

ระบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน

AUGMENTED REALITY GAME FOR FOREARM REHABILITATION IN STROKE

PATIENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-040-112

ระบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน

AUGMENTED REALITY GAME FOR FOREARM REHABILITATION IN STROKE
PATIENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559
KMITL-2016-EN-M-040-112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUGMENTED REALITY GAME FOR FOREARM REHABILITATION IN STROKE
PATIENT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-040-112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน
Thesis Title Augmented Reality Game for Forearm Rehabilitation In Stroke Patient
นักศึกษา นายชัชชัย คาง
รหัสประจำตัว 55611107
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.กิตติพล ชิตสกุล
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-040-112

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชูชาติ	ปิ่นทิวรุจน์	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบุลย์	
รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์	
ดร.สุรเดช	ตรีไตรลักษณ์	
ผศ.ดร.กิตติพล	ชิตสกุล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน
นักศึกษา นายชัชชัย คาง
รหัสประจำตัว 55611107
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ. 2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.กิติพล ชิตสกุล

บทคัดย่อ

อัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่เป็นความผิดปกติทางสมองและระบบประสาทที่ทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของแขนได้ ผู้ที่เป็นอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่จะต้องเข้ารับการฟื้นฟูโดยให้การเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ กัน ซึ่งมักทำให้ผู้ป่วยเกิดความรู้สึกเบื่อหน่าย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาเกมส์เสมือนจริงสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่เพื่อสร้างแรงจูงใจในการฟื้นฟูให้กับผู้ป่วยโดยเกมส์ที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นประกอบไปด้วยกล้องเว็บแคม วัตถุทรงกลมที่ได้ติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้ แก้อ้อที่ได้ติดตั้งแผ่นอะคลีริกไว้ในแนวเอียง และคอมพิวเตอร์ โดยการฟื้นฟูนั้นจะกำหนดให้ผู้ป่วยนั่งอยู่บนแก้อ้อที่ได้ติดตั้งแผ่นอะคลีริกไว้ในแนวเอียงพร้อมทั้งหยิบจับวัตถุทรงกลมที่ได้ติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้และเคลื่อนมาร์กเกอร์ดังกล่าวไปบนแผ่นอะคลีริกตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนดไว้บนหน้าจคอมพิวเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบโดยเลือกผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพเข้ารับการทดสอบจำนวนหนึ่งคนโดยการวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบนั้นจะกำหนดให้ผู้เล่นทำการทดสอบทั้งหมด 6 ชุดการทดสอบ โดยที่ชุดการทดสอบแต่ละชุดนั้นมีลักษณะของการทดสอบเหมือนกัน โดยชุดการทดสอบหนึ่งๆนั้นจะกำหนดให้ผู้เล่นทำการเล่นเกมด้วยรูปแบบเส้นทางที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 รูปแบบ และกำหนดให้ทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อของผู้เล่นในขณะที่ทำการเล่นเกมทั้งหมด 2 มัดกล้ามเนื้อ ได้แก่ มัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii โดยการวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบจะทำการนำสัญญาณที่วัดได้จากการเล่นเกมด้วยรูปแบบเส้นทางเดียวกันและวัดได้จากมัดกล้ามเนื้อเดียวกันจากชุดการทดสอบแต่ละชุดมาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปร่างร่วมกันโดยใช้หลักการของการประมวลผลสัญญาณและหลักการทางสถิติโดยการเปรียบเทียบนั้นจะทำการแยกเปรียบเทียบทีละช่วงสัญญาณเพื่อทำการแยกวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบทีละช่วงเส้นทาง โดยผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้ในการบ่งบอกถึงแนวโน้มของการออกแรงของมัดกล้ามเนื้อแขนของผู้ป่วยจริงและแนวโน้มการใช้งานระบบกับผู้ป่วยจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Augmented Reality Game for Forearm Rehabilitation In Stroke Patient
Student	Mr. Chutchai Kang
Student ID.	55611107
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Kitiphol Chitsakul

ABSTRACT

A stroke is a disease that affects the control of the parts of body, such as forearm, since some parts of the brain or nervous system are damaged. The patients who get strokes must take the therapies which consist of repetitive activities that make the patients feel bored. So, this research is concerned developing of an augmented reality game for forearm rehabilitation aimed to encourage the patients to get the therapies. The proposed game is consisted of a webcam, a spherical object attached with a marker, a chair attached with a clear tilting acrylic board and a computer. The process begins by demanding the player to sit on the chair and pick up the spherical object and move the marker attached on the object onto the acrylic board following the predetermined route shown on the monitor. In this research, the repeatability of the system was tested with a healthy subject by demanding the subject to play the game for 6 sessions which each session was consisted of playing the game by 4 routes and measuring the electromyography signals from 2 muscles of the subject; i.e., Biceps brachii and Triceps brachii. The repeatability test was evaluated by analyzing and comparing the signals recorded from the same muscle while playing the same route derived from each session using signal processing and statistical analysis. The evaluation was carried on for each sub signal for determining the repeatability for each sub route. The experimental results have shown the tendency of the muscle activation of the subject and the tendency of the using the system with the actual patients.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.กิติพล ชิตสกุล ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่างที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นการทำงานวิจัยจนกระทั่งเสร็จสิ้นการทำงานวิจัย นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่คอยตรวจแก้วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าเสร็จสมบูรณ์อีกด้วย

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ชูลี โจนส์ จากสาขาวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับออกแบบระบบสำหรับงานวิจัยซึ่งเป็นที่มาของแนวคิดในการเลือกใช้แผ่นอะคลีริกสำหรับระบบสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวัดและประมวลผลทางชีวการแพทย์ (Biomedical Measurement and Computation Laboratory) ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์สำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบงานวิจัย

ขอขอบคุณทุนการศึกษา LG Life's Good ที่มอบให้กับข้าพเจ้าที่ทำให้ข้าพเจ้าตัดสินใจเรียนต่อปริญญาโทที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ นายภัทรพล วงศ์เลิศวิทย์ ที่สละเวลาส่วนตัวและเวลาในการทำงานเพื่อมาเป็นผู้ทำการทดสอบในงานวิจัยของข้าพเจ้าจนงานวิจัยของข้าพเจ้านั้นสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นางสาวศรีสุดา อภัยพนันท์ และนางสาวชลลธิธา อริยะดำรงค์ขวัญ ที่คอยให้คำปรึกษาต่างๆและคำแนะนำต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณน้องๆทุกคนที่เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ด้วยการให้คำแนะนำ การทดสอบงานวิจัย และคอยให้กำลังใจข้าพเจ้าจนข้าพเจ้านั้นมีกำลังใจที่จะทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณผู้ที่รับผลงานตีพิมพ์ของข้าพเจ้าเข้าสู่การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 36 ซึ่งทำให้ข้าพเจ้าสามารถเรียนจบการศึกษาปริญญาโทได้ด้วยผลงานตีพิมพ์ดังกล่าว

ขอขอบคุณกรรมการคุมสอบการป้องกันวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าทุกท่านที่อนุญาตให้ข้าพเจ้านั้นผ่านการสอบดังกล่าวไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณตนเองที่พยายามทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ไม่ล้มเลิกไปเสียก่อน

ชัชชัย คาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลาง (Median Filter)	5
2.2 การทำเทรชโฮล์ภาพแบบตัดแปลง (Adaptive Thresholding).....	8
2.3 การปิดภาพ (Closing).....	12
2.4 โมเมนต์ (Moment).....	24
2.5 เปลือกโค้งนูน (Convex Hull).....	26
2.6 การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนัง (Surface Electromyography)..	28
2.7 มัดกล้ามเนื้อแขนที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนไหวของแขน (Muscles of the Arm)	31
2.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient).....	35
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
2.9.1 การใช้งานแขนหุ่นยนต์ L-EXOS ในการบำบัดรักษาพร้อมกับเทคโนโลยีจริงเสมือน	38
2.9.2 ระบบ Rutger ARM สำหรับการบำบัดแขนร่วมกับเทคโนโลยีจริงเสมือน	40
2.9.3 เกมส์เสมือนจริงสำหรับบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่.....	42
บทที่ 3 การออกแบบระบบ.....	43
3.1 แนวคิดของระบบที่นำเสนอ.....	43
3.2 รูปแบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอ.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การประมวลผลเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอ	51
3.4 การตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณรอบสี่เหลี่ยมโดยการประมวลผลภาพ	55
3.5 การพัฒนาโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง	57
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	63
4.1 การทดสอบระบบที่นำเสนอ	63
4.2 การทดสอบและผลการทดสอบที่ได้สำหรับชุดการทดสอบหนึ่งๆ	69
4.3 ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด 6 ชุดการทดสอบ.....	75
4.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบ	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	101
5.1 บทสรุปผลการวิจัย	101
5.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ	103
เอกสารอ้างอิง	105
ภาคผนวก.....	107
ประวัติผู้เขียน.....	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การควบคุมการเคลื่อนไหวแขนสำหรับมัดกล้ามเนื้อแขนต่างๆ	32
4.1 เจ็อนไขในการทดสอบทั้งหมด 8 เจ็อนไข.....	66
4.2 ลำดับการทดสอบทั้งหมดสำหรับชุดการทดสอบหนึ่งๆ.....	67
4.3 ลำดับการทดสอบระบบที่นำเสนอทั้งหมด	68
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 1 – Biceps brachii	97
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 1 – Triceps brachii	97
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 2 – Biceps brachii	98
4.7 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 2 – Triceps brachii	98
4.8 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 3 – Biceps brachii	99
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 3 – Triceps brachii	99
4.10 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 4 – Biceps brachii	100
4.11 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเจ็อนไข Route 4 – Triceps brachii	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแสดงตัวอย่างของกลุ่มพิกเซลข้างเคียง (ก.) การแสดงกลุ่มพิกเซลข้างเคียงขนาดต่างๆ (ข.) ตัวอย่างการประมวลผลสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยทำการนำกลุ่มพิกเซลข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบพิกเซลที่ทำการพิจารณาร่วมใช้ในการประมวลผลโดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 3×3	5
2.2 ตัวอย่างการประมวลผลสำหรับพิกเซลหนึ่งๆภายในภาพด้วยฟิลเตอร์แบบค่ากลาง โดยกำหนดให้กลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีขนาดเท่ากับ 3×3	6
2.3 ตัวอย่างการประมวลผลภาพด้วยฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลาง (ก.) ภาพต้นฉบับซึ่งถูกรบกวนด้วย Salt and Pepper Noise (ข.) ภาพที่ถูกประมวลผลด้วยฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลางโดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 3×3	7
2.4 การแสดงตัวอย่างของกลุ่มพิกเซลข้างเคียง (ก.) การแสดงกลุ่มพิกเซลข้างเคียงขนาดต่างๆ (ข.) ตัวอย่างการประมวลผลสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยทำการนำกลุ่มพิกเซลข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบพิกเซลที่ทำการพิจารณาร่วมใช้ในการประมวลผลโดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 5×5	8
2.5 ตัวอย่างการทำเทรซโฮล์แบบดัดแปลงสำหรับพิกเซลหนึ่งๆ ซึ่งประกอบไปด้วยการคำนวณค่าเทรซโฮล์และการจัดกลุ่มพิกเซลสำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณา โดยกำหนดให้กลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีขนาดเท่ากับ 5×5 และกำหนดให้ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์นั้นมีค่าเท่ากับ 0.....	10
2.6 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพโดยการทำเทรซโฮล์ภาพแบบดัดแปลง (ก.) ภาพต้นฉบับซึ่งมีความเข้มแสงของภาพที่ไม่สม่ำเสมอ (ข.) ภาพที่ถูกทำการแยกส่วนโดยการทำเทรซโฮล์ภาพแบบดัดแปลง โดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 7×7 และกำหนดให้ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์นั้นมีค่าเท่ากับ 7	11
2.7 การแสดงตัวอย่างการขยายภาพสำหรับภาพไบนารี.....	12
2.8 การแสดงตัวอย่างของหน้าต่างเค้าโครงสำหรับการประมวลผลรูปแบบต่างๆ (ก.) หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3×3 (ข.) หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5×5 (ค.) หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7×3 (ง.) หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3×5 (จ.) หน้าต่างเค้าโครงรูปกากบาท (ฉ.) หน้าต่างเค้าโครงรูปวงกลม (ช.) หน้าต่างเค้าโครงรูปใดๆ (ซ.) หน้าต่างเค้าโครงที่ไม่ได้มีตำแหน่งจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง.....	13
2.9 ตัวอย่างแสดงการนำหน้าต่างเค้าโครงมาทำการสะท้อนรูปกลับและการนำหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพ โดยกำหนดให้หน้าต่างเค้าโครงมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครงอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง (ก.) ตัวอย่างภาพไบนารี A ที่แสดงตำแหน่งพิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณา (ข.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเค้าโครง (ค.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้ว (ง.) การนำหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพด้วยระยะพิกเซลเท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเค้าโครงนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลของภาพ.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.10	ตัวอย่างการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครงอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง (1.) ตัวอย่างการประมวลผลในกรณีที่ตรวจพบพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพ (2.) ตัวอย่างการประมวลผลในกรณีที่ไม่พบพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพ (ก.) ตัวอย่างภาพไบนารี A ที่แสดงตำแหน่งพิกเซล (x,y) สำหรับการประมวลผล (ข.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเค้าโครงและลักษณะของหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้ว (ค.) การนำหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพด้วยระยะพิกเซลเท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเค้าโครงนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลของภาพ (ง.) ภาพผลลัพธ์ซึ่งได้แสดงลักษณะของพิกเซลผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y) 16
2.11	ตัวอย่างการประมวลผลภาพไบนารีด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพสำหรับพิกเซลทุกพิกเซลโดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง 17
2.12	การแสดงผลตัวอย่างการขยายภาพสำหรับภาพไบนารี 18
2.13	ตัวอย่างการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครงอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง (1.) ตัวอย่างการประมวลผลในกรณีที่พิกเซลวัตถุทุกๆพิกเซลภายในหน้าต่างเค้าโครงนั้นซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพ (2.) ตัวอย่างการประมวลผลในกรณีที่มีพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงเพียงบางพิกเซลที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพ (ก.) ตัวอย่างภาพไบนารี A ที่แสดงตำแหน่งพิกเซล (x,y) สำหรับการประมวลผล (ข.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเค้าโครงและลักษณะของหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้ว (ค.) การนำหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพด้วยระยะพิกเซลเท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเค้าโครงนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลของภาพ (ง.) ภาพผลลัพธ์ซึ่งได้แสดงลักษณะของพิกเซลผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y) 20
2.14	ตัวอย่างการประมวลผลภาพไบนารีด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพสำหรับพิกเซลทุกพิกเซลโดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง 21
2.15	ตัวอย่างการประมวลผลภาพไบนารีด้วยตัวดำเนินการการปิดภาพโดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.16 ตัวอย่างที่ได้แสดงถึงวัตถุภายในภาพที่เป็นวัตถุแบบโค้งนูนและวัตถุภายในภาพที่ไม่เป็นวัตถุแบบโค้งนูน (1.) ตัวอย่างวัตถุภายในภาพ (2.) ตัวอย่างการแสดงเส้นตรงที่ลากผ่านวัตถุภายในภาพ (ก.) ตัวอย่างวัตถุภายในภาพที่เป็นวัตถุแบบโค้งนูน (ข.) ตัวอย่างวัตถุภายในภาพที่ไม่เป็นวัตถุแบบโค้งนูน.....	26
2.17 ตัวอย่างที่ได้แสดงถึงวัตถุภายในภาพและเปลือกโค้งนูนของวัตถุดังกล่าว (ก.) ตัวอย่างของวัตถุภายในภาพ (ข.) ตัวอย่างเปลือกโค้งนูนสำหรับวัตถุภายในภาพ	27
2.18 ตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนัง [12]	28
2.19 ตัวอย่างอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนัง (ก.) ตัวอย่างอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนังที่มีผิวสัมผัสหนึ่งจุด (ข.) ตัวอย่างอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนังที่มีผิวสัมผัสสองจุด	29
2.20 ภาพจำลองแสดงการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังแบบสองขั้ว (Bipolar Configuration)	29
2.21 ตัวอย่างการติดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนังตามตำแหน่งต่างๆของมัดกล้ามเนื้อ [13] (ก.) การติดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนังบริเวณจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อ (ข.) การติดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนังบริเวณเอ็นของมัดกล้ามเนื้อ (ค.) การติดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนังระหว่างจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อและบริเวณเอ็นของมัดกล้ามเนื้อโดยเรียงตำแหน่งของผิวสัมผัสอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ทั้งสองตามแนวยาวของเส้นด้านข้างของมัดกล้ามเนื้อ (ง.) การติดอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ผิวหนังระหว่างจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อและบริเวณเอ็นของมัดกล้ามเนื้อโดยเรียงตำแหน่งของผิวสัมผัสอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิตต์ทั้งสองตามแนวยาวของเส้นกลางของมัดกล้ามเนื้อ	31
2.22 การแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นแต่ละรูปแบบ (ก.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงบวก ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นบวก ($0 < r < 1$) (ข.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงบวกในระดับสุดขีด ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นบวกที่มีขนาดสูงสุด ($r = 1$) (ค.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงลบ ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นลบ ($-1 < r < 0$) (ง.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงลบในระดับสุดขีด ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นลบที่มีขนาดสูงสุด ($r = -1$) (จ.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีขนาดต่ำสุด ($r = 0$).....	37
2.23 ระบบ [15] ซึ่งประกอบไปด้วยแขนหุ่นยนต์ L-EXOS ที่ถูกติดตั้งเข้ากับเก้าอี้.....	38
2.24 การฟื้นฟูด้วยระบบ [15] โดยการสอดแขนขาเข้าไปในแขนหุ่นยนต์ L-EXOS โดยผู้ป่วยจะต้องใช้มือจับบริเวณส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์ พร้อมทั้งเคลื่อนแขนไปตามทิศทางที่การฟื้นฟูได้กำหนด.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25	แสดงการใช้งานระบบ [15] ร่วมกับเทคโนโลยีจริงเสมือนสำหรับการบำบัดผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่..... 39
2.26	การแสดงผลระบบ Rutger ARM (ก.) ระบบ Rutger ARM (ข.) ที่สอดใส่แขนที่วางอยู่บนโต๊ะตัดแปลง 40
2.27	แสดงการใช้งานระบบ Rutger ARM สำหรับการบำบัดแขน โดยสอดแขนเข้าไปในที่สวมใส่แขนที่วางอยู่บนโต๊ะตัดแปลงแล้วเคลื่อนแขนไปตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนดไว้บนจอคอมพิวเตอร์ 41
2.28	แสดงเกมส์ The Pick-and-Place 41
2.29	แสดงเกมส์ Breakout 3D 41
2.30	เกมส์ Brick 'a' Break..... 42
2.31	เกมส์ Shelf Stack..... 42
3.1	ภาพจำลองของระบบที่นำเสนอ 43
3.2	ภาพจริงของระบบที่นำเสนอ 44
3.3	ภาพจริงของกล่องเว็บแคมที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอ 45
3.4	ภาพจริงของเก้าอี้สำหรับการทดสอบที่ได้ทำการติดตั้งแผ่นอะคลีริกไว้ในแนวเอียง 45
3.5	ภาพจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงผู้ป่วยที่ได้ทำการนั่งบนเก้าอี้สำหรับการทดสอบและทำการถือวัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบไว้ในมือของผู้ป่วยเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการฟื้นฟู..... 46
3.6	วัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบและรูปแบบของมาร์กเกอร์ที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอ (ก.) ภาพจริงของวัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบ (ข.) รูปแบบของมาร์กเกอร์ที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอ 46
3.7	ขั้นตอนการทำงานของระบบที่นำเสนอสำหรับการแสดงผลเกมส์เสมือนจริงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ 47
3.8	ภาพจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการแสดงผลเกมส์เสมือนจริงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นกระบวนการฟื้นฟู..... 47
3.9	ภาพจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเล่นเกมเสมือนจริงโดยทำการวางส่วนของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่กับวัตถุทรงกลมลงบนแผ่นอะคลีริกและทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์ดังกล่าวไปบนแผ่นอะคลีริกตามทิศทางและรูปแบบเงื่อนไขที่เกมส์ได้กำหนดไว้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10	ภาพจำลองที่ได้แสดงถึงรูปแบบของการเล่นเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้น (ก.) ระบบทำการแสดงเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ข.) ผู้เล่นวางมาร์กเกอร์ไว้บนแผ่นอะคลีริกโดยวางให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ค.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริกตามการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยพยายามเคลื่อนให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ (ง.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นหยุดเคลื่อนที่ (จ.) ผู้เล่นทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมอีกครั้ง ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นเคลื่อนที่ต่อไปตามเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้นบนเฟรมภาพ..... 49
3.11	ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงถึงรูปแบบของการเล่นเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้น (ก.) ระบบทำการแสดงเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ข.) ผู้เล่นวางมาร์กเกอร์ไว้บนแผ่นอะคลีริกโดยวางให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ค.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริกตามการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยพยายามเคลื่อนให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ (ง.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นหยุดเคลื่อนที่ (จ.) ผู้เล่นทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมอีกครั้ง ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นเคลื่อนที่ต่อไปตามเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้นบนเฟรมภาพ..... 50
3.12	ขั้นตอนการประมวลผลเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นในกรณีที่การประมวลผลนั้นตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ก.) การรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมจากกล้องเว็บแคม (ข.) การวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมทับลงบนเฟรมภาพที่รับได้ (ค.) การตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมโดยทำการประมวลผลภาพเฉพาะภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น (ง.) การวาดจุดสีลงบนจุดศูนย์กลางของมาร์กเกอร์เพื่อแสดงให้เห็นว่าการประมวลผลนั้นได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (จ.) การแสดงเส้นทางเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยมลงบนเฟรมภาพ โดยนำเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมและภาพของเส้นทางที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้ามาคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ร่วมกันแบบปิดต่อบิตโดยใช้ตัวดำเนินการเชิงตรรก “และ” (ฉ.) การแสดงจำนวนครั้งความผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเล่นเกม (ช.) การแสดงเฟรมภาพที่ได้จากการประมวลผลทั้งหมดข้างต้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13	ขั้นตอนการประมวลผลเกมส์เสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นในกรณีที่การประมวลผลนั้นตรวจไม่พบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ก.) การรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมจากกล้องเว็บแคม (ข.) การวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมทับลงบนเฟรมภาพที่รับได้ (ค.) การตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมโดยทำการประมวลผลภาพเฉพาะภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น (ง.) การเพิ่มจำนวนครั้งของความผิดพลาดที่ได้บันทึกไว้ขึ้น 1 ค่า เนื่องจากการประมวลผลนั้นตรวจไม่พบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (จ.) การแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยมลงบนเฟรมภาพ โดยนำเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมและภาพของเส้นทางที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้ามาคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ร่วมกันแบบบิตต่อบิตโดยใช้ตัวดำเนินการเชิงตรรก “และ” (ฉ.) การแสดงจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเล่นเกมส์ (ช.) การแสดงเฟรมภาพที่ได้จากการประมวลผลทั้งหมดข้างต้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์..... 54
3.14	ขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ก.) เฟรมภาพของสภาพแวดล้อมที่ถูกรูปกรอบสี่เหลี่ยมวาดทับแล้ว (ข.) การกำหนดขอบเขตบริเวณที่สนใจสำหรับการประมวลผลภาพภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ค.) การแปลงภาพให้เป็นภาพระดับเทา (ง.) การใช้ฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลาง (จ.) การทำเทรซโฮล์ดภาพแบบตัดแปลงย้อนกลับ (ฉ.) การปิดภาพ (ช.) การสลับสีของพิกเซล (ซ.) การตรวจหาคอนทัวร์ที่มีคอนทัวร์ย่อยภายใน (ฌ.) การตรวจหาคอนทัวร์ที่ไม่มีคอนทัวร์ย่อยภายใน (ญ.) การหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์และการตรวจสอบสีของพิกเซลตามตำแหน่งจุดศูนย์กลางดังกล่าว (ฎ.) คอนทัวร์ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบลักษณะสี (ฏ.) คอนทัวร์ที่มีค่าความดันมากกว่า 0.9 (ฐ.) คอนทัวร์ที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางและขนาดรัศมีที่ใกล้เคียงกับคอนทัวร์ผลลัพธ์ของเฟรมก่อนหน้ามากที่สุด (ฑ.) การแสดงผลของการตรวจหาโดยทำการวาดจุดสีลงบนตำแหน่งจุดศูนย์กลางของมาร์กเกอร์ 55
3.15	ตัวอย่างของเส้นทางที่ถูกสร้างขึ้นจากโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง 57
3.16	ภาพจำลองที่ได้แสดงถึงการสร้างเส้นทางด้วยโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง (ก.) – (ง.) ผู้ใช้งานคลิกเมาส์ลงบนเฟรมภาพเพื่อกำหนดตำแหน่งจุดยอดแต่ละจุดของเส้นทาง โดยในขณะที่ผู้ใช้งานกำลังคลิกเมาส์เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดยอดนั้น ระบบจะทำการแสดงเส้นเชื่อมจุดยอดที่เกิดขึ้น โดยทำการวาดเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุดยอดสองจุดที่มีลำดับการคลิกเมาส์ติดต่อกัน (จ.) การบันทึกภาพของเส้นทางในรูปแบบสกุลไฟล์ .bmp (ฉ.) การบันทึกไฟล์พิกเซลของจุดยอดในรูปแบบสกุลไฟล์ .csv โดยเรียงลำดับการบันทึกจากจุดยอดจุดแรกที่ผู้ใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดเริ่มต้นของเส้นทาง) ไปยังจุดยอดจุดสุดท้ายที่ผู้ใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดปลายทางของเส้นทาง) 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17	ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงถึงการสร้างเส้นทางด้วยโหนดการสร้างรูปแบบเส้นทาง (ก.) – (ค.) ผู้ใช้งานคลิกเมาส์ลงบนเฟรมภาพเพื่อทำการกำหนดตำแหน่งจุดยอดแต่ละจุดของเส้นทาง โดยระบบจะทำการแสดงเส้นเชื่อมจุดยอดแต่ละเส้นที่ได้ในขณะที่ทำการสร้างเพื่อทำการแสดงเส้นทางที่ผู้ใช้งานได้สร้างขึ้น (ง.) เส้นทางที่ผู้ใช้งานได้สร้างขึ้น (จ.) การแสดงการบันทึกภาพของเส้นทางลงในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ (ฉ.) ไฟล์ที่ได้บันทึกตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดของเส้นทางที่ผู้ใช้งานได้กำหนดขึ้น โดยเรียงลำดับการบันทึกจากจุดยอดจุดแรกที่ผู้ใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดเริ่มต้นของเส้นทาง) ไปยังจุดยอดจุดสุดท้ายที่ผู้ใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดปลายทางของเส้นทาง) 60
3.18	การนำไฟล์ตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดที่ได้จากโหนดการสร้างรูปแบบเส้นทางไปทำการประมวลผลก่อนเริ่มทำการเล่นเกมเสมือนจริง (ก.) การนำเข้าไฟล์ตำแหน่งพิกเซลของจุดยอด (ข.) ตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดทั้งหมดของเส้นทางที่อยู่ภายในไฟล์ (ค.) การนำตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดสองจุดที่มีลำดับการคลิกเมาส์ติดต่อกันมาทำการจับคู่กัน (ง.) การหาชุดพิกเซลของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุดยอดแต่ละคู่ (จ.) การนำชุดพิกเซลของเส้นตรงทั้งหมดมาทำการเรียงต่อกันเพื่อให้ได้ชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทาง (ฉ.) การนำชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทางไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งพิกเซลสำหรับการวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยม 61
3.19	การแสดงการนำภาพของเส้นทางและชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทางไปใช้ในการประมวลผล เกมส์ 62
4.1	แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับระบบที่นำเสนอก่อนเริ่มต้นทำการทดสอบ 63
4.2	รูปแบบเส้นทางที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทดสอบ โดยกำหนดให้ลูกศรในภาพนั้นได้แสดงถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นของเส้นทาง 64
4.3	ภาพจำลองที่ได้แสดงถึงตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อแขนที่ถูกเลือกขึ้นเพื่อทำการวัดผลการทดสอบ (ก.) มัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii (ข.) มัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii 65
4.4	ภาพจริงที่ได้แสดงถึงตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อแขนที่ถูกเลือกขึ้นเพื่อทำการวัดผลการทดสอบ (ก.) มัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii (ข.) มัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii 65
4.5	อุปกรณ์ Biopac MP36 และอิเล็กโทรดสำหรับการทดสอบจำนวน 3 ตัว ที่ถูกต่อเข้ารวมกัน 69
4.6	อิเล็กโทรดที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทดสอบ 69
4.7	เจลอิเล็กโทรด Parker 15-25 SignaGel Electrode Gel..... 70
4.8	ภาพจำลองของการติดอิเล็กโทรด V+ อิเล็กโทรด V- และอิเล็กโทรด GND ลงบนผิวหนังของผู้เล่นเพื่อทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อตัวอย่าง (Biceps brachii) 71
4.9	ภาพจริงของการติดอิเล็กโทรด V+ อิเล็กโทรด V- และอิเล็กโทรด GND ลงบนผิวหนังของผู้เล่นเพื่อทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อตัวอย่าง (Biceps brachii) 71
4.10	ภาพจริงแสดงผู้เล่นทำการถือวัตถุทรงกลมไว้ในมือข้างที่ถนัดและวางแขนข้างดังกล่าวไว้บนที่วางแขนของเก้าอี้สำหรับการทดสอบ 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11	ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ผู้เล่นทำการถือวัตถุทรงกลมไว้ในมือข้างที่ถนัดและวางแขนข้างดังกล่าวไว้บนที่วางแขนของเก้าอี้สำหรับการทดสอบ..... 73
4.12	ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ผู้เล่นทำการวางมาร์กเกอร์ไว้บนแผ่นอะคลีริกโดยวางให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม..... 74
4.13	ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ผู้เล่นทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริกตามการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยเคลื่อนให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่..... 74
4.14	ตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ..... 75
4.15	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 1 - Biceps brachii..... 76
4.16	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 1 - Triceps brachii..... 77
4.17	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 2 - Biceps brachii..... 78
4.18	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 2 - Triceps brachii..... 79
4.19	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 3 - Biceps brachii..... 80
4.20	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 3 - Triceps brachii..... 81
4.21	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 4 - Biceps brachii..... 82
4.22	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 4 - Triceps brachii..... 83
4.23	การนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไขต่างๆไปใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบแต่ละเงื่อนไข..... 84
4.24	ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ. 85
4.25	ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ก.) การนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน (ข.) สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (ค.) สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับสัญญาณให้มีความราบเรียบ..... 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26	ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การแสดงเส้นขีดแบ่งลงบนสัญญาณเพื่อแสดงการแบ่งสัญญาณออกเป็นช่วงๆตามตำแหน่งของช่วงเส้นทางแต่ละช่วง โดยทำการละทิ้งช่วงสัญญาณที่วัดได้ก่อนที่กรอบสี่เหลี่ยมจะเริ่มเคลื่อนที่ออกไป (ข.) ผลลัพธ์ของการแบ่งสัญญาณออกเป็นช่วงๆตามตำแหน่งของช่วงเส้นทางแต่ละช่วง 88
4.27	ตัวอย่างการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาสำหรับช่วงสัญญาณหนึ่งๆ (ก.) ตัวอย่างช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับ ซึ่งมีความยาวของช่วงสัญญาณเท่ากับ 32576 samples (ข.) ภาพจำลองแสดงการนำช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับมาทำการแบ่งย่อยทางเวลาออกเป็นช่วงๆทั้งหมด 100 ส่วน (ค.) การหาค่าเฉลี่ยขนาดสัญญาณสำหรับส่วนสัญญาณแต่ละส่วน (ง.) ภาพจำลองแสดงการนำค่าเฉลี่ยขนาดสัญญาณทั้ง 100 ค่ามาประกอบกันเพื่อให้ได้สัญญาณใหม่ ซึ่งส่งผลให้สัญญาณใหม่ที่ได้มีความยาวเท่ากับ 100 samples (จ.) ภาพจริงของสัญญาณใหม่ที่ได้ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นสัญญาณผลลัพธ์ของการนอร์มัลไลซ์ทางเวลา 89
4.28	ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) ช่วงสัญญาณผลลัพธ์ทุกๆช่วงที่ได้จากการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาซึ่งมีความยาวเท่ากับ 100 samples เท่ากันทั้งหมด..... 90
4.29	ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การแบ่งกลุ่มช่วงสัญญาณโดยนำช่วงสัญญาณที่อยู่ในช่วงเส้นทางเดียวกันมาจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (ข.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณแต่ละกลุ่มมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางต่างๆ..... 92
4.30	ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางหนึ่งๆ (ข.) การนำช่วงสัญญาณทั้งหมด 6 ช่วงสัญญาณมาทำการจับคู่กันแบบพบกันหมด ซึ่งจะทำให้ได้คู่สัญญาณสำหรับการวิเคราะห์เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 คู่ (ค.) การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับคู่สัญญาณแต่ละคู่..... 93
4.31	ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางหนึ่งๆ (ข.) การนำช่วงสัญญาณทั้งหมด 6 ช่วงสัญญาณมาทำการจับคู่กันแบบพบกันหมด ซึ่งจะทำให้ได้คู่สัญญาณสำหรับการวิเคราะห์เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 คู่ (ค.) การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับคู่สัญญาณแต่ละคู่ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมด 15 ค่า (ง.) การหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1..... 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางต่างๆ (ข.) การนำช่วงสัญญาณทั้งหมด 6 สัญญาณมาทำการจับคู่กันแบบพบกันหมด ซึ่งจะทำให้ได้คู่สัญญาณสำหรับการวิเคราะห์เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 คู่ (ค.) การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับคู่สัญญาณแต่ละคู่ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมด 15 ค่า (ง.) การหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1.....	95
5.1 แสดงระดับความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับช่วงเส้นทางต่างๆทั้งหมด กล้ามเนื้อ Biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii.....	102



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อัมพาต คือ ความผิดปกติทางร่างกายที่เกิดขึ้นจากสาเหตุสำคัญ 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทแรกคือการที่หลอดเลือดในสมองเกิดการตีบตันหรืออุดตัน ทำให้ร่างกายไม่สามารถลำเลียงเลือดเพื่อไปหล่อเลี้ยงสมองได้เพียงพอ อีกประเภทหนึ่งคือการที่หลอดเลือดในสมองนั้นแตก ทำให้เส้นทางการลำเลียงเลือดไปยังสมองนั้นถูกตัดขาดไปและทำให้มีเลือดไหลเข้าไปในสมอง จากสาเหตุหลักทั้ง 2 ประเภทนี้ ส่งผลให้สมองบางส่วนนั้นขาดออกซิเจนและสารอาหารต่างๆ เนื่องจากไม่มีเลือดมาหล่อเลี้ยง จนทำให้เซลล์สมองค่อยๆถูกทำลายจนตายลงในที่สุด เมื่อเซลล์สมองตายลง ความสามารถต่างๆของร่างกายที่ถูกควบคุมด้วยสมองส่วนนั้นๆ จะหายไป เช่น การพูด การเคลื่อนไหว ความจำ ฯลฯ ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของอวัยวะบางส่วนได้ เช่น ใบหน้า แขน ขา ลำตัว เป็นต้น อาการเหล่านี้มักเกิดขึ้นโดยรวดเร็วเฉียบพลัน แต่การฟื้นฟูเพื่อให้ร่างกายกลับคืนสู่สภาพเดิมนั้นกลับใช้เวลายาวนานและน่าเบื่อหน่าย

บริเวณอวัยวะที่จะเกิดอาการอ่อนแรงหรือเป็นอัมพาตนั้นขึ้นกับตำแหน่งของระบบประสาทที่เกิดพยาธิสภาพ โดยบริเวณแขนถึงไหล่เป็นบริเวณที่มีโอกาสเกิดอัมพาตสูง ผู้ที่มีอาการดังกล่าวจะไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนได้ตามปกติและจะต้องเข้ารับการรักษาจากแพทย์โดยเร็วที่สุด เมื่อผู้ป่วยได้รับการรักษาจนอยู่ในภาวะคงที่แล้ว ผู้ป่วยจะต้องเข้ารับการทำกายภาพบำบัดเพื่อฟื้นฟูสภาพกล้ามเนื้อที่ขาดการเคลื่อนไหวในช่วงของการรักษา โดยระยะแรกเริ่มของการฟื้นฟูนั้นเป็นระยะที่ผู้ป่วยยังมีอาการอ่อนแรงอยู่มากจนผู้ป่วยยังไม่สามารถขยับแขนได้ด้วยตนเอง ทำให้การฟื้นฟูในระยะแรกหรือระยะอ่อนแรงนั้นจำเป็นที่จะต้องเป็นผู้ดูแลผู้ป่วยคอยควบคุมการจัดท่าการเคลื่อนไหวให้กับผู้ป่วยอยู่ตลอดเวลา เมื่อผู้ป่วยเริ่มสามารถขยับแขนได้ด้วยตนเองแล้ว ผู้ป่วยจะต้องเข้ารับการฟื้นฟูในระยะหลังอ่อนแรง ซึ่งมีรูปแบบการฝึกที่ผู้ป่วยต้องพึ่งพาตนเองมากยิ่งขึ้น

การทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ในระยะหลังอ่อนแรงนั้นจะกำหนดให้ผู้ป่วยพยายามเคลื่อนไหวแขนด้วยตนเองไปตามทิศทางที่กำหนด ซึ่งอาจกำหนดให้ผู้ป่วยหยิบจับวัตถุและเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่กำหนดไว้ ปัญหาที่พบคือ ผู้ป่วยมักขาดแรงจูงใจในการเข้ารับการฟื้นฟูอันเนื่องมาจากรูปแบบการฟื้นฟูที่ทำให้เกิดความรู้สึกเบื่อหน่าย เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงได้มีงานวิจัย [15][16][17] ที่ได้พยายามนำเทคโนโลยีเกมส์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการฟื้นฟูผู้ป่วย งานวิจัยดังกล่าวได้แสดงผลประเมินให้เห็นว่าระบบการฟื้นฟูผู้ป่วยในรูปแบบของเกมส์นั้นสามารถสร้างแรงจูงใจให้ผู้ป่วยเข้ารับการฟื้นฟูได้เป็นอย่างดี เนื่องมาจากรูปแบบการฟื้นฟูที่ก่อให้เกิดความสนุกสนานและสร้างแรงกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาตนเองได้นั่นเอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเกมส์สำหรับฟื้นฟูผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่โดยเลือกใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (Augmented Reality) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ผสมผสานเข้ากันระหว่างวัตถุเสมือนเข้ากับสภาพแวดล้อมจริง โดยการพัฒนากลุ่มนี้ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงนั้นจะทำให้เกมส์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นเป็นเกมส์ที่มีสภาพแวดล้อมจริงเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งส่งผลดีต่อผู้ป่วยเนื่องจากการฟื้นฟูที่มีสภาพแวดล้อมจริงเข้ามาเกี่ยวข้องนั้นเป็นการฟื้นฟูที่สอดคล้องกับการใช้ชีวิตจริงของผู้ป่วย [17]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- จุดประสงค์ของงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้
1. ศึกษาการใช้เกมส์ในการพัฒนาเครื่องมือสำหรับฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ เพื่อให้ผู้ป่วยเกิดแรงจูงใจในการเข้ารับการฟื้นฟู
 2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเกมส์สำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่
 3. ทดสอบการเล่นเกมส์ที่ได้พัฒนาขึ้นในเบื้องต้นโดยผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพ เพื่อให้ทราบถึงจุดเด่นจุดด้อยในการใช้งาน และแนวโน้มในการนำไปใช้งานกับผู้ป่วยจริง
 4. ศึกษาลักษณะการออกแรงของมัดกล้ามเนื้อแขนในขณะที่ทำการเล่นเกมส์ที่นำเสนอแก่ผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพโดยพิจารณาจากสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากมัดกล้ามเนื้อของผู้เล่นในขณะที่ทำการเล่นเกมส์ดังกล่าว
 5. วิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพเพื่อศึกษาถึงแนวโน้มการออกแรงของมัดกล้ามเนื้อของผู้ป่วยจริงและแนวโน้มของการทำงานระบบกับผู้ป่วยจริง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปัญหาของรูปแบบการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ในระยะหลังอ่อนแรงนั้นคือ ผู้ป่วยเกิดความรู้สึกเบื่อหน่ายและขาดแรงจูงใจในการเข้ารับการฟื้นฟู ดังนั้นการนำเทคโนโลยีเกมส์ที่ก่อให้เกิดความเพลิดเพลินสนุกสนานมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการฟื้นฟูผู้ป่วยนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถสร้างแรงจูงใจให้ผู้ป่วยเข้ารับการฟื้นฟูได้ นอกจากนี้ยังมีความคาดหวังว่าเราสามารถบ่งบอกถึงแนวโน้มการออกแรงของมัดกล้ามเนื้อของผู้ป่วยจริงและแนวโน้มของการทำงานระบบกับผู้ป่วยจริงจากการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากสมมติฐานของการศึกษาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอรูปแบบเกมส์สำหรับการพัฒนาเครื่องมือในการบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ โดยเลือกประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงสำหรับการพัฒนาเกมส์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ผสมผสานเข้ากันระหว่างวัตถุเสมือนกับสภาพแวดล้อมจริง โดยการพัฒนาเกมส์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงนั้นจะทำให้เกมส์ที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นเป็นเกมส์ที่มีสภาพแวดล้อมจริงเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยแนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาเกมส์นั้นคือ กำหนดให้ผู้ป่วยหยิบจับวัตถุพร้อมทั้งเคลื่อนวัตถุดังกล่าวไปตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนด โดยงานวิจัยนี้ยังทำการเพิ่มเติมเครื่องมือสำหรับวัดและบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของผู้ป่วยในขณะที่เล่นเกมส์เพื่อให้สามารถตรวจสอบการออกแรงของมัดกล้ามเนื้อแขนที่ต้องการฟื้นฟูได้ โดยสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้นั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้หลักการของการประมวลผลสัญญาณและหลักการทางสถิติ

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่พบในการทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ในระยะหลังอ่อนแรง โดยทำการออกแบบเครื่องมือสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยในรูปแบบของเกมส์ เพื่อให้ผู้ป่วยเกิดแรงจูงใจในการเข้ารับการฟื้นฟู โดยเลือกใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงในการพัฒนารูปแบบเกมส์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้รูปแบบเกมส์นั้นมีสภาพแวดล้อมจริงเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยอุปกรณ์ที่ถูกเลือกใช้สำหรับการพัฒนาเกมส์นั้นประกอบไปด้วย

- กล้องเว็บแคม สำหรับรับภาพของสภาพแวดล้อมในเวลาจริง (real time) เพื่อนำภาพดังกล่าวมาประมวลผลร่วมกับเกมส์ต่อไป
- แก้วตัดแปลง สำหรับให้ผู้ป่วยได้นั่งเพื่อทำการฟื้นฟูแขนร่วมกับเกมส์
- วัตถุทรงกลมขนาดพอดีมือที่ได้ติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้ สำหรับให้ผู้ป่วยได้หยิบจับพร้อมทั้งเคลื่อนไปตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนด
- คอมพิวเตอร์ สำหรับติดตั้งซอฟต์แวร์เกมส์และแสดงเกมส์ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

