irregular moving object detecting and tracking based on color and shape in real-time system", *International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTel)*, pp. 415–419, 2013.

[8] A. Yilmaz, O. Javed, and M. Shah, "Object Tracking: A Survey", *ACM Computer Surveys*, vol. 38, no. 4, 2006.

[9] A Rhodes, L Bai. "Circle detection using a gabor annulus", *Proceedings of the British Machine Vision Conference*, pp. 108.1–108.11, Sep. 2011.

[10] T. Liu, G. Wang, and Q. Yang, “Real-time part-based visual tracking via adaptive correlation filters”, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 4902-4912, Jun. 2015.

[11] R. C. Gonzalez, and R. R. Woods, Digital Image Processing, 2nd e., New Jersey: Prentice-Hall, Inc.,2001.

[12] H. D. Cheng, X. H. Jiang, Y. Sun, and J. Wang, “Color image segmentation: advances and prospects.” *The journal of the Pattern Recognition Society*, vol. 34, no. 12, pp. 2259-2281, 2001.

[13] A. McAndrew, *Introduction to Digital Image Processing with MATLAB,* Massachisetts: Thomson Learning, Inc., 2004.

[14] N. Otsu, “A threshold selection medthod from gray-level histogram”, *IEEE Trans, Systems, Man and Cybernetics*, vol.9, no.1, pp 62-66, 1979.

[15] R, Muthukrishnan, S and M. Radha, “Edge Detection Techniques for Image Segmentation”, *International journal of computer science and information technology* (ijcsit), pp. 259-267, 2001.

[16] L. Ding, A. Goshtasby, “On the Canny edge detector”, *Pattern Recognition*, vol. 34, Issue 3, pp. 721-725, 2001.

[17] T.J. Atherton, D.J. Kerbyson. “Size invariant circle detection”, *Image and Vision Computing*, vol. 17, no. 11, pp. 795-803, 1999.

[18] R. J. Radke, S. Andra, O. Al-Kofahi, and B. Roysam, “Image change detection algorithms: a systematic survey,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 14, no. 3, pp. 294–307, Mar. 2005.

[19] J. Luo and E. Konofagou, “A fast normalized cross-correlation calculation medthod for motion estimation”, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroeletrics, and Frequency Control,* vol. 57, no. 6, pp.1347-1357, Jun. 2010.

[20] T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis", Pattern Recognit. Lett., vol. 27, no. 8, pp. 861-874, Jun. 2006.

[21] C.J. Willmott, and K. Matsuura, "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance". *Climate Research*, vol. 30, pp. 79–82, Dec. 2005.

ภาคผนวก

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Lung Volume Monitoring Using Flow-Oriented Incentive Spirometer with Video Processing

Athtayu Yuthong, Kanadit Chetpattananondh, Rakkrit Duangsoithong
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112, Thailand
5810120055@email.psu.ac.th, kanadit.c@psu.ac.th, rakkrit.d@psu.ac.th

***Abstract*— Lung rehabilitation can be done by using different measuring and monitoring tools to recover patient from lung collapse. However, the patients can feel uncomfortable or get infected from using these tools. This paper present lung volume monitoring using flow-oriented incentive spirometer with video processing. According to the result, the proposed method can be used for lung rehabilitation monitoring and measuring with more comfortable, low cost and easy to use.**

***Index Terms*- video processing, circle detection, motion detection, position tracking, lung volume monitoring, incentive spirometer**

I. Introduction

Lung collapse is occurred by a decrease in lung volume. It makes patients feel tired, having phlegm, cannot doing a daily life normally, and slow in body recovering process. Lung collapse usually encounters in patients with chest surgery or disability patients with movement problem and older people. Patients can do rehabilitation treatment including breathing exercise, coughing exercise, and using tools to increase lung volume monitoring for future planning based on each patient's conditions.