นอกจากอุปกรณ์ที่ถูกเลือกใช้ข้างต้นแล้วนั้น งานวิจัยนี้ยังได้เลือกใช้เครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อสำหรับวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของผู้ป่วยในขณะที่เล่นเกมส์เพื่อตรวจสอบการออกแรงของมัดกล้ามเนื้อแขนที่ต้องการฟื้นฟู โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบในเบื้องต้นกับผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพเพื่อศึกษาถึงสิ่งที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้การนำระบบไปใช้งานกับผู้ป่วยจริงนั้นเป็นไปอย่างเหมาะสม โดยการทดสอบนั้นจะกำหนดให้ผู้เล่นหยิบจับวัตถุและเคลื่อนวัตถุไปตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนด พร้อมทั้งวัดและบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของผู้เล่นในขณะที่เล่นเกมส์ โดยสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้นั้นจะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของการออกแรงมัดกล้ามเนื้อแขนของผู้ป่วยจริงและแนวโน้มของการใช้งานระบบกับผู้ป่วยจริง

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษานั้นเริ่มต้นจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เกมส์กับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาค้นคว้าหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนารูปแบบเกมส์ เมื่อได้ทำการพัฒนาจนเสร็จสิ้น จึงทำการทดสอบระบบในเบื้องต้นกับผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพ โดยทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของผู้เล่นในขณะที่เล่นเกมส์ หลังจากนั้นจึงนำสัญญาณที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของการออกแรงมัดกล้ามเนื้อแขนของผู้ป่วยจริงและแนวโน้มของการใช้งานระบบกับผู้ป่วยจริง

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ผลการศึกษาและวิจัยได้รวบรวมมานำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้โดยแบ่งเนื้อหาเป็นบทตอน ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการศึกษา และโครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีทางด้านการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนัง ทฤษฎีทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดของระบบที่นำเสนอ รูปแบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอ การประมวลผลเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอ การประมวลผลภาพ และการพัฒนาโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง

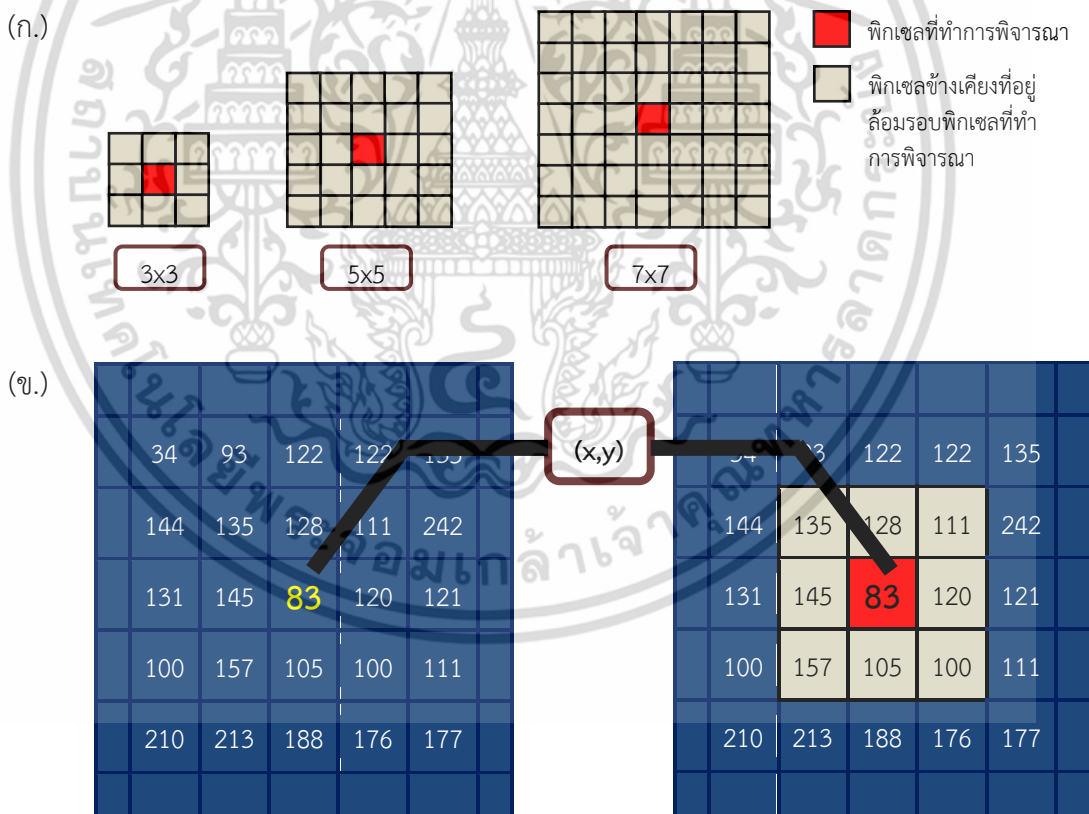
บทที่ 4 กล่าวถึงการทดสอบระบบที่นำเสนอ การทดสอบและผลการทดสอบที่ได้สำหรับชุดการทดสอบหนึ่งๆ ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบทุกชุดการทดสอบ และการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบ

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัย การวิจารณ์และข้อเสนอแนะต่างๆเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้ได้ทำการแสดงทฤษฎีทางการประมวลผลภาพต่างๆที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเกมส์เสมือนจริงสำหรับการบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน โดยทฤษฎีทางการประมวลผลภาพดังกล่าวประกอบไปด้วย ฟิเตอร์ภาพแบบค่ากลาง การทำเทรซโฮล์ดภาพแบบดัดแปลง การปิดภาพ โมเมนต์ และเปลือกโค้งนูน โดยเนื้อหาในส่วนนี้ยังได้แสดงหลักการที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยหลักการดังกล่าวประกอบไปด้วย หลักการของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและหลักการของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน นอกจากนี้เนื้อหาในส่วนนี้ยังแสดงให้เห็นถึงงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเกมส์เสมือนจริงสำหรับการบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนทั้งนี้เพื่อแสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของงานวิจัยเกมส์เสมือนจริงสำหรับการบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนกับงานวิจัยอื่นๆ

2.1 ฟิเตอร์ภาพแบบค่ากลาง (Median Filter) [1]



รูปที่ 2.1 การแสดงตัวอย่างของกลุ่มพิกเซลข้างเคียง (ก.) การแสดงกลุ่มพิกเซลข้างเคียงขนาดต่างๆ (ข.) ตัวอย่างการประมวลผลสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยทำการนำกลุ่มพิกเซลข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบพิกเซลที่ทำการพิจารณามาร่วมใช้ในการประมวลผลโดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 3x3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลสำหรับพิกเซลหนึ่งๆนั้นจะทำการนำค่าระดับเทาของพิกเซลที่ทำการพิจารณาและค่าระดับเทาของพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ภายในกลุ่มพิกเซลข้างเคียงมาทำการเรียงกันจากค่าน้อยไปยังค่ามากพร้อมทั้งทำการหาค่ากลางของค่าระดับเทาดังกล่าว โดยเมื่อได้ค่ากลางของค่าระดับเทาแล้ว การประมวลผลจะทำการกำหนดให้พิกเซลที่ทำการพิจารณานั้นมีค่าระดับเทาผลลัพธ์เท่ากับค่ากลางของค่าระดับเทาที่ได้ โดยการประมวลผลในลักษณะดังกล่าวนี้เปรียบเสมือนกับการแทนที่ค่าระดับเทาเดิมของพิกเซลที่ทำการพิจารณาด้วยค่ากลางของค่าระดับเทานั้นเอง โดยตัวอย่างของการประมวลผลสำหรับพิกเซลหนึ่งๆด้วยฟิลเตอร์แบบค่ากลางโดยกำหนดให้กลุ่มพิกเซลข้างเคียงมีขนาดเท่ากับ 3×3 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

การประมวลผลภาพด้วยฟิลเตอร์แบบค่ากลางนั้นจะทำการประมวลผลสำหรับพิกเซลแต่ละพิกเซลโดยวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจนกระทั่งได้ทำการประมวลครบถ้วนทุกพิกเซลภายในภาพ โดยการประมวลผลภาพด้วยฟิลเตอร์แบบค่ากลางนั้นจะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ซึ่งประกอบไปด้วยพิกเซลแต่ละพิกเซลที่มีค่าระดับเทาเท่ากับค่ากลางของค่าระดับเทาของภาพเดิมนั้นเอง

การประมวลผลภาพด้วยฟิลเตอร์แบบค่ากลางนั้นมักถูกนำไปใช้ในการกำจัดพิกเซลรบกวนที่เกิดขึ้นภายในภาพ โดยตัวอย่างของการประมวลผลภาพด้วยฟิลเตอร์แบบค่ากลางเพื่อกำจัดพิกเซลรบกวนภายในภาพ โดยกำหนดให้กลุ่มพิกเซลข้างเคียงมีขนาดเท่ากับ 3×3 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



(ก.)

(ข.)

ที่มา <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/median.htm>

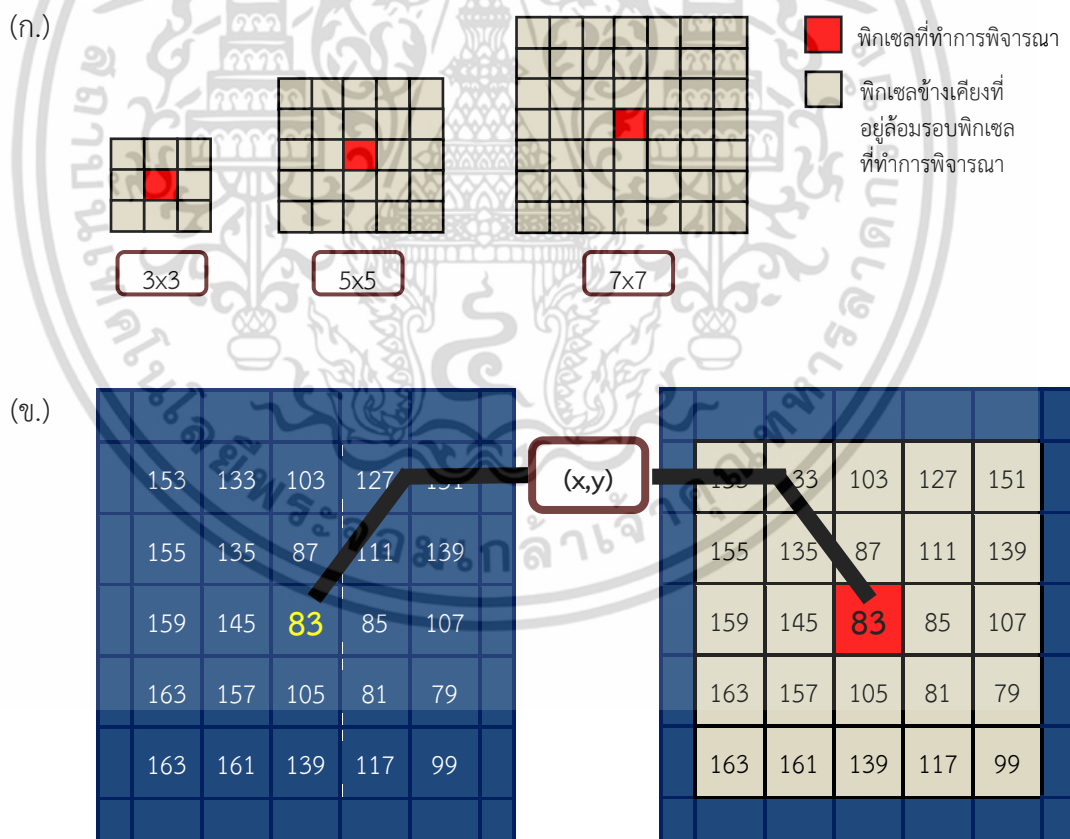
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการประมวลผลภาพด้วยฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลาง (ก.) ภาพต้นฉบับซึ่งถูกรบกวนด้วย Salt and Pepper Noise (ข.) ภาพที่ถูกประมวลผลด้วยฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลาง โดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 3×3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทำเทรชโวล์ภาพแบบดัดแปลง (Adaptive Thresholding) [2][3]

การทำเทรชโวล์ภาพแบบดัดแปลงนั้นเป็นการแยกส่วนภาพโดยกำหนดให้ค่าเทรชโวล์สำหรับพิกเซลแต่ละพิกเซลนั้นมีค่าที่ไม่เท่ากัน โดยการนำเทรชโวล์ภาพแบบดัดแปลงนั้นจะทำการแยกส่วนภาพโดยแบ่งพิกเซลภายในภาพออกเป็นกลุ่มพิกเซลสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มพิกเซลวัตถุ และ กลุ่มพิกเซลพื้นหลัง โดยการนำเทรชโวล์ภาพแบบดัดแปลงนั้นจะทำการพิจารณาว่าพิกเซลแต่ละพิกเซลภายในภาพนั้นเป็นพิกเซลที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มพิกเซลใดโดยทำการเปรียบเทียบค่าระดับเทาของพิกเซลที่ทำการพิจารณากับค่าเทรชโวล์สำหรับพิกเซลนั้นๆ

การประมวลผลสำหรับการทำเทรชโวล์ภาพแบบดัดแปลงนั้นจะทำการคำนวณค่าเทรชโวล์สำหรับพิกเซลแต่ละพิกเซลขึ้นเพื่อนำค่าเทรชโวล์ที่ได้ไปใช้ในการพิจารณาในการแบ่งกลุ่มพิกเซลภายในภาพดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยการคำนวณค่าเทรชโวล์สำหรับพิกเซลแต่ละพิกเซลนั้นมีหลากหลายวิธี ซึ่งการคำนวณค่าเทรชโวล์สำหรับพิกเซลแต่ละพิกเซลสำหรับงานวิจัยนี้นั้นสามารถทำได้โดยทำการนำกลุ่มพิกเซลข้างเคียง (Pixel Neighborhood) ที่อยู่ล้อมรอบพิกเซลที่ทำการพิจารณามาร่วมใช้ในการคำนวณ โดยกำหนดให้กลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดหรือจำนวนพิกเซลในแต่ละด้านเป็นเลขคี่ เช่น 3×3 , 5×5 , 7×7 เป็นต้น โดยตัวอย่างของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงขนาดต่างๆนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 (ก.)



รูปที่ 2.4 การแสดงตัวอย่างของกลุ่มพิกเซลข้างเคียง (ก.) การแสดงกลุ่มพิกเซลข้างเคียงขนาดต่างๆ (ข.) ตัวอย่างการประมวลผลสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยทำการนำกลุ่มพิกเซลข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบพิกเซลที่ทำการพิจารณามาร่วมใช้ในการประมวลผลโดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 5×5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าเทรซโฮล์สำหรับพิกเซลหนึ่งๆนั้นจะทำการนำค่าระดับเทาของพิกเซลที่ทำการพิจารณาและค่าระดับเทาของพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ภายในกลุ่มพิกเซลข้างเคียงมาทำการหาค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นการคำนวณค่าเทรซโฮล์จะทำการลบค่าเฉลี่ยที่ได้ข้างต้นด้วยค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์ซึ่งเป็นค่าที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าก่อนเริ่มทำการประมวลผล โดยการลบค่าเฉลี่ยที่ได้ด้วยค่าคงที่ดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์เพื่อให้ผลลัพธ์ของการแยกส่วนภาพนั้นเป็นไปอย่างเหมาะสม โดยการคำนวณค่าเทรซโฮล์จะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าระดับเทาที่ถูกลบด้วยค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งข้างต้นนั้นเป็นค่าเทรซโฮล์สำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณา โดยค่าเทรซโฮล์สำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณาที่ได้นั้นสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (2.1)

$$T(x,y) = \bar{f}(x,y) - C \quad (2.1)$$

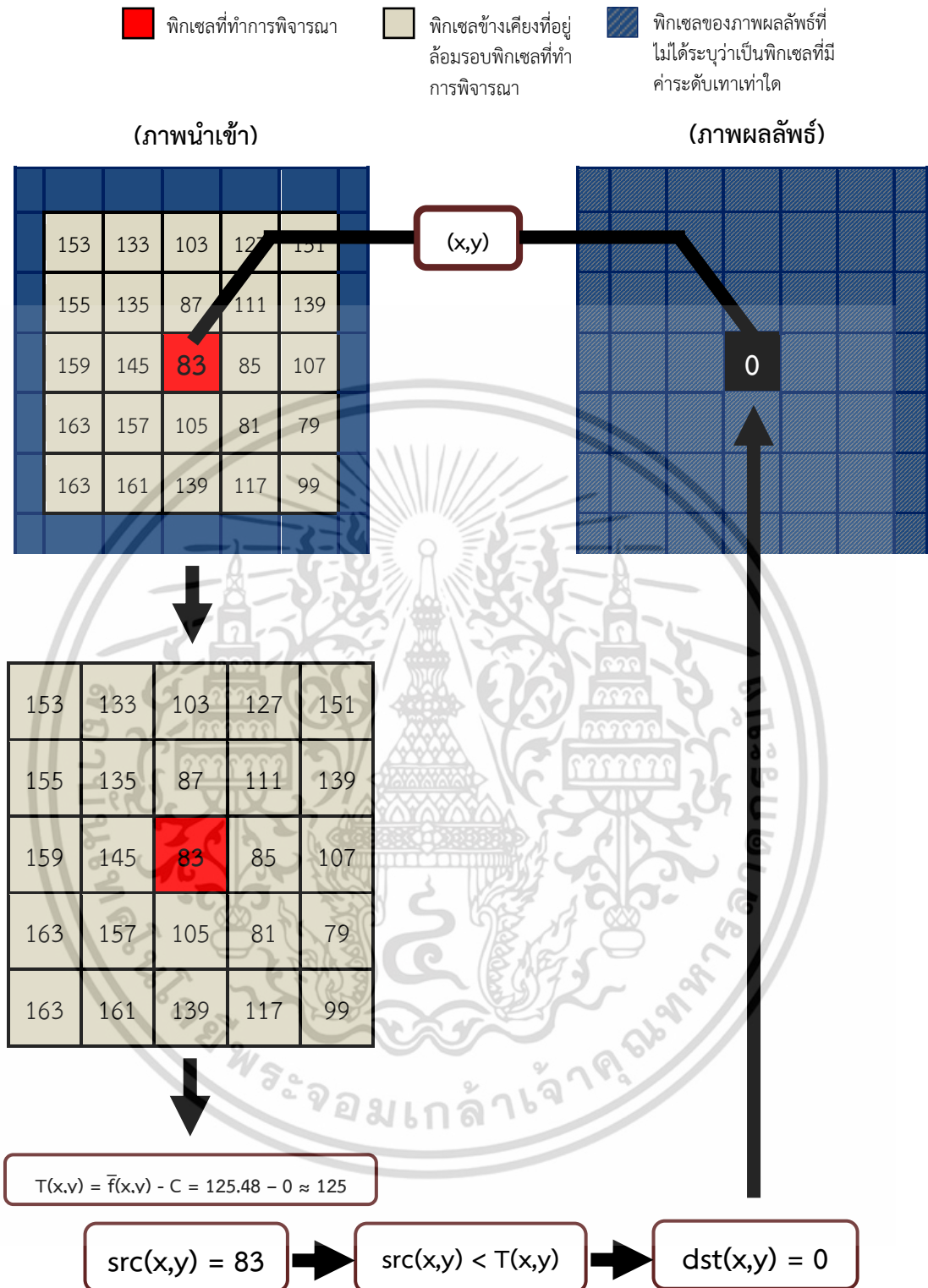
โดยที่	(x,y)	คือ ตำแหน่งพิกเซลที่ทำการพิจารณา
	$\bar{f}(x,y)$	คือ ค่าระดับเทาเฉลี่ยของพิกเซลที่ทำการพิจารณาและพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ภายในกลุ่มพิกเซลข้างเคียง
	C	คือ ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์
	$T(x,y)$	คือ ค่าเทรซโฮล์ที่ได้สำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณา

เมื่อได้ค่าเทรซโฮล์ $T(x,y)$ สำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณาแล้ว การทำเทรซโฮล์แบบตัดแปลงจะทำการพิจารณาว่าพิกเซลที่ทำการพิจารณานั้นเป็นพิกเซลที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มพิกเซลใด โดยทำการนำค่าระดับเทาเดิมของพิกเซลที่ทำการพิจารณา $src(x,y)$ มาทำการเปรียบเทียบกับค่าเทรซโฮล์ $T(x,y)$ ที่ได้ข้างต้นตามรูปแบบเงื่อนไขที่ถูกแสดงไว้ดังสมการที่ (2.2) ซึ่งหากค่าระดับเทาเดิม $src(x,y)$ นั้นมีค่ามากกว่าค่าเทรซโฮล์ $T(x,y)$ ที่ได้ การทำเทรซโฮล์แบบตัดแปลงนั้นจะทำการจัดกลุ่มให้พิกเซลที่ทำการพิจารณานั้นอยู่ภายในกลุ่มพิกเซลวัตถุโดยกำหนดให้พิกเซลที่ทำการพิจารณานั้นมีค่าระดับเทาผลลัพธ์ $dst(x,y)$ เท่ากับ 255 (ในกรณีที่มีภาพมัลติความละเอียดต่อหนึ่งพิกเซลเท่ากับ 8 บิต) แต่หากค่าระดับเทาเดิม $src(x,y)$ นั้นมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเทรซโฮล์ $T(x,y)$ ที่ได้ การทำเทรซโฮล์แบบตัดแปลงนั้นจะทำการจัดกลุ่มให้พิกเซลที่ทำการพิจารณานั้นอยู่ภายในกลุ่มพิกเซลพื้นหลังโดยกำหนดให้พิกเซลที่ทำการพิจารณานั้นมีค่าระดับเทาผลลัพธ์ $dst(x,y)$ เท่ากับ 0 โดยตัวอย่างของการคำนวณค่าเทรซโฮล์สำหรับพิกเซลหนึ่งๆและการจัดกลุ่มพิกเซลสำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณา โดยกำหนดให้กลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีขนาดเท่ากับ 5×5 และกำหนดให้ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์นั้นมีค่าเท่ากับ 0 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

$$dst(x,y) = \begin{cases} 255, & src(x,y) > T(x,y) \\ 0, & src(x,y) \leq T(x,y) \end{cases} \quad (2.2)$$

โดยที่	(x,y)	คือ ตำแหน่งพิกเซลที่ทำการพิจารณา
	$src(x,y)$	คือ ค่าระดับเทาเดิมของพิกเซลที่ทำการพิจารณา
	$T(x,y)$	คือ ค่าเทรซโฮล์ที่ได้สำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณา
	$dst(x,y)$	คือ ค่าระดับเทาผลลัพธ์ที่ได้สำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

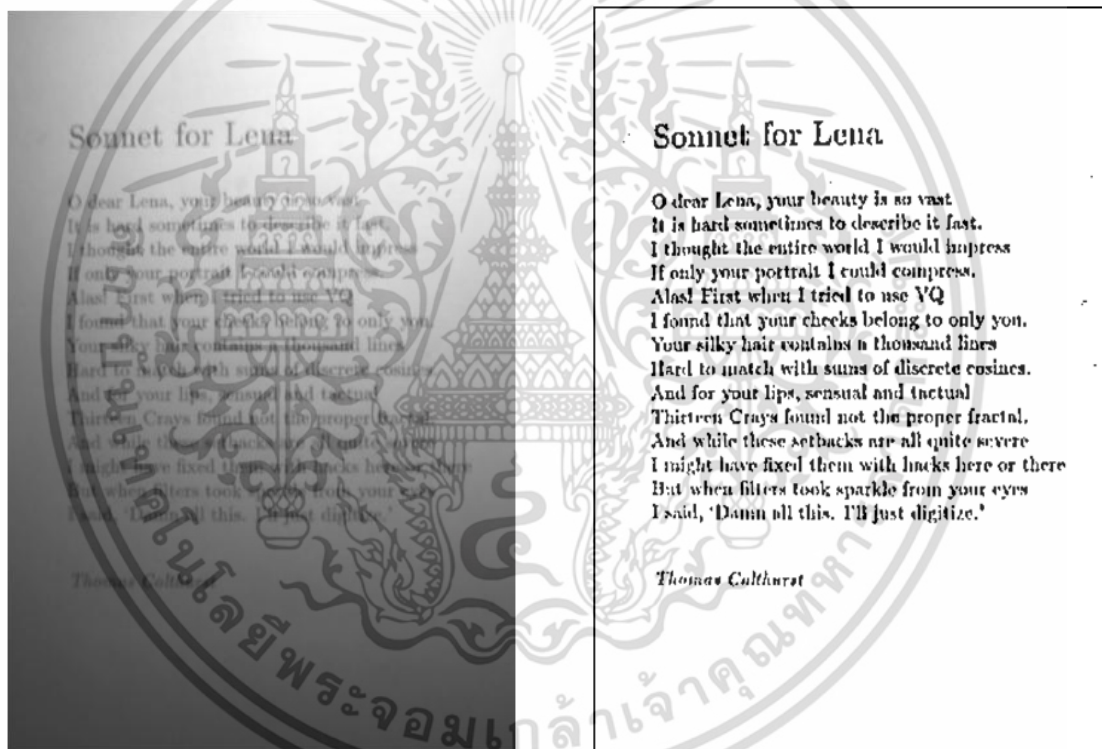


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำเทรชโฮล์แบบตัดแปลงสำหรับพิกเซลหนึ่งๆ ซึ่งประกอบไปด้วยการคำนวณค่าเทรชโฮล์และการจัดกลุ่มพิกเซลสำหรับพิกเซลที่ทำการพิจารณา โดยกำหนดให้กลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีขนาดเท่ากับ 5×5 และกำหนดให้ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรชโฮล์นั้นมีค่าเท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำเทรซโฮล์แบบดัดแปลงจะทำการคำนวณค่าเทรซโฮล์และทำการจัดกลุ่มพิกเซลสำหรับพิกเซลแต่ละพิกเซลโดยวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจนกระทั่งครบถ้วนทุกพิกเซลภายในภาพ โดยการทำให้เทรซโฮล์ภาพแบบดัดแปลงนั้นจะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ซึ่งประกอบไปด้วยพิกเซลสองกลุ่มซึ่งได้แก่กลุ่มของพิกเซลวัตถุซึ่งมีค่าระดับเทาของพิกเซลเท่ากับ 255 และกลุ่มของพิกเซลพื้นหลัง ซึ่งมีค่าระดับเทาของพิกเซลเท่ากับ 0

การทำเทรซโฮล์แบบดัดแปลงนั้นมักถูกนำไปใช้ในการแยกส่วนภาพที่มีความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอ โดยตัวอย่างของการทำเทรซโฮล์แบบดัดแปลงเพื่อแยกส่วนภาพที่มีความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอโดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงมีค่าเท่ากับ 7×7 และกำหนดให้ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์มีค่าเท่ากับ 7 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



(ก.)

(ข.)

ที่มา <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm>

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพโดยการทำให้เทรซโฮล์ภาพแบบดัดแปลง (ก.) ภาพต้นฉบับซึ่งมีความเข้มแสงของภาพที่ไม่สม่ำเสมอ (ข.) ภาพที่ถูกทำการแยกส่วนโดยการทำให้เทรซโฮล์ภาพแบบดัดแปลง โดยกำหนดให้ขนาดของกลุ่มพิกเซลข้างเคียงนั้นมีค่าเท่ากับ 7×7 และกำหนดให้ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์นั้นมีค่าเท่ากับ 7

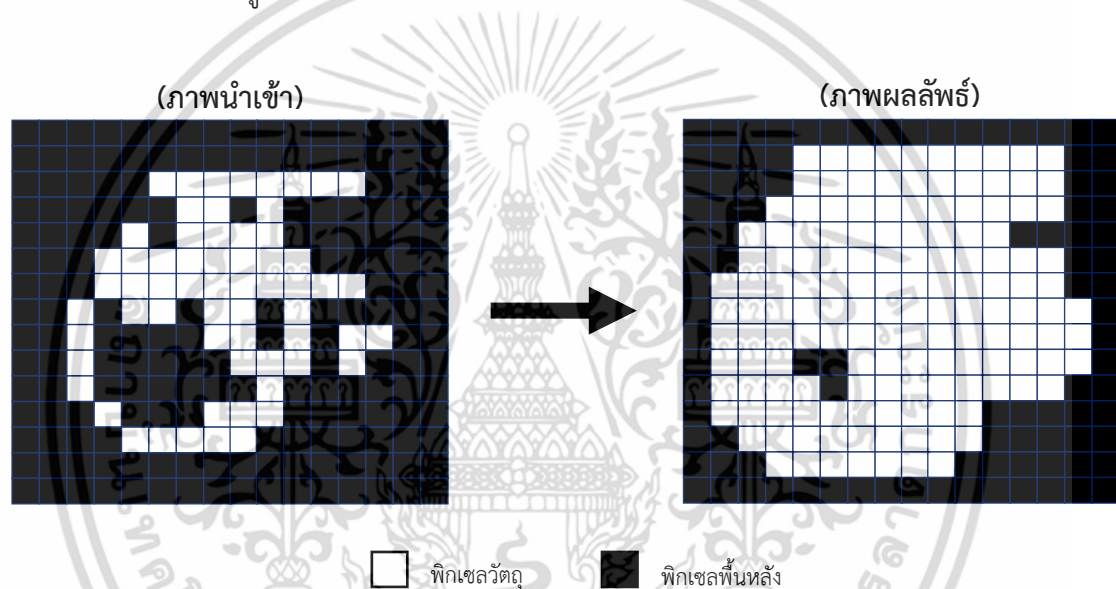
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การปิดภาพ (Closing) [4]

การปิดภาพสำหรับภาพไบนารีนั้นเป็นตัวดำเนินการเชิงสัณฐาน (Morphological Operator) ที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายด้าน เช่น การเชื่อมต่อวัตถุภายในภาพที่มีตำแหน่งหลุดขาด การถมส่วนที่เป็นรูภายในวัตถุ การลดส่วนที่มีความแหลมและส่วนที่มีความเว้าของวัตถุภายในภาพ เป็นต้น โดยการประมวลผลสำหรับการปิดภาพนั้นประกอบไปด้วยการดำเนินการย่อยทั้งหมด 2 การดำเนินการได้แก่ การขยายภาพ (Dilation) และการเซาะภาพ (Erosion)

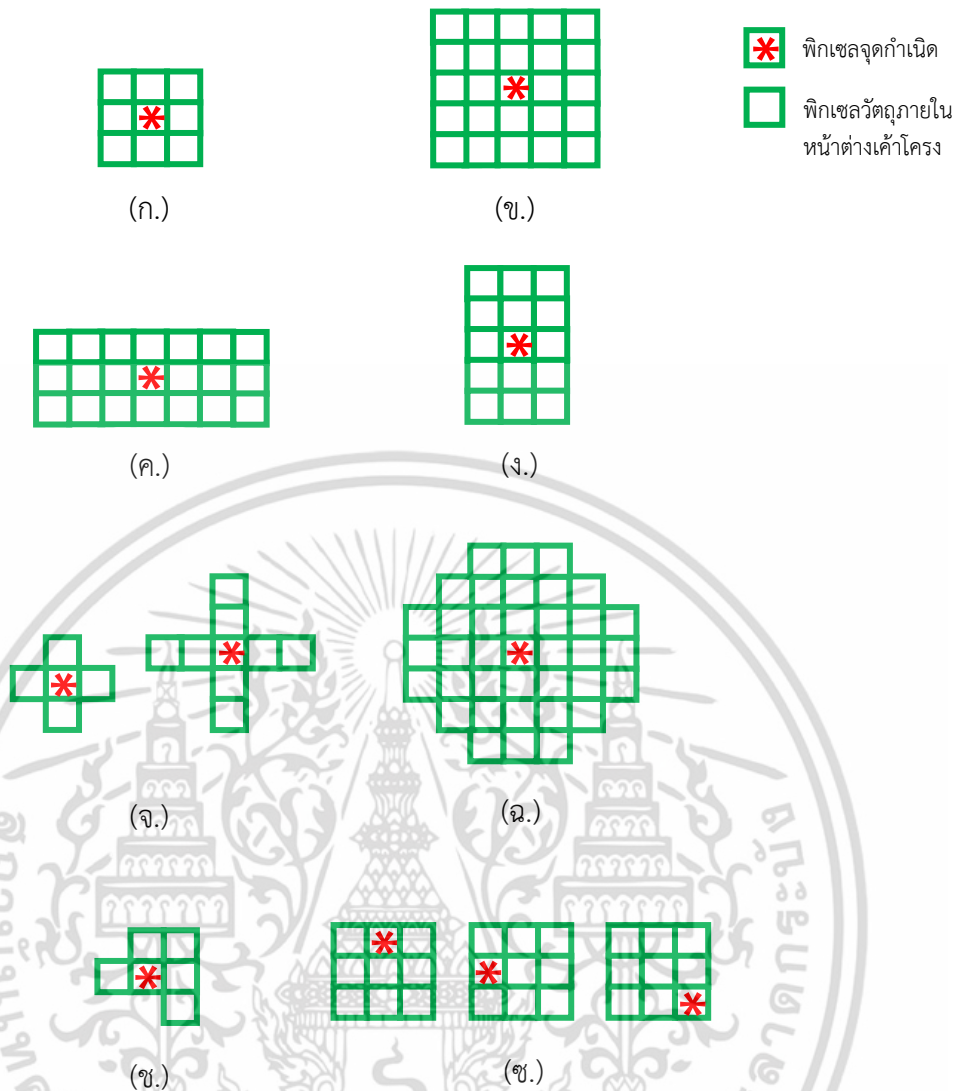
การขยายภาพ

การขยายภาพสำหรับภาพไบนารีนั้นเป็นตัวดำเนินการเชิงสัณฐานที่ถูกนำไปใช้ในการขยายอาณาบริเวณของวัตถุภายในภาพ ซึ่งส่งผลให้ส่วนของพื้นหลังภายในภาพนั้นมีอาณาบริเวณที่ลดลง ดังแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การแสดงตัวอย่างการขยายภาพสำหรับภาพไบนารี

การประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพนั้นจะต้องทำการกำหนดรูปแบบหน้าต่างเคาโครง (Structuring Element) ขึ้นเพื่อใช้ในการประมวลผล โดยหน้าต่างเคาโครงที่ใช้ในการประมวลผลนั้นประกอบขึ้นจากพิกเซลวัตถุหลายๆพิกเซลประกอบกันในลักษณะรูปแบบต่างๆ โดยการกำหนดรูปแบบหน้าต่างเคาโครงเพื่อใช้ในการประมวลผลนั้นจะต้องทำการกำหนดรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเคาโครง โดยตัวอย่างของหน้าต่างเคาโครงรูปแบบต่างๆนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแสดงตัวอย่างของหน้าต่าเค้าโครงสำหรับการประมวลผลรูปแบบต่างๆ (ก.) หน้าต่าเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3×3 (ข.) หน้าต่าเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5×5 (ค.) หน้าต่าเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7×3 (ง.) หน้าต่าเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3×5 (จ.) หน้าต่าเค้าโครงรูปกากบาท (ฉ.) หน้าต่าเค้าโครงรูปวงกลม (ช.) หน้าต่าเค้าโครงรูปใดๆ (ซ.) หน้าต่าเค้าโครงที่ไม่ได้มีตำแหน่งจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของหน้าต่าเค้าโครง

การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพ โดยเลือกใช้หน้าต่าเค้าโครง B เป็นหน้าต่าเค้าโครงสำหรับการประมวลผลนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.3) โดยกำหนดให้ a เป็นเซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในภาพไบนารี A และกำหนดให้ b เป็นเซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่าเค้าโครง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

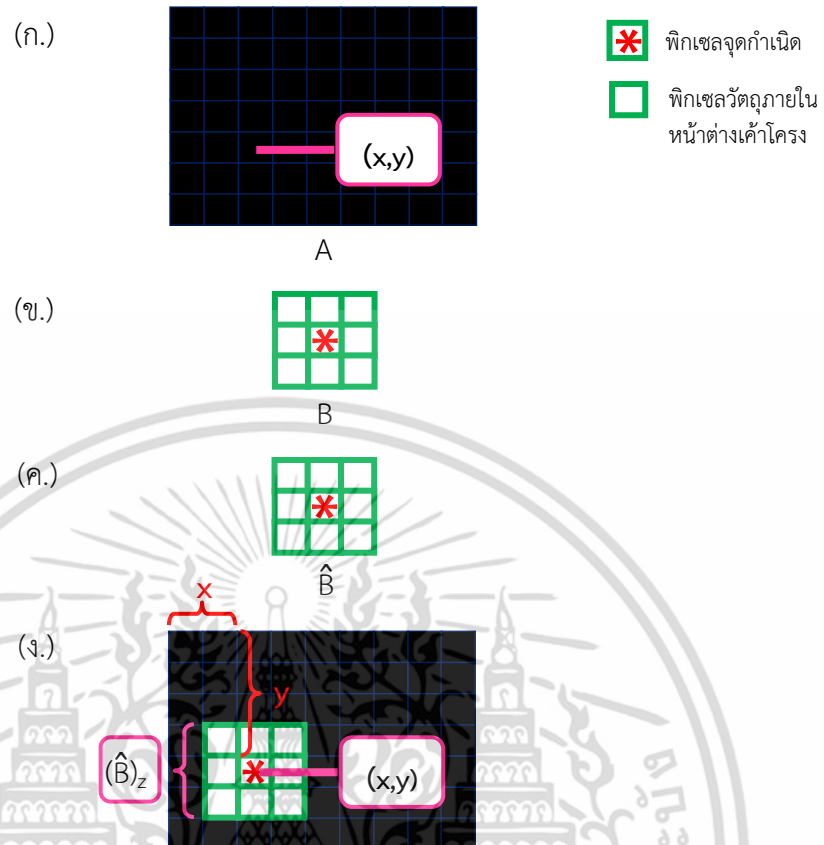
$$a \oplus b = \{ z \mid (\hat{b})_z \cap a \neq \emptyset \} \quad (2.3)$$

- โดยที่
- a คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในภาพไบนารี A
 - b คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครง B
 - \hat{b} คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับ โดยกำหนดให้หน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับนั้นมีชื่อเรียกว่า \hat{B}
 - $(\hat{b})_z$ คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับ และถูกเลื่อนตำแหน่งพิกเซลไปจากจุดกำเนิดของภาพไบนารี A ด้วยระยะพิกเซล เท่ากับ $z = (x,y)$ โดยกำหนดให้หน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับและถูกเลื่อนตำแหน่งพิกเซลนั้นมีชื่อเรียกว่า $(\hat{B})_z$
 - z คือ ตำแหน่งพิกเซลวัตถุแต่ละพิกเซลที่ได้จากการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพ
 - $a \oplus b$ คือ การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพ โดยเลือกใช้ หน้าต่างเค้าโครง B เป็นหน้าต่างเค้าโครงสำหรับการประมวลผล

การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพนั้นจะทำการนำภาพไบนารี A มาทำการประมวลผลทีละพิกเซล โดยการประมวลผลสำหรับพิกเซล (x,y) หนึ่งๆนั้นจะทำการนำหน้าต่างเค้าโครง B ที่ได้กำหนดขึ้นมาทำการสะท้อนรูปลกลับรอบตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 (ค.) หรือรูปที่ 2.10 (ข.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการนำหน้าต่างเค้าโครงที่ถูกสะท้อนรูปลกลับ (\hat{B}) แล้วนั้นมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพไบนารี A ด้วยระยะพิกเซลเท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเค้าโครง \hat{B} นั้นได้วางซ้อนทับลงบนภาพไบนารี A ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณา โดยที่ตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นได้ซ้อนทับกับตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 (ง.) หรือรูปที่ 2.10 (ค.) โดยการวางหน้าต่างเค้าโครง \hat{B} ซ้อนทับกับตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นจะส่งผลให้พิกเซลอื่นๆที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นถูกหน้าต่างเค้าโครงดังกล่าวซ้อนทับด้วยนั่นเอง

การประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพนั้นจะทำการนำตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ถูกเลื่อนตำแหน่งแล้ว $(\hat{b})_z$ และตำแหน่งพิกเซลวัตถุของภาพทั้งหมด (a) มาทำการดำเนินการทางเซตร่วมกันด้วยตัวดำเนินการ “อินเตอร์เซกชัน” $((\hat{b})_z \cap a)$ โดยการดำเนินการดังกล่าวนี้จะทำการตรวจหาพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุภายในภาพดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 (ค.) ซึ่งหากการประมวลผลนั้นได้ตรวจพบพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุภายในภาพ $((\hat{b})_z \cap a \neq \emptyset)$ ดังรูปที่ 2.10 (ค.1) การประมวลผลจะกำหนดให้พิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณานั้นเป็นพิกเซลวัตถุ $((x,y) = z)$ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 (ง.1) แต่หากการประมวลผลนั้นตรวจไม่พบพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุภายในภาพ $((\hat{b})_z \cap a = \emptyset)$ ดังรูปที่ 2.10 (ค.2) การประมวลผลจะกำหนดให้พิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณานั้นเป็นพิกเซลพื้นหลัง $((x,y) \neq z)$ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 (ง.2)

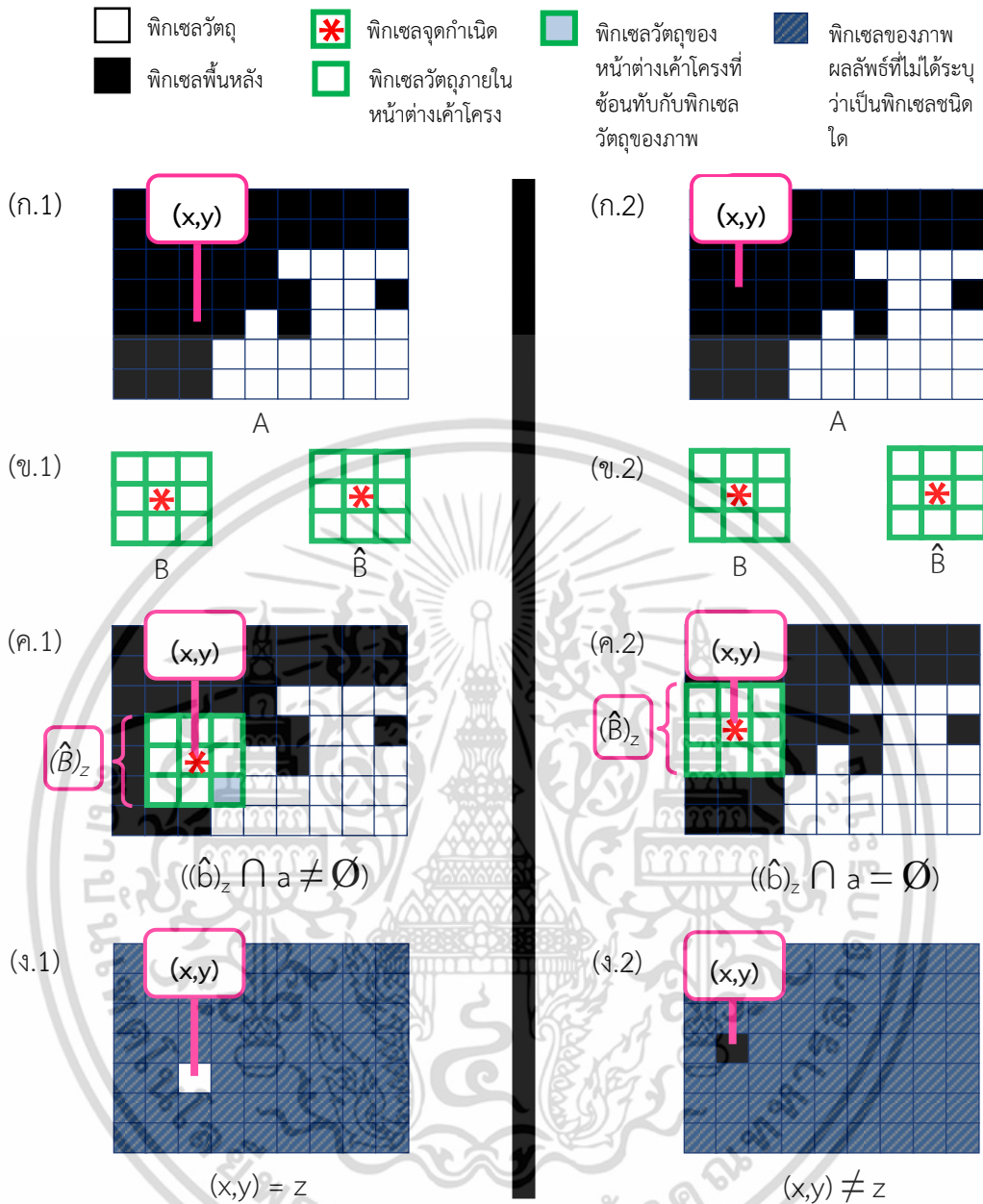
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างแสดงการนำหน้าต่างเคอร์เนลมาทำการสะท้อนรูปกลับและการนำหน้าต่างเคอร์เนลที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพ โดยกำหนดให้หน้าต่างเคอร์เนลมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเคอร์เนลอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเคอร์เนล

(ก.) ตัวอย่างภาพไบนารี A ที่แสดงตำแหน่งพิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณา (ข.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเคอร์เนล (ค.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเคอร์เนลที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้ว (ง.) การนำหน้าต่างเคอร์เนลที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพด้วยระยะพิกเซลเท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเคอร์เนลนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

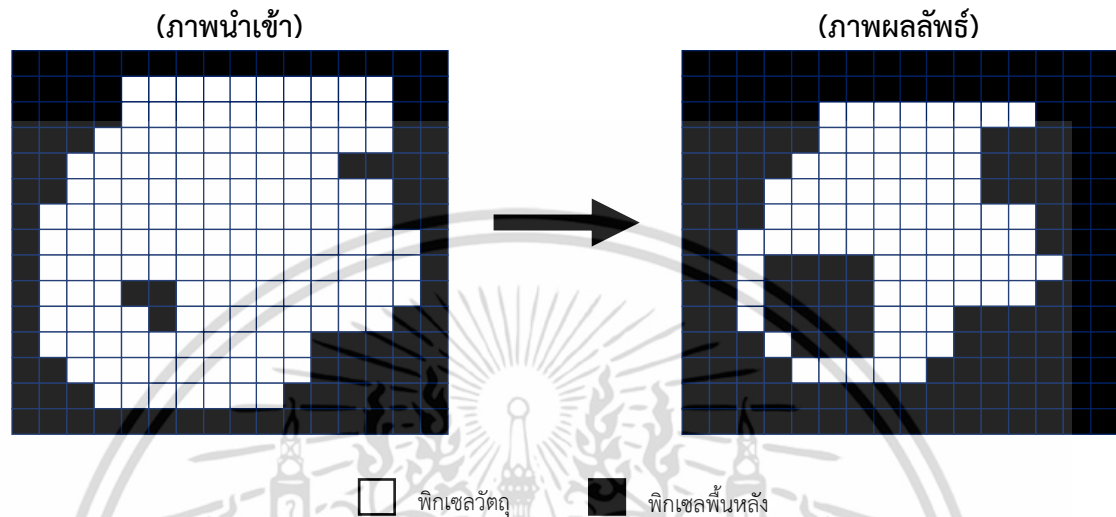


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยเลือกใช้ หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของ หน้าต่างเค้าโครงอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง (1.) ตัวอย่างการ ประมวลผลในกรณีที่ตรวจพบพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุ ของภาพ (2.) ตัวอย่างการประมวลผลในกรณีที่ตรวจไม่พบพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้า โครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพ (ก.) ตัวอย่างภาพไบนารี A ที่แสดงตำแหน่งพิกเซล (x,y) สำหรับการประมวลผล (ข.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเค้าโครงและลักษณะของ หน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้ว (ค.) การนำหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการ สะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพด้วยระยะพิกเซล เท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเค้าโครงนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลของภาพ (ง.) ภาพ ผลลัพธ์ซึ่งได้แสดงลักษณะของพิกเซลผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยนโยบายของหน่วยงานการศึกษานี้ ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ซ้ำหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเซาะภาพ

การเซาะภาพสำหรับภาพไบนารีนั้นเป็นตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ที่ถูกลำไปใช้ในการลดอาณาบริเวณของวัตถุภายในภาพ ซึ่งส่งผลให้ส่วนของพื้นหลังภายในภาพนั้นมีอาณาบริเวณที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การแสดงตัวอย่างการเซาะภาพสำหรับภาพไบนารี

การประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพนั้นจะต้องทำการกำหนดรูปแบบหน้าต่างต่างเค้าโครง (Structuring Element) ขึ้นเพื่อใช้ในการประมวลผล โดยหน้าต่างเค้าโครงที่ใช้ในการประมวลผลนั้นประกอบขึ้นจากพิกเซลวัตถุหลายๆพิกเซลประกอบกันในลักษณะรูปแบบต่างๆ โดยการกำหนดรูปแบบหน้าต่างเค้าโครงเพื่อใช้ในการประมวลผลนั้นจะต้องทำการกำหนดรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครง โดยตัวอย่างของหน้าต่างเค้าโครงรูปแบบต่างๆนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8

การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพ โดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครง B เป็นหน้าต่างเค้าโครงสำหรับการประมวลผลนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.4) โดยกำหนดให้ a เป็นเซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในภาพไบนารี A และกำหนดให้ b เป็นเซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครง B

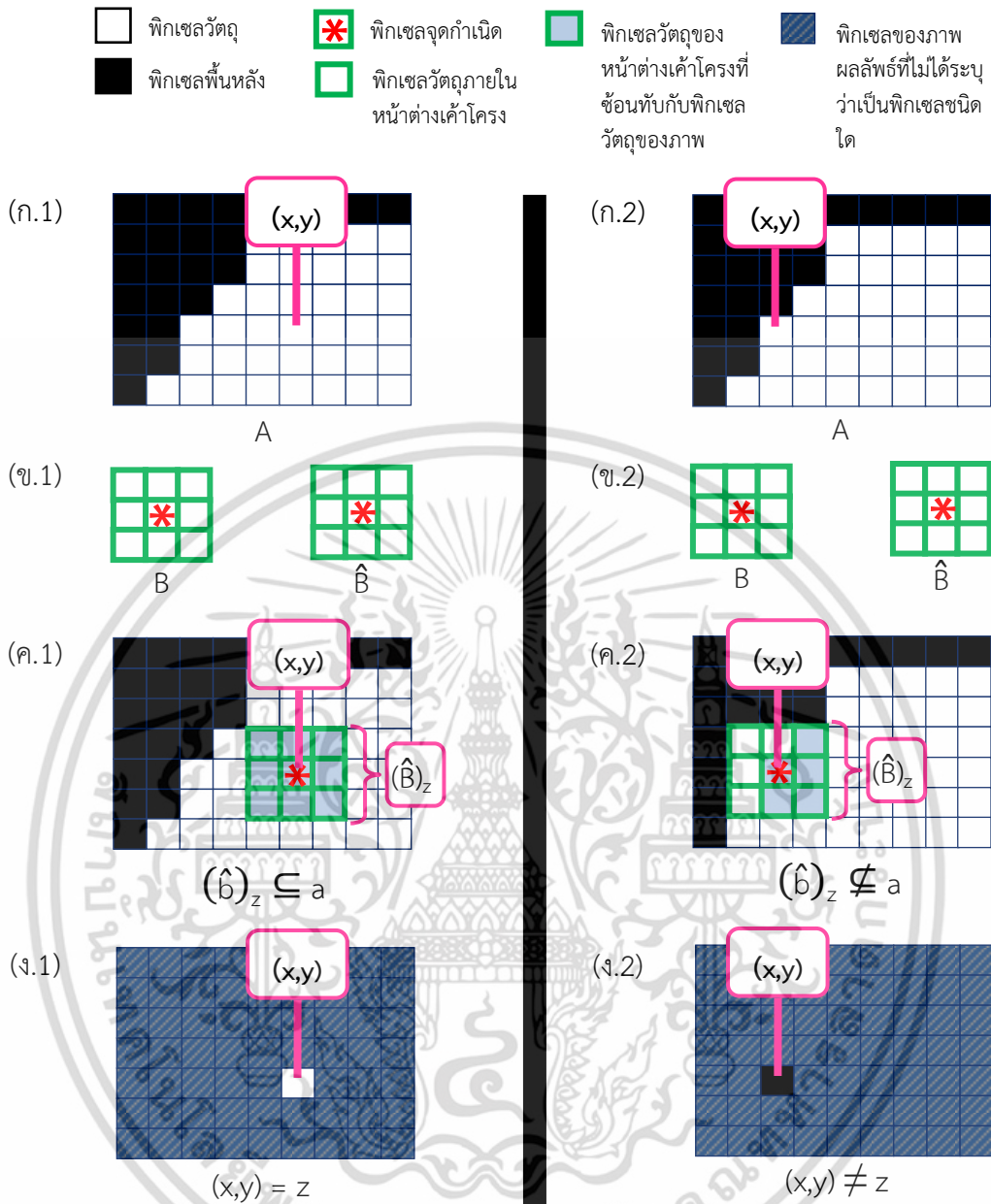
$$a \ominus b = \{ z \mid (\hat{b})_z \subseteq a \} \quad (2.4)$$

- โดยที่
- a คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในภาพไบนารี A
 - b คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครง B
 - \hat{b} คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับ โดยกำหนดให้หน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับนั้นมีชื่อเรียกว่า \hat{B}
 - $(\hat{b})_z$ คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับ และถูกเลื่อนตำแหน่งพิกเซลไปจากจุดกำเนิดของภาพไบนารี A ด้วยระยะพิกเซลเท่ากับ $z = (x,y)$ โดยกำหนดให้หน้าต่างเค้าโครง B ที่ถูกสะท้อนกลับและถูกเลื่อนตำแหน่งพิกเซลนั้นมีชื่อเรียกว่า $(\hat{B})_z$
 - z คือ ตำแหน่งพิกเซลวัตถุแต่ละพิกเซลที่ได้จากการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพ
- $a \ominus b$ คือ การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพ โดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครง B เป็นหน้าต่างเค้าโครงสำหรับการประมวลผล

การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพนั้นจะทำการนำภาพไบนารี A มาทำการประมวลผลทีละพิกเซล โดยการประมวลผลสำหรับพิกเซล (x,y) หนึ่งๆนั้นจะทำการนำหน้าต่างเค้าโครง B ที่ได้กำหนดขึ้นมาทำการสะท้อนรูปกลับรอบตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 (ค.) หรือรูปที่ 2.13 (ข.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการนำหน้าต่างเค้าโครงที่ถูกสะท้อนรูปกลับ (\hat{B}) แล้วนั้นมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพไบนารี A ด้วยระยะพิกเซลเท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเค้าโครง \hat{B} นั้นได้วางซ้อนทับลงบนภาพไบนารี A ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณา โดยที่ตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นได้ซ้อนทับกับตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 (ง.) หรือรูปที่ 2.13 (ค.) โดยการวางหน้าต่างเค้าโครง \hat{B} ซ้อนทับกับตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นจะส่งผลให้พิกเซลอื่นๆที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นถูกหน้าต่างเค้าโครงดังกล่าวซ้อนทับด้วยนั่นเอง

การประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพนั้นจะทำการดำเนินการทางเซตโดยพิจารณาว่าตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ถูกเลื่อนตำแหน่ง $(\hat{b})_z$ นั้นเป็นสับเซต (Subset) ของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในภาพ (a) หรือไม่ โดยการดำเนินการดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยทำการพิจารณาว่าพิกเซลวัตถุทุกๆพิกเซลที่อยู่ภายในหน้าต่างเค้าโครงนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพหรือไม่ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 (ค.) ซึ่งหากการประมวลผลนั้นได้ตรวจพบว่าพิกเซลวัตถุทุกๆพิกเซลภายในหน้าต่างเค้าโครงนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพ $(\hat{b})_z \subseteq a$ ดังรูปที่ 2.13 (ค.1) การประมวลผลจะกำหนดให้พิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณานั้นเป็นพิกเซลวัตถุ $((x,y) = z)$ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 (ง.1) แต่หากการประมวลผลนั้นตรวจพบว่าไม่มีพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงเพียงบางพิกเซลที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุภายในภาพหรือตรวจพบว่าไม่มีพิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครงที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุภายในภาพ $(\hat{b})_z \not\subseteq a$ ดังรูปที่ 2.13 (ค.2) การประมวลผลจะกำหนดให้พิกเซล (x,y) ที่ทำการพิจารณานั้นเป็นพิกเซลพื้นหลัง $((x,y) \neq z)$ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 (ง.2)

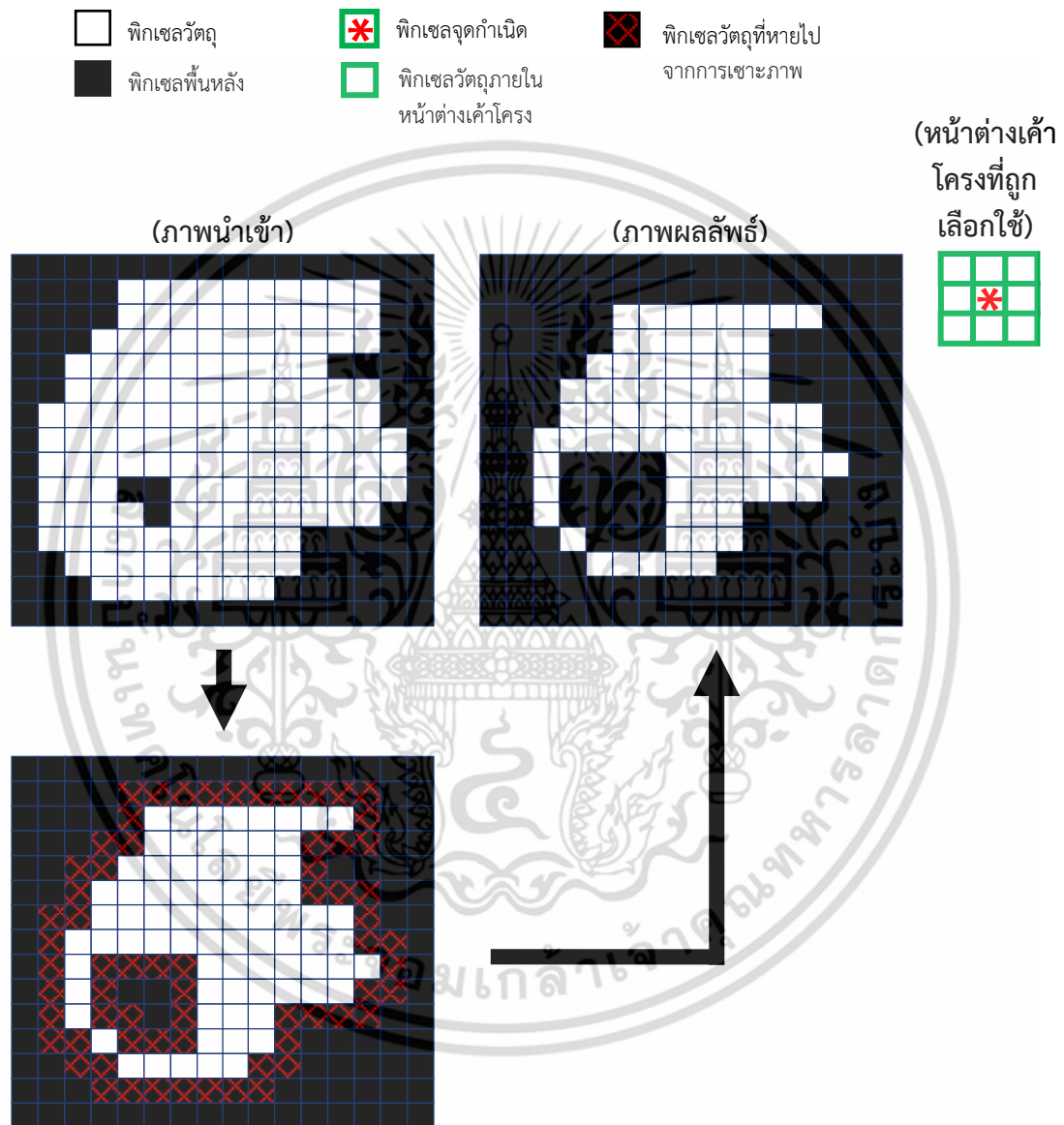
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพสำหรับพิกเซลหนึ่งๆโดยเลือกใช้ หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3x3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของ หน้าต่างเค้าโครงอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครงนั้นซ้อนทับกับพิกเซล วัตถุของภาพ (1.) ตัวอย่างการ ประมวลผลในกรณีที่พิกเซลวัตถุทุกๆพิกเซลภายในหน้าต่างเค้าโครงนั้นซ้อนทับกับพิกเซล วัตถุของภาพ (2.) ตัวอย่างการประมวลผลในกรณีที่พิกเซลวัตถุภายในหน้าต่างเค้าโครง เพียงบางพิกเซลที่ซ้อนทับกับพิกเซลวัตถุของภาพ (ก.) ตัวอย่างภาพไบนารี A ที่แสดง ตำแหน่งพิกเซล (x,y) สำหรับการประมวลผล (ข.) แสดงลักษณะของหน้าต่างเค้าโครง และลักษณะของหน้าต่างเค้าโครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้ว (ค.) การนำหน้าต่างเค้า โครงที่ทำการสะท้อนรูปกลับแล้วมาทำการเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดกำเนิดของภาพด้วย ระยะพิกเซลเท่ากับ (x,y) ซึ่งส่งผลให้หน้าต่างเค้าโครงนั้นได้ซ้อนทับกับพิกเซลของภาพ (ง.) ภาพผลลัพธ์ซึ่งได้แสดงลักษณะของพิกเซลผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพนั้นจะทำการประมวลผลสำหรับพิกเซลแต่ละพิกเซลโดยวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพนั้นจะถือเป็นอันเสร็จสิ้นเมื่อได้ทำการประมวลผลครบถ้วนทุกพิกเซลภายในภาพ โดยตัวอย่างของการประมวลผลภาพไบนารีด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพสำหรับพิกเซลทุกพิกเซล โดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเค้าโครงอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครงนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการประมวลผลภาพไบนารีด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพสำหรับพิกเซลทุกพิกเซลโดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง

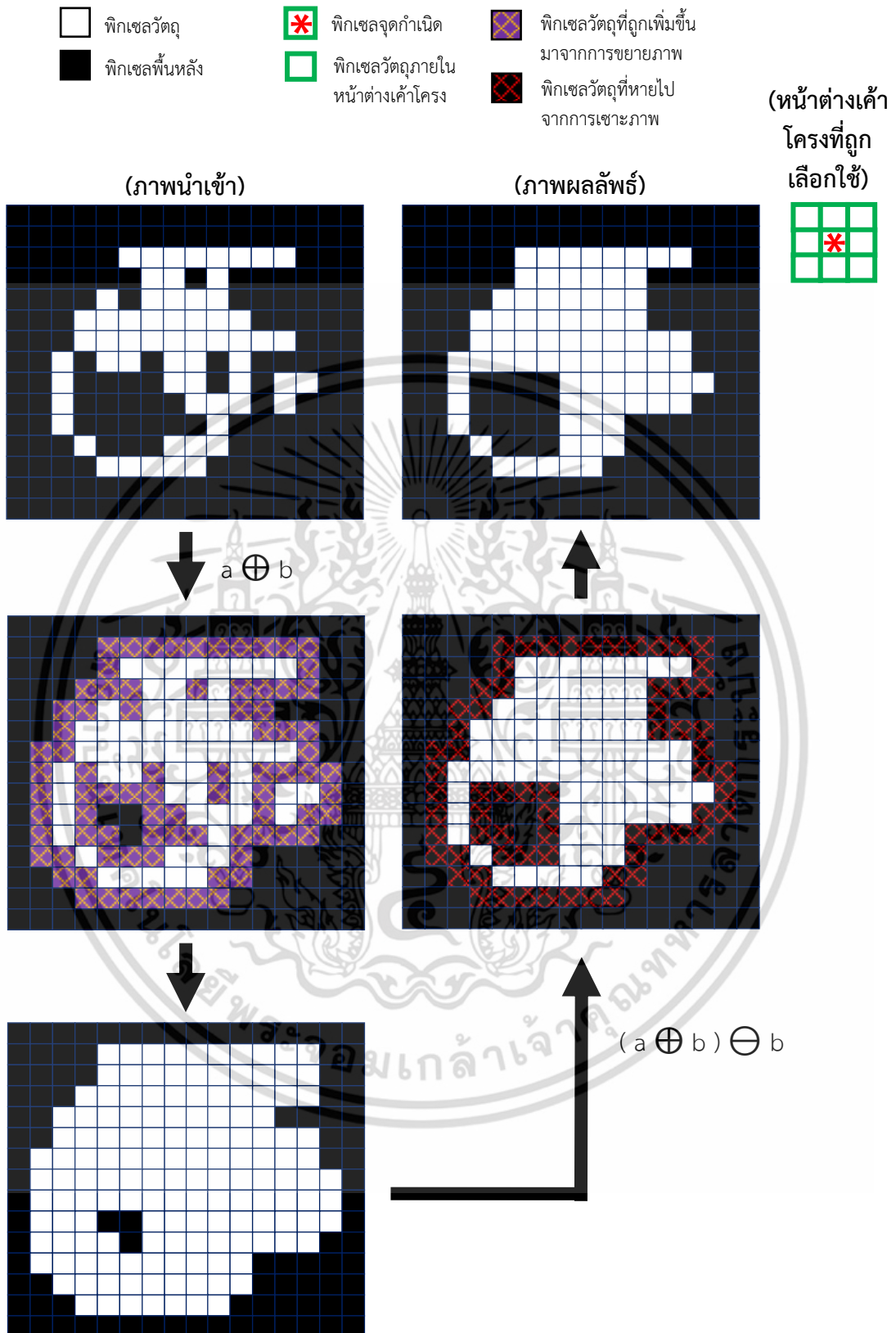
การปิดภาพ

การประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการปิดภาพสำหรับภาพไบนารีนั้นจะทำการนำภาพไบนารีมาทำการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพตามด้วยตัวดำเนินการการเซาะภาพด้วยหน้าต่างเคอร์เนลรูปแบบเดียวกัน โดยการประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการปิดภาพโดยเลือกใช้หน้าต่างเคอร์เนล B เป็นหน้าต่างเคอร์เนลสำหรับการประมวลผลนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5) โดยกำหนดให้ a เป็นเซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในภาพไบนารี A และกำหนดให้ b เป็นเซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเคอร์เนล B

$$a \cdot b = (a \oplus b) \ominus b \quad (2.5)$$

- โดยที่
- a คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในภาพไบนารี A
 - b คือ เซตของตำแหน่งพิกเซลวัตถุทั้งหมดภายในหน้าต่างเคอร์เนล B
 - $a \oplus b$ คือ การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพ โดยเลือกใช้หน้าต่างเคอร์เนล B เป็นหน้าต่างเคอร์เนลสำหรับการประมวลผล
 - $(a \oplus b) \ominus b$ คือ การนำภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการการขยายภาพ มาทำการประมวลผลด้วยตัวดำเนินการเซาะภาพ โดยเลือกใช้หน้าต่างเคอร์เนล B เป็นหน้าต่างเคอร์เนลสำหรับการประมวลผล
 - $a \cdot b$ คือ การประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการปิดภาพ โดยเลือกใช้หน้าต่างเคอร์เนล B เป็นหน้าต่างเคอร์เนลสำหรับการประมวลผล

ตัวอย่างของการประมวลผลภาพไบนารี A ด้วยตัวดำเนินการการปิดภาพ โดยเลือกใช้หน้าต่างเคอร์เนล B รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3×3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดของหน้าต่างเคอร์เนลอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเคอร์เนลนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการประมวลผลภาพไบนารีด้วยตัวดำเนินการการปิดภาพโดยเลือกใช้หน้าต่างเค้าโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่ากับ 3x3 และมีตำแหน่งจุดกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหน้าต่างเค้าโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โมเมนต์ (Moment) [5][6]

โมเมนต์สำหรับการประมวลผลภาพนั้นเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ถูกนำไปใช้ในการระบุคุณลักษณะทางรูปร่างของวัตถุรูปทรงภายในภาพ โดยโมเมนต์สำหรับวัตถุรูปทรงหนึ่งๆ นั้นมีค่าหลากหลายอันดับ ซึ่งโมเมนต์แต่ละอันดับนั้นจะถูกนำไปใช้ในการระบุคุณลักษณะของวัตถุรูปทรงในด้านต่างๆ โดยนิยามของโมเมนต์ m_{pq} ที่มีค่าอันดับของโมเมนต์เท่ากับ $p+q$ สำหรับวัตถุรูปทรงใดๆ ในภาพ โดยที่ p และ q เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.6)

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x,y) dx dy \quad , \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (2.6)$$

โดยที่ x คือ ตำแหน่งพิกัดของวัตถุรูปทรงในแนวแกน x
 y คือ ตำแหน่งพิกัดของวัตถุรูปทรงในแนวแกน y
 $f(x,y)$ คือ ฟังก์ชันของภาพที่ตำแหน่งพิกัด (x,y) ใดๆ
 m_{pq} คือ โมเมนต์อันดับที่ $p+q$ โดยที่ p และ q นั้นเป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

เนื่องจากภาพหนึ่งๆ นั้นเกิดขึ้นจากพิกเซลหลายๆ พิกเซลประกอบรวมกัน จึงส่งผลให้ระบบตำแหน่งพิกัดของภาพนั้นเป็นระบบที่มีค่าที่ไม่ต่อเนื่อง โดยเราสามารถแสดงนิยามของโมเมนต์จากสมการที่ (2.6) ใหม่ได้ดังสมการที่ (2.7)

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x,y) \quad , \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (2.7)$$

โดยที่ x คือ ตำแหน่งพิกเซลภายในกลุ่มพิกเซลวัตถุในแนวแกน x
 y คือ ตำแหน่งพิกเซลภายในกลุ่มพิกเซลวัตถุในแนวแกน y
 $f(x,y)$ คือ ฟังก์ชันของภาพที่ตำแหน่งพิกเซล (x,y) ใดๆ
 m_{pq} คือ โมเมนต์อันดับที่ $p+q$ โดยที่ p และ q นั้นเป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

การหาค่าโมเมนต์ในกรณีของภาพไบนารีนั้นจะกำหนดให้ฟังก์ชันภาพ $f(x,y)$ นั้นมีค่าเป็นไปตามรูปแบบเงื่อนไขที่ถูกแสดงไว้ดังสมการที่ (2.8) กล่าวคือ การหาค่าโมเมนต์จะกำหนดให้ค่า $f(x,y)$ นั้นมีค่าเท่ากับ 0 หากพิกเซล ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นเป็นพิกเซลพื้นหลัง และกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 หากพิกเซล ณ ตำแหน่งพิกเซล (x,y) นั้นเป็นพิกเซลวัตถุ โดยการหาค่าโมเมนต์ของกลุ่มพิกเซลวัตถุใดๆ ภายในภาพไบนารีนั้นจะกำหนดให้ค่าของฟังก์ชันภาพ $f(x,y)$ นั้นมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากกลุ่มพิกเซลวัตถุนั้นเป็นกลุ่มพิกเซลที่ประกอบไปด้วยพิกเซลวัตถุนั้นนั่นเอง

$$f(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{เมื่อตำแหน่งพิกเซล } (x,y) \text{ เป็นพิกเซลพื้นหลัง} \\ 1, & \text{เมื่อตำแหน่งพิกเซล } (x,y) \text{ เป็นพิกเซลวัตถุ} \end{cases} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหาโมเมนต์อันดับต่างๆของกลุ่มพิชเซลวัตถุได้โดยทำการแทนค่า p และ q ค่าต่างๆลงในสมการที่ (2.7) โดยโมเมนต์ภาพอันดับศูนย์ (m_{00}) และโมเมนต์ภาพอันดับหนึ่ง (m_{10} , m_{01}) นั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.9), (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ

$$m_{00} = \sum_x \sum_y f(x,y) \quad (2.9)$$

$$m_{10} = \sum_x \sum_y xf(x,y) \quad (2.10)$$

$$m_{01} = \sum_x \sum_y yf(x,y) \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.9) นั้นจะเห็นได้ว่าการหาค่าโมเมนต์อันดับศูนย์หรือ m_{00} ของกลุ่มพิชเซลวัตถุ ($f(x,y) = 1$) นั้นเป็นการนับจำนวนพิชเซลวัตถุทั้งหมดภายในกลุ่มพิชเซลวัตถุ ซึ่งส่งผลให้การหาค่าโมเมนต์อันดับศูนย์ของกลุ่มพิชเซลวัตถุนั้นเปรียบเหมือนกับการหาพื้นที่ของกลุ่มพิชเซลวัตถุนั้นเอง

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) นั้นจะเห็นได้ว่าการหาค่าโมเมนต์อันดับหนึ่งหรือ m_{10} และ m_{01} นั้นเป็นการหาค่าผลรวมของตำแหน่งพิชเซลทั้งหมดภายในกลุ่มพิชเซลวัตถุในแนวแกน x และในแนวแกน y ตามลำดับ โดยค่าโมเมนต์อันดับหนึ่งนั้นสามารถนำมาใช้ในการหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลาง (\bar{x} , \bar{y}) ของกลุ่มพิชเซลวัตถุได้โดยทำการหารค่าโมเมนต์อันดับหนึ่งที่ได้ด้วยค่าโมเมนต์อันดับศูนย์ ดังแสดงได้ดังสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ

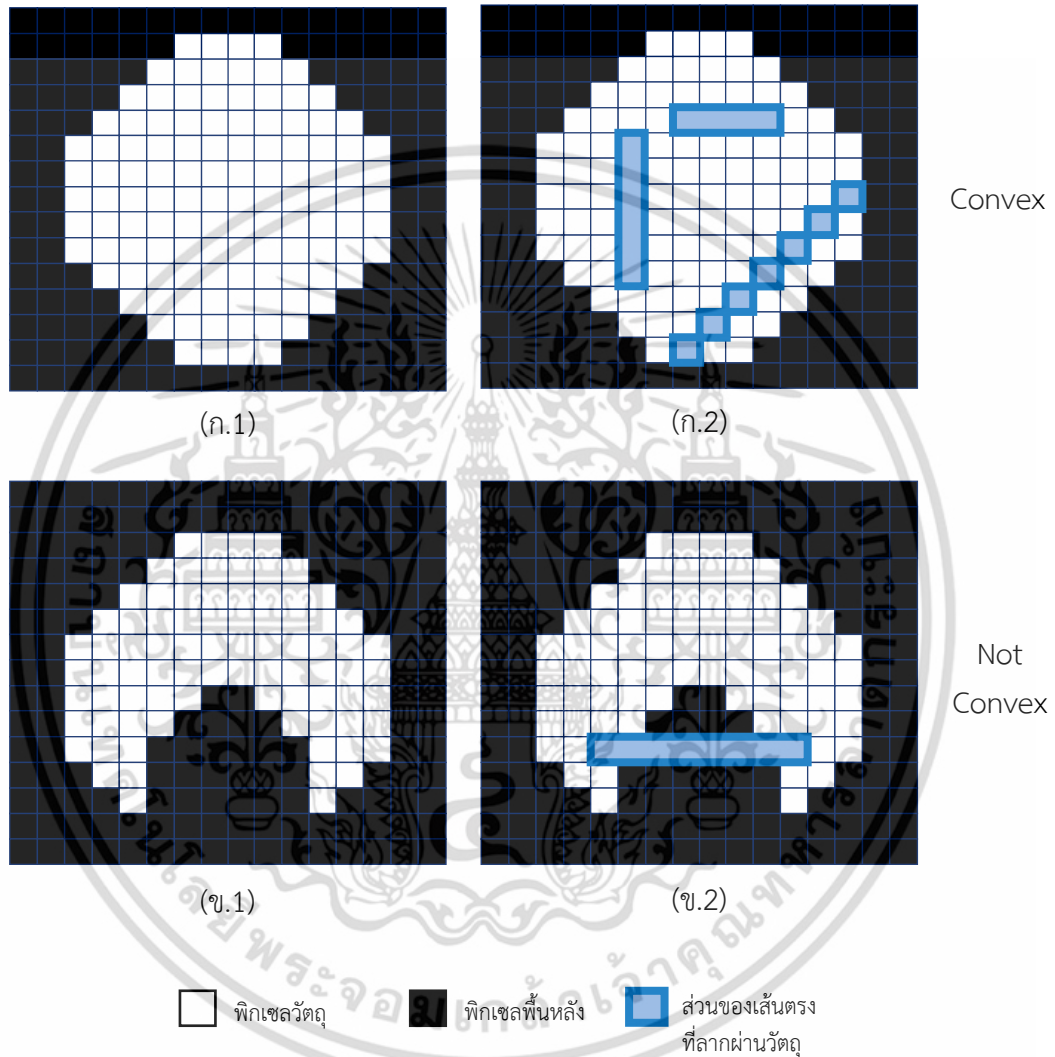
$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad (2.12)$$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.12) และ (2.13) นั้นได้แสดงการหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มพิชเซลวัตถุในแนวแกน x และแนวแกน y ตามลำดับ โดยการหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มพิชเซลวัตถุในแนวแกน x หรือ \bar{x} นั้นสามารถทำได้โดยทำการนำค่า m_{10} มาทำการหารด้วยค่าโมเมนต์อันดับศูนย์ และการหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มพิชเซลวัตถุในแนวแกน y หรือ \bar{y} นั้นสามารถทำได้โดยทำการนำค่า m_{01} มาทำการหารด้วยค่าโมเมนต์อันดับศูนย์นั่นเอง

2.5 เปลือกโค้งนูน (Convex Hull) [7][8]

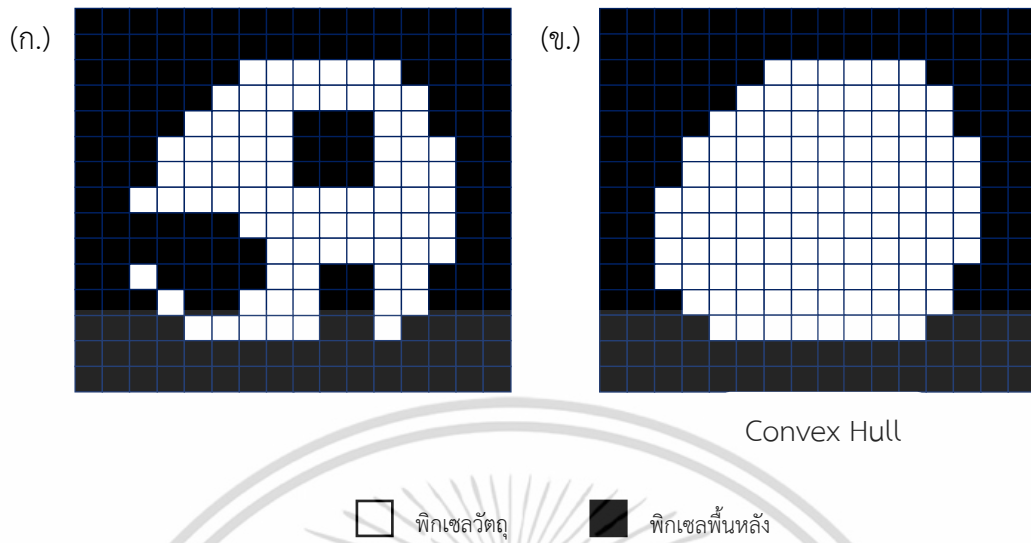
วัตถุหนึ่งๆภายในภาพนั้นจะถือว่าเป็นวัตถุแบบโค้งนูน (Convex) ก็ต่อเมื่อเส้นตรงทุกเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุดใดๆภายในวัตถุนั้นอยู่ภายในวัตถุดังกล่าว โดยตัวอย่างของวัตถุภายในภาพที่เป็นวัตถุแบบโค้งนูนและตัวอย่างของวัตถุภายในภาพที่ไม่เป็นวัตถุแบบโค้งนูนนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 (ก.) และรูปที่ 2.16 (ข.) ตามลำดับ



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างที่ได้แสดงถึงวัตถุภายในภาพที่เป็นวัตถุแบบโค้งนูนและวัตถุภายในภาพที่ไม่เป็นวัตถุแบบโค้งนูน (1.) ตัวอย่างวัตถุภายในภาพ (2.) ตัวอย่างการแสดงเส้นตรงที่ลากผ่านวัตถุภายในภาพ (ก.) ตัวอย่างวัตถุภายในภาพที่เป็นวัตถุแบบโค้งนูน (ข.) ตัวอย่างวัตถุภายในภาพที่ไม่เป็นวัตถุแบบโค้งนูน

เปลือกโค้งนูน (Convex Hull) สำหรับวัตถุหนึ่งๆภายในภาพนั้นคือวัตถุแบบโค้งนูนขนาดเล็กที่สุดที่มีอาณาบริเวณครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของวัตถุดังกล่าว โดยตัวอย่างเปลือกโค้งนูนสำหรับวัตถุหนึ่งๆภายในภาพนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างที่ได้แสดงถึงวัตถุภายในภาพและเปลือกโค้งนูนของวัตถุดังกล่าว (ก.) ตัวอย่างของวัตถุภายในภาพ (ข.) ตัวอย่างเปลือกโค้งนูนสำหรับวัตถุภายในภาพ

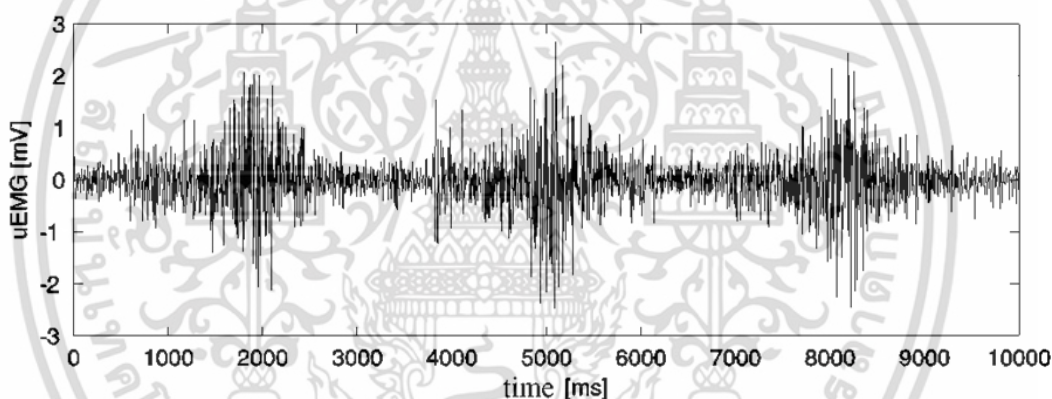
เปลือกโค้งนูนนั้นสามารถนำมาใช้ในการหาค่าความตัน (Solidity) ของวัตถุภายในภาพได้ โดยค่าความตันของวัตถุภายในภาพนั้นมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของวัตถุภายในภาพต่อพื้นที่เปลือกโค้งนูนของวัตถุนั้นๆ ดังแสดงได้ดังสมการที่ (2.14) โดยค่าความตันของวัตถุภายในภาพนั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งหากวัตถุภายในภาพนั้นมีความโค้งนูนน้อย จะทำให้ได้ค่าความตันที่มีค่าเข้าใกล้ 0 มาก แต่หากวัตถุภายในภาพนั้นมีความโค้งนูนมาก จะทำให้ได้ค่าความตันที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มาก

$$\text{Solidity} = \frac{\text{Contour Area}}{\text{Convex Hull Area}} \quad (2.14)$$

2.6 การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนัง (Surface Electromyography) [9][10][11]

การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังนั้นเป็นการศึกษาลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อโดยพิจารณาจากสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากบริเวณผิวหนังของกล้ามเนื้อนั้นๆ โดยการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังนั้นเหมาะกับการตรวจวัดสัญญาณจากมัดกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ มัดกล้ามเนื้อที่อยู่ระดับตื้นเงินจากระดับผิวหนัง มัดกล้ามเนื้อที่ปรากฏให้เห็นเด่นชัดหรือมัดกล้ามเนื้อที่มีระยะห่างจากมัดกล้ามเนื้ออื่นๆมาก โดยการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังนั้นได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การแพทย์ การฟื้นฟูด้วยกายภาพบำบัด การกีฬา การศึกษาทางด้านสรีระ ฯลฯ

สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังนั้นมีขนาดแรงดันอยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 10 mV มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 500 Hz และมีกำลังงานสูงสุดอยู่ในช่วงความถี่ 50 – 150 Hz โดยตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนัง [12]

การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังนั้นได้เลือกใช้อิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนัง (Surface Electrode) เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณจากมัดกล้ามเนื้อที่ต้องการวัด โดยตัวอย่างของอิเล็กโทรดของชนิดสัมผัสผิวหนังนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยเลือกใช้อิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังนั้นมีข้อดีคือ เป็นการตรวจจับสัญญาณที่ง่าย สะดวก และไม่สร้างความเจ็บปวดให้กับผู้ถูกวัด

ก่อนการใช้งานอิเล็กโทรดเพื่อทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้น การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะกำหนดให้ทำการปรับสภาพผิวหนังของมัดกล้ามเนื้อที่ต้องการวัดก่อน โดยการปรับสภาพผิวหนังนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสภาพให้ผิวหนังนั้นอยู่ในสถานะที่เหมาะสมสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยการทำให้ความต้านทานบริเวณผิวหนังนั้นลดลง โดยการปรับสภาพผิวหนังนั้นจะกำหนดให้ทำการกำจัดขน เหงื่อ เซลล์ผิวหนังที่ตายแล้ว และสิ่งสกปรกต่างๆที่อยู่