In general practice, therapist evaluate monitoring results of lung volume from spirometer which measured lung volume directly. With modern healthcare technologies, lung volume measurement tools or monitoring tools have been developed with difference purposes. For examples, the measurement of flow rate of breathing through wind turbine [1]. The propellers of the wind turbine are going to interrupt the ray between LED and Phototransistor. Frequency of ray occurs on Phototransistor depend on the flow speed and the wind turbine's rotation speed. Digital spirometer [2] is, another example which is depended on the different measurement of pressure using Pneumotachometer, lung volume calculation, and breathing work. The Digital spirometer record data shows results in graphs, and compares with the results during using this tool for monitoring and treating patients. Last example using data from Flow sensor in a game to control a character movement [3]. This makes patients feel comfortable and want to exercise using the game for lung expansion therapy. The difficulty can be set for each patient with the data recording of flow rate and lung volume during exercise. Therefore, all of the tools above need to connect with a patient directly. It is not comfortable to use with many patients continuously or need to clean the tool to prevent infection between patients.

In this paper, we propose monitoring process of lung rehabilitation using video processing and Flow-Oriented Incentive Spirometer, which is cheap and mostly used in Thailand. By using this video processing technique, we can encounter the infectious problem during using a tool. Patients do not need to make a contact to the sensor or electronic device directly by using video from webcam and a technique to capture interested objects and record the flow rate and lung volume from the objects without modification or direct sensor to Flow-oriented incentive spirometer. In addition, Flow-Oriented Incentive Spirometer's brands are not affected the system in processing and monitoring.

II. Flow-Oriented Incentive Spirometer and Object Detection

A. Flow-oriented incentive spirometer

Flow-oriented incentive spirometer or Triflow has three translucent tube characteristics. Each tube has difference ball size and color as shown in Fig 1. This tool is used to rehab lung to increase lung volume and to approximate lung volume or to know the flow rate by inspecting balls position. The balls position and flow rate have a relation to each other. When a ball, two balls, and three balls are at the peak, the flow rate are equal to 600, 900, and 1200 cc/sec, respectively.

Fig. 1. Flow-oriented incentive spirometer

978-1-5386-0449-6/17/$31.00 ©2017 IEEE

B. Circle object detection

Circle object detection was developed to find circular object in image without direct contact with the object for lung volume monitoring. Circular Hough Transform (CHT) [4] was used to find the position and size of circular objects from object edge. This technique can be adapted to use in ball detection in the Triflow. CHT is not considered the color of the ball, therefore CHT method can be used to detect balls with difference brands of Triflow.

The processes of circle detection with radius between R_{min} to R_{max} from an image with $m \times n$ pixels start with finding edge of an object using Gaussian Filter and Canny Edge Detection [5] from grayscale image. Each edge point $P_i(x_i,y_i)$ of edge image, which was generated, is used as a center of a circle within configuration radius as equations 1, 2, and 3.

$$(x - x_i)^2 - (y - y_i)^2 = R_i^2 \quad (1)$$

$$x = x_i + R_i \cos\theta \quad (2)$$

$$y = y_i + R_i \sin\theta \quad (3)$$

Where R_i is the radius of the circle in between R_{min} and R_{max}. Equation 2 and 3 are parametric representation of circle edge point.

Every time making a border surround P_i the position under border line was keep in 3D matrix $C(x,y,R_i)$. It shows the possibility of (x,y_i) position to be center of the circle with radius R_i. The calculation of local maxima of accumulator matrix presents the position and size of a detected circle.

C. Motion detection

Movement detection using background subtraction shows the difference between color intensities on each pixel [6]. It mostly uses in an image or a video from a static camera. Background subtraction uses a first frame which objects are not moving as a reference image and compares the reference image with the current frame using threshold to indicate the change pixel.

Background subtraction can be done using difference color space images. Example, grayscale image, which using single color component to detect changes, or multiple color component in equation 4, in order to select the difference between each color components of the image as much as possible.

$$\begin{aligned} Rm_n &= |Red_n - Red_{n-1}| \geq Threshold \\ Gm_n &= |Green_n - Green_{n-1}| \geq Threshold \\ Bm_n &= |Blue_n - Blue_{n-1}| \geq Threshold \\ Result_n &= Rm_n \vee Gm_n \vee Bm_n \end{aligned} \quad (4)$$

Where Rm_n, Gm_n and Bm_n are motion result from red, blue and green color component of frame number n.

III. Propose Method

The monitoring lung volume using Triflow can be measured by detecting the movement of balls in vertical axis inside a Triflow. Due to fixed the position of Triflow during exercise, balls are been able to monitor to compare the lowest position and the highest position for accuracy processing.