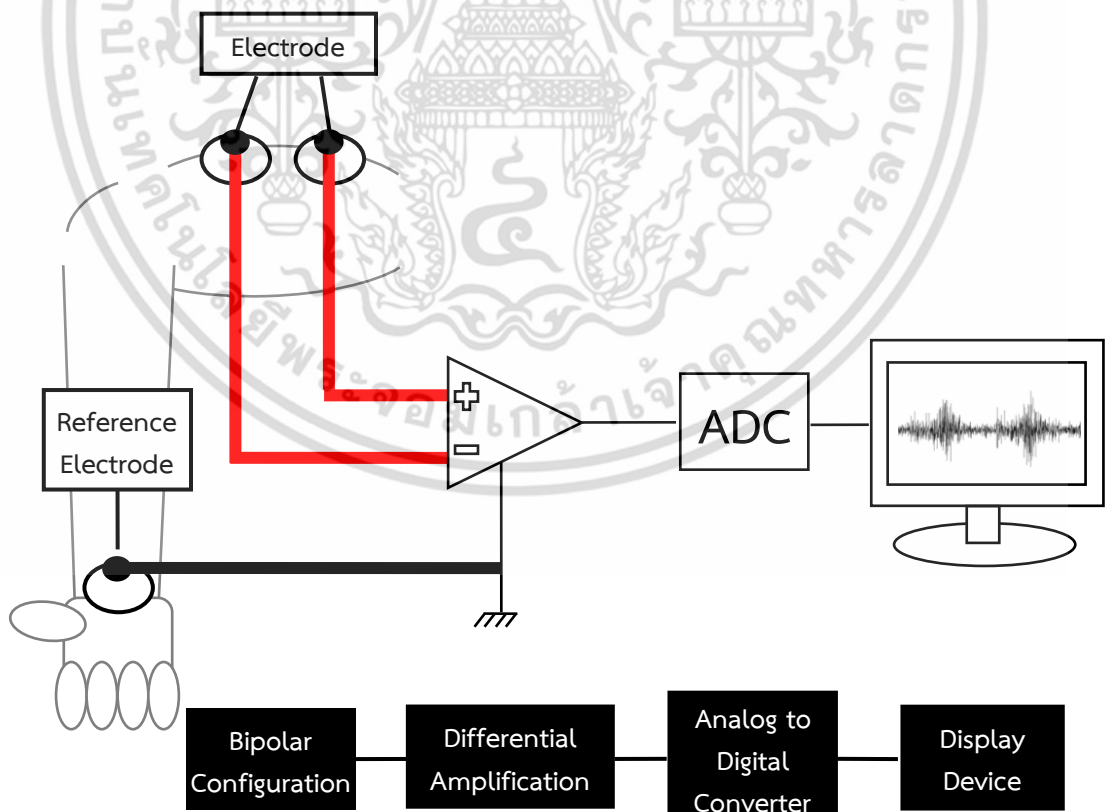
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณผิวหนังออกไป โดยการกำจัดสิ่งต่างๆที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การเช็ดผิวหนังด้วยแอลกอฮอล์ การขัดผิวหนังด้วยกระดาษทราย การทาเจลอิเล็กโทรดลงบนผิวหนังของมัดกล้ามเนื้อที่ต้องการวัด เป็นต้น



ที่มา <http://www.biopac.com/product-category/research/electrodes>

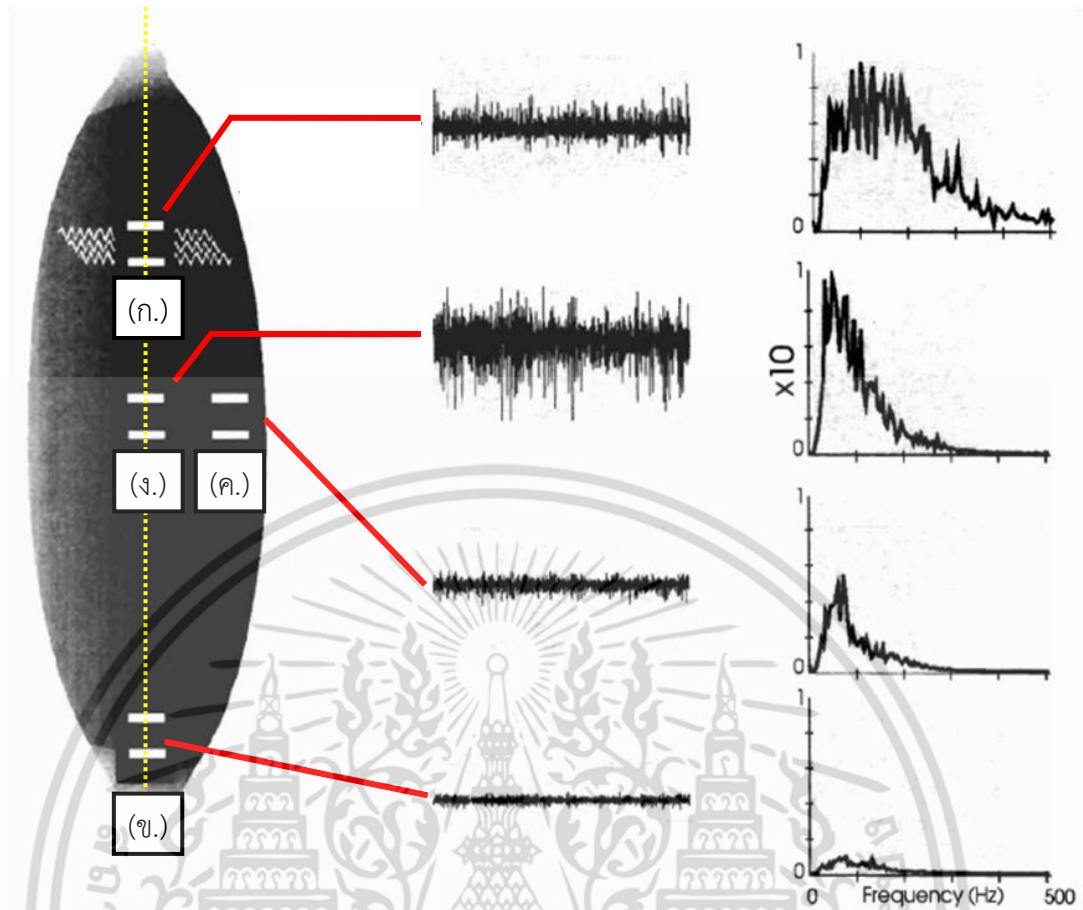
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนัง (ก.) ตัวอย่างอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังที่มีผิวสัมผัสหนึ่งจุด (ข.) ตัวอย่างอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังที่มีผิวสัมผัสสองจุด



รูปที่ 2.20 ภาพจำลองแสดงการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังแบบสองขั้ว (Bipolar Configuration) การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังนั้นนิยมทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบสองขั้ว (Bipolar Configuration) ซึ่งเป็นการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยมีตำแหน่งตรวจจับสัญญาณบนมัดกล้ามเนื้อที่ต้องการวัดทั้งหมดสองจุดและมีตำแหน่งตรวจจับที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดอ้างอิงของระดับสัญญาณอีกหนึ่งจุด ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังแบบสองขั้วนั้นสามารถทำได้โดยทำการนำอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังที่มีผิวสัมผัสสองจุด หรืออิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังที่มีผิวสัมผัสหนึ่งจุดสองอัน มาทำการติดลงบนผิวหนัง ณ ตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อที่ต้องการวัด โดยกำหนดให้ผิวสัมผัสทั้งสองนั้นถูกติดอยู่ระหว่างจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อ (Motor Point) และตำแหน่งเอ็นของมัดกล้ามเนื้อ (Tendon Insertion) หรือกำหนดให้ผิวสัมผัสทั้งสองนั้นถูกติดอยู่ระหว่างจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อสองจุด โดยการติดอิเล็กโทรดนั้นได้กำหนดให้ทำการเรียงตำแหน่งของผิวสัมผัสทั้งสองตามแนวยาวของเส้นกลางของมัดกล้ามเนื้อ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.21 (ง.) โดยนอกจากการติดอิเล็กโทรดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วนั้น การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังแบบสองขั้วยังกำหนดให้ทำการติดอิเล็กโทรดอีกหนึ่งอันเพื่อกำหนดตำแหน่งจุดอ้างอิงของสัญญาณ โดยกำหนดให้ทำการติดอิเล็กโทรดดังกล่าวไว้บนผิวหนัง ณ ตำแหน่งที่มีกล้ามเนื้อห่อหุ้มน้อย เช่น ตำแหน่งข้อต่อหรือตำแหน่งที่แสดงให้เห็นถึงกระดูกอย่างเด่นชัด เป็นต้น

การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อระดับผิวหนังแบบสองขั้วนั้นจะทำการนำสัญญาณที่วัดได้จากผิวสัมผัสของอิเล็กโทรดทั้งสองไปทำการขยายสัญญาณแบบผลต่าง (Differential Amplification) ซึ่งเป็นการขยายค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากบริเวณผิวสัมผัสของอิเล็กโทรดทั้งสอง โดยการขยายสัญญาณแบบผลต่างในลักษณะดังกล่าวนี้จะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมด (Common Mode Noise) ที่วัดได้จากบริเวณผิวสัมผัสของอิเล็กโทรดทั้งสองออกไปได้ โดยสัญญาณที่ได้จากการขยายสัญญาณแบบผลต่างนั้นจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) เพื่อทำการแปลงสัญญาณที่ถูกขยายแล้วให้เป็นสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการแสดงผลด้วยอุปกรณ์สำหรับการแสดงผล โดยความละเอียดของการแปลงสัญญาณนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนบิตความละเอียด (Resolution) ช่วงแรงดันสำหรับการแปลงสัญญาณ (Range of Conversion) และค่าอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) โดยการใช้งานวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลนั้นจะต้องทำการเลือกค่าอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ให้มีค่ามากกว่าค่าความถี่สูงสุดของช่วงความถี่ของสัญญาณเป็นอย่างน้อย 2 เท่า เพื่อไม่ให้สัญญาณที่ได้จากการแปลงนั้นเกิดการพับทบความถี่ของสัญญาณ (Aliasing) ขึ้น โดยสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลนั้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์สำหรับการแสดงผลเพื่อทำการแสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ออกทางอุปกรณ์สำหรับการแสดงผลดังกล่าว



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการติดอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังตามตำแหน่งต่างๆของมัดกล้ามเนื้อ [13]

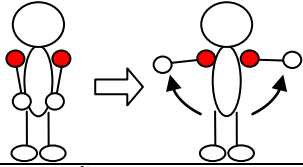
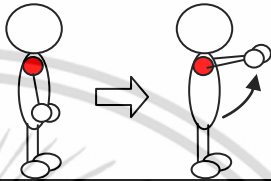
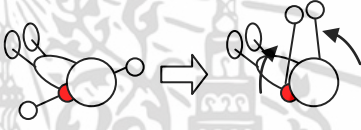
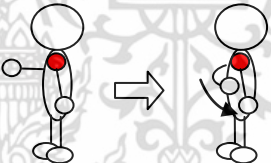
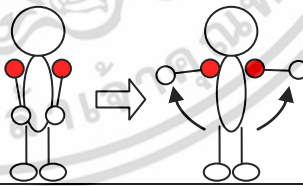
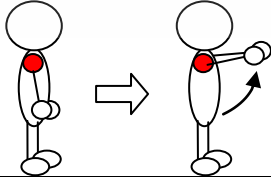
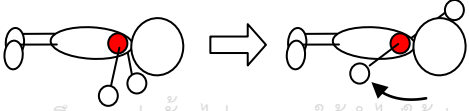
(ก.) การติดอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังบริเวณจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อ (ข.) การติดอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังบริเวณเอ็นของมัดกล้ามเนื้อ (ค.) การติดอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังระหว่างจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อและบริเวณเอ็นของมัดกล้ามเนื้อโดยเรียงตำแหน่งของผิวสัมผัสอิเล็กโทรดทั้งสองตามแนวยาวของเส้นด้านข้างของมัดกล้ามเนื้อ (ง.) การติดอิเล็กโทรดชนิดสัมผัสผิวหนังระหว่างจุดมอเตอร์ของมัดกล้ามเนื้อและบริเวณเอ็นของมัดกล้ามเนื้อโดยเรียงตำแหน่งของผิวสัมผัสอิเล็กโทรดทั้งสองตามแนวยาวของเส้นกลางของมัดกล้ามเนื้อ

2.7 มัดกล้ามเนื้อแขนที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนไหวของแขน (Muscles of the Arm) [18]

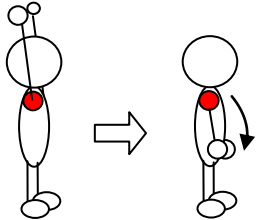

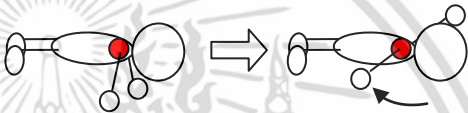
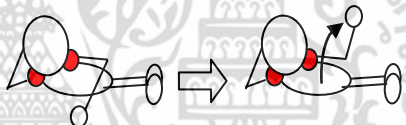
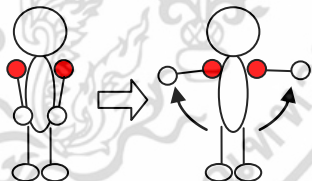
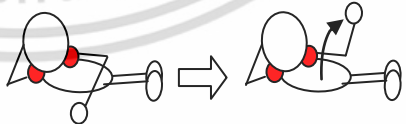
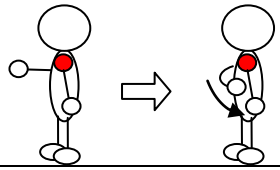
มัดกล้ามเนื้อบริเวณแขนนั้นมีด้วยกันหลากหลายมัด โดยมัดกล้ามเนื้อแขนแต่ละมัดนั้นจะทำการควบคุมการเคลื่อนไหวแขนในลักษณะรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยการควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนสำหรับมัดกล้ามเนื้อแขนต่างๆนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

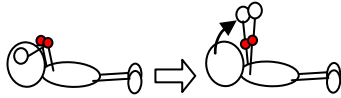
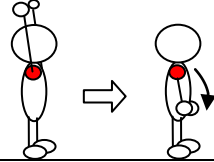
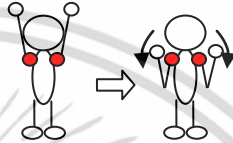

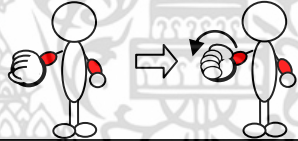
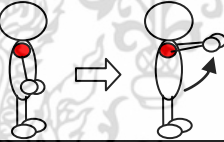
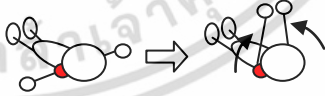
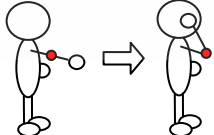
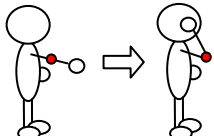
ตารางที่ 2.1 การควบคุมการเคลื่อนไหวแขนสำหรับมัดกล้ามเนื้อแขนต่างๆ

มัดกล้ามเนื้อ	ลักษณะการควบคุมการเคลื่อนไหวแขน
Deltoid (Anterior)	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อยกแขนออกจากลำตัวในแนวด้านข้าง (Shoulder Abduction)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อยกแขนขึ้น (Shoulder Flexion)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อเคลื่อนแขนในแนวขวางเข้าลำตัว (Shoulder Transverse Flexion)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อหมุนแขนตามแนวยาวเข้าลำตัว (Shoulder Internal Rotation)</p> 
Deltoid (Lateral)	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อยกแขนออกจากลำตัวในแนวด้านข้าง (Shoulder Abduction)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อยกแขนขึ้น (Shoulder Flexion)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อเคลื่อนแขนในแนวขวางออกจากลำตัว (Shoulder Transverse Abduction)</p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deltoid (Posterior)	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อลดแขนลง (Shoulder Extension)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อเหยียดแขนในแนวขวางออกจากลำตัว (Shoulder Transverse Extension)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อเคลื่อนแขนในแนวขวางออกจากลำตัว (Shoulder Transverse Abduction)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อหมุนแขนตามแนวยาวออกจากลำตัว (Shoulder External Rotation)</p> 
Supraspinatus	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อยกแขนออกจากลำตัวในแนวด้านข้าง (Shoulder Abduction)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อหมุนแขนตามแนวยาวออกจากลำตัว (Shoulder External Rotation)</p> 
	<p>การควบคุมหัวไหล่เพื่อหมุนแขนตามแนวยาวเข้าลำตัว (Shoulder Internal Rotation)</p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Triceps Brachii	การควบคุมข้อศอกเพื่อเหยียดแขนออก (Elbow Extension)	
	การควบคุมหัวไหล่เพื่อลดแขนลง (Shoulder Extension) *	
	การควบคุมหัวไหล่เพื่อลดแขนเข้าหาลำตัวในแนวด้านข้าง (Shoulder Adduction) *	
Biceps Brachii	การควบคุมข้อศอกเพื่อหดแขนเข้า (Elbow Flexion)	
	การควบคุมต้นแขนเพื่อหมุนแขนให้มือหงายขึ้น (Forearm Supination)	
	การควบคุมหัวไหล่เพื่อยกแขนขึ้น (Shoulder Flexion) **	
	การควบคุมหัวไหล่เพื่อเคลื่อนแขนในแนวขวางเข้าลำตัว (Shoulder Transverse Flexion) **	
Brachialis	การควบคุมข้อศอกเพื่อหดแขนเข้า (Elbow Flexion)	
Brachioradialis	การควบคุมข้อศอกเพื่อหดแขนเข้า (Elbow Flexion)	

* เฉพาะส่วนมัดกล้ามเนื้อ Triceps Brachii (Long Head)

** เฉพาะส่วนมัดกล้ามเนื้อ Biceps Brachii (Short Head)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) [14]

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันนั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของตัวแปรสองตัวแปรภายในชุดข้อมูลสองตัวแปร (Bivariate Data) ที่ทำการวิเคราะห์ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน r ของตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรที่อยู่ในรูปของคู่อันดับ $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ นั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.15)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.15)$$

โดยที่ i คือ ลำดับที่ของคู่อันดับภายในชุดข้อมูล
 n คือ จำนวนคู่อันดับทั้งหมดที่อยู่ภายในชุดข้อมูล
 X_i คือ ค่าตัวแปร X ของคู่อันดับลำดับที่ i ภายในชุดข้อมูล
 \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร X ของคู่อันดับทั้งหมดภายในชุดข้อมูล ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.16)$$

Y_i คือ ค่าตัวแปร Y ของคู่อันดับลำดับที่ i ภายในชุดข้อมูล
 \bar{Y} คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร Y ของคู่อันดับทั้งหมดภายในชุดข้อมูล ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (2.17)$$

r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่บ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์

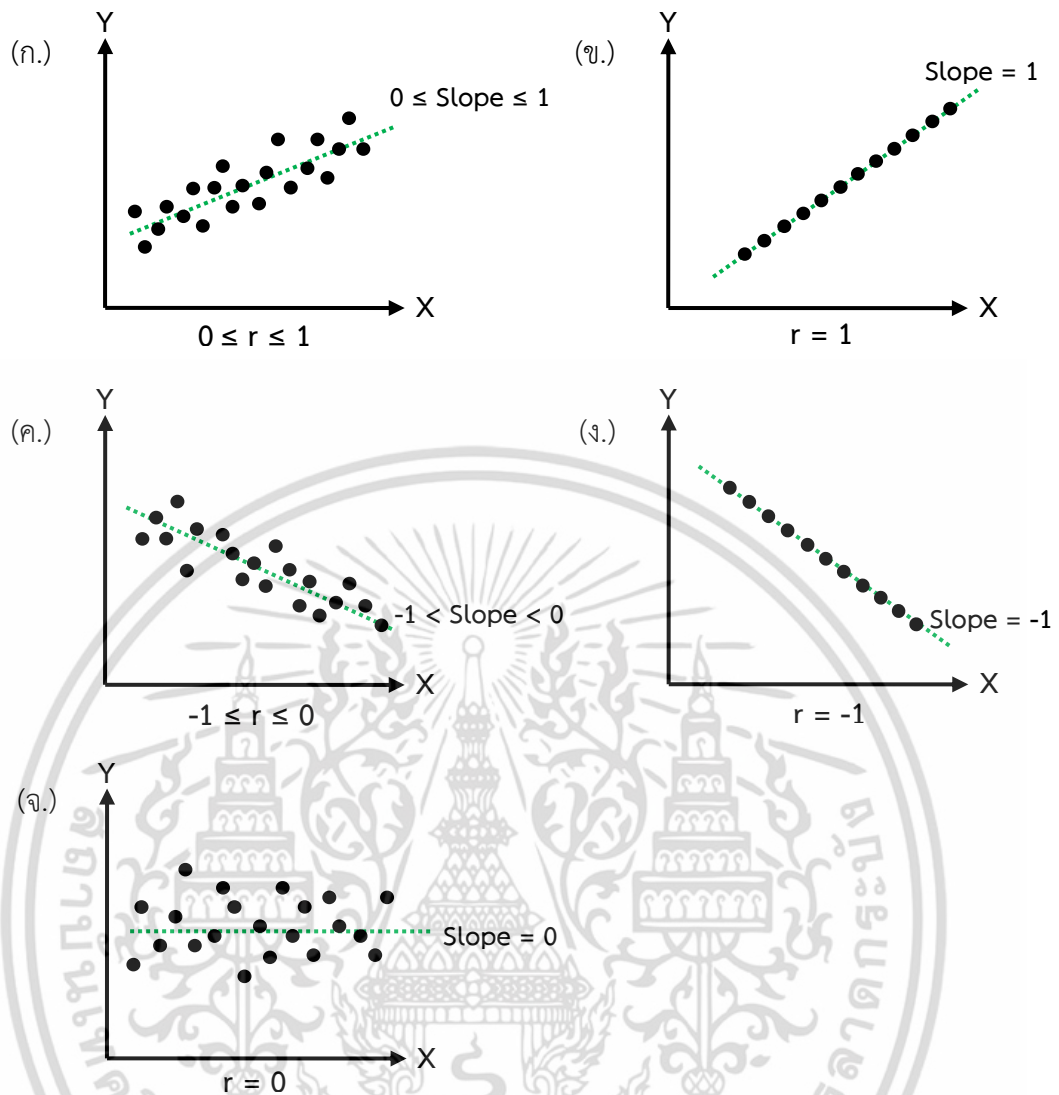
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน r ที่ถูกแสดงไว้ดังสมการที่ (2.15) นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 ($-1 \leq r \leq 1$) โดยหากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์นั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงบวก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นบวก ($0 \leq r \leq 1$) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 (ก.) ซึ่งหากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงบวกในระดับต่ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นบวกที่มีขนาดน้อย (r มีค่าเข้าใกล้ 0 มาก) หรือหากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงบวกในระดับสูง จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นบวกที่มีขนาดมาก (r มีค่าเข้าใกล้ 1 มาก) และหากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงบวกในระดับสุดขีด จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นบวกที่มีขนาดสูงสุด ($r = 1$) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 (ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกัน หากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์นั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงลบ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นลบ ($-1 \leq r \leq 0$) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 (ค.) ซึ่งหากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงลบในระดับต่ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นลบที่มีขนาดต่ำ (r มีค่าเข้าใกล้ 0 มาก) หรือหากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงลบในระดับสูง จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นลบที่มีขนาดมาก (r มีค่าเข้าใกล้ -1 มาก) และหากตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบเชิงลบในระดับสุดขีด จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ที่ได้นั้นมีค่าเป็นลบที่มีขนาดสูงสุด ($r = -1$) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 (ง.)

ในกรณีที่ตัวแปร X และ Y สำหรับชุดข้อมูลสองตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์นั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน r ที่ได้นั้นมีขนาดต่ำสุด ($r = 0$) โดยตัวอย่างของชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่ไม่มีความสัมพันธ์กันนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 (จ.)





รูปที่ 2.22 การแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นแต่ละรูปแบบ (ก.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงบวก ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นบวก ($0 \leq r \leq 1$) (ข.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงบวกในระดับสูงสุด ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นบวกที่มีขนาดสูงสุด ($r = 1$) (ค.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงลบ ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นลบ ($-1 \leq r \leq 0$) (ง.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงลบในระดับสูงสุด ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเป็นลบที่มีขนาดสูงสุด ($r = -1$) (จ.) ชุดข้อมูลสองตัวแปรที่มีตัวแปร X และ Y ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีขนาดต่ำสุด ($r = 0$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การใช้งานแขนหุ่นยนต์ L-EXOS ในการบำบัดรักษาพร้อมกับเทคโนโลยีจริงเสมือน [15]

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้งานแขนหุ่นยนต์ L-EXOS ร่วมกับเทคโนโลยีจริงเสมือนสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งแขนหุ่นยนต์ L-EXOS สำหรับแขนขวาของผู้ป่วยไว้กับเก้าอี้ที่ตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 2.23 นอกจากนี้ยังทำการติดตั้งโปรเจกเตอร์สำหรับแสดงสภาพแวดล้อมจริงเสมือนบริเวณด้านหน้าเก้าอี้ดังกล่าวตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 2.25 โดยการฟื้นฟูผู้ป่วยนั้นสามารถทำได้โดยกำหนดให้ผู้ปวยนั่งบนเก้าอี้ที่ได้ติดตั้งแขนหุ่นยนต์ L-EXOS ไว้พร้อมทั้งสอดแขนขวาของผู้ป่วยเข้าไปในแขนหุ่นยนต์ L-EXOS โดยผู้ปวยนั้นจะต้องใช้มือจับปุ่มกดที่อยู่บริเวณส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์ L-EXOS พร้อมทั้งเคลื่อนแขนไปตามทิศทางที่การฟื้นฟูได้กำหนดตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 2.24 โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบการฟื้นฟูผู้ป่วยที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ การฟื้นฟูโดยการเอื้อมแขน การฟื้นฟูโดยการเคลื่อนแขนเป็นวงกลม และการฟื้นฟูโดยการเคลื่อนย้ายวัตถุเสมือน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบที่นำเสนอกับผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ทั้งหมด 9 คน โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง โดยการทดสอบในแต่ละครั้งจะกำหนดให้ผู้ปวยเข้ารับการฟื้นฟูด้วยรูปแบบการฟื้นฟูทั้ง 3 รูปแบบที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลการใช้งานแขนของผู้ปวยทั้งช่วงก่อนเข้ารับการบำบัดและช่วงหลังเข้ารับการบำบัดด้วยผลการทดสอบเชิงปริมาณและเครื่องมือการประเมินผลทางคลินิก ซึ่งจากการประเมินผลดังกล่าวนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้งานอุปกรณ์ L-EXOS ร่วมกับเทคโนโลยีจริงเสมือนในการบำบัดผู้ปวยนั้นสามารถทำให้ผู้ปวยมีการพัฒนาการใช้งานแขนที่ดีขึ้นได้



รูปที่ 2.23 ระบบ [15] ซึ่งประกอบไปด้วยแขนหุ่นยนต์ L-EXOS ที่ถูกติดตั้งเข้ากับเก้าอี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 การฟื้นฟูด้วยระบบ [15] โดยการสอดแขนขวาเข้าไปในแขนหุ่นยนต์ L-EXOS โดยผู้ป่วยจะต้องใช้มือจับบริเวณส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์ พร้อมทั้งเคลื่อนแขนไปตามทิศทางที่การฟื้นฟูได้กำหนด



รูปที่ 2.25 แสดงการใช้งานระบบ [15] ร่วมกับเทคโนโลยีจริงเสมือนสำหรับการบำบัดผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ระบบ Rutgers ARM สำหรับการบำบัดแขนร่วมกับเทคโนโลยีจริงเสมือน [16]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการใช้งานระบบ Rutgers ARM ร่วมกับเทคโนโลยีจริงเสมือนเพื่อใช้ในการบำบัดแขน โดยระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ ตัวตรวจจับตำแหน่ง 3 มิติ โຕ้ะดัดแปลงที่มีความฝืดน้อย ที่สวมใส่แขน และอินเทอร์เน็ตสำหรับการสื่อสารทางไกล โดยตัวอย่างภาพที่แสดงให้เห็นถึงระบบ Rutgers ARM นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.26 โดยการบำบัดแขนด้วยระบบ Rutgers ARM นั้นสามารถทำได้โดยกำหนดให้ผู้ป่วยสอดแขนเข้าไปในท่อสวมใส่แขนที่ได้วางไว้บนโຕ้ะดัดแปลงพร้อมทั้งเคลื่อนแขนไปตามทิศทางที่เกมส์นั้นได้กำหนดไว้ในจอคอมพิวเตอร์ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.27 โดยระบบจะทำการตรวจสอบการเคลื่อนแขนของผู้ป่วยโดยทำการติดตั้งตัวตรวจจับตำแหน่ง 3 มิติ ไว้ที่บริเวณข้อมือของผู้ป่วย โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกมส์ทั้งหมด 2 เกมส์ ได้แก่ เกมส์ The Pick-and-Place และ เกมส์ Breakout 3D ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.28 และรูปที่ 2.29 ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบ Rutgers ARM กับผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกหนึ่งคน โดยทำการทดสอบกับผู้ป่วยดังกล่าวทั้งหมด 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 15 ครั้ง โดยทำการทดสอบใน 12 ครั้งแรกนั้นได้ทำการทดสอบโดยไม่มีการสื่อสารกับนักกายภาพทางไกล และการทดสอบใน 3 ครั้งสุดท้ายนั้นได้ทำการทดสอบโดยมีการสื่อสารกับนักกายภาพทางไกล โดยผลการทดสอบของการบำบัดแขนด้วยระบบ Rutgers ARM นั้นได้แสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยมีช่วงระยะในการงอและเหยียดหัวไหล่ที่มากขึ้น สามารถเข้ารับการฝึกได้นานขึ้น เคลื่อนข้อมือได้ระยะมากขึ้น และมีความเร็วสูงสุดเฉลี่ยในการเคลื่อนแขนที่มากขึ้น



รูปที่ 2.26 การแสดงระบบ Rutgers ARM [16] (ก.) ระบบ Rutgers ARM (ข.) ที่สอดใส่แขนที่วางอยู่บนโຕ้ะดัดแปลง

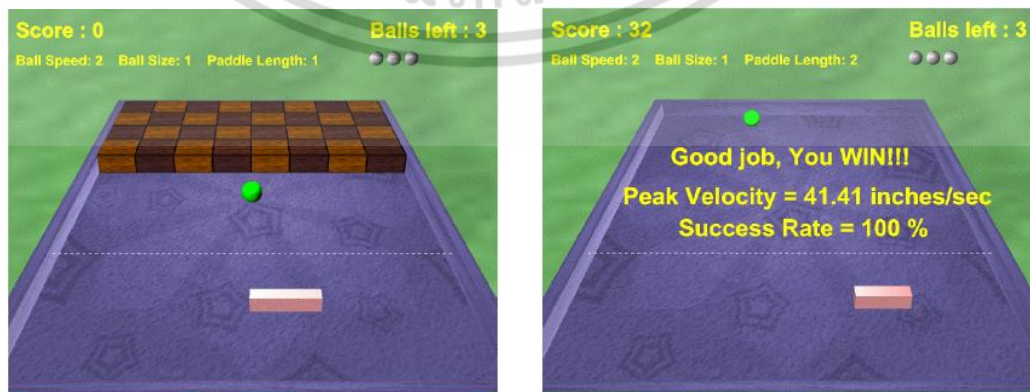
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงการใช้งานระบบ Rutger ARM [16] สำหรับการบำบัดแขน โดยสอดแขนเข้าไปในที่สวมใส่แขนที่วางอยู่บนโต๊ะตัดแปลงแล้วเคลื่อนแขนไปตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนดไว้บนจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.28 แสดงเกมส์ The Pick-and-Place [16]

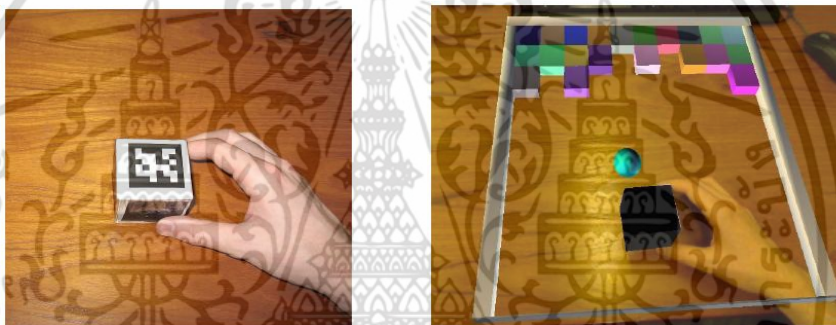


รูปที่ 2.29 แสดงเกมส์ Breakout 3D [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 เกมส์เสมือนจริงสำหรับบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ [17]

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเกมส์สำหรับบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่โดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง โดยการใช้งานระบบดังกล่าวจะทำการติดตั้งกล้องเว็บแคมไว้ใกล้บริเวณดวงตาของผู้ป่วย โดยเลือกทำการติดตั้งไว้ใกล้ดวงตาฝั่งที่ผู้ป่วยนั้นยังขยับร่างกายได้ตามปกติ โดยระบบจะทำการแสดงภาพที่จับได้จากกล้องเว็บแคมในช่วงเวลาจริงซึ่งเป็นภาพที่ใกล้เคียงกับภาพที่ได้จากการมองเห็นด้วยดวงตา และทำการแสดงกราฟฟิกส์สามมิติของเกมส์ลงบนภาพที่จับได้จากกล้องเว็บแคม โดยการฟื้นฟูผู้ป่วยด้วยระบบดังกล่าวนั้นสามารถทำได้โดยกำหนดให้ผู้ป่วยนั่งอยู่หน้าโต๊ะพร้อมทั้งใช้มือหยิบจับและเคลื่อนวัตถุจริงที่ได้ติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้ให้อยู่ภายในภาพที่จับได้จากกล้องเว็บแคมเพื่อตอบสนองต่อเกมส์ดังกล่าว โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกมส์ทั้งหมด 2 เกมส์ ได้แก่ เกมส์ Brick 'a' Break และเกมส์ Shelf Stack โดยที่เกมส์ทั้งสองนั้นเป็นเกมส์ที่ฟื้นฟูผู้ป่วยโดยการเอื้อแขน การหยิบจับ การยกและปล่อยแขน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.30 และรูปที่ 2.31 โดยระบบที่นำเสนอขึ้นนี้ได้แสดงให้เห็นว่าเกมส์เสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นมีศักยภาพที่จะทำให้ผู้ป่วยนั้นเกิดความสนใจในการเล่นเกมส์ซึ่งส่งผลดีต่อการบำบัดผู้ป่วยนั่นเอง



รูปที่ 2.30 เกมส์ Brick 'a' Break [17]



รูปที่ 2.31 เกมส์ Shelf Stack [17]

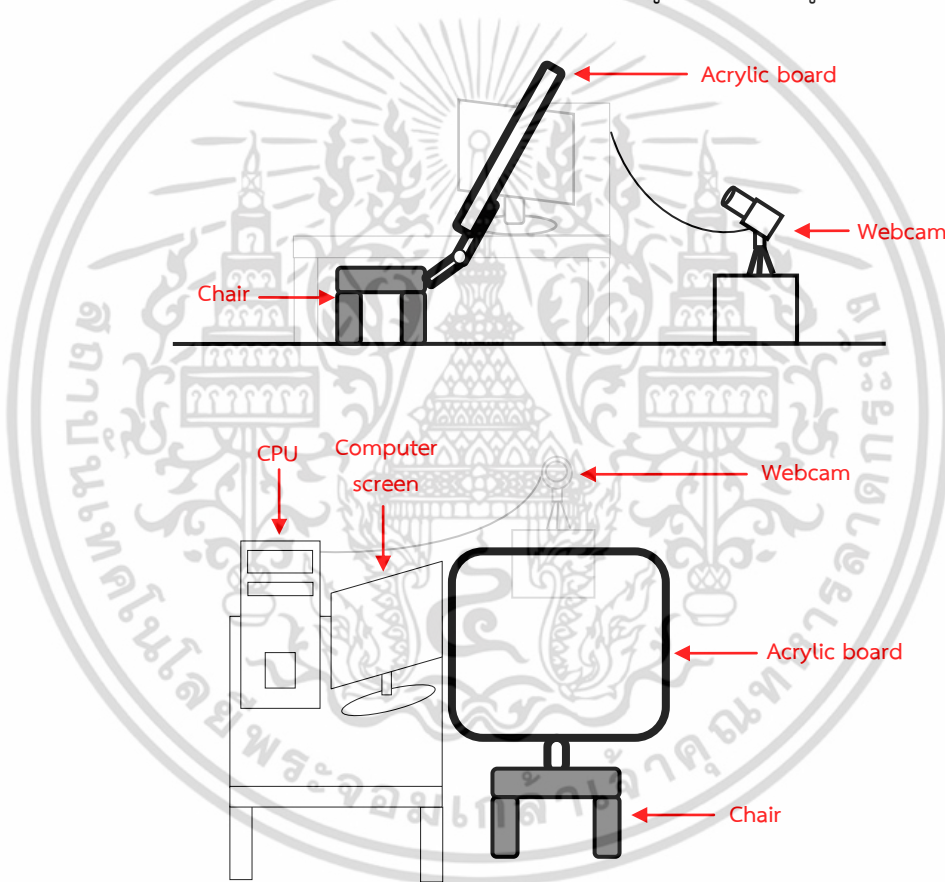
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบ

3.1 แนวคิดของระบบที่นำเสนอ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบสำหรับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่ในระยะหลังอ่อนแรง โดยที่ผู้ป่วยนั้นได้มีการฟื้นฟูจนสามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยตนเองแล้วระดับหนึ่ง โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบดังกล่าวในรูปแบบของเกมส์เสมือนจริงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้ป่วยนั้นได้เข้ารับการฟื้นฟู โดยกระบวนการฟื้นฟูสำหรับระบบที่นำเสนอ นั้นจะกำหนดให้ผู้ป่วยได้พยายามเคลื่อนไหวแขนด้วยตนเองไปตามทิศทางและรูปแบบเงื่อนไขที่เกมส์ได้กำหนด โดยภาพจำลองและภาพจริงของระบบที่นำเสนอ นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ภาพจำลองของระบบที่นำเสนอ

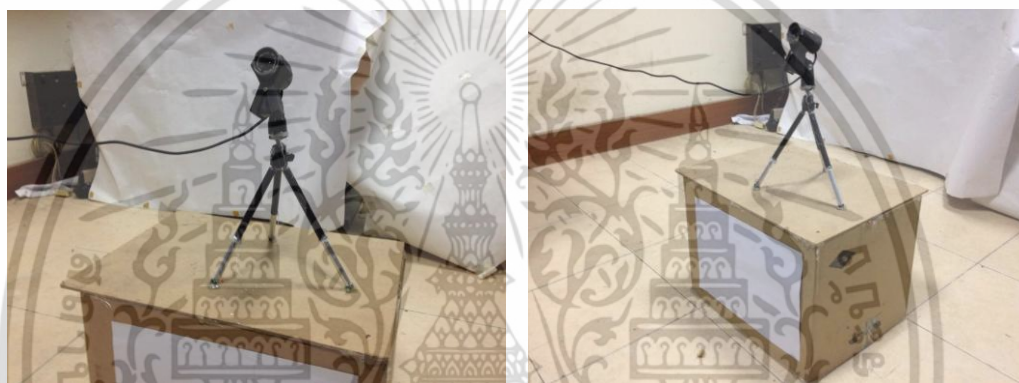
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ภาพจริงของระบบที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ กล้องเว็บแคม และเก้าอี้สำหรับการทดสอบ ที่ได้ติดตั้งแผ่นอะคริลิกไว้ในแนวเอียง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้แผ่นอะคริลิกที่ถูกติดตั้งเข้ากับเก้าอี้สำหรับการทดสอบนั้นมีขนาดเท่ากับ 60 x 60 เซนติเมตร และกำหนดให้กล้องเว็บแคมที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอมีอัตราการแสดงภาพ (frame rate) เท่ากับ 30 เฟรมต่อวินาที โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ทำการเชื่อมต่อกล้องเว็บแคมดังกล่าวเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทางสาย USB และทำการติดตั้งให้กล้องเว็บแคมดังกล่าวนั้นได้หันส่องมายังบริเวณระนาบของแผ่นอะคริลิก โดยการติดตั้งจะทำการจัดตำแหน่งและปรับมุมมองของกล้องเว็บแคมเพื่อให้เฟรมภาพที่รับได้จากกล้องเว็บแคมนั้นสามารถแสดงแผ่นอะคริลิกได้ทั่วทั้งระนาบ โดยภาพจริงของกล้องเว็บแคมที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 และภาพจริงของเก้าอี้สำหรับการทดสอบที่ได้ติดตั้งแผ่นอะคริลิกไว้ในแนวเอียงนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

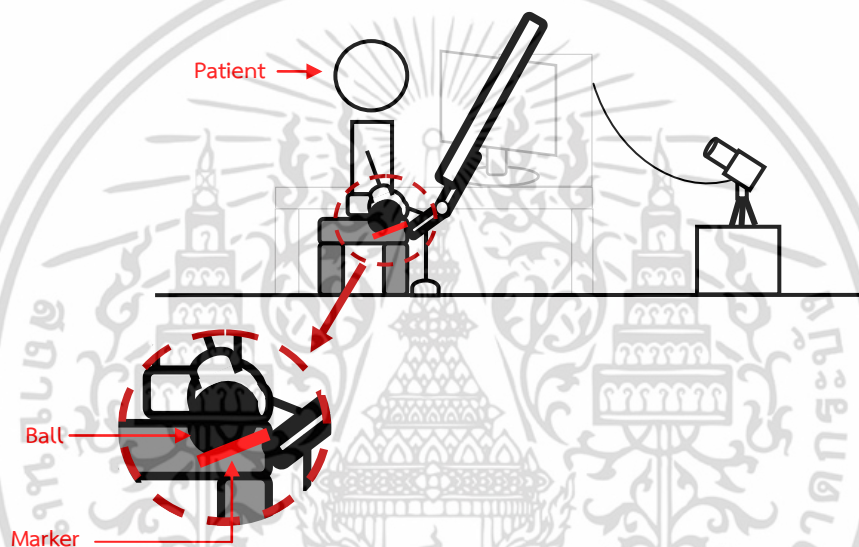


รูปที่ 3.3 ภาพจริงของกล้องเว็บแคมที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอ

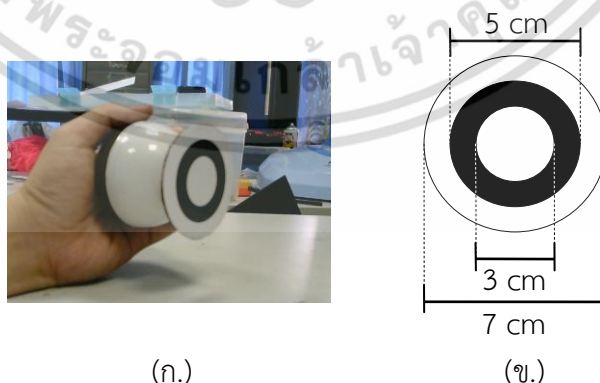


รูปที่ 3.4 ภาพจริงของเก้าอี้สำหรับการทดสอบที่ได้ทำการติดตั้งแผ่นอะคริลิกไว้ในแนวเอียง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการฟื้นฟูผู้ป่วยสำหรับระบบที่นำเสนอจะกำหนดให้ผู้ป่วยนั่งบนเก้าอี้สำหรับการทดสอบและกำหนดให้ผู้ป่วยถือวัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบไว้ในมือของผู้ป่วย ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 โดยวัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบนั้นได้ถูกออกแบบให้มีการติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 (ก.) โดยการออกแบบนั้นได้กำหนดให้มาร์กเกอร์ดังกล่าวมีลักษณะรูปแบบเป็นวงกลมสองวงซ้อนกัน โดยที่วงกลมทั้งสองนั้นมีสีที่ต่างกัน โดยการออกแบบนั้นได้กำหนดให้วงกลมภายในของมาร์กเกอร์นั้นมีสีขาวโดยมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 3 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังกำหนดให้วงกลมภายนอกของมาร์กเกอร์นั้นมีสีดำโดยมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5 เซนติเมตร ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 (ข.) โดยขนาดของวงกลมดังกล่าวนี้ได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้มาร์กเกอร์ดังกล่าวนี้มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะทำให้กล้องเว็บแคมนั้นได้มองเห็นลักษณะของมาร์กเกอร์ได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 3.5 ภาพจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงผู้ป่วยที่ได้ทำการนั่งบนเก้าอี้สำหรับการทดสอบและทำการถือวัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบไว้ในมือของผู้ป่วยเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการฟื้นฟู



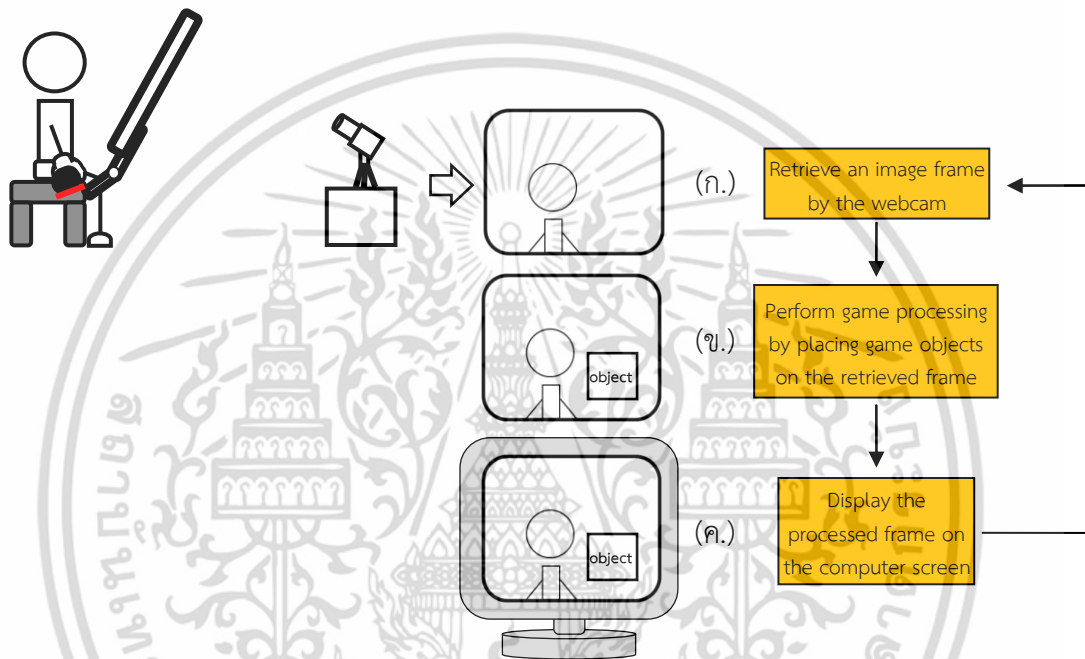
(ก.)

(ข.)

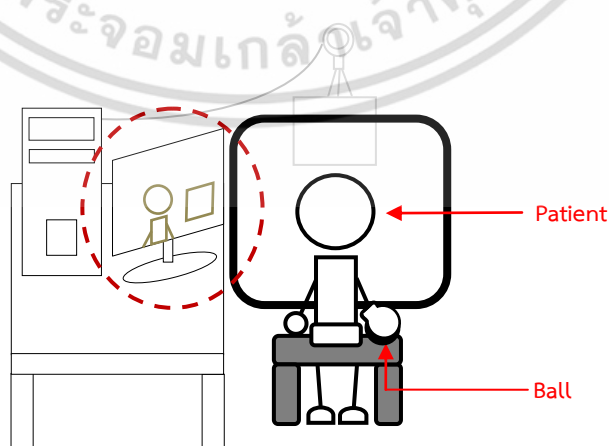
รูปที่ 3.6 วัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบและรูปแบบของมาร์กเกอร์ที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอ (ก.) ภาพจริงของวัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบ (ข.) รูปแบบของมาร์กเกอร์ที่ถูกเลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มต้นกระบวนการฟื้นฟู ระบบจะกำหนดให้กล้องเว็บแคมทำการรับเฟรมภาพของแผ่นอะคลีริกในช่วงเวลาจริง (real time) พร้อมทั้งนำเฟรมภาพที่รับได้ไปทำการประมวลผลเกมส์เสมือนจริง โดยการประมวลผลเกมส์เสมือนจริงนั้นจะทำการวาดวัตถุเสมือนของเกมส์ทับลงบนเฟรมภาพที่รับได้ และทำการนำเฟรมภาพที่ถูกวัตถุเสมือนวาดทับดังกล่าวไปทำการดำเนินเกมส์ตามรูปแบบเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยระบบจะทำการแสดงเกมส์เสมือนจริงที่ได้โดยทำการแสดงเฟรมภาพแต่ละเฟรมที่ได้จากการประมวลผลข้างต้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยขั้นตอนการทำงานของระบบที่นำเสนอสำหรับการแสดงเกมส์เสมือนจริงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



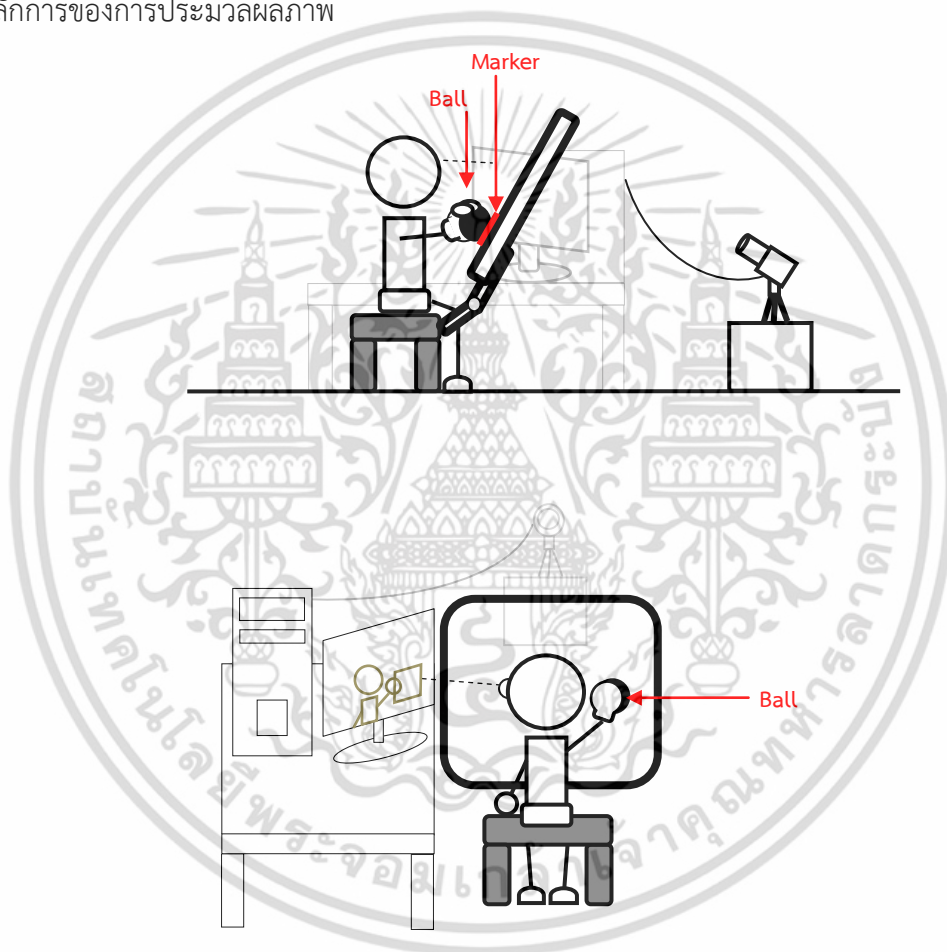
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของระบบที่นำเสนอสำหรับการแสดงเกมส์เสมือนจริงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.8 ภาพจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการแสดงเกมส์เสมือนจริงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นกระบวนการฟื้นฟู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระบบได้ทำการแสดงเกมส์เสมือนจริงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้ว กระบวนการฟื้นฟูจะกำหนดให้ผู้ป่วยทำการเล่นเกมเสมือนจริงดังกล่าวโดยทำการวางส่วนของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่กับวัตถุทรงกลมลงบนแผ่นอะคลีริกเพื่อให้มาร์กเกอร์ดังกล่าวนั้นปรากฏขึ้นบนเฟรมภาพของเกมส์เสมือนจริง หลังจากนั้นผู้ป่วยจะต้องเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริกตามทิศทางและรูปแบบเงื่อนไขที่เกมส์เสมือนจริงได้กำหนด ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 โดยในขณะที่ผู้ป่วยกำลังทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์นั้น ผู้ป่วยจะต้องสังเกตการเคลื่อนที่ของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพเพื่อให้ผู้ป่วยนั้นสามารถเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปตามทิศทางและรูปแบบเงื่อนไขที่เกมส์เสมือนจริงได้กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง โดยระบบจะทำการตรวจสอบว่าผู้ป่วยได้เคลื่อนมาร์กเกอร์ได้ถูกต้องตามทิศทางและรูปแบบเงื่อนไขที่เกมส์ได้กำหนดไว้หรือไม่โดยทำการตรวจหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพโดยใช้หลักการของการประมวลผลภาพ

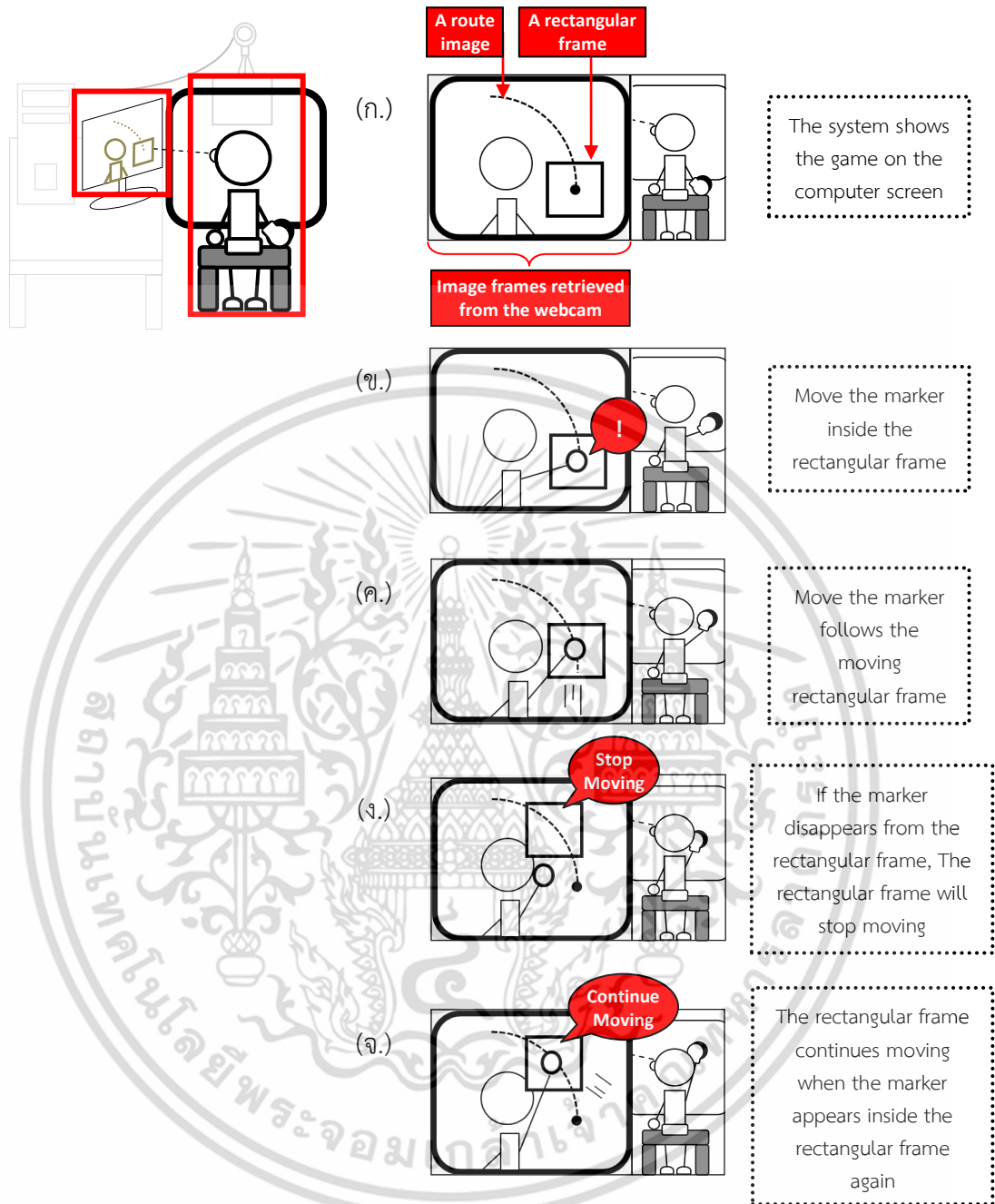


รูปที่ 3.9 ภาพจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเล่นเกมเสมือนจริงโดยทำการวางส่วนของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่กับวัตถุทรงกลมลงบนแผ่นอะคลีริกและทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์ดังกล่าวไปบนแผ่นอะคลีริกตามทิศทางและรูปแบบเงื่อนไขที่เกมส์ได้กำหนดไว้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอโดยเลือกใช้ไลบรารี OpenCV[®] ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows[™] โดยการพัฒนาเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วยการพัฒนา รูปแบบของเกมส์ การประมวลผลเกมส์ การตรวจหามาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพโดยการประมวลผลภาพ และการพัฒนาโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 รูปแบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอ



รูปที่ 3.10 ภาพจำลองที่ได้แสดงถึงรูปแบบของการเล่นเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้น (ก.) ระบบทำการแสดงเกมส์เสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ข.) ผู้เล่นวางมาร์กเกอร์ไว้บนแผ่นอะคลีริคโดยวางให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ค.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริคตามการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยพยายามเคลื่อนให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ (ง.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นหยุดเคลื่อนที่ (จ.) ผู้เล่นทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมอีกครั้ง ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นเคลื่อนที่ต่อไปตามเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้นบนเฟรมภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงถึงรูปแบบของการเล่นเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้น (ก.) ระบบทำการแสดงเกมเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ข.) ผู้เล่นวางมาร์กเกอร์ไว้บนแผ่นอะคลีริกโดยวางให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ค.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริกตามการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยพยายามเคลื่อนให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ (ง.) ผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นหยุดเคลื่อนที่ (จ.) ผู้เล่นทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมอีกครั้ง ซึ่งส่งผลให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นเคลื่อนที่ต่อไปตามเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้นบนเฟรมภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกมส์เสมือนจริงที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นนั้นประกอบขึ้นจากเฟรมภาพที่รับได้จากกล้องเว็บแคม และวัตถุเสมือนของเกมส์ที่ได้วาดทับลงบนเฟรมภาพดังกล่าว โดยวัตถุเสมือนของเกมส์ที่ได้วาดทับลงบนเฟรมภาพนั้นมีด้วยกันทั้งสิ้น 2 ชนิดได้แก่ รูปกรอบสี่เหลี่ยม และรูปภาพของเส้นทาง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 (ก.) และรูปที่ 3.11 (ก.) โดยการเล่นเกมส์เสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นสามารถทำได้โดยทำการวางส่วนของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่กับวัตถุทรงกลมลงบนแผ่นอะคลีริกเพื่อให้มาร์กเกอร์ดังกล่าว นั้นปรากฏขึ้นบนเฟรมภาพของเกมส์เสมือนจริง โดยผู้ป่วยจะต้องวางให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 (ข.) และรูปที่ 3.11 (ข.) โดยระบบจะทำการตรวจสอบว่าได้มีมาร์กเกอร์เข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าว หรือไม่โดยทำการประมวลผลภาพเฉพาะภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น โดยเมื่อระบบได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าวแล้ว ระบบจะทำการเคลื่อนกรอบสี่เหลี่ยมไปตามทิศทางของเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้นบนเฟรมภาพ โดยผู้ป่วยจะต้องเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริก ตามการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยพยายามเคลื่อนให้มาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายใน บริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 (ค.) และรูปที่ 3.11 (ค.)

หากผู้ป่วยเคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม ระบบจะสั่งให้กรอบสี่เหลี่ยม ดังกล่าวนั้นหยุดเคลื่อนที่ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 (ง.) และรูปที่ 3.11 (ง.) โดยระบบจะสั่งให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นหยุดรอจนกว่าผู้ป่วยจะทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาให้อยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมอีกครั้ง โดยเมื่อผู้ป่วยได้เคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าวแล้ว ระบบทำการเคลื่อนกรอบสี่เหลี่ยมไปตามเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้นบนเฟรมภาพต่อไป ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 (จ.) และรูปที่ 3.11 (จ.) โดยการดำเนินเกมส์นั้นจะสิ้นสุดลงเมื่อกรอบสี่เหลี่ยมนั้นได้เคลื่อนมายังจุดปลายทางของเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้นบนเฟรมภาพ

ในขณะที่ผู้ป่วยกำลังทำการเล่นเกมส์นั้น ระบบจะทำการนับจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดที่ผู้ป่วยนั้นได้เคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม โดยระบบจะทำการแสดงจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดลงบนเฟรมภาพเพื่อให้ผู้ป่วยนั้นได้ทราบถึงจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเล่นเกมส์

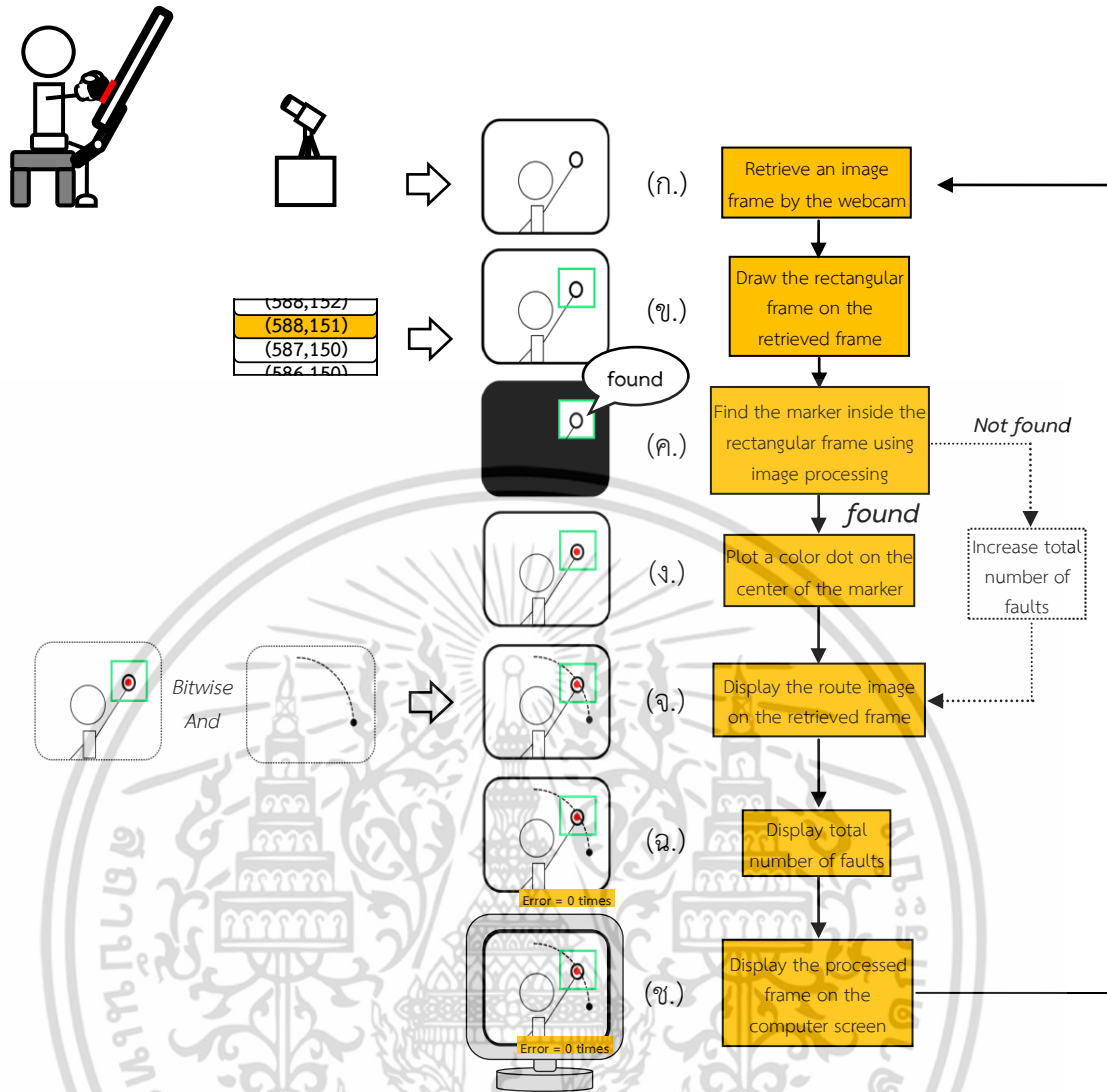
3.3 การประมวลผลเกมส์เสมือนจริงสำหรับระบบที่นำเสนอ

ลำดับการประมวลผลของเกมส์เสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ การประมวลผลในขั้นแรกนั้นจะทำการรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมจากกล้องเว็บแคมเพื่อนำเฟรมภาพที่รับได้มาทำการประมวลผลดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (ก.) หรือรูปที่ 3.13 (ก.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมทับลงบนเฟรมภาพที่รับได้ ณ ตำแหน่งพิกเซลที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (ข.) หรือรูปที่ 3.13 (ข.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมโดยทำการประมวลผลภาพเฉพาะภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (ค.) หรือรูปที่ 3.13 (ค.) ซึ่งหากการประมวลผลภาพนั้นได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม

การประมวลผลจะทำการแสดงผลลัพธ์ของการตรวจหาโดยทำการวาดจุดสีลงบนตำแหน่งจุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

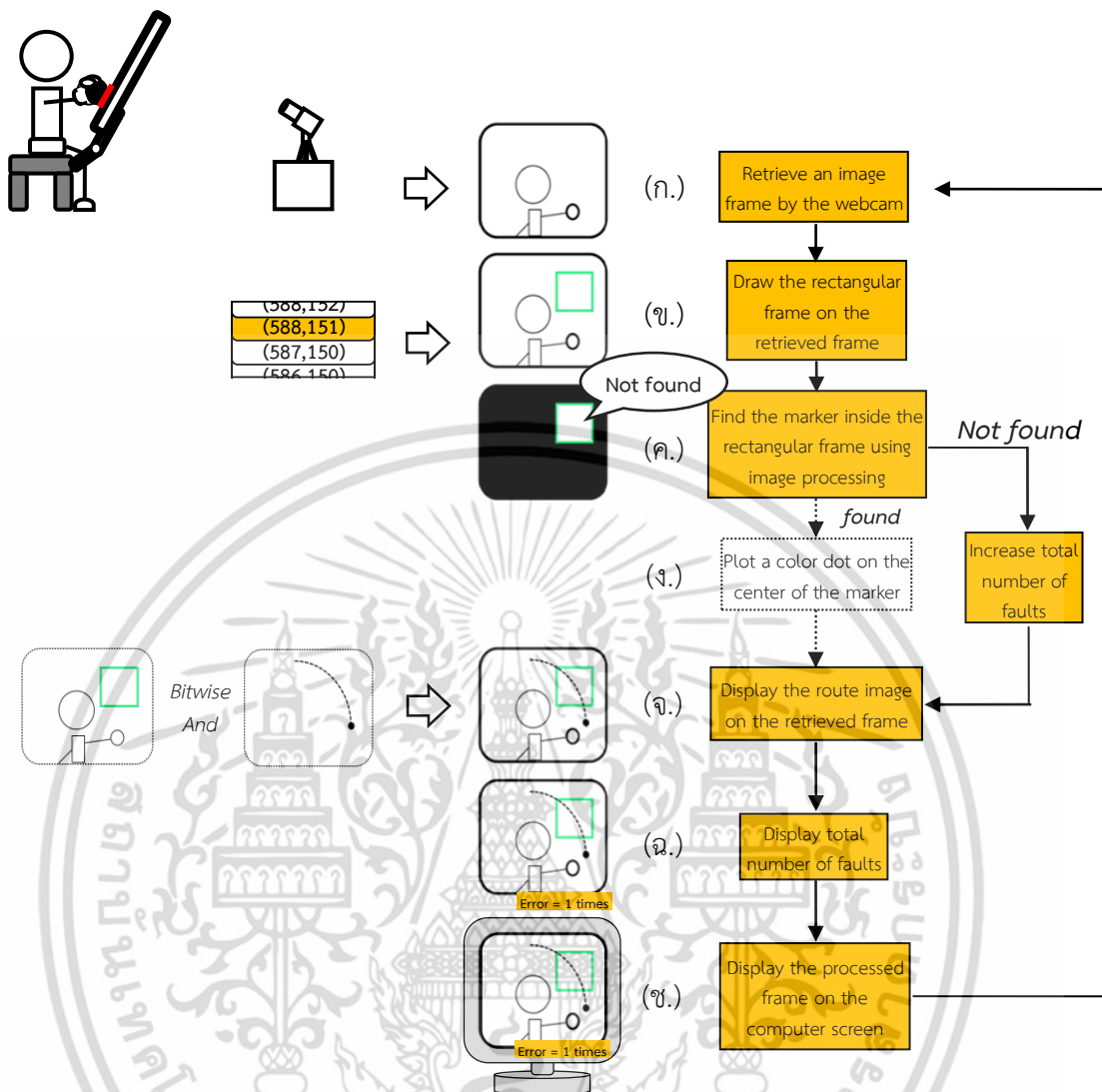
ศูนย์กลางของมาร์กเกอร์ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (ง.) แต่หากการประมวลผลภาพนั้นตรวจไม่พบ มาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม การประมวลผลจะทำการเพิ่มจำนวนครั้งของความผิดพลาดที่ได้บันทึกไว้ขึ้น 1 ค่า ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 (ง.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยมลงบนเฟรมภาพ โดยทำการนำเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมกับภาพของเส้นทางที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้ามาทำการคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ร่วมกันแบบบิตต่อบิตโดยใช้ตัวดำเนินการเชิงตรรก “และ” (Bitwise AND operator) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (จ.) หรือรูปที่ 3.13 (จ.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการแสดงจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดที่ได้บันทึกไว้ในระบบลงบนเฟรมภาพเพื่อแสดงให้เห็นถึงจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดที่ผู้ป่วยนั้นได้เคลื่อน มาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (ฉ.) หรือรูปที่ 3.13 (ฉ.)

เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผลทั้งหมดข้างต้นแล้ว ระบบจะทำการแสดงเฟรมภาพที่ผ่านการประมวลผลทั้งหมดข้างต้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (ซ.) หรือรูปที่ 3.13 (ซ.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมเฟรมถัดไปจากกล้องเว็บแคมพร้อมทั้งนำเฟรมภาพที่รับได้มาทำการประมวลผลและแสดงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ตามลำดับขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเช่นเดียวกันกับการประมวลผลของเฟรมภาพก่อนหน้า โดยระบบจะทำการรับเฟรมภาพจากกล้องเว็บแคมพร้อมทั้งนำเฟรมภาพที่รับได้มาทำการประมวลผลและแสดงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งการดำเนินเกมนั้นได้สิ้นสุดลง



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการประมวลผลเกมส์เสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นในกรณีที่มีการประมวลผลนั้นตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ก.) การรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมจากกล้องเว็บแคม (ข.) การวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมทับลงบนเฟรมภาพที่ได้รับได้ (ค.) การตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมโดยทำการประมวลผลภาพเฉพาะภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น (ง.) การวาดจุดสีลงบนจุดศูนย์กลางของมาร์กเกอร์เพื่อแสดงให้เห็นว่าการประมวลผลนั้นได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (จ.) การแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยมลงบนเฟรมภาพ โดยนำเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมและภาพของเส้นทางการเคลื่อนที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้ามาคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ร่วมกันแบบบิตต่อบิตโดยใช้ตัวดำเนินการเชิงตรรก “และ” (ฉ.) การแสดงจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเล่นเกมส์ (ช.) การแสดงเฟรมภาพที่ได้จากการประมวลผลทั้งหมดข้างต้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

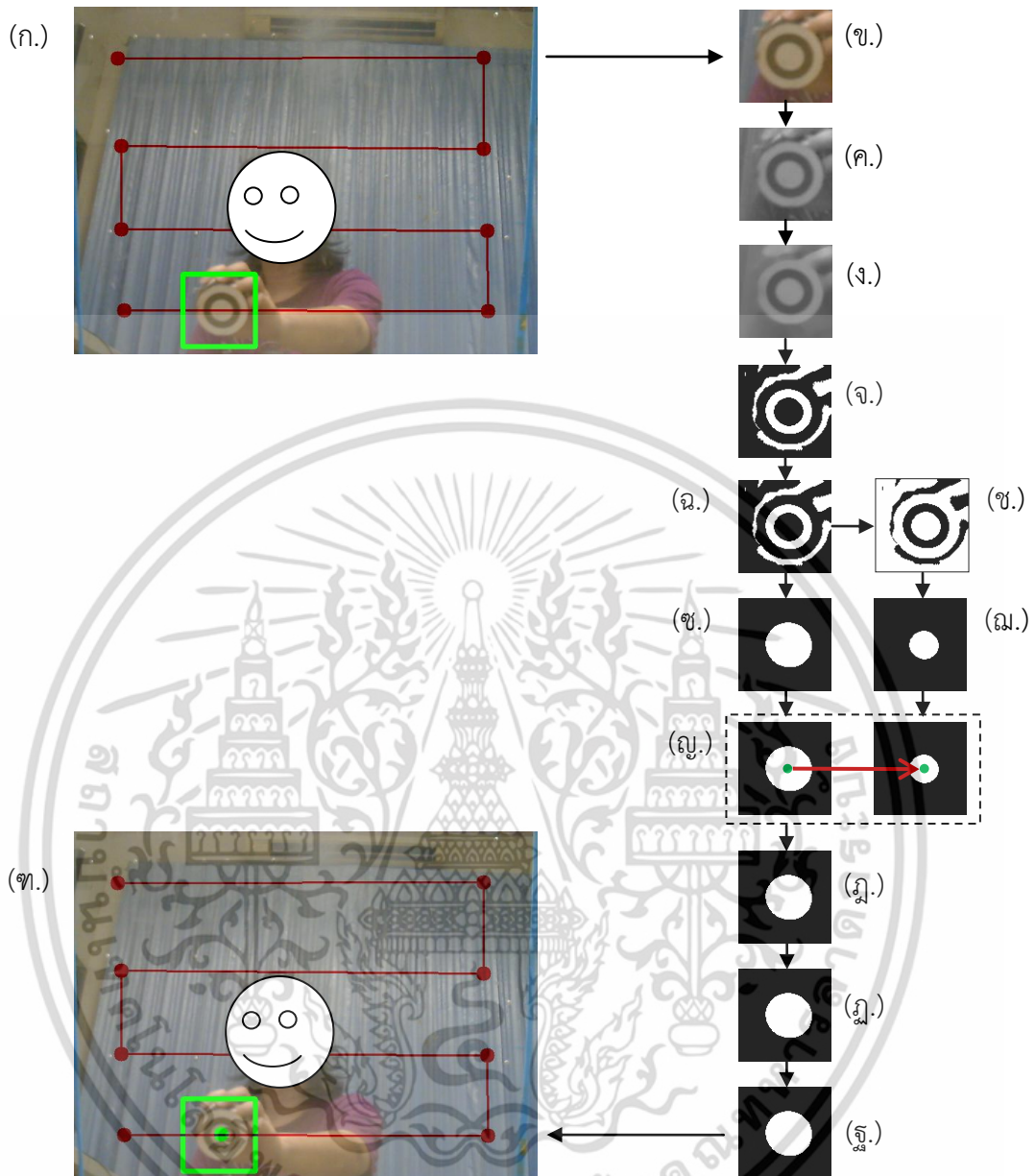
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการประมวลผลเกมส์เสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นในกรณีที่มีการประมวลผลนั้นตรวจไม่พบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ก.) การรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมจากกล้องเว็บแคม (ข.) การวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมทับลงบนเฟรมภาพที่ได้รับได้ (ค.) การตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมโดยทำการประมวลผลภาพเฉพาะภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น (ง.) การเพิ่มจำนวนครั้งของความผิดพลาดที่ได้บันทึกไว้ขึ้น 1 ค่า เนื่องจากการประมวลผลนั้นตรวจไม่พบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (จ.) การแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยมลงบนเฟรมภาพ โดยนำเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมและภาพของเส้นทางที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้ามาคำนวณเชิงตรรกศาสตร์ร่วมกันแบบบิตต่อบิตโดยใช้ตัวดำเนินการเชิงตรรก “และ” (ฉ.) การแสดงจำนวนครั้งของความผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเล่นเกมส์ (ช.) การแสดงเฟรมภาพที่ได้จากการประมวลผลทั้งหมดข้างต้นออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมโดยการประมวลผลภาพ



รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ก.)

เฟรมภาพของสภาพแวดล้อมที่ถูกกรอบสี่เหลี่ยมมาดทับแล้ว (ข.) การกำหนดขอบเขตบริเวณที่สนใจสำหรับการประมวลผลภาพภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (ค.) การแปลงภาพให้เป็นภาพระดับเทา (ง.) การใช้ฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลาง (จ.) การทำเทรซโฮล์สภาพแบบตัดแปลงย้อนกลับ (ฉ.) การปิดภาพ (ช.) การสลัดสีของพิกเซล (ฌ.) การตรวจหาคอนทัวร์ที่มีคอนทัวร์ย่อยภายใน (ฎ.) การตรวจหาคอนทัวร์ที่ไม่มีคอนทัวร์ย่อยภายใน (ญ.) การหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์และการตรวจสอบสีของพิกเซลตามตำแหน่งจุดศูนย์กลางดังกล่าว (ฎ.) คอนทัวร์ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบลักษณะสี (ฏ.) คอนทัวร์ที่มีค่าความดันมากกว่า 0.9 (ฐ.) คอนทัวร์ที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางและขนาดรัศมีที่ใกล้เคียงกับคอนทัวร์ผลลัพธ์ของเฟรมก่อนหน้ามากที่สุด (ฑ.) การแสดงผลลัพธ์ของการตรวจหาโดยทำการวาดจุดสีลงบนตำแหน่งจุดศูนย์กลางของมาร์กเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

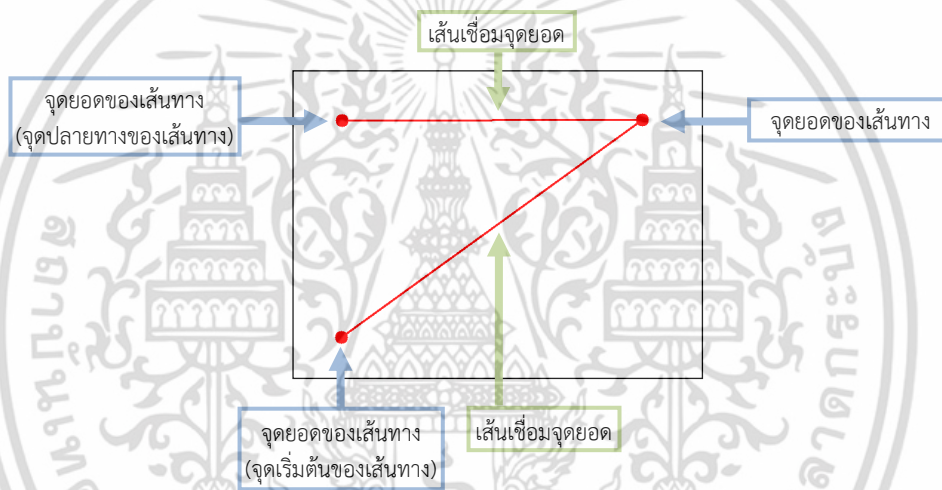
การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมนี้จะทำการนำเฟรมภาพที่ถูกกรอบสี่เหลี่ยมวาดทับแล้วมาทำการประมวลผลตามขั้นตอนที่แสดงไว้ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ การประมวลผลในขั้นแรกนั้นจะทำการกำหนดขอบเขตบริเวณที่สนใจสำหรับการประมวลผลภาพภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ข.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการแปลงภาพที่ได้จากการกำหนดขอบเขตบริเวณที่สนใจให้เป็นภาพระดับเทา พร้อมทั้งกำจัดพิกเซลขนาดเล็กออกไปโดยเลือกใช้ฟิลเตอร์ภาพแบบค่ากลาง (median filter) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ค.) และรูปที่ 3.14 (ง.) ตามลำดับ หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการทำเทรซโฮล์ดภาพแบบตัดแปลงย้อนกลับ (inverse adaptive thresholding) โดยกำหนดให้หน้าต่างสำหรับการทำงานเทรซโฮล์ดดังกล่าวนั้นมีขนาดเท่ากับ 15×15 และกำหนดให้ค่าคงที่สำหรับการปรับแต่งค่าเทรซโฮล์ดนั้นมีค่าเท่ากับ 5 โดยผลลัพธ์ของการทำเทรซโฮล์ดภาพแบบตัดแปลงย้อนกลับนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (จ.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการปิดภาพ (Closing) โดยเลือกใช้หน้าต่างสำหรับการปิดภาพที่มีรูปแบบเป็นวงกลมและมีขนาดเท่ากับ 3×3 พิกเซล โดยผลลัพธ์ของการปิดภาพนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ฉ.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการนำภาพที่ได้จากการปิดภาพมาทำการคำนวณเชิงตรรกศาสตร์แบบบิตต่อบิตโดยใช้ตัวดำเนินการเชิงตรรก “นิเสธ” (Bitwise not operator) เพื่อทำการสลับสีของพิกเซลภายในภาพ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ช.)

หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการนำรูปที่ 3.14 (ฉ.) มาทำการตรวจหาคอนทัวร์ที่มีคอนทัวร์ย่อยอยู่ภายใน โดยเมื่อการประมวลผลได้ตรวจพบแล้ว การประมวลผลจะทำการวาดคอนทัวร์ทุกคอนทัวร์ที่ตรวจพบลงในภาพใหม่และทำการเติมพิกเซลสีขาวลงในคอนทัวร์ทุกคอนทัวร์ที่ตรวจพบ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ซ.) นอกจากนี้การประมวลผลยังทำการนำรูปที่ 3.14 (ซ.) มาทำการตรวจหาคอนทัวร์ที่ไม่มีคอนทัวร์ย่อยอยู่ภายใน โดยเมื่อการประมวลผลได้ตรวจพบแล้ว การประมวลผลจะทำการวาดคอนทัวร์ทุกคอนทัวร์ที่ตรวจพบลงในภาพใหม่และทำการเติมพิกเซลสีขาวลงในคอนทัวร์ทุกคอนทัวร์ที่ตรวจพบ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ฌ.)

เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจหาคอนทัวร์ข้างต้นแล้ว การประมวลผลจะทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์ทุกคอนทัวร์ภายในรูปที่ 3.14 (ซ.) โดยเลือกใช้สมการที่ (2.12) และสมการที่ (2.13) ตามลำดับ หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการนำตำแหน่งจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์ที่ได้ทั้งหมดไปทำการตรวจสอบลักษณะสีของพิกเซลภายในรูปที่ 3.14 (ฌ.) ตามตำแหน่งจุดศูนย์กลางดังกล่าว โดยการประมวลผลนั้นจะทำการคัดเลือกตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่นำไปตรวจสอบภายในรูปที่ 3.14 (ฌ.) แล้วพบว่าพิกเซลที่ถูกตรวจสอบนั้นเป็นพิกเซลสีขาว โดยเมื่อเสร็จสิ้นการคัดเลือกตำแหน่งจุดศูนย์กลางดังกล่าวแล้ว การประมวลผลจะทำการตรวจสอบว่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ถูกเลือกนั้นเป็นตำแหน่งจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์ใดภายในรูปที่ 3.14 (ซ.) โดยเมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบแล้ว การประมวลผลจะทำการแสดงคอนทัวร์ทั้งหมดที่ผ่านการตรวจสอบดังกล่าวลงในภาพใหม่ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ฎ.)

เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจหาคอนทัวร์ข้างต้นแล้ว การประมวลผลจะทำการหาค่าความตัน (Solidity) ของคอนทัวร์ทั้งหมดที่ได้ โดยการประมวลผลนั้นได้กำหนดให้คอนทัวร์ที่มีค่าความตันมากกว่า 0.9 นั้นเป็นคอนทัวร์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยการประมวลผลจะทำการแสดงคอนทัวร์ที่ผ่านเกณฑ์เงื่อนไขดังกล่าวลงในภาพใหม่ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ฎ.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการนำคอนทัวร์ทุกคอนทัวร์ที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบตำแหน่งจุดศูนย์กลางและขนาดรัศมีกับคอนทัวร์ผลลัพธ์ของเฟรมก่อนหน้า โดยการประมวลผลจะทำการเลือกคอนทัวร์ที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางและขนาดรัศมีที่ใกล้เคียงกับคอนทัวร์ผลลัพธ์ของเฟรมก่อนหน้ามากที่สุด ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (ฐ.) โดยเมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผลทั้งหมดข้างต้นแล้ว การประมวลผลจะทำการแสดงผลของการตรวจหาโดยทำการวาดจุดสี่ ๓ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์ที่ได้ลงบนเฟรมภาพดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 (๗.)