Due to the design of Triflow from difference company can have difference sized of tubes and balls, and color of balls, before experimental, the size measurement of ball and distant between lowest and highest position measurement should be performed. We used these data in the configuration for video processing and calculation of flow rate and lung volume. In addition, Triflow has the characteristic of translucent tube, background with difference color with balls inside a Triflow helps to separate balls from background better than similarly, helps to eliminate some light reflection on tube surface, and helps to reduce problem from other moving object on background during exercise.

Our proposed algorithm starts with target configuring in order to compare lung status with the target from specialist. There are two working processes as shown in Fig 2. First, the target is the accuracy checking of the tool position in perpendicular and plane using circle detection. Second, it is a process to monitor balls movement comparing with the reference image. Then, it uses time and position of balls in each frame in calculation for lung volume and compare the result from specialist target before showing the result to users.

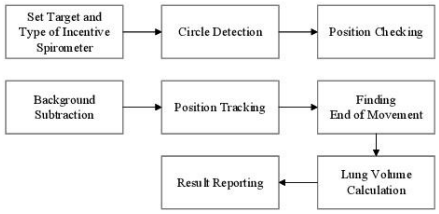


Fig. 2. System diagram.

A. Target configuration for training and identifying the type of Incentive spirometer

Target or purpose of training using Triflow can be separated into three type, which are balls number, height, and time. These targets can be changed depend on the ability to rehab of each patient. Example, for first time user, target can be set to low. In other words, target can be set to be making a ball flow with height more than haft of a tube for 2 second.

From selected background with difference color with balls for image processing of each Triflow, Triflow identification is an important part to easily separate Triflow from background. Triflow identification also helps the system to choose faction of ball size and distant between the highest and the lowest, which

was measured before calculation process to get lung volume and flow rate.

B. Circle detection and position monitoring

For image processing, we start with finding the area of interested objects, which is Triflow position and balls using absolute difference between gray scale image and color image that relate to background color. Example, using red background, we can find the difference between gray scale and red component and thresholding technique of Otsu to get area of interest in Fig. 3. Then, the system detects circle objects using CHT and ball count number of balls that should be equal to three, while the system inspects the balls position and size that the second ball should be placed at the middle. If the balls have the same size, Triflow and webcam are on the same plane and know the highest position of the ball during movement comparing with current position.

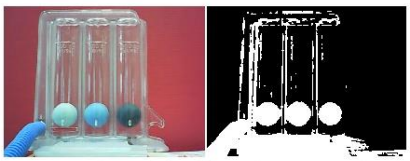


Fig. 3. Segmentation result from difference between gray scale and red component image.

C. Motion detection and position tracking

After checking the position and size of objects, the system records initialize position and reference image for background subtraction process. Then, the system finds the difference between current frame and reference frame using threshold equal to 40. The results from background subtraction mostly occur in parallel circle characteristic, which are shown the area of circle of newer frame and reference frame.

In order to monitor balls, it can choose the highest position of a movement inside a tube in Fig 4, which is the bound of movement from a fraction of size of circle and size of tube. Then, the system records the highest position of each ball and processing time. After that, the system monitor movement of ball in next frame.

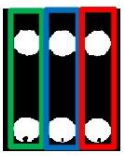


Fig. 4. Movement Boundary of each ball

D. Ending processes of Triflow

For detecting object movement, it continuous to work even balls is not moving. In case of cannot find the moving object, we make the position of current balls are equal to initialize position from circle detection in previous process. If the position of the first ball is equal to the initialize position and nothing change more than a hundred frames, we assume that it reaches the ending process.

E. Volume calculation and report

After objects detection is ending, the process starts to compare results with the target or the conditions in A from time measurement at target ball flow above a target height for a period of time. If the measurement time is greater than a target time, the patients can be evaluated as pass the training with current difficulty. In parallel, lung volume calculation from the height of balls in flow rate unit can be used to evaluate lung rehabilitation using area under a graph of the relationship of balls height and time between frames. Area under graph of a first ball is multiply with flow rate follow Triflow scale which is equal to 600 cc/s. And for the second ball and third ball multiply with 300 cc/s. Lung volume is come from video processing by calculation the summation of area under graph of objects monitoring of every ball.