3.5 การพัฒนาโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง

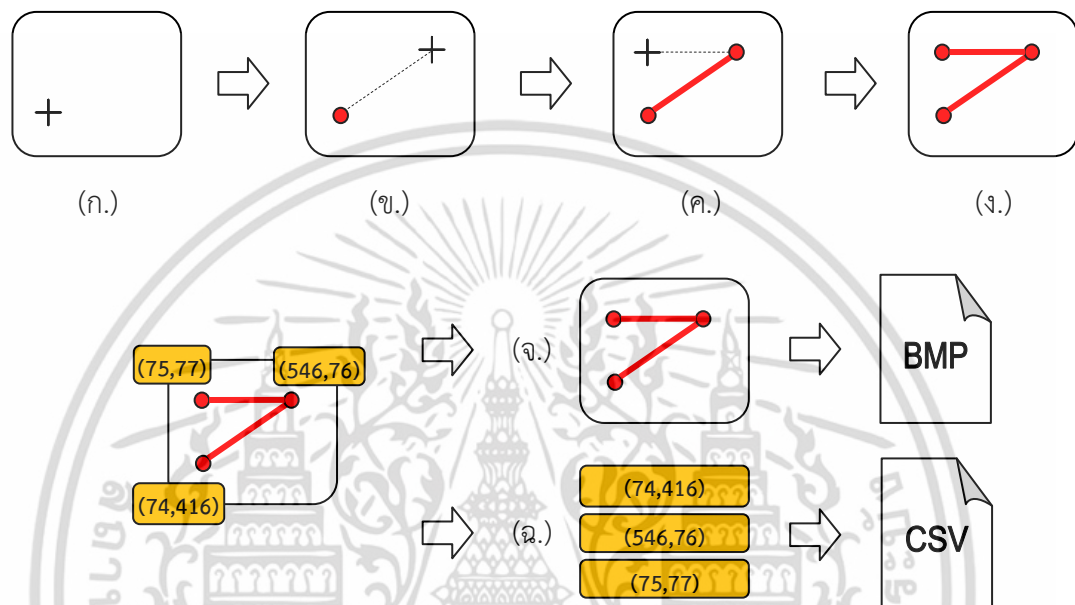


รูปที่ 3.15 ตัวอย่างของเส้นทางที่ถูกสร้างขึ้นจากโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทางขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างเส้นทางสำหรับการเคลื่อนที่ของกรอปสี่เหลี่ยมในเกมส์ โดยรูปแบบของเส้นทางที่ถูกสร้างขึ้นจากโหมดดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นทางที่ถูกสร้างขึ้นนั้นประกอบขึ้นจากจุดยอดของเส้นทางหลายๆจุดและเส้นเชื่อมจุดยอดหลายๆเส้น โดยเส้นทางที่ได้สร้างขึ้นนั้นได้กำหนดให้จุดยอดจุดหนึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทาง และกำหนดให้จุดยอดอีกจุดหนึ่งเป็นจุดปลายทางของเส้นทาง

การสร้างเส้นทางด้วยโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทางนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อเริ่มต้นการทำงานของโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง ระบบจะกำหนดให้กล้องเว็บแคมทำการรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาจริงและทำการแสดงเฟรมภาพที่รับได้ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 (ก.) โดยโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทางนั้นจะกำหนดให้ผู้ใช้งานทำการคลิกเมาส์ตามตำแหน่งพิกเซลต่างๆบนเฟรมภาพเพื่อกำหนดตำแหน่งจุดยอดแต่ละจุดของเส้นทางบนเฟรมภาพดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 (ข.) ถึงรูปที่ 3.16 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ง.) หรือรูปที่ 3.17 (ก.) ถึงรูปที่ 3.17 (ค.) โดยในขณะที่ผู้ใช้งานกำลังคลิกเมาส์เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดยอดนั้น ระบบจะทำการแสดงเส้นเชื่อมจุดยอดโดยทำการวาดเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุดยอดสองจุดที่มีลำดับการคลิกเมาส์ติดต่อกัน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 (ข.) ถึงรูปที่ 3.16 (ง.) หรือรูปที่ 3.17 (ก.) ถึงรูปที่ 3.17 (ค.) โดยโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทางนั้นจะกำหนดให้จุดยอดจุดแรกที่ถูกผู้ใช้งานได้คลิกเมาส์นั้นเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทาง และกำหนดให้จุดยอดจุดสุดท้ายที่ถูกผู้ใช้งานได้คลิกเมาส์นั้นเป็นจุดปลายทางของเส้นทาง



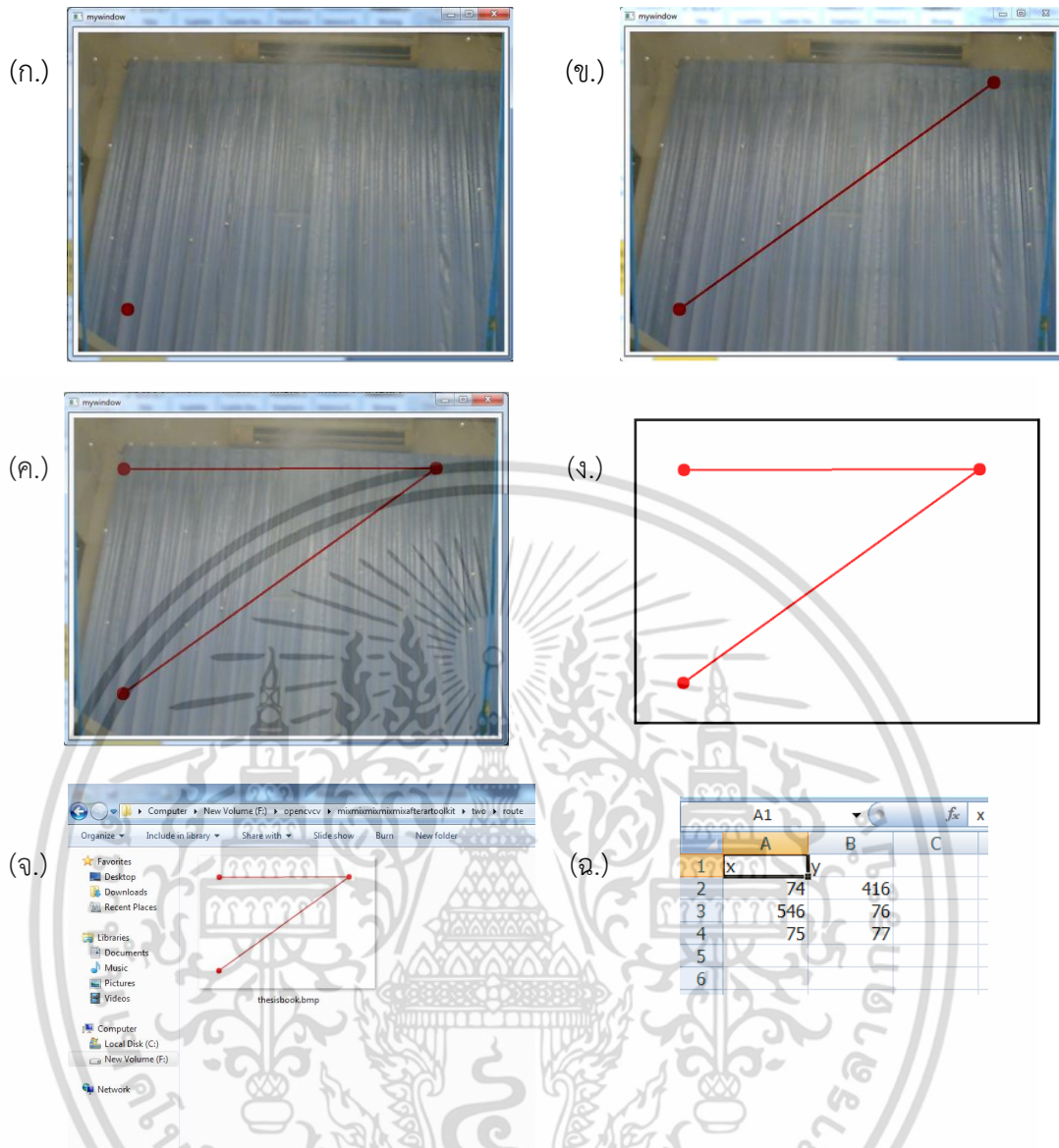
รูปที่ 3.16 ภาพจำลองที่ได้แสดงถึงการสร้างเส้นทางด้วยโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง (ก.) – (ง.) ผู้ใช้งานคลิกเมาส์ลงบนเฟรมภาพเพื่อกำหนดตำแหน่งจุดยอดแต่ละจุดของเส้นทาง โดยในขณะที่ผู้ใช้งานกำลังคลิกเมาส์เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดยอดนั้น ระบบจะทำการแสดงเส้นเชื่อมจุดยอดที่เกิดขึ้น โดยทำการวาดเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุดยอดสองจุดที่มีลำดับการคลิกเมาส์ติดต่อกัน (จ.) การบันทึกภาพของเส้นทางในรูปแบบสกุลไฟล์ .bmp (ฉ.) การบันทึกไฟล์พิกเซลของจุดยอดในรูปแบบสกุลไฟล์ .csv โดยเรียงลำดับการบันทึกจากจุดยอดจุดแรกที่ถูกผู้ใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดเริ่มต้นของเส้นทาง) ไปยังจุดยอดจุดสุดท้ายที่ถูกผู้ใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดปลายทางของเส้นทาง)

เมื่อผู้ใช้งานได้ทำการสร้างเส้นทางเสร็จสิ้น โหมดการสร้างรูปแบบเส้นทางจะทำการบันทึกภาพของเส้นทางที่ผู้ใช้งานได้สร้างขึ้นในรูปแบบสกุลไฟล์ .bmp และทำการบันทึกตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดทั้งหมดที่ผู้ใช้งานได้กำหนดขึ้นในรูปแบบสกุลไฟล์ .csv ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 (จ.) และรูปที่ 3.16 (ฉ.) หรือรูปที่ 3.17 (จ.) และรูปที่ 3.17 (ฉ.) ตามลำดับ โดยการบันทึกตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดนั้นจะทำการเรียงลำดับการบันทึกตามลำดับการคลิกเมาส์ของผู้ใช้งาน โดยเรียงลำดับจากจุดยอดจุดแรกที่ถูกผู้ใช้งานได้คลิกเมาส์ (จุดเริ่มต้นของเส้นทาง) ไปยังจุดยอดจุดสุดท้ายที่ถูกผู้ใช้งานได้คลิกเมาส์ (จุดปลายทางของเส้นทาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

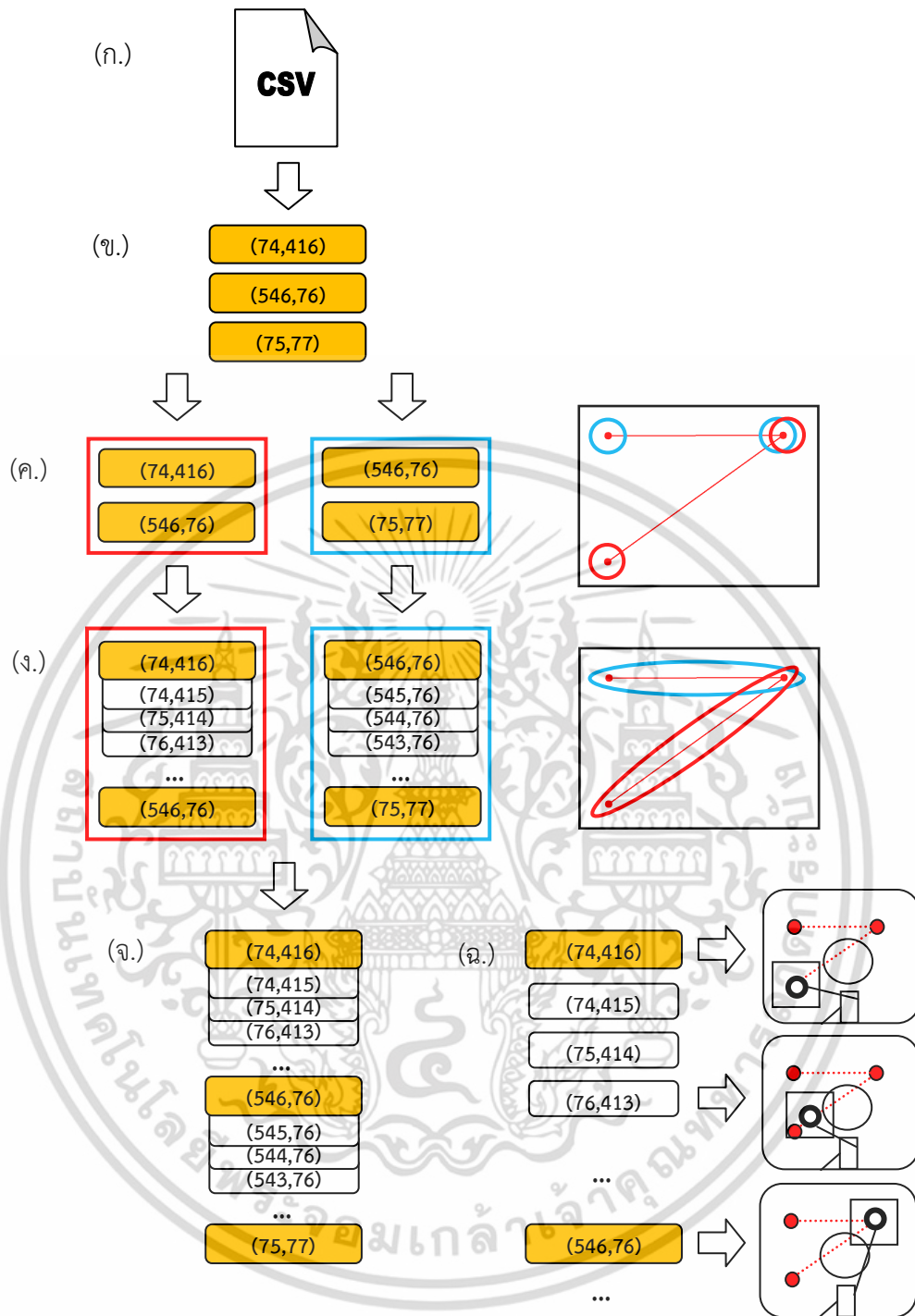
ก่อนเริ่มทำการเล่นเกมส์เสมือนจริงดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 นั้น ระบบจะทำการนำไฟล์พิกเซลของจุดยอดที่ได้จากโหมตการสร้างรูปแบบเส้นทางไปทำการประมวลผล ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 (ก.) โดยการประมวลผลในขั้นแรกนั้นจะทำการนำเข้าตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดที่อยู่ภายในไฟล์ดังกล่าว ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 (ข.) หลังจากนั้นการประมวลผลจะทำการนำตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดที่มีลำดับการคลิกเมาส์ติดต่อกันมาทำการจับคู่กัน ดังแสดงได้รูปที่ 3.18 (ค.) โดยการประมวลผลจะทำการนำคู่จุดยอดที่ได้มาทำการสแกนหาเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างคู่จุดยอดโดยใช้หลักการของ Bresenham algorithm ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 (ง.) โดยเมื่อการประมวลผลได้ทำสแกนหาเส้นตรงดังกล่าวได้ครบทุกเส้นแล้ว การประมวลผลจะทำการนำชุดพิกเซลของเส้นตรงทุกเส้นที่ได้จากการสแกนดังกล่าวมาทำการเรียงต่อกันเพื่อให้ได้ชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทาง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 (จ.)

เมื่อเริ่มทำการเล่นเกมส์เสมือนจริงดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 แล้ว ระบบจะทำการนำภาพของเส้นทางและชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทางที่ได้ไปใช้ในการประมวลผลเกมส์ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3 โดยการประมวลผลเกมส์จะทำการนำชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทางไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งพิกเซลสำหรับการวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 (ฉ.) นอกจากนี้การประมวลผลเกมส์ยังทำการนำภาพของเส้นทางที่ได้ไปทำการคำนวณเชิงตรรกศาสตร์แบบบิตต่อบิต โดยใช้ตัวดำเนินการเชิงตรรก “และ” ร่วมกับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อม เพื่อทำการแสดงเส้นทางดังกล่าวออกทางเฟรมภาพนั่นเอง



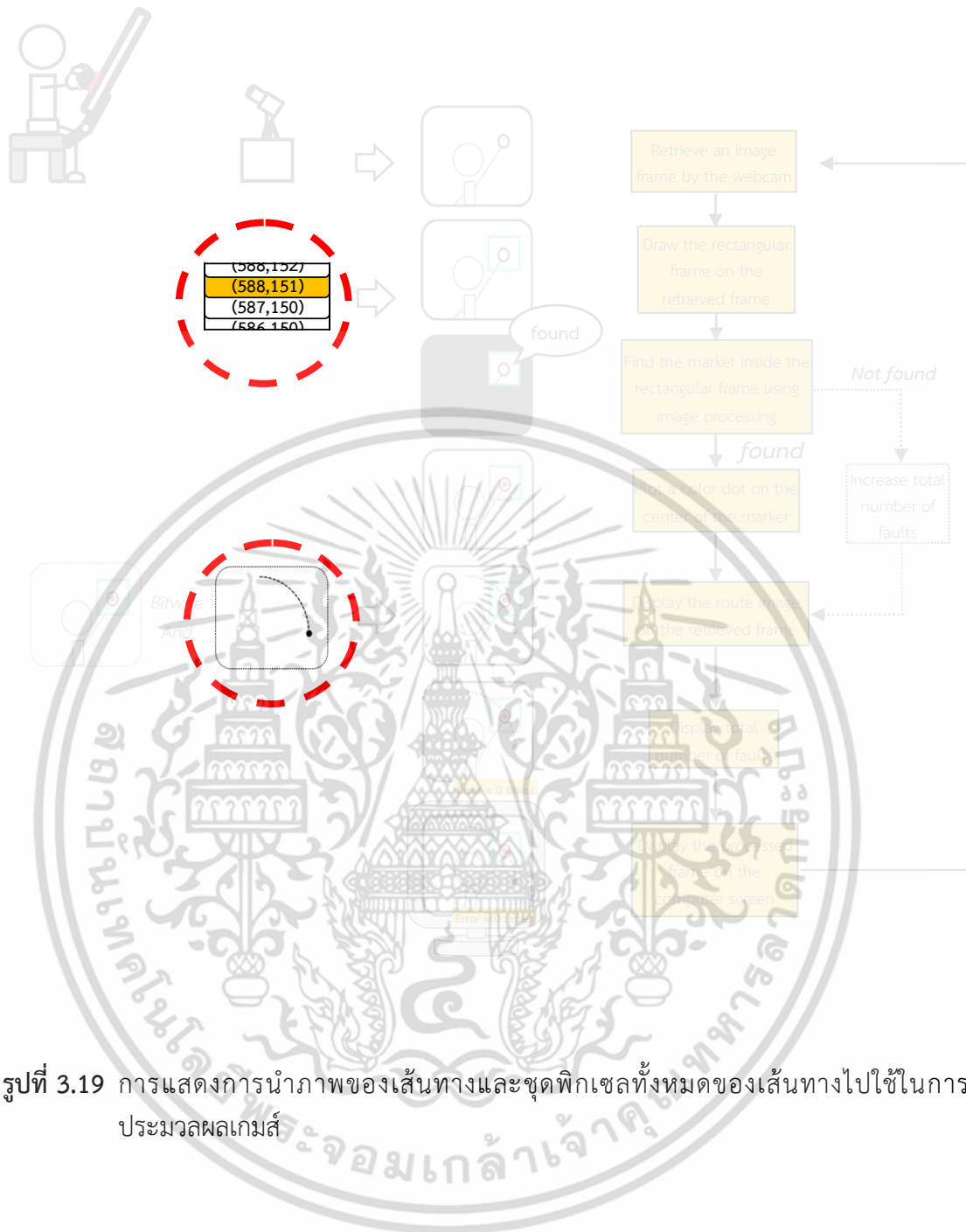
รูปที่ 3.17 ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงถึงการสร้างเส้นทางด้วยโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทาง (ก.) – (ค.) ผู้ใช้งานคลิกเมาส์ลงบนเฟรมภาพเพื่อทำการกำหนดตำแหน่งจุดยอดแต่ละจุดของเส้นทาง โดยระบบจะทำการแสดงเส้นเชื่อมจุดยอดแต่ละเส้นที่ได้ในขณะทำการสร้างเพื่อทำการแสดงเส้นทางที่ผู้ใช้งานได้สร้างขึ้น (ง.) เส้นทางที่ผู้ใช้งานได้สร้างขึ้น (จ.) การแสดงการบันทึกภาพของเส้นทางลงในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ (ฉ.) ไฟล์ที่ได้บันทึกตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดของเส้นทางที่ผู้ใช้งานได้กำหนดขึ้น โดยเรียงลำดับการบันทึกจากจุดยอดจุดแรกที่คุณใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดเริ่มต้นของเส้นทาง) ไปยังจุดยอดจุดสุดท้ายที่คุณใช้งานได้ทำการคลิกเมาส์ (จุดปลายทางของเส้นทาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การนำไฟล์ตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดที่ได้จากโหมดการสร้างรูปแบบเส้นทางไปทำการประมวลผลก่อนเริ่มทำการเล่นเกมส์เสมือนจริง (ก.) การนำเข้าไฟล์ตำแหน่งพิกเซลของจุดยอด (ข.) ตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดทั้งหมดของเส้นทางที่อยู่ภายในไฟล์ (ค.) การนำตำแหน่งพิกเซลของจุดยอดสองจุดที่มีลำดับการคลิกเมาส์ติดต่อกันมาทำการจับคู่กัน (ง.) การหาชุดพิกเซลของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุดยอดแต่ละคู่ (จ.) การนำชุดพิกเซลของเส้นตรงทั้งหมดมาทำการเรียงต่อกันเพื่อให้ได้ชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทาง (ฉ.) การนำชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทางไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งพิกเซลสำหรับการวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การแสดงการนำภาพของเส้นทางและชุดพิกเซลทั้งหมดของเส้นทางไปใช้ในการประมวลผลเกมส์

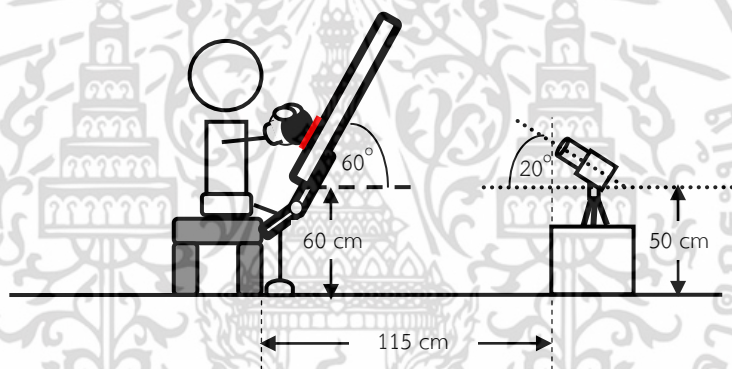
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบระบบที่นำเสนอ

งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ทำการจัดวางและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับระบบที่นำเสนอ ก่อนเริ่มต้นทำการทดสอบ โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ทำการติดตั้งกล้องเว็บแคมให้อยู่สูงจากระดับพื้นด้วยระดับความสูงเท่ากับ 50 เซนติเมตร และกำหนดให้กล้องเว็บแคมดังกล่าวนั้นเอียงด้วยมุมเอียง 20 องศาเทียบกับระดับพื้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้กำหนดให้ทำการติดตั้งแผ่นอะคลีริกเข้ากับเก้าอี้สำหรับการทดสอบ โดยกำหนดให้แผ่นอะคลีริกดังกล่าวนั้นอยู่สูงจากระดับพื้นด้วยระดับความสูงเท่ากับ 60 เซนติเมตร และกำหนดให้แผ่นอะคลีริกดังกล่าวนั้นเอียงด้วยมุมเอียง 60 องศาเทียบกับระดับพื้น โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระยะห่างระหว่างกล้องเว็บแคมและเก้าอี้สำหรับการทดสอบนั้นมีค่าเท่ากับ 115 เซนติเมตร โดยแบบจำลองของการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับระบบที่นำเสนอ ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

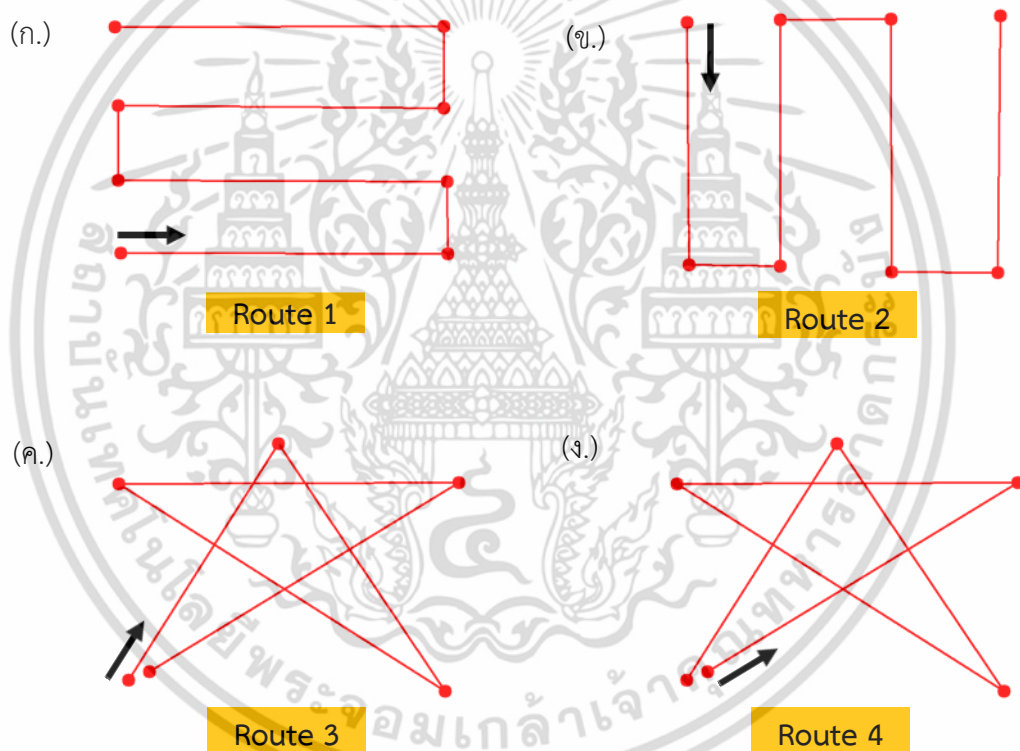


รูปที่ 4.1 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับระบบที่นำเสนอ ก่อนเริ่มต้นทำการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้เลือกผู้เล่นที่ไม่มีพื้นฐานการเล่นเป็นจำนวนทั้งสิ้น 1 ราย โดยผู้เล่นดังกล่าวนี้เป็นผู้เล่นเพศชาย อายุ 21 ปี มีน้ำหนัก 95 กิโลกรัม มีส่วนสูง 174 เซนติเมตร และถนัดมือขวา โดยการทดสอบระบบที่นำเสนอ นั้นได้กำหนดให้ผู้เล่นทำการเล่นเกมเสมือนจริงดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ด้วยรูปแบบเส้นทางต่างๆ พร้อมทั้งวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อแขนมัดต่างๆ ในขณะที่ทำการเล่นเกมดังกล่าว โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบเส้นทางสำหรับการทดสอบเป็นจำนวนทั้งสิ้น 4 รูปแบบ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ยังทำการเลือกตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อแขนสำหรับการวัดผลการทดสอบเป็นจำนวนทั้งสิ้น 2 มัด ได้แก่ มัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii และ มัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii โดยภาพจริงและภาพจำลองที่ได้แสดงถึงตำแหน่งของมัดกล้ามเนื้อทั้งสองนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการนำรูปแบบเส้นทางทั้ง 4 รูปแบบ และตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อแขนทั้ง 2 มัดข้างต้นมาทำการจัดตั้งเป็นเงื่อนไขในการทดสอบที่แตกต่างกันทั้งหมด 8 เงื่อนไข ดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 โดยการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆนั้นจะกำหนดให้ผู้เล่นทำการเล่นเกมเสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง พร้อมทั้งวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อแขนมัดใดมัดหนึ่งในขณะทำการเล่นเกมเสมือนจริงเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

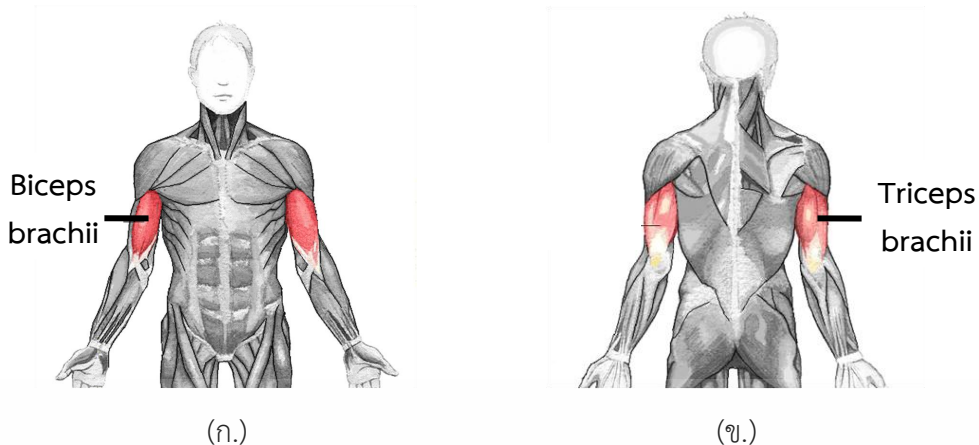
ดังกล่าว โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้การทดสอบทั้ง 8 เจื่อนไข่นั้นมีชื่อเรียกตามลักษณะของรูปแบบเส้นทางที่ทำการทดสอบและตำแหน่งของมัดกล้ามเนื้อที่ทำการวัดผลการทดสอบ เช่น การทดสอบเจื่อนไข Route 1 – Biceps brachii นั้นเป็นการทดสอบที่ได้กำหนดให้ผู้เล่นทำการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 1 พร้อมทั้งวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii ในขณะที่ทำการเล่นเกมส์ดังกล่าวนั่นเอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการนำการทดสอบทั้ง 8 เจื่อนไข่ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นมาทำการจัดตั้งให้เป็นชุดการทดสอบ 1 ชุด ดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ผู้เล่นทำการทดสอบด้วยชุดการทดสอบที่ได้จัดตั้งขึ้นเป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 ชุดการทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 วัน วันละ 3 ชุดการทดสอบ โดยการทดสอบในแต่ละวันนั้นได้กำหนดให้มีช่วงเวลาพักระหว่างชุดการทดสอบแต่ละชุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยลำดับของการทดสอบทั้งหมด 6 ชุดการทดสอบนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3



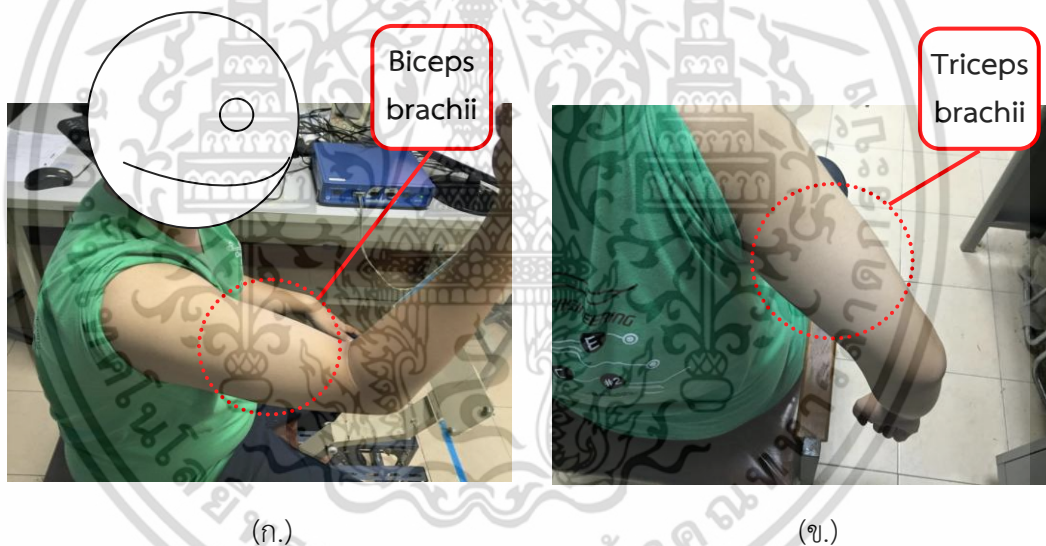
รูปที่ 4.2 รูปแบบเส้นทางที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทดสอบ โดยกำหนดให้ลูกศรในภาพนั้นได้แสดงถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นของเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก.) ที่มา http://th.wikipedia.org/wiki/กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์_เบรคิโอ
 (ข.) ที่มา http://en.wikipedia.org/wiki/Triceps_brachii_muscle

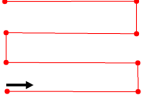

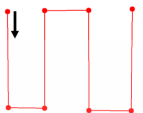



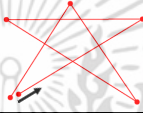

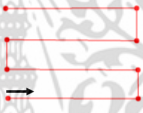







รูปที่ 4.3 ภาพจำลองที่ได้แสดงถึงตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อแขนที่ถูกเลือกขึ้นเพื่อทำการวัดผลการทดสอบ (ก.) มัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii (ข.) มัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii



รูปที่ 4.4 ภาพจริงที่ได้แสดงถึงตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อแขนที่ถูกเลือกขึ้นเพื่อทำการวัดผลการทดสอบ (ก.) มัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii (ข.) มัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เส้นใยในการทดสอบทั้งหมด 8 เส้นใย

รูปแบบเส้นใยในการทดสอบ	รูปแบบเส้นทางที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทดสอบ	ตำแหน่งของมัดกล้ามเนื้อที่ถูกเลือกสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
Route 1 – Biceps brachii		
Route 2 – Biceps brachii		
Route 3 – Biceps brachii		
Route 4 – Biceps brachii		
Route 1 – Triceps brachii		
Route 2 – Triceps brachii		
Route 3 – Triceps brachii		
Route 4 – Triceps brachii		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ลำดับการทดสอบทั้งหมดสำหรับชุดการทดสอบต่างๆ

ลำดับที่	รายการ	รูปแบบเส้นทางที่ถูกเลือก	ตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อที่ถูกเลือก	ผลการทดสอบ
1	จัดเตรียมความพร้อมการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii	-	-	-
2	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 1 – Biceps brachii	Route 1	Biceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 1 – Biceps brachii
3	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 2 – Biceps brachii	Route 2	Biceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 2 – Biceps brachii
4	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 3 – Biceps brachii	Route 3	Biceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 3 – Biceps brachii
5	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 4 – Biceps brachii	Route 4	Biceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 4 – Biceps brachii
6	จัดเตรียมความพร้อมการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii	-	-	-
7	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 1 – Triceps brachii	Route 1	Triceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 1 – Triceps brachii
8	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 2 – Triceps brachii	Route 2	Triceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 2 – Triceps brachii
9	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 3 – Triceps brachii	Route 3	Triceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 3 – Triceps brachii
10	ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบ Route 4 – Triceps brachii	Route 4	Triceps brachii	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเงื่อนไขในการทดสอบ Route 4 – Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

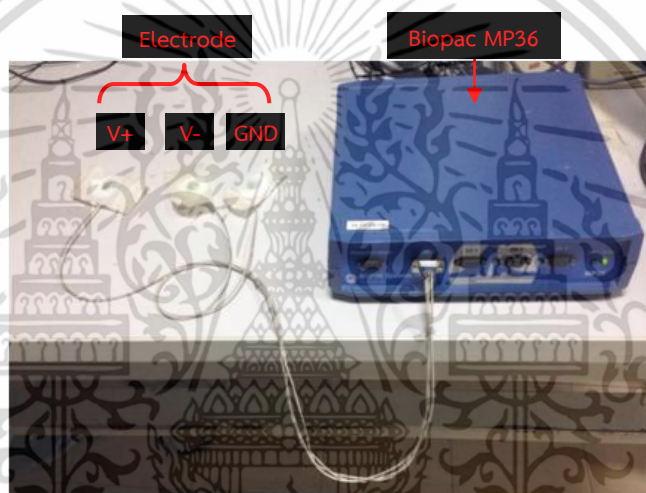
ตารางที่ 4.3 ลำดับการทดสอบระบบที่นำเสนอทั้งหมด

วันที่	ลำดับที่	รายการ
1	1	การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบที่ 1
	2	พัก 1 ชั่วโมง
	3	การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบที่ 2
	4	พัก 1 ชั่วโมง
	5	การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบที่ 3
2	1	การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบที่ 4
	2	พัก 1 ชั่วโมง
	3	การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบที่ 5
	4	พัก 1 ชั่วโมง
	5	การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบและผลการทดสอบที่ได้สำหรับชุดการทดสอบหนึ่งๆ

การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบหนึ่งๆนั้นได้กำหนดให้ทำการจัดเตรียมความพร้อมสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเนื้อก่อนเริ่มทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบต่างๆ โดยการเตรียมดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยการเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ Biopac MP36 (Biopac Systems, Inc.) อิเล็กโทรดที่มีผิวสัมผัสชนิด Ag/AgCl และเจลอิเล็กโทรด Parker 15-25 SignaGel Electrode Gel ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยอิเล็กโทรดที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทดสอบนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผิวสัมผัสเท่ากับ 11 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นเทปกาวไวโอลินที่ล้อมรอบผิวสัมผัสดังกล่าวเท่ากับ 35 มิลลิเมตร โดยการเตรียมนั้นได้เลือกใช้อิเล็กโทรดดังกล่าวเป็นจำนวนทั้งสิ้น 3 ตัว โดยกำหนดให้อิเล็กโทรดทั้งสามนั้นมีชื่อเรียกคือ อิเล็กโทรด V+ อิเล็กโทรด V- และอิเล็กโทรด GND ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์ Biopac MP36 และอิเล็กโทรดสำหรับการทดสอบจำนวน 3 ตัว ที่ถูกต่อเข้าด้วยกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.6 อิเล็กโทรดที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทดสอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

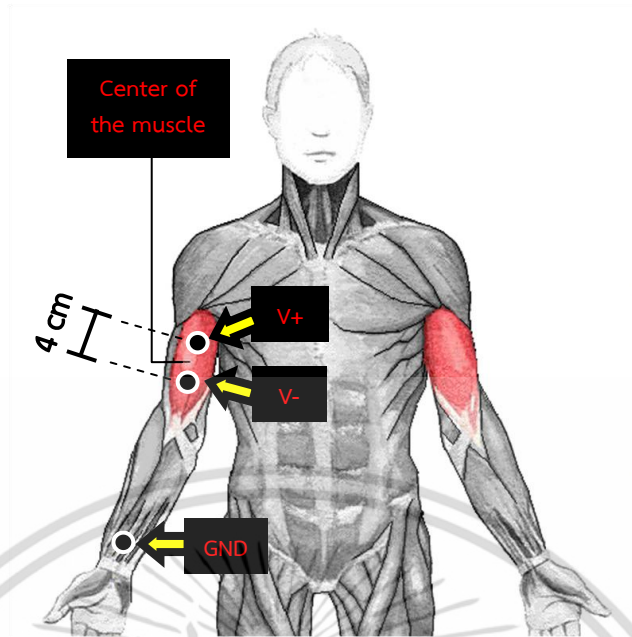


รูปที่ 4.7 เจลอิเล็กโทรด Parker 15-25 SignaGel Electrode Gel

การจัดเตรียมจะกำหนดให้ทำการทาเจลอิเล็กโทรดลงบริเวณผิวสัมผัสของอิเล็กโทรดทั้งสาม พร้อมทั้งนำอิเล็กโทรดทั้งสามที่ทำการทาเจลแล้วนั้นมาทำการติดลงบนผิวหนังของผู้เล่นดังแสดงภาพจำลองได้ดังรูปที่ 4.8 โดยการจัดเตรียมจะกำหนดให้ทำการติดอิเล็กโทรด GND ไว้ที่ข้อมือฝั่งด้านหน้าของผู้เล่น และกำหนดให้ทำการติดอิเล็กโทรด V+ และ อิเล็กโทรด V- ไว้ ณ ตำแหน่งมัดกล้ามเนื้อ แขนที่ต้องการวัดผลการทดสอบ โดยการติดอิเล็กโทรด V+ และอิเล็กโทรด V- นั้นจะต้องติดให้ห่างกันตามแนวยาวของมัดกล้ามเนื้อโดยที่มีจุดศูนย์กลางของมัดกล้ามเนื้อเป็นตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง โดยการจัดเตรียมนั้นได้กำหนดให้ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของอิเล็กโทรดทั้งสองนั้นมีค่าเท่ากับ 4 เซนติเมตร

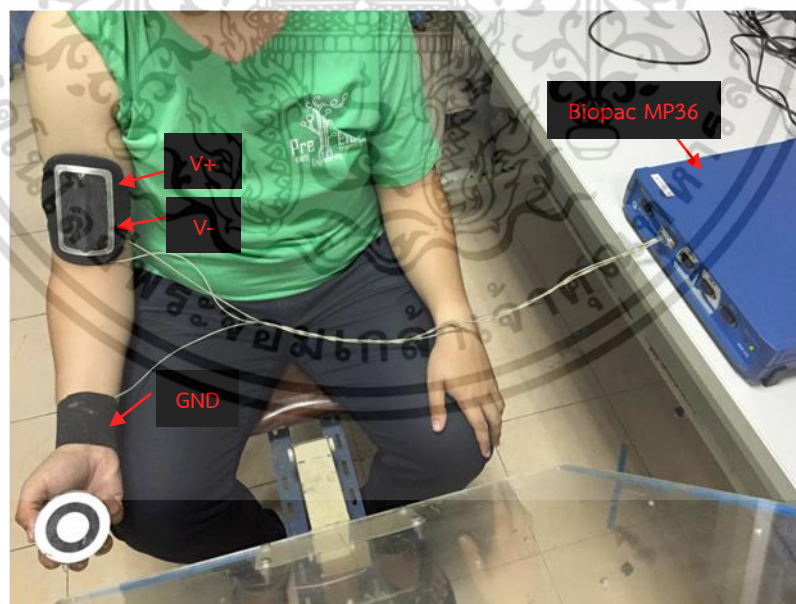
เมื่อเสร็จสิ้นการติดอิเล็กโทรดทั้งสามลงบนผิวหนังของผู้เล่นแล้ว การจัดเตรียมจะกำหนดให้ทำการนำสายรัดมาทำการรัดทับอิเล็กโทรดที่ติดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้อิเล็กโทรดดังกล่าวนั้นหลุดออกจากผิวหนังในขณะที่ทำการเล่นเกมส์ โดยเมื่อเสร็จสิ้นการรัดทับอิเล็กโทรดดังกล่าวแล้ว การจัดเตรียมจะกำหนดให้ทำการนำสายนำสัญญาณที่ได้จัดเตรียมขึ้นมาทำการเชื่อมต่ออิเล็กโทรดทั้งสามเข้ากับช่องรับสัญญาณของอุปกรณ์ Biopac MP36 ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.9

เมื่อเสร็จสิ้นการเชื่อมต่ออิเล็กโทรดเข้ากับช่องรับสัญญาณดังกล่าวแล้ว การจัดเตรียมจะกำหนดให้ทำการตั้งค่าการใช้งานของอุปกรณ์ Biopac MP36 ผ่านทางโปรแกรม Biopac Student Lab PRO[®] version 3.7.3 โดยการตั้งค่าการใช้งานนั้นจะกำหนดให้อุปกรณ์ Biopac MP36 นั้นทำการเลือกรับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่มีช่วงความถี่ตั้งแต่ 30 hz ถึง 1000 hz และกำหนดให้ทำการกรองสัญญาณที่มีความถี่ 50 hz ออกไปโดยเลือกใช้ digital filter ชนิด Band Stop – Line Frequency Filter อันดับที่ 3 นอกจากนี้การตั้งค่าการใช้งานยังกำหนดให้อุปกรณ์ Biopac MP36 นั้นทำการขยายสัญญาณในช่วงความถี่ที่ใช้งานด้วยอัตราขยาย 1000 เท่า และกำหนดให้ค่าอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) นั้นมีค่าเท่ากับ 10 khz หรือ 10000 samples/second



ที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์_เบรคิโอ

รูปที่ 4.8 ภาพจำลองของการติดอิเล็กโทรด V+ อิเล็กโทรด V- และอิเล็กโทรด GND ลงบนผิวหนังของผู้เล่นเพื่อทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อตัวอย่าง (Biceps brachii)

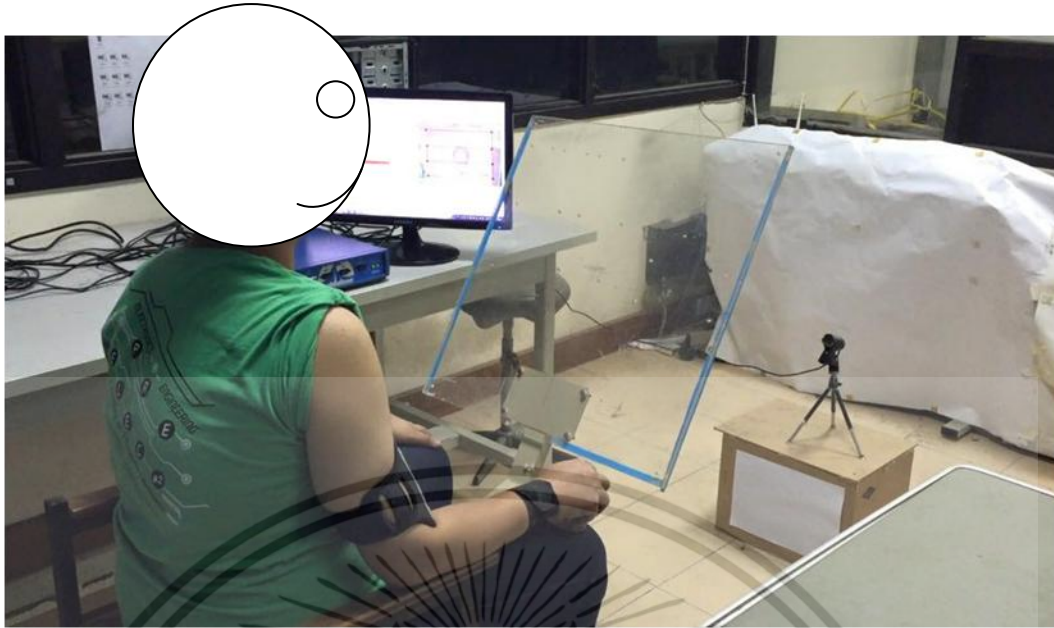


รูปที่ 4.9 ภาพจริงของการติดอิเล็กโทรด V+ อิเล็กโทรด V- และอิเล็กโทรด GND ลงบนผิวหนังของผู้เล่นเพื่อทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อตัวอย่าง (Biceps brachii)