IV. Experimental result

Video is captured by Logitech webcam with image resolution 320×240 pixels from situation which control illumination variation. Each image of the video was processed by computer with Intel Core i7 2GHz, processer 64-bit operation system. Experiment started with 2 balls as a target of exercise with the height equal to 50% from highest of ball movement for 2 seconds. Video processing started since Triflow was not on appear on a frame. Then assume that, we were new patients bring our own Triflow to use in lung volume monitoring system.

When a camera could capture Triflow image, circle detection system could tell the size and position of each balls which appear as a sequence of images. Size and position was used to compare with condition in the position checking process to verify initialize setup position before motion detection process by using the processing speed equal to 14 fps.

After verified initialize setup position of Triflow, system recorded current image as a reference frame and recorded balls position to use in area of movement detection of each ball. The results of movement detection during the current frame and reference frame were overlapping had the characteristic as an area that cover on both frames like in Fig 5(a) and when the ball was higher than the reference ball, the area of ball became two balls separated with each other like in Fig 5(b).

Using the upper left corner of bounding box instead of centroid of the area of detection made the position detection of balls during movement in difference characteristic more correctness. Fig 6(a) and Fig 6(b) showed vertical coordinate of top left corner of bounding box from first and second ball which can tell the position of balls continuously with processing speed of 29.5 fps. The system stopped detection process after cannot detect the first ball movement within 100 frames. After that,

system calculated lung volume from area under graph of each ball and measure time using during floating of second ball more than 50 percent or more than green line in Fig 6(b). Then, the measurement results were reported as a graph and told lung volume measurement comparing target threshold to user in order to acknowledge the training result.

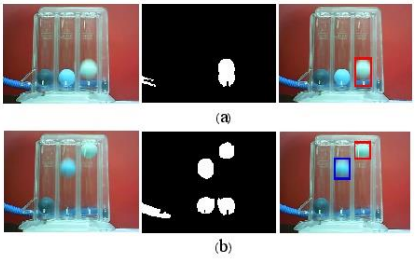


Fig. 5. Motion detection. (a) Result from merged area of circles. (b) Result from separated area of circles.

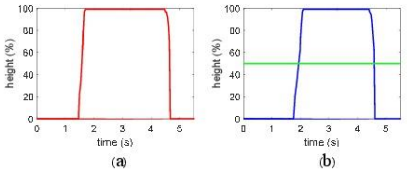


Fig. 6. Ball position from top left corner of bounding box. (a) Result from first ball. (b) Result from second ball.

V. Conclusion

This paper presents an approach for lung volume monitoring using flow-oriented incentive spirometer by circle detection and motion detection for the purposed of training for lung volume rehabilitation. It can be used with many people over time without sensors or electronic devices connect to respiratory. This system can be adapted depend on the difficulty of training. It works with ordinary flow-oriented incentive spirometer. In our future, we are going to improve motion detection process in order to robust to illumination change along with data storage to record patients' training history for evaluation with conclusion of each patient.

References

[1] A. Lay-Ekuakille, G. Vendramin, and A. Trotta, "Breath flow sensing via spirometric instrumentation. Pathology prediction using a genetic algorithm", Proceedings of the 3rd International Conference on Sensing Technology, ICST 2008, 2008, pp. 313–317.

[2] R. Alejos-Palomares, C. Ramírez, and N. Domínguez-Martinez, "Digital spirometer with LabView interface", Proceedings - 18th International Conference on Electronics, Communications and Computers, CONIELECOMP 2008, 2008, pp. 105–110.

[3] E. John, B. Joseph, D. Michael, "Game-based incentive spirometer and a method of quantifying and recording performance", U.S. Patent 0 303 930, November 14, 2013.

[4] T.J. Atherton and D.J. Kerbyson, "Size invariant circle detection", Image and Vision Computing, vol. 17, no. 11, pp. 795-803, 1999.

[5] L. Ding and A. Goshtasby, "On the Canny edge detector," Pattern Recognit., vol. 34, no. 3, pp. 721–725, 2001.

[6] R.J. Radke, S. Andra, O. Al-Kofahi, and B. Roysam, "Image change detection algorithms: a systematic survey," IEEE Trans. Image Processing, vol. 14, no. 3, pp. 294–307, Mar. 2005.

แบบสป/สผ/อสป/001-ก
หน้า 1 ของจำนวน 2 หน้า

คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

☐ การประดิษฐ์

☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์

☑ อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ.2522 แก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2542

สำหรับเจ้าหน้าที่	
วันรับคำขอ 23 มี.ค. 2560	เลขที่คำขอ 1703000495
วันยื่นคำขอ 23 มี.ค. 2560	
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
กระบวนการติดตามผลการฟื้นฟูของการทำกายภาพบำบัดปอดด้วยระบบประมวลผลภาพดิจิตอล

2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่ ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ(สำนักงาน กสทช.)
ที่อยู่ 87 ถนนพหลโยธิน ซอย 8 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม 10400

3.1 สัญชาติ	ไทย
3.2 โทรศัพท์	0 2554 8139
3.3 โทรสาร	0 2554 8144
3.4 อีเมล์	pueng_ann@hotmail.com

4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☑ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด ประเทศ รหัสไปรษณีย์)
-

5.1 ตัวแทนเลขที่	-
5.2 โทรศัพท์	-
5.3 โทรสาร	-
5.4 อีเมล์	-

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
1.นายคณดิล เจษฎ์พัฒนานนท์ 2.นายรักกฤตว์ ดวงสร้อยทอง 3.นายสุนทร รุ่งเรืองใบหยก และ 4.นายอัทธายุ หยูทอง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90110

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม
ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตรเลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ
☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้ โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

ตามกฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๔๗ ว่าด้วยค่าธรรมเนียมและการยกเว้นค่าธรรมเนียม
สำหรับสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ประกาศคณะกรรมการสิทธิบัตร

แบบสป/สผ/อสป/001-ก

หน้า 2 ของจำนวน 2 หน้า

8. การยื่นคำขอนอกราชอาณาจักร

วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ
8.1				
8.2				
8.3				

8.4 ☐ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิให้ถือว่าได้ยื่นคำขอนี้ในวันที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย

☐ ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้ ☐ ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้

9. การแสดงการประดิษฐ์ หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด

วันแสดง วันเปิดงานแสดง ผู้จัด

10. การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ

10.1 เลขทะเบียนฝากเก็บ	10.2 วันที่ฝากเก็บ	10.3 สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ

11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่ จัดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอยื่นเป็นภาษา

☐ อังกฤษ ☐ ฝรั่งเศส ☐ เยอรมัน ☐ ญี่ปุ่น ☐ อื่น ๆ

12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้อธิบดีประกาศโฆษณาคำขอรับสิทธิบัตร หรือรับจดทะเบียน และประกาศโฆษณาอนุสิทธิบัตรนี้ หลังจากวันที่ เดือน พ.ศ.

☐ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ใช้รูปเขียนหมายเลข ในการประกาศโฆษณา

13. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย

ก. แบบพิมพ์คำขอ 2 หน้า

ข. รายละเอียดการประดิษฐ์

หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์ 5 หน้า

ค. ข้อถือสิทธิ 2 หน้า

ง. รูปเขียน 4 รูป 4 หน้า

จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์

☐ รูปเขียน รูป หน้า

☐ ภาพถ่าย รูป หน้า

ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์ 1 หน้า

14. เอกสารประกอบคำขอ

☑ เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

☐ หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์

☐ หนังสือมอบอำนาจ

☐ เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ

☐ เอกสารการขอนับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็นวันยื่นคำขอในประเทศไทย

☐ เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

☐ เอกสารอื่น ๆ

15. ข้าพเจ้าขอรับรองว่า

☑ การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาก่อน

☐ การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก.....

16. ลายมือชื่อ (☑ ผู้ขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร; ☐ ตัวแทน)

(นายฐากร ตัณฑสิทธิ์)

ผู้ขอรับอนุสิทธิบัตร

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นคำขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายอัทธายุ หยูทอง
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810120055
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมชีวการแพทย์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2556

ทุนการศึกษา
ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน
A. Yuthong, K. Chetpattananondh, and R. Duangsoithong, “Lung volume monitoring using flow-oriented incentive spirometer with video processing,” in 2017 14th *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology* (*ECTI-CON*), 27-30 June 2017.