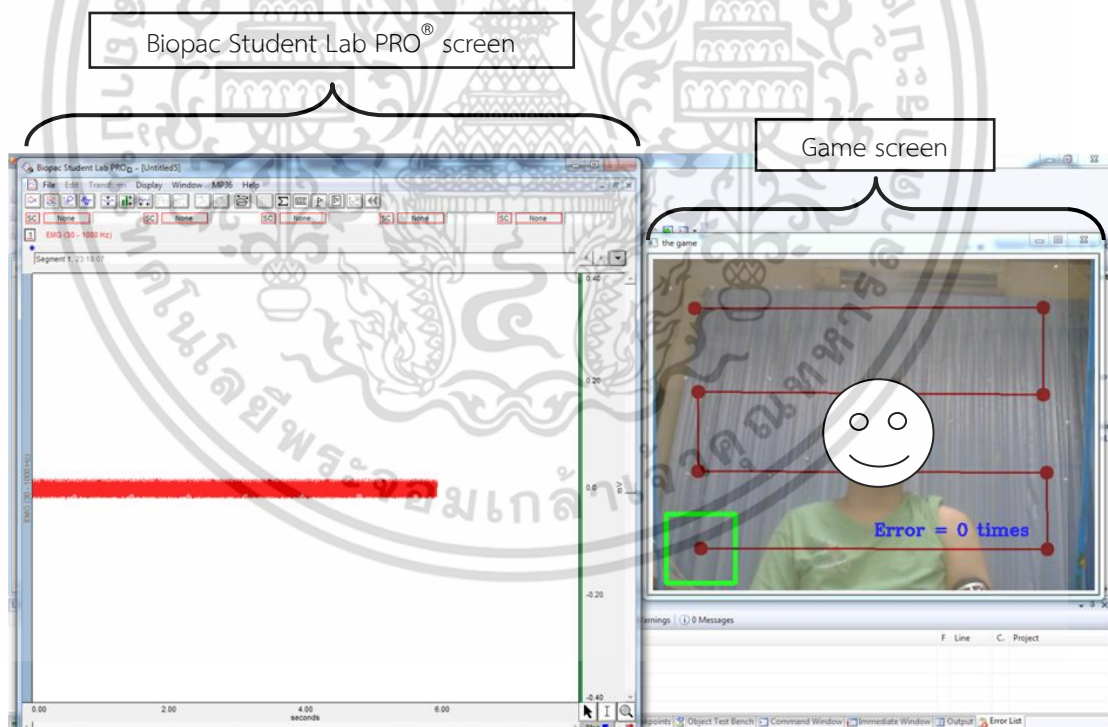
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเตรียมความพร้อมสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นจะกำหนดให้ทำการเตรียมอุปกรณ์สำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ทำการติดอิเล็กโทรดลงบนผิวหนังของผู้เล่น และทำการตั้งค่าการใช้งานของอุปกรณ์ Biopac MP36 ตามวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยเมื่อเสร็จสิ้นการจัดเตรียมความพร้อมสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแล้ว การทดสอบจะกำหนดให้ผู้เล่นทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบต่างๆ โดยการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆนั้นจะกำหนดให้ทำการเปิดหน้าต่างเกมส์และหน้าต่างโปรแกรม Biopac Student Lab PRO[®] ขึ้นพร้อมกัน บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 หลังจากนั้นการทดสอบจะกำหนดให้ผู้เล่นทำการถือวัตถุทรงกลมสำหรับการทดสอบไว้ในมือข้างที่ถนัด (มือข้างที่ทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ) และกำหนดให้ผู้เล่นทำการวางแขนข้างดังกล่าวไว้บนที่วางแขนของเก้าอี้สำหรับการทดสอบ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 หลังจากนั้นการทดสอบจะกำหนดให้อุปกรณ์ Biopac MP36 นั้นเริ่มทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อแขนที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้นั้น จะถูกแสดงออกทางหน้าต่างโปรแกรม Biopac Student Lab PRO[®] ในช่วงเวลาจริง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ผู้เล่นทำการวางแขนไว้บนที่วางแขนนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวัดระดับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (Background noise level) จากมัดกล้ามเนื้อแขนในขณะที่แขนของผู้เล่นนั้นยังไม่มีเคลื่อนไหวนั่นเอง

เมื่อเสร็จสิ้นการวัดระดับสัญญาณรบกวนพื้นหลังแล้ว การทดสอบจะกำหนดให้ผู้เล่นทำการเล่นเกมเสมือนจริงโดยวิธีการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 โดยกำหนดให้จำนวนความผิดพลาดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการเล่นเกมนั้นมีค่าเท่ากับ 0 กล่าวคือ ผู้เล่นจะต้องเคลื่อนมาร์กเกอร์โดยไม่ให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นหลุดออกจากกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ โดยการทดสอบนั้นได้กำหนดให้กรอบสี่เหลี่ยมในเกมนั้นเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางด้วยความเร็ว 45 pixels/sec ซึ่งเป็นความเร็วของกรอบสี่เหลี่ยมที่ทำให้ผู้เล่นที่ไม่มีทพพลาภาพนั้นสามารถเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปตามกรอบสี่เหลี่ยมได้โดยไม่หลุดออกจากกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ โดยในขณะที่ผู้เล่นกำลังทำการเล่นเกมสนั้น ระบบจะทำการแสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากมัดกล้ามเนื้อแขนที่ได้จัดเตรียมไว้ ออกทางหน้าต่างโปรแกรม Biopac Student Lab PRO[®] ในช่วงเวลาจริง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 โดยการเล่นเกมเสมือนจริงนั้นจะสิ้นสุดลงเมื่อกรอบสี่เหลี่ยมนั้นได้เคลื่อนมายังจุดปลายทางของเส้นทาง โดยเมื่อสิ้นสุดการเล่นเสมือนจริงดังกล่าวแล้ว การทดสอบจะกำหนดให้อุปกรณ์ Biopac MP36 นั้นหยุดทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ พร้อมทั้งบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ลงในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ โดยตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14

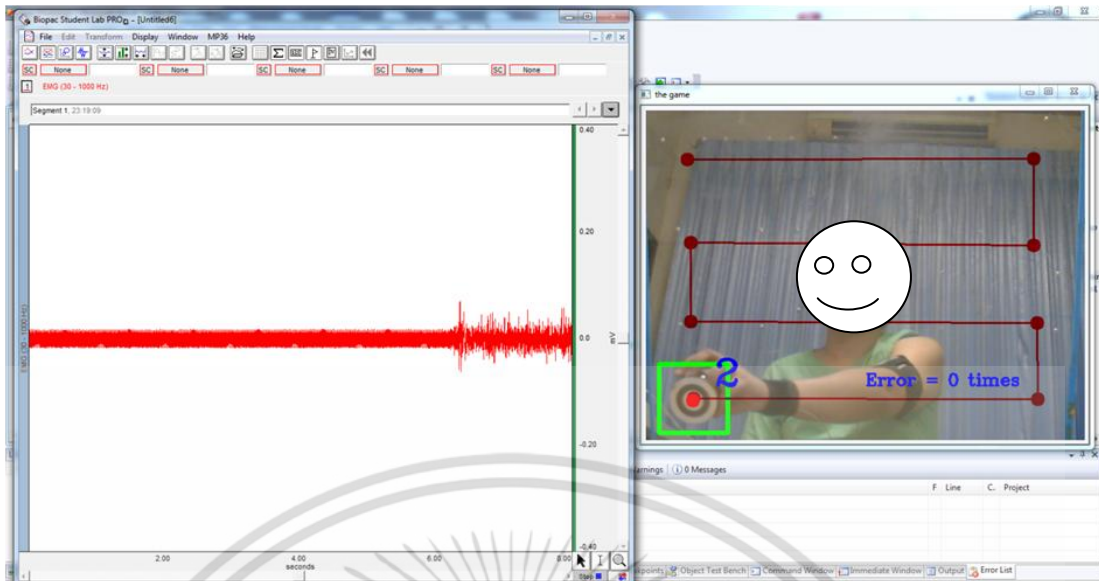


รูปที่ 4.10 ภาพจริงแสดงผู้เล่นทำการถือวัตถุทรงกลมไว้ในมือข้างที่ถนัดและวางแขนข้างดังกล่าวไว้บนที่วางแขนของเก้าอี้สำหรับการทดสอบ

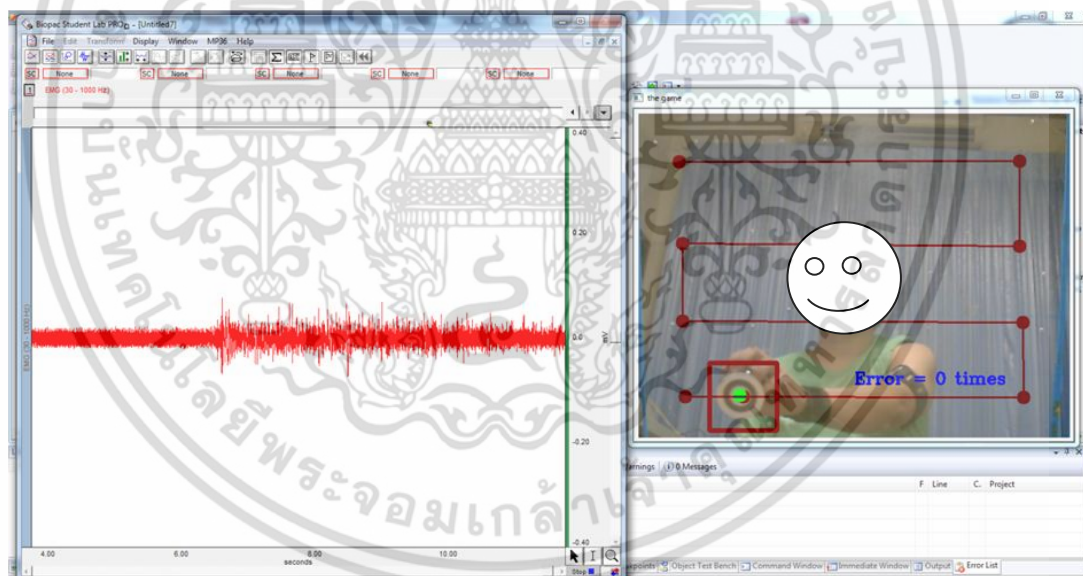


รูปที่ 4.11 ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ผู้เล่นทำการถือวัตถุทรงกลมไว้ในมือข้างที่ถนัดและวางแขนข้างดังกล่าวไว้บนที่วางแขนของเก้าอี้สำหรับการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

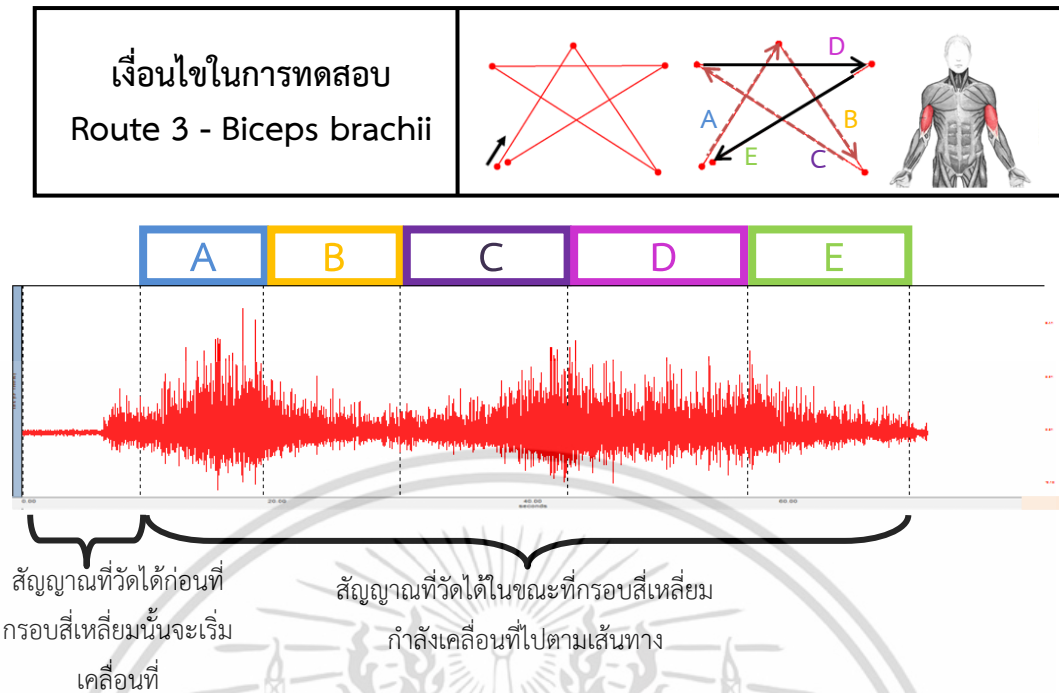


รูปที่ 4.12 ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ผู้เล่นทำการวางมาร์กเกอร์ไว้บนแผ่นอะคลีริกโดยวางให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.13 ภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ผู้เล่นทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริกตามการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยเคลื่อนให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ

สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก คือ สัญญาณที่วัดได้ก่อนที่กรอบสี่เหลี่ยมนี้จะเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบไปด้วยระดับสัญญาณรบกวนพื้นหลังและสัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนแขนออกจากที่วางแขนเพื่อวางมาร์กเกอร์ไว้บนแผ่นอะคลีริก สำหรับส่วนที่สองนั้นคือสัญญาณที่วัดได้ในขณะที่กรอบสี่เหลี่ยมกำลังเคลื่อนที่ไปตามเส้นทาง ซึ่งสัญญาณในส่วนดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกเป็นช่วงสัญญาณย่อยๆตามตำแหน่งของช่วงเส้นทางต่างๆได้ โดยการแบ่งสัญญาณในลักษณะดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะของสัญญาณที่วัดได้สำหรับช่วงเส้นทางแต่ละช่วงนั่นเอง

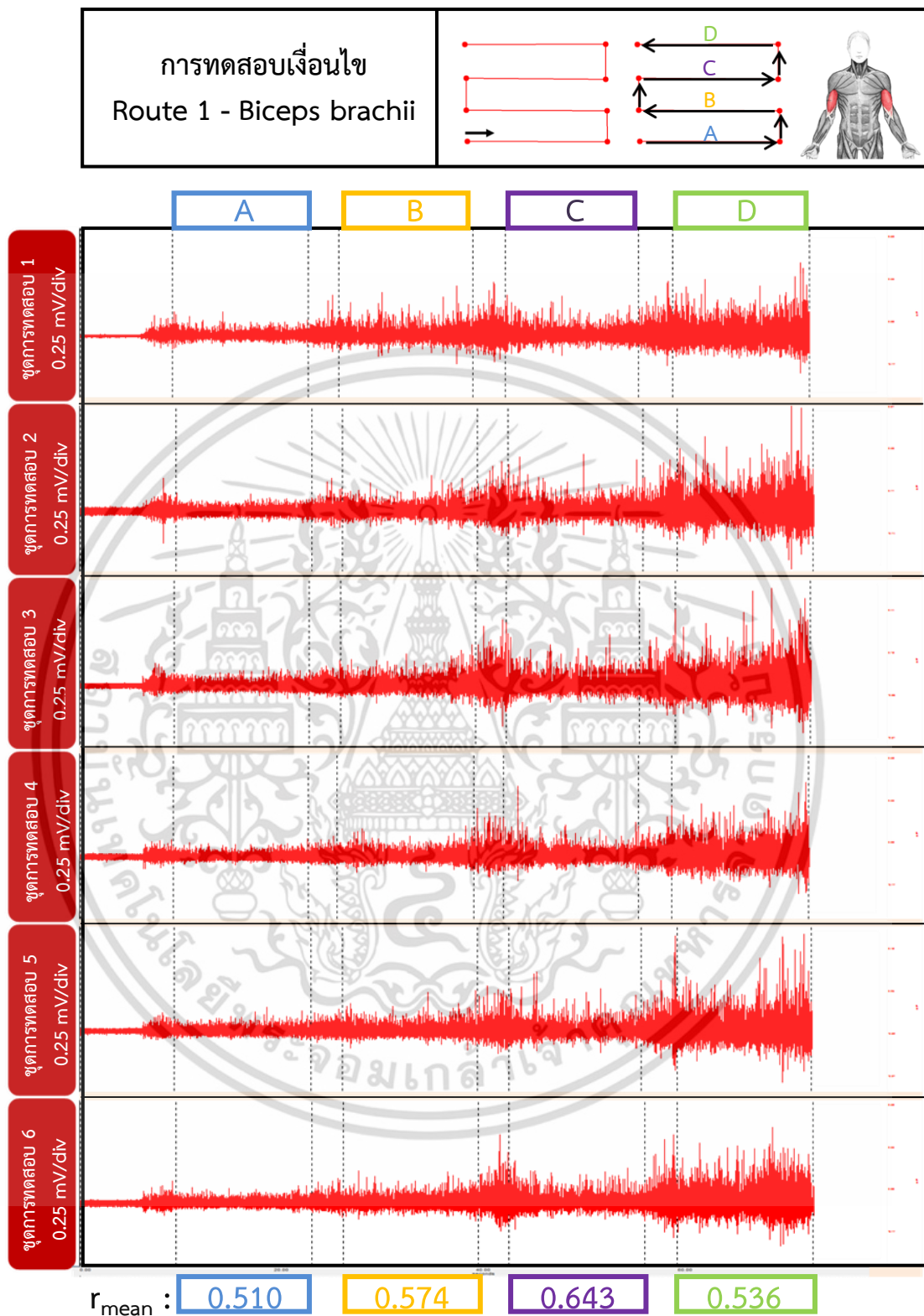
การทดสอบสำหรับชุดการทดสอบหนึ่งๆนั้นจะกำหนดให้ทำการจัดเตรียมความพร้อมสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและกำหนดให้ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบทั้ง 8 เงื่อนไข โดยวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้จากชุดการทดสอบหนึ่งๆนั้นคือสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด 8 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 1 สัญญาณ นั่นเอง

4.3 ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด 6 ชุดการทดสอบ

การทดสอบระบบที่นำเสนอจะกำหนดให้ผู้เล่นทำการทดสอบด้วยชุดการทดสอบที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 ชุดการทดสอบ ดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 โดยการทดสอบแต่ละชุดการทดสอบนั้นจะกำหนดให้ทำการจัดเตรียมความพร้อมสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและกำหนดให้ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขในการทดสอบทั้ง 8 เงื่อนไขโดยวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2 โดยผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด 6 ชุดการทดสอบนั้นคือสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด 8 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 6 สัญญาณนั่นเอง โดยสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบแต่ละเงื่อนไขนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่

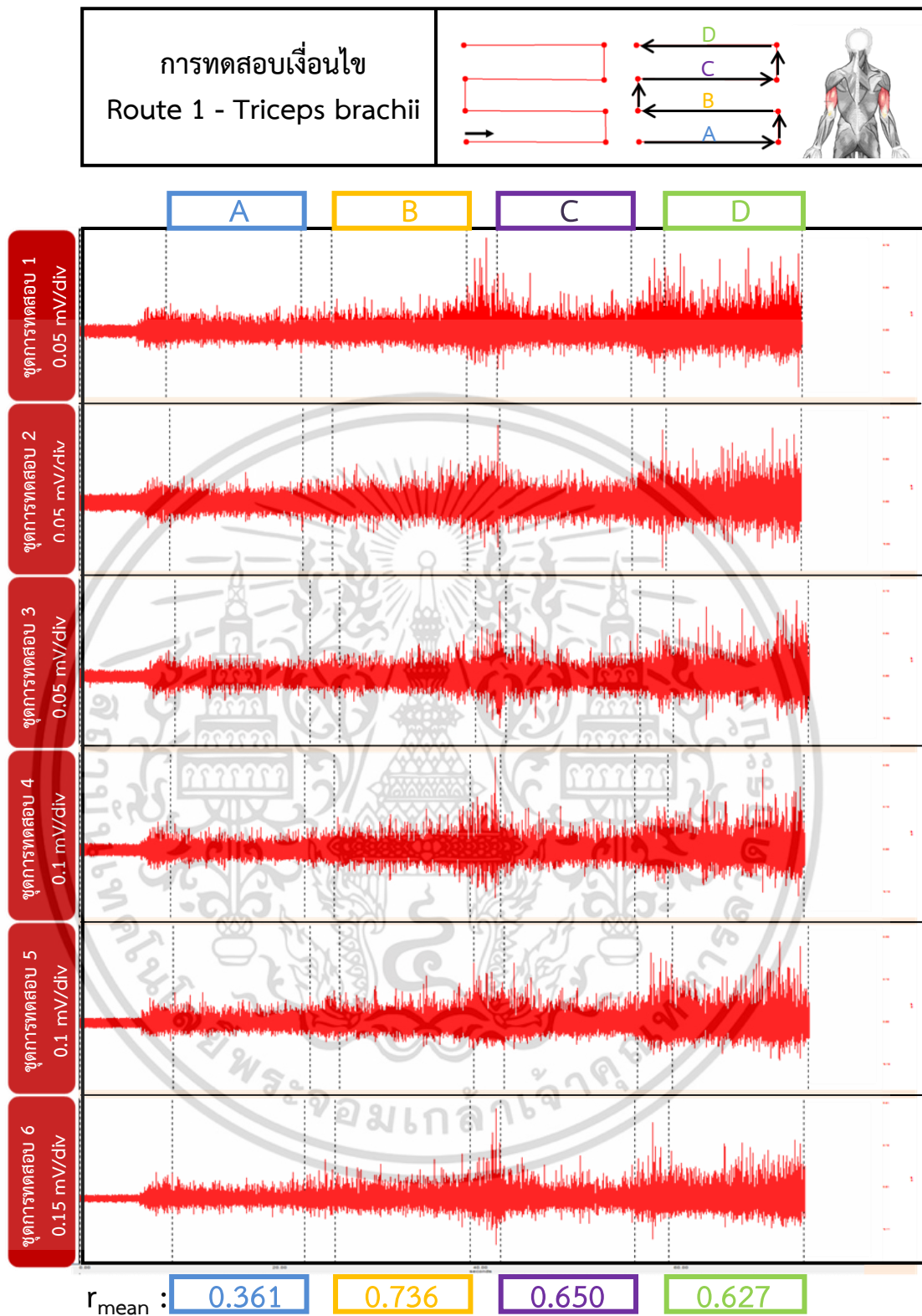
4.15 ถึงรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



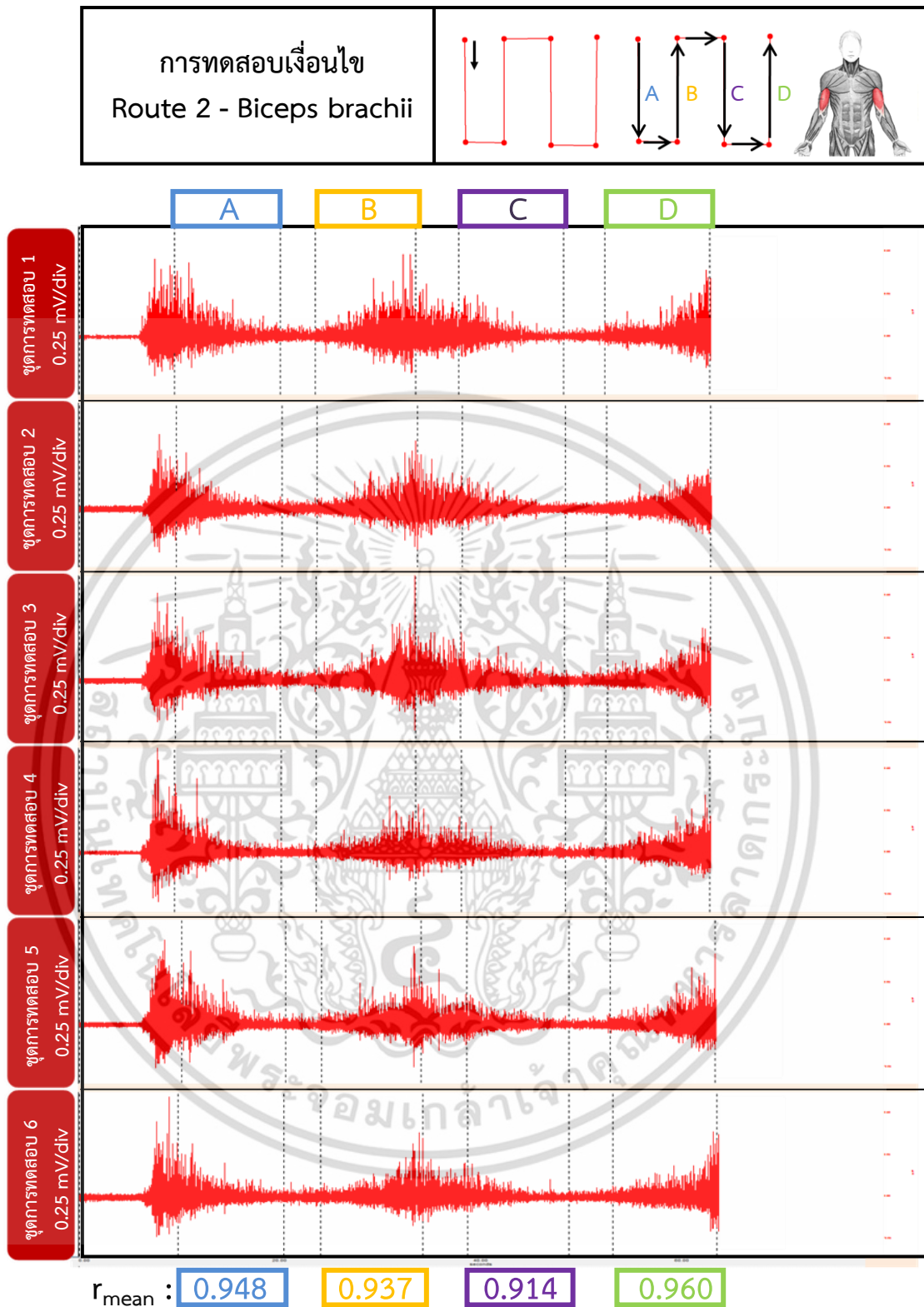
รูปที่ 4.15 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเอ็นไข Route 1 – Biceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



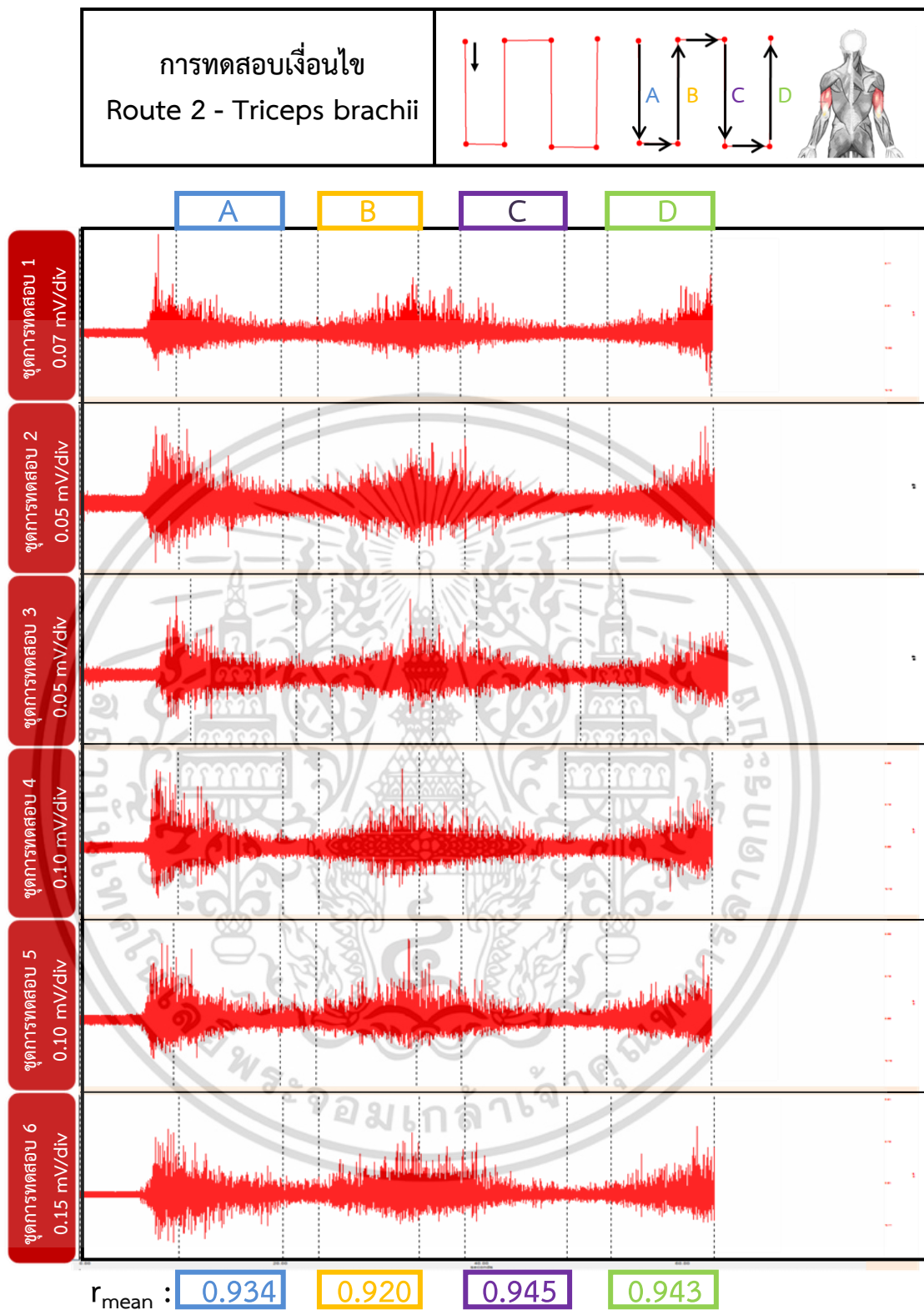
รูปที่ 4.16 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเอ็นไข Route 1 – Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



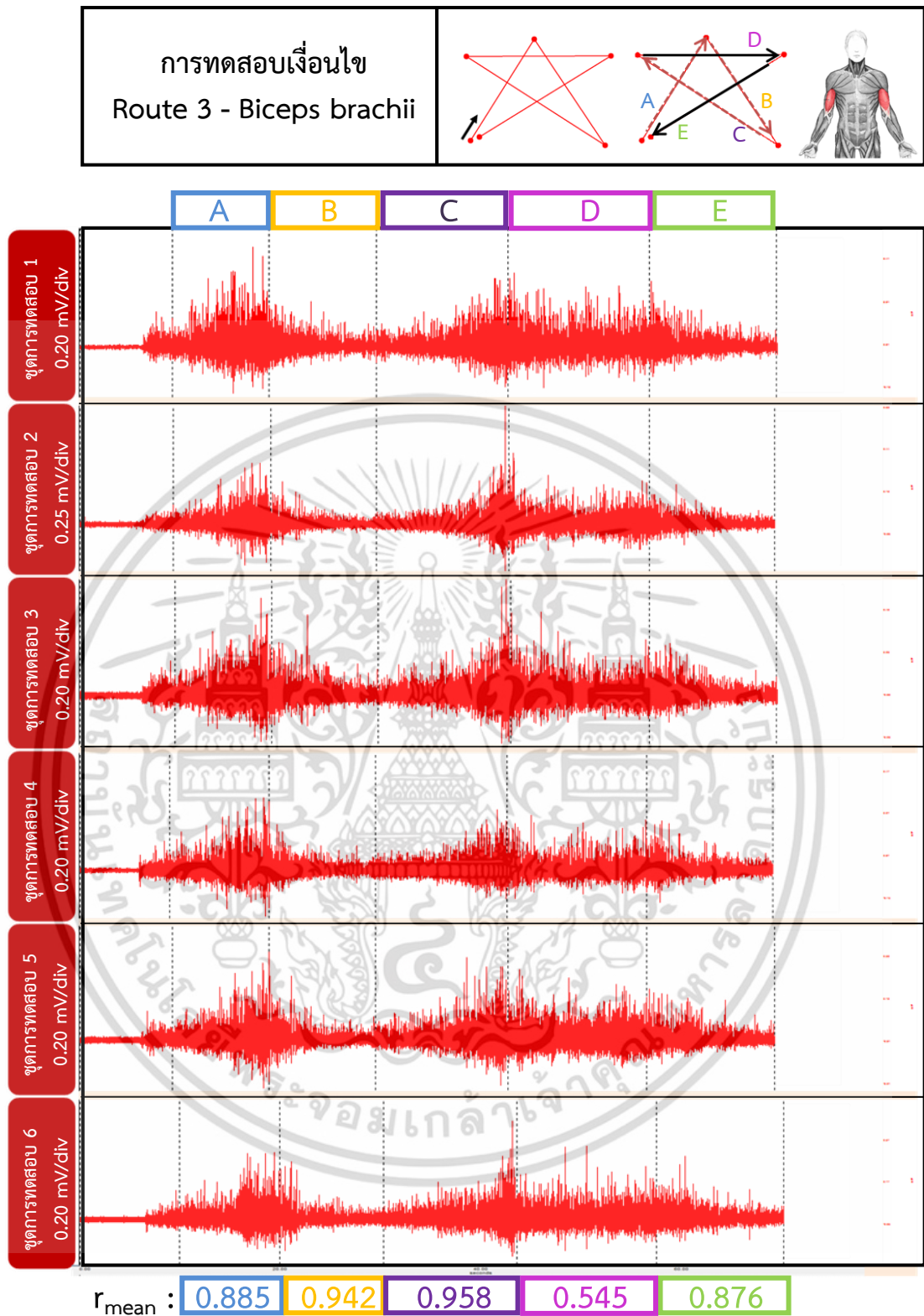
รูปที่ 4.17 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 2 – Biceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



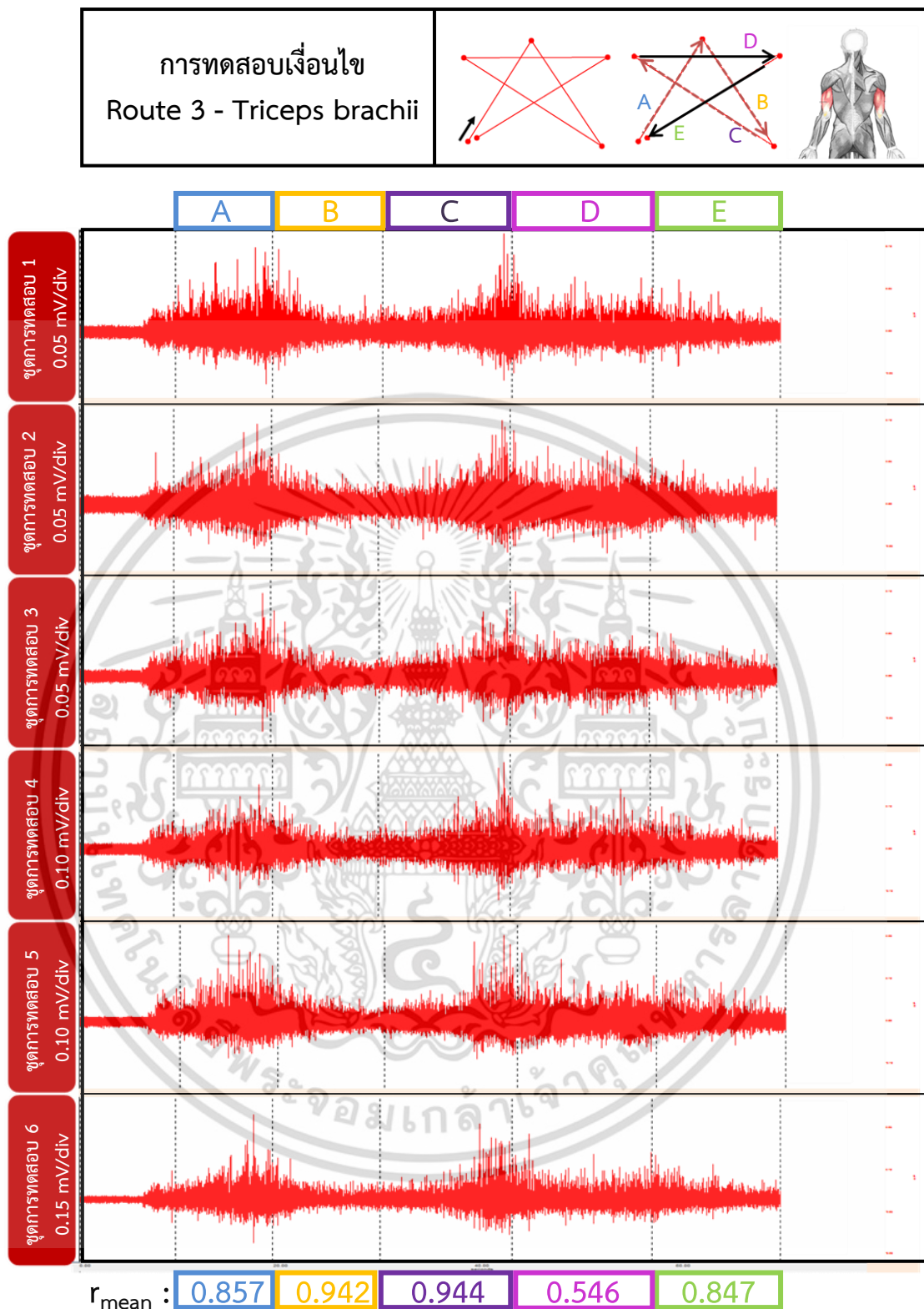
รูปที่ 4.18 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเอ็นไข Route 2 – Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



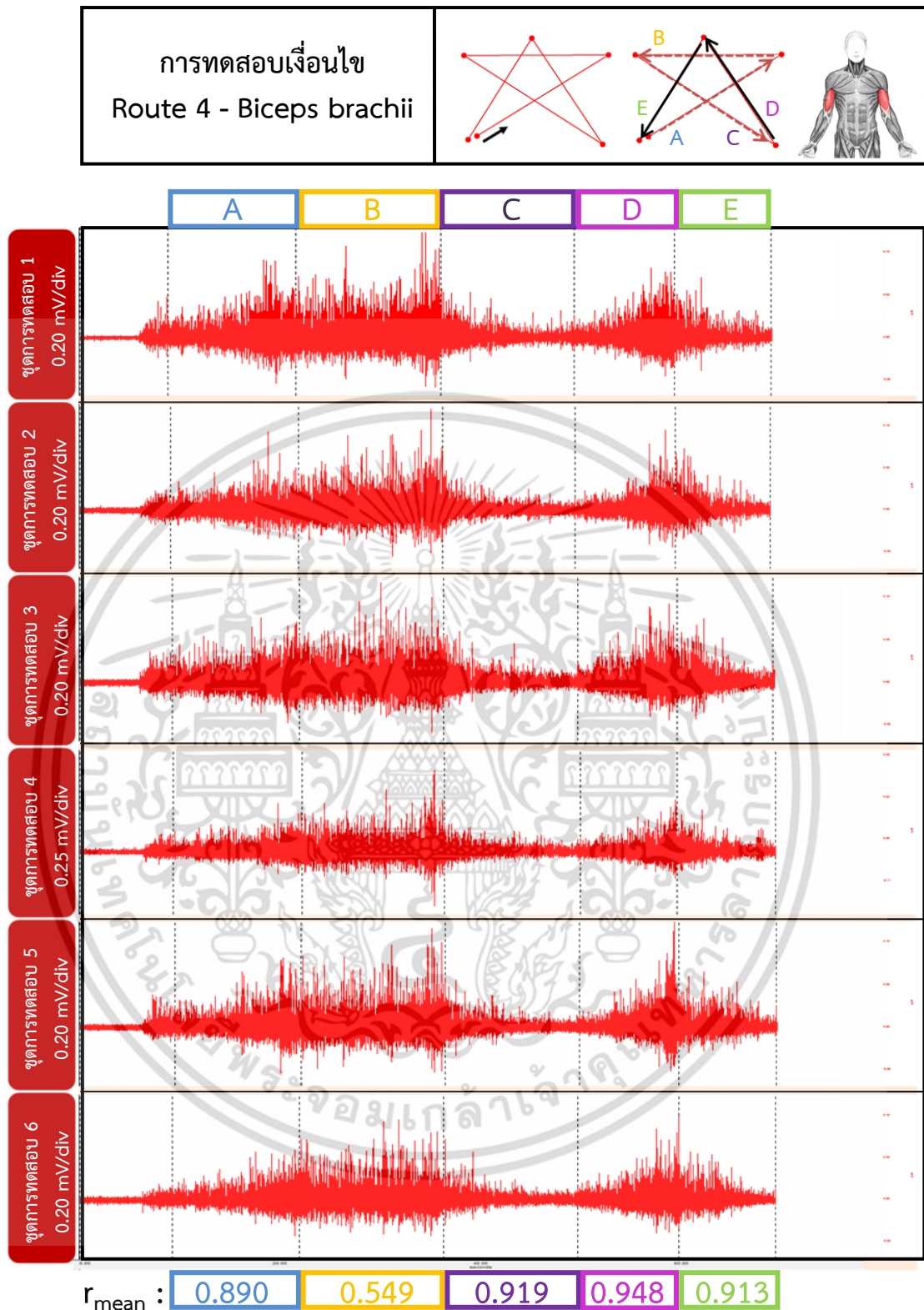
รูปที่ 4.19 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 3 – Biceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



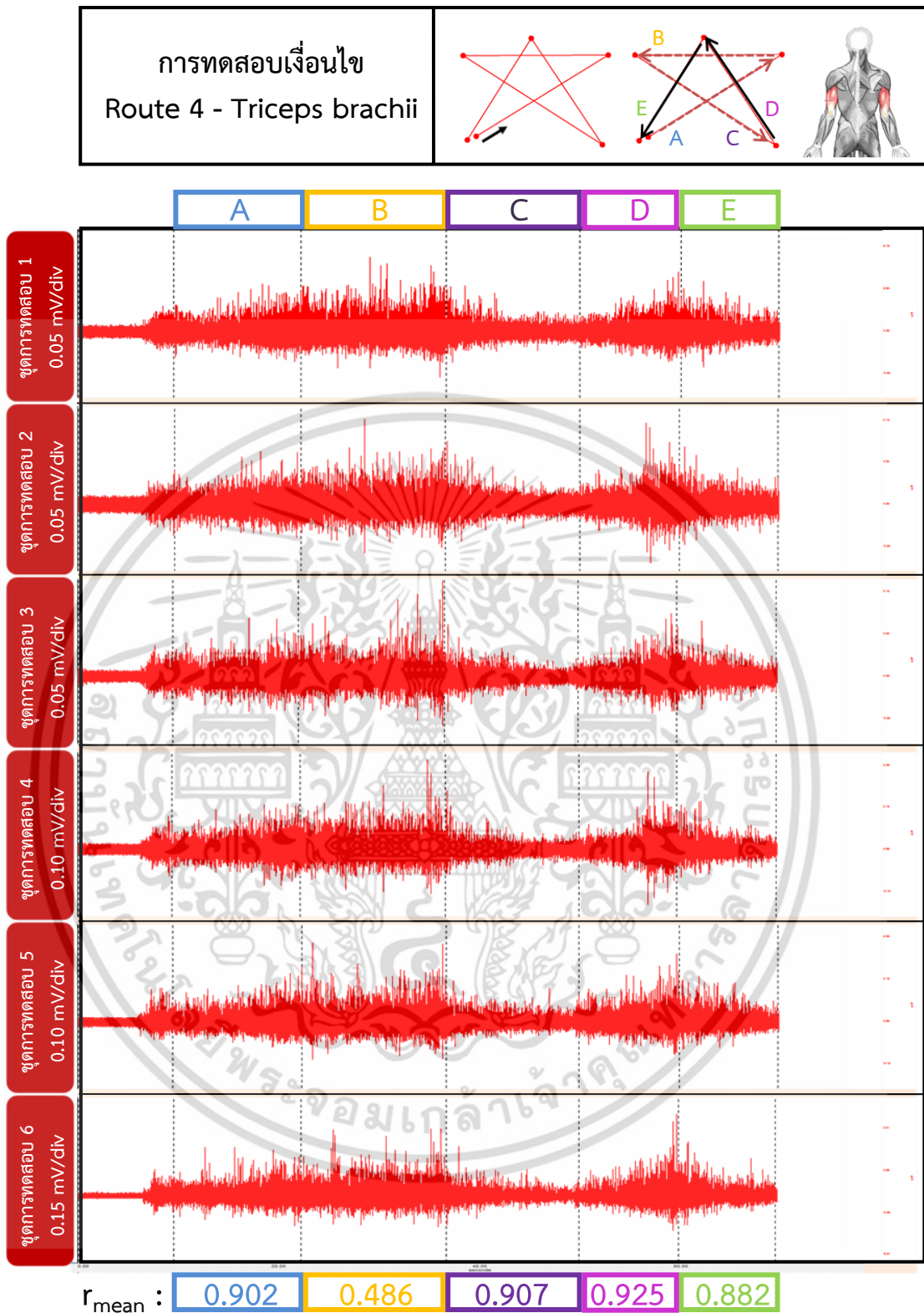
รูปที่ 4.20 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเอ็นไข Route 3 – Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไข Route 4 – Biceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเอ็นไข Route 4 – Triceps brachii

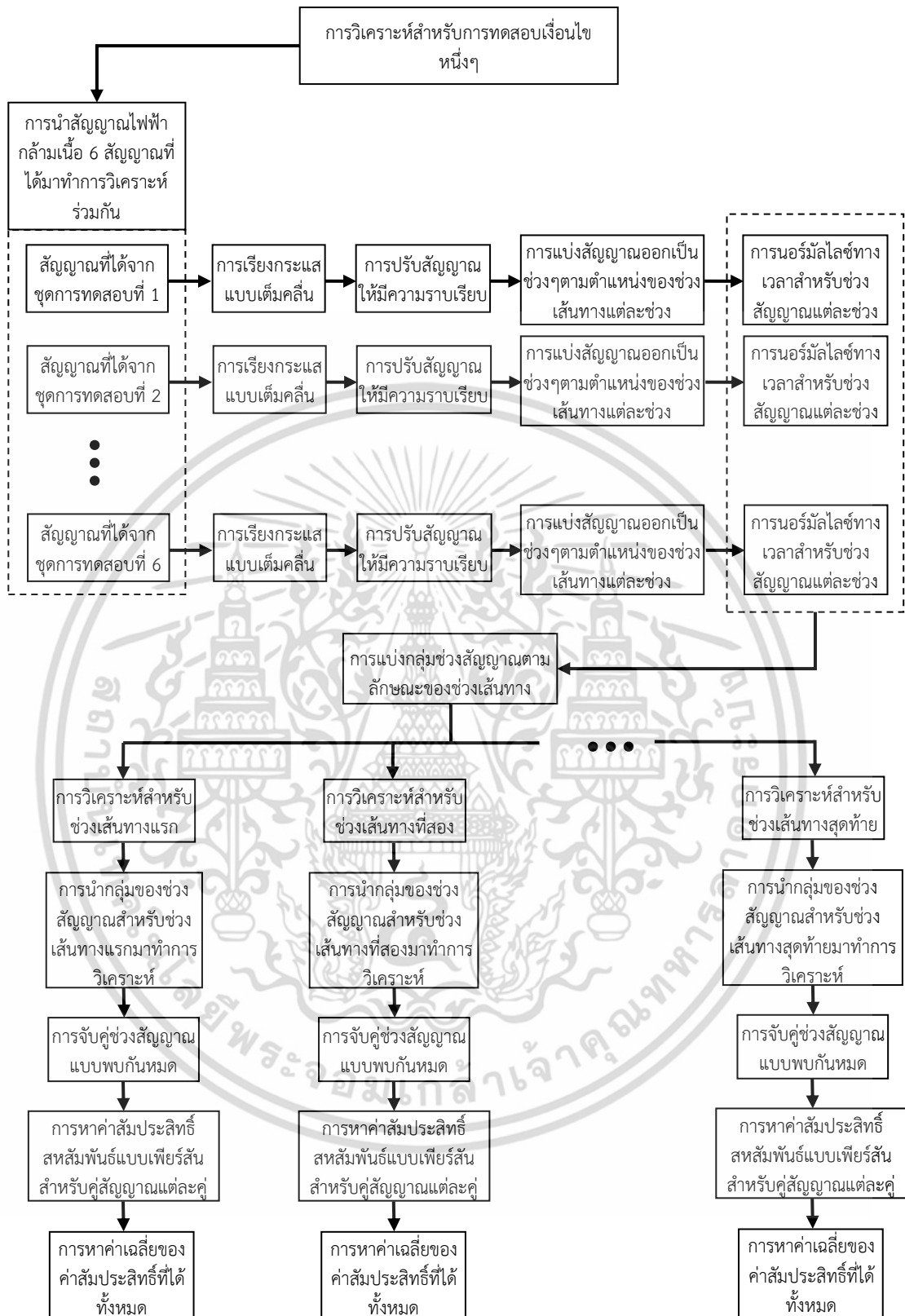
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบ

สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไขต่างๆนั้นจะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบแต่ละเงื่อนไข ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.23 โดยการวิเคราะห์สำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆนั้นจะทำการนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อทั้ง 6 สัญญาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนทั้งหมดที่ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ การวิเคราะห์ในขั้นแรกนั้นจะทำการนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแต่ละสัญญาณมาทำการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave rectification) โดยใช้วิธีการหาค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ (Absolute value) เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีขนาดไม่เป็นลบ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.25 (ข.) หลังจากนั้นการวิเคราะห์จะทำการปรับสัญญาณให้มีความราบเรียบ (Smoothing) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.25 (ค.) โดยการปรับสัญญาณให้มีความราบเรียบนั้นสามารถทำได้โดยทำการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) โดยกำหนดให้หน้าต่างสำหรับการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่นั้นมีขนาดความกว้างเท่ากับ 500 ms

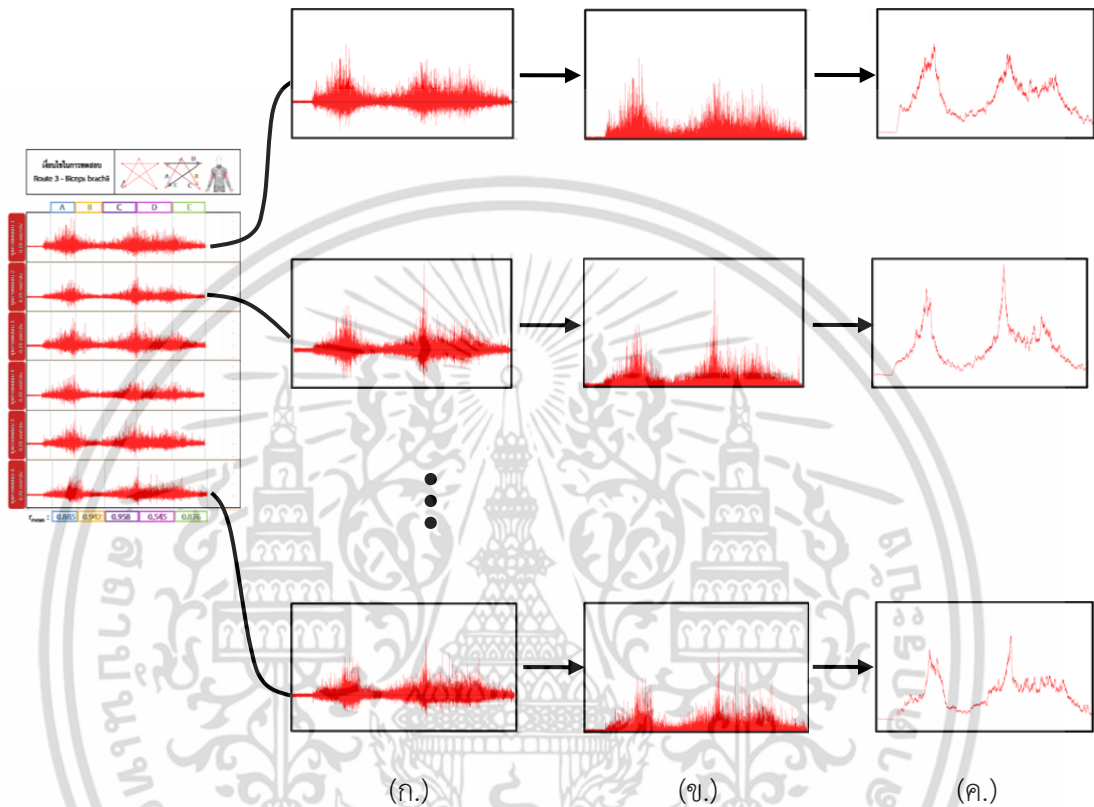
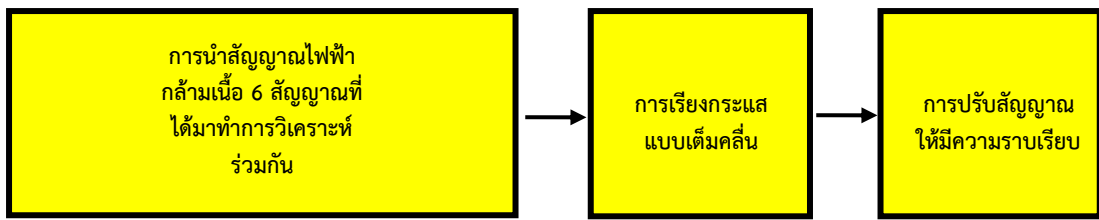


รูปที่ 4.23 การนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้จากการทดสอบเงื่อนไขต่างๆไปใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบแต่ละเงื่อนไข



รูปที่ 4.24 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



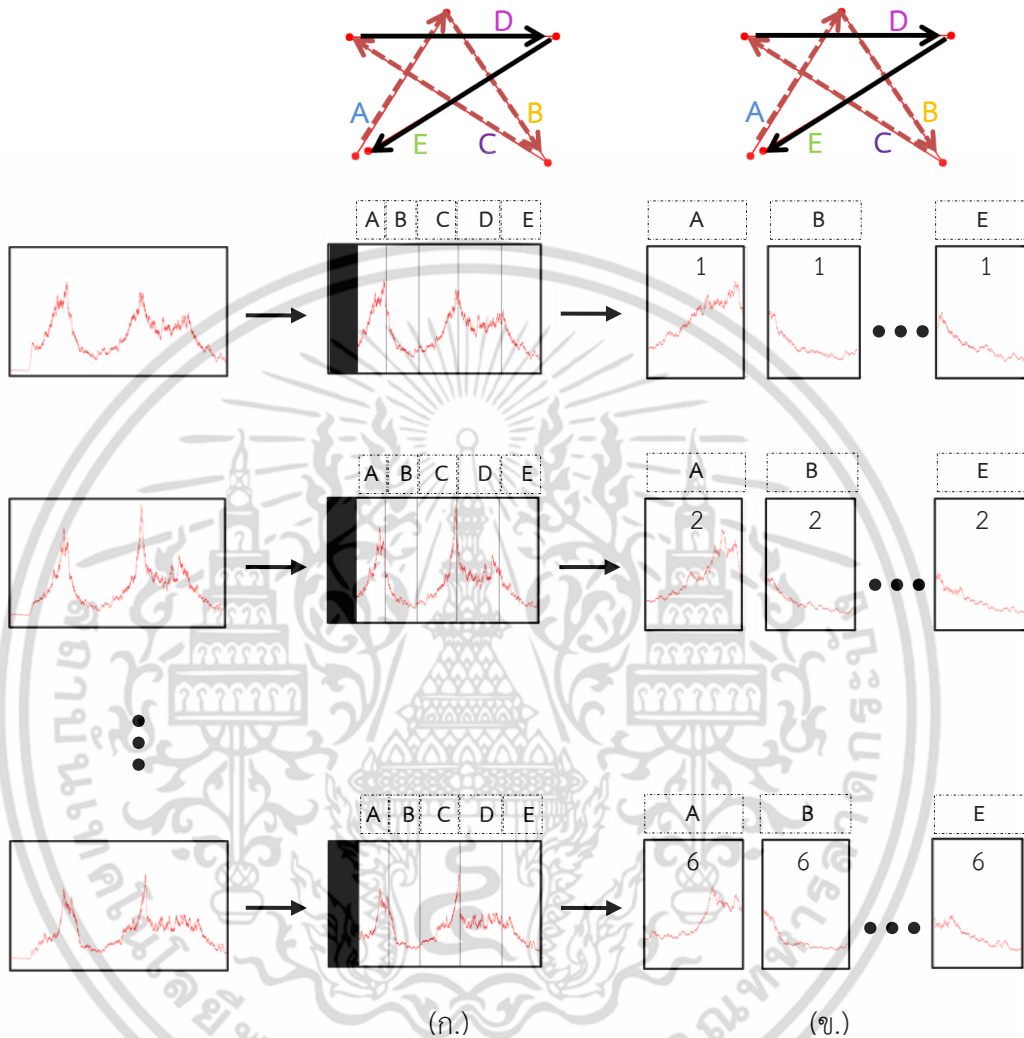
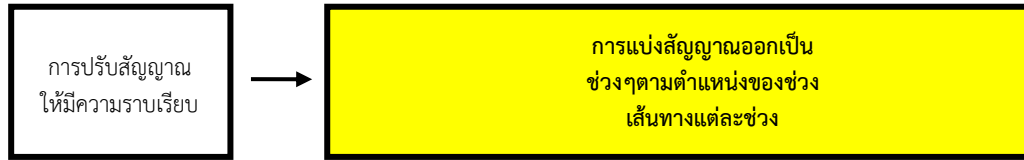
รูปที่ 4.25 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขต่างๆ (ก.) การนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน (ข.) สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (ค.) สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับสัญญาณให้มีความราบเรียบ

เมื่อเสร็จสิ้นการปรับสัญญาณให้มีความราบเรียบแล้ว การวิเคราะห์จะทำการแบ่งสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้ออกเป็นช่วงๆตามตำแหน่งของช่วงเส้นทางแต่ละช่วงดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.26 (ก.) และรูปที่ 4.26 (ข.) โดยการวิเคราะห์จะทำการละทิ้งช่วงสัญญาณที่วัดได้ก่อนที่กรอบสี่เหลี่ยมนั้นจะเริ่มเคลื่อนที่ออกไป หลังจากนั้นการวิเคราะห์จะทำการปรับช่วงสัญญาณแต่ละช่วงให้มีความยาวเท่ากับ 100 samples โดยใช้วิธีการนอร์มัลไลซ์ทางเวลา (Time normalization) โดยการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาสำหรับช่วงสัญญาณหนึ่งๆนั้นสามารถทำได้โดยทำการนำช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับมาทำการแบ่งย่อยทางเวลาให้ได้ 100 ส่วนเท่าๆกัน ซึ่งหากช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับนั้นไม่สามารถทำการแบ่งย่อยทางเวลาให้ได้ 100 ส่วนเท่าๆกันได้ การนอร์มัลไลซ์ทางเวลาจะทำการนำช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับมาทำการแบ่งย่อยทางเวลาให้ได้ 100 ส่วน โดยกำหนดให้ส่วนสัญญาณที่ถูกแบ่งย่อย 99

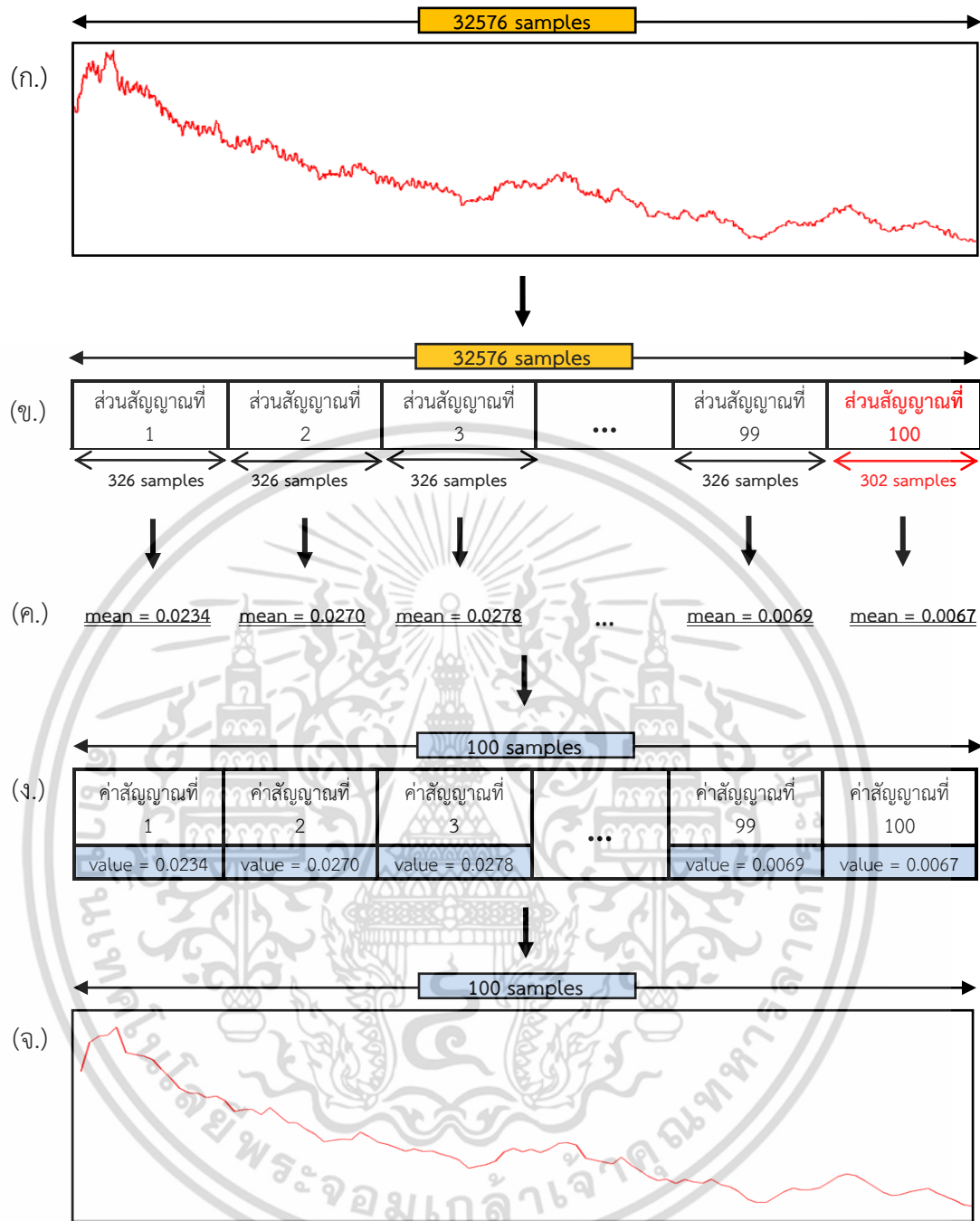
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบริษัทอื่นใดในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแรกนั้นมีความยาวที่เท่ากัน และกำหนดให้ส่วนสัญญาณส่วนที่ 100 นั้นมีความยาวเท่ากับจำนวน sample ที่เหลือ ดังแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.27 (ข.) โดยตัวอย่างในรูปที่ 4.27 (ข.) นั้นได้ทำการนำช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับซึ่งมีความยาวเท่ากับ 32576 samples มาทำการแบ่งย่อยทางเวลาโดยกำหนดให้ส่วนสัญญาณที่ถูกแบ่งย่อย 99 ส่วนแรกนั้นมีความยาวเท่ากับ $\text{round}(32576/100) = 326$ samples เท่าๆกัน และกำหนดให้ส่วนสัญญาณส่วนที่ 100 นั้นมีความยาวเท่ากับจำนวน sample ที่เหลือ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $32576 - (326 \times 99) = 302$ samples นั้นเอง โดยเมื่อเสร็จสิ้นการแบ่งย่อยทางเวลาดังกล่าวแล้ว การนอร์มัลไลซ์ทางเวลาจะทำการหาค่าเฉลี่ยขนาดสัญญาณสำหรับส่วนสัญญาณแต่ละส่วน ดังแสดงภาพจำลองได้ดังรูปที่ 4.27 (ค.) โดยเมื่อเสร็จสิ้นการหาค่าเฉลี่ยขนาดสัญญาณทั้งหมดแล้วจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 100 ค่า ตามจำนวนของส่วนสัญญาณทั้งหมด 100 ส่วนนั่นเอง หลังจากนั้นการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาจะทำการนำค่าเฉลี่ยขนาดสัญญาณทั้ง 100 ค่าที่ได้มาประกอบกันเพื่อให้ได้สัญญาณใหม่ ดังแสดงภาพจำลองและภาพจริงได้ดังรูปที่ 4.27 (ง.) และรูปที่ 4.27 (จ.) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณใหม่ที่ได้นั้นมีความยาวเท่ากับ 100 samples ตามจำนวนค่าเฉลี่ยทั้งหมด 100 ค่าที่นำมาประกอบกันนั่นเอง โดยสัญญาณใหม่ที่ได้นั้นจะถูกกำหนดให้เป็นสัญญาณผลลัพธ์ของการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาสำหรับช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับดังกล่าว

การวิเคราะห์จะทำการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาสำหรับช่วงสัญญาณแต่ละช่วงโดยวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยช่วงสัญญาณผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากการนอร์มัลไลซ์ทางเวลานั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.28 (ก.) ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดนั้นมีความยาวเท่ากับ 100 samples เท่ากันทั้งหมด

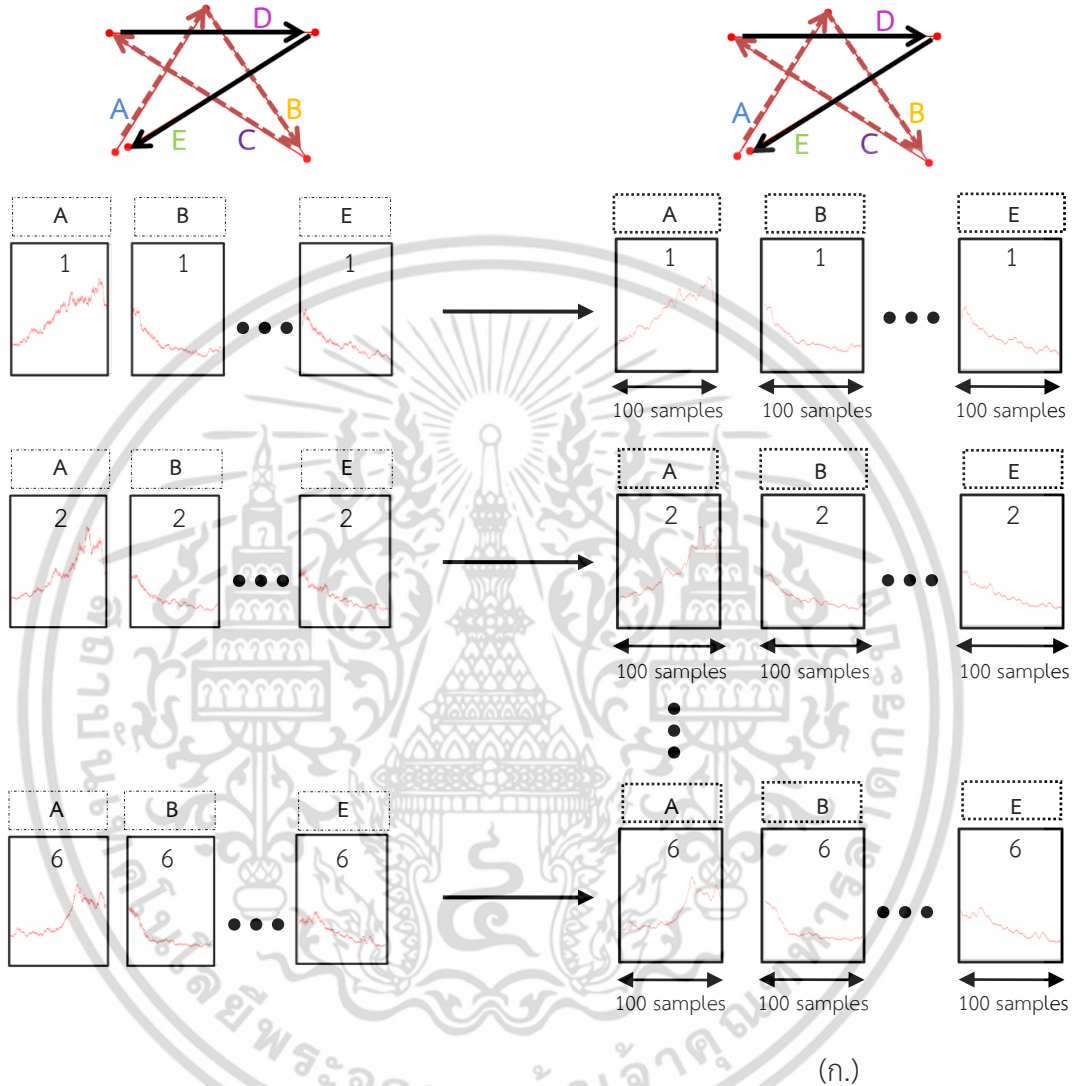
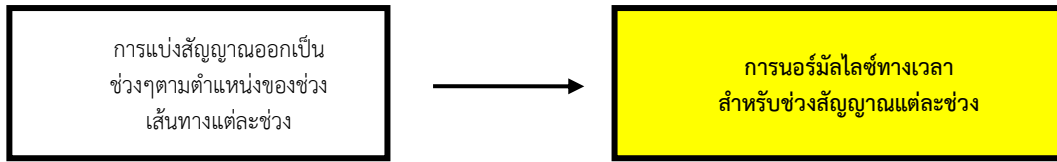


รูปที่ 4.26 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไข
หนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การแสดงเส้นขีดแบ่งลงบนสัญญาณเพื่อแสดงการแบ่งสัญญาณออกเป็น
ช่วงๆตามตำแหน่งของช่วงเส้นทางแต่ละช่วง โดยทำการละทิ้งช่วงสัญญาณที่วัดได้ก่อนที่
กรอบสี่เหลี่ยมจะเริ่มเคลื่อนที่ออกไป (ข.) ผลลัพธ์ของการแบ่งสัญญาณออกเป็นช่วงๆตาม
ตำแหน่งของช่วงเส้นทางแต่ละช่วง



รูปที่ 4.27 ตัวอย่างการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาสำหรับช่วงสัญญาณหนึ่งๆ (ก.) ตัวอย่างช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับ ซึ่งมีความยาวของช่วงสัญญาณเท่ากับ 32576 samples (ข.) ภาพจำลองแสดงการนำช่วงสัญญาณที่ต้องการปรับมาทำการแบ่งย่อยทางเวลาออกเป็นส่วนๆ ทั้งหมด 100 ส่วน (ค.) การหาค่าเฉลี่ยขนาดสัญญาณสำหรับส่วนสัญญาณแต่ละส่วน (ง.) ภาพจำลองแสดงการนำค่าเฉลี่ยขนาดสัญญาณทั้ง 100 ค่ามาประกอบกันเพื่อให้ได้สัญญาณใหม่ ซึ่งส่งผลให้สัญญาณใหม่ที่ได้นั้นมีความยาวเท่ากับ 100 samples (จ.) ภาพจริงของสัญญาณใหม่ที่ได้ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นสัญญาณผลลัพธ์ของการนอร์มัลไลซ์ทางเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



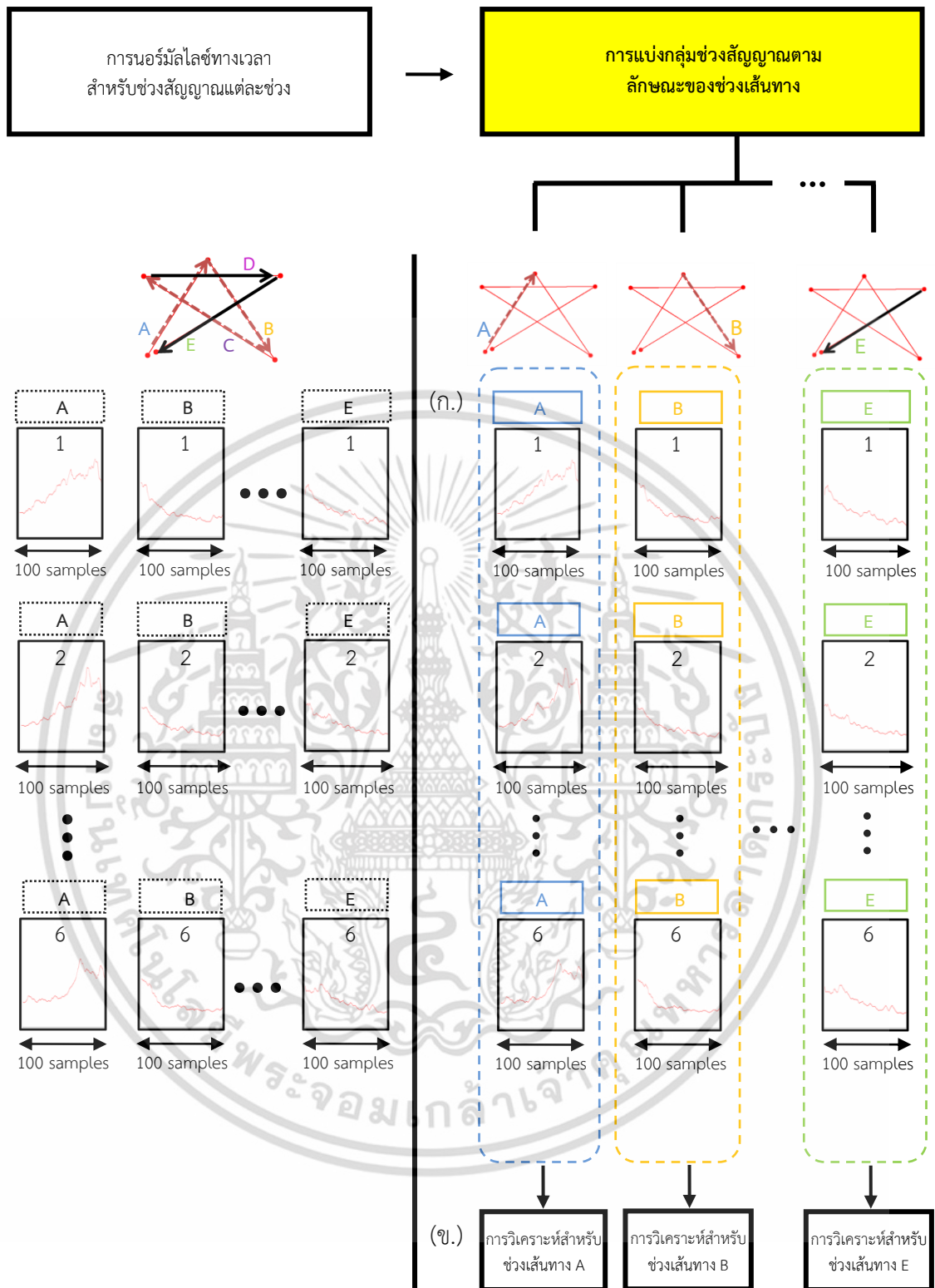
รูปที่ 4.28 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไข
หนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) ช่วงสัญญาณผลลัพธ์ทุกๆช่วงที่ได้จากการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาซึ่งมีความ
ยาวเท่ากับ 100 samples เท่ากันทั้งหมด

เมื่อการวิเคราะห์ที่ได้ทำการนอร์มัลไลซ์ทางเวลาสำหรับช่วงสัญญาณทุกๆช่วงแล้ว การวิเคราะห์จะทำการแบ่งกลุ่มช่วงสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมด โดยนำช่วงสัญญาณที่อยู่ในช่วงเส้นทางเดียวกันมาจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.29 (ก.) โดยการจัดกลุ่มในลักษณะดังกล่าว นั้นจะทำให้กลุ่มแต่ละกลุ่มนั้นมีช่วงสัญญาณอยู่เป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 ช่วงสัญญาณ โดยการวิเคราะห์จะทำการนำกลุ่มของช่วงสัญญาณที่ได้แต่ละกลุ่มมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางแต่ละช่วง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.29 (ข.) โดยการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางหนึ่งๆนั้นสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.30 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ การวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางหนึ่งๆนั้นจะทำการนำช่วงสัญญาณทั้ง 6 ช่วงสัญญาณภายในกลุ่มมาทำการจับคู่กันแบบพบกันหมด ซึ่งส่งผลให้ได้คู่สัญญาณสำหรับกรวิเคราะห์เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 คู่ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.30 (ข.) หลังจากนั้นการวิเคราะห์จะทำการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับคู่สัญญาณแต่ละคู่โดยเลือกใช้สมการที่ (2.15) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.30 (ค.) โดยเมื่อการวิเคราะห์ได้หาค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคู่สัญญาณครบทุกคู่แล้วจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมด 15 ค่าตามจำนวนคู่สัญญาณทั้งหมด 15 คู่ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.31 (ค.) หลังจากนั้นการวิเคราะห์จะทำการนำค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 15 ค่าที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.31 (ง.)

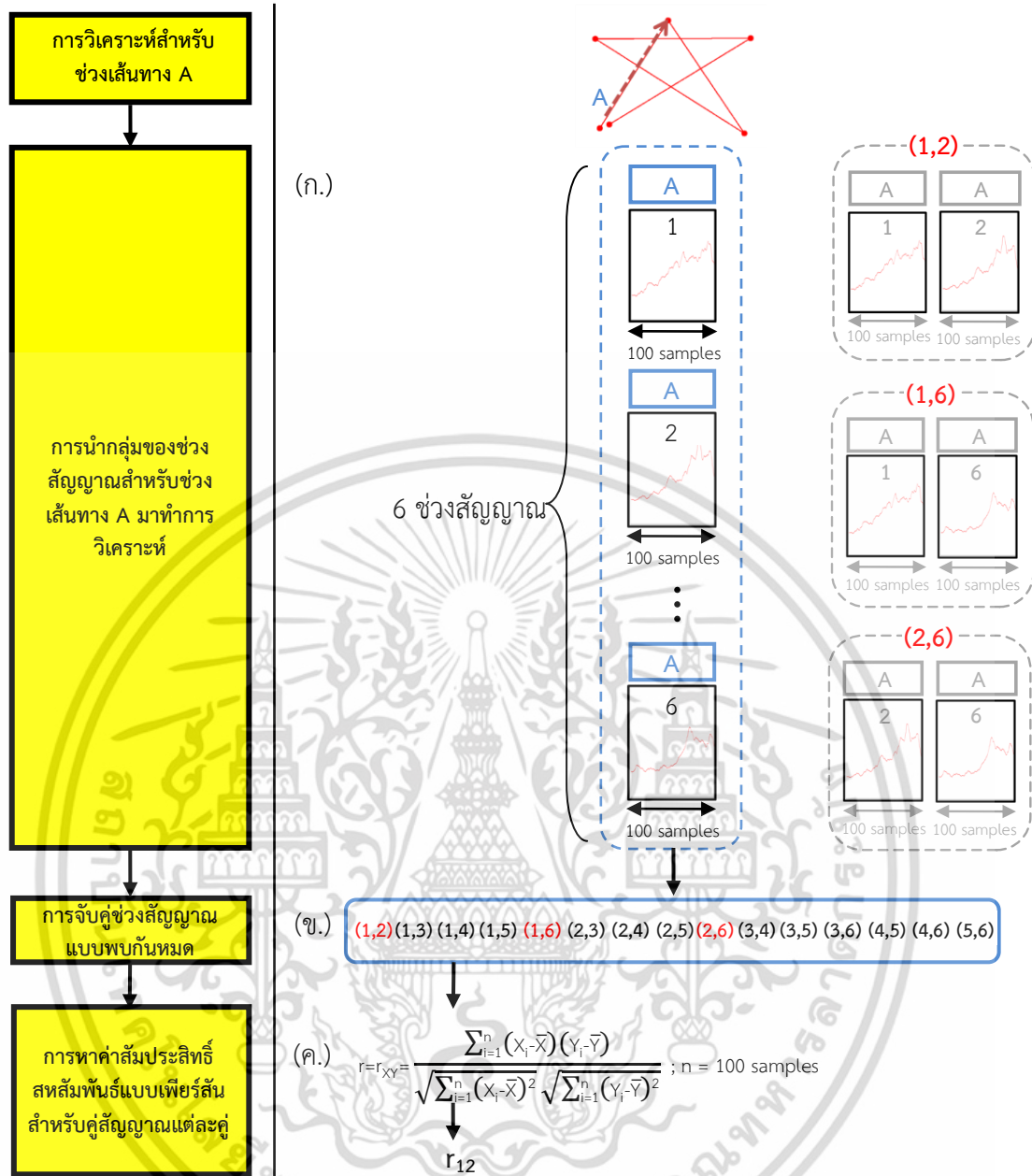
ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้นั้นจะบ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์ของช่วงสัญญาณทั้ง 6 ช่วงสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งหากช่วงสัญญาณทั้ง 6 ช่วงสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์นั้นมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียง 1 มาก โดยการวิเคราะห์จะทำการนำค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้ไปใช้ในการบ่งบอกถึงความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับช่วงเส้นทางที่ทำการวิเคราะห์ โดยช่วงเส้นทางที่มีความสามารถในการวัดซ้ำสูงนั้นจะมีช่วงสัญญาณทั้ง 6 ช่วงสัญญาณที่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง จึงส่งผลให้การวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางดังกล่าวนี้จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียง 1 มาก ดังนั้น ช่วงเส้นทางที่ทำการวิเคราะห์แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์เฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียง 1 มากนั้นจะถูกพิจารณาให้เป็นช่วงเส้นทางที่มีความสามารถในการวัดซ้ำสูงนั่นเอง

การวิเคราะห์จะทำการนำกลุ่มของช่วงสัญญาณแต่ละกลุ่มมาทำการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางแต่ละช่วงโดยวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยภาพจำลองที่ได้แสดงถึงการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางแต่ละช่วงนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.32 โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางแต่ละช่วงนั้นคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเฉลี่ยซึ่งได้บ่งบอกถึงความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับช่วงเส้นทางที่ทำการวิเคราะห์ โดยช่วงเส้นทางที่มีความสามารถในการวัดซ้ำสูงนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียง 1 มาก ตามเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนั่นเอง



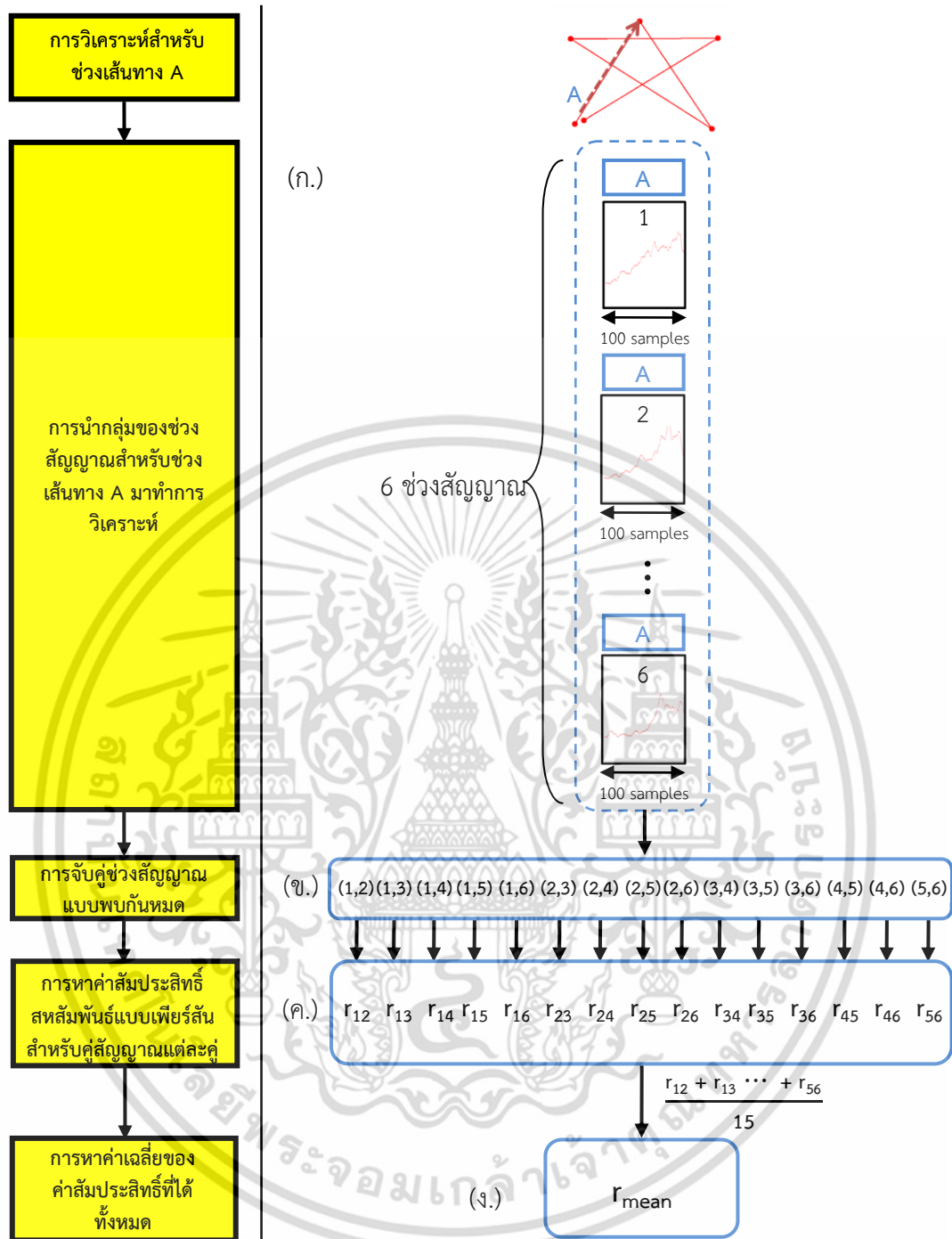
รูปที่ 4.29 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การแบ่งกลุ่มช่วงสัญญาณโดยนำช่วงสัญญาณที่อยู่ในช่วงเส้นทางเดียวกันมาจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (ข.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณแต่ละกลุ่มมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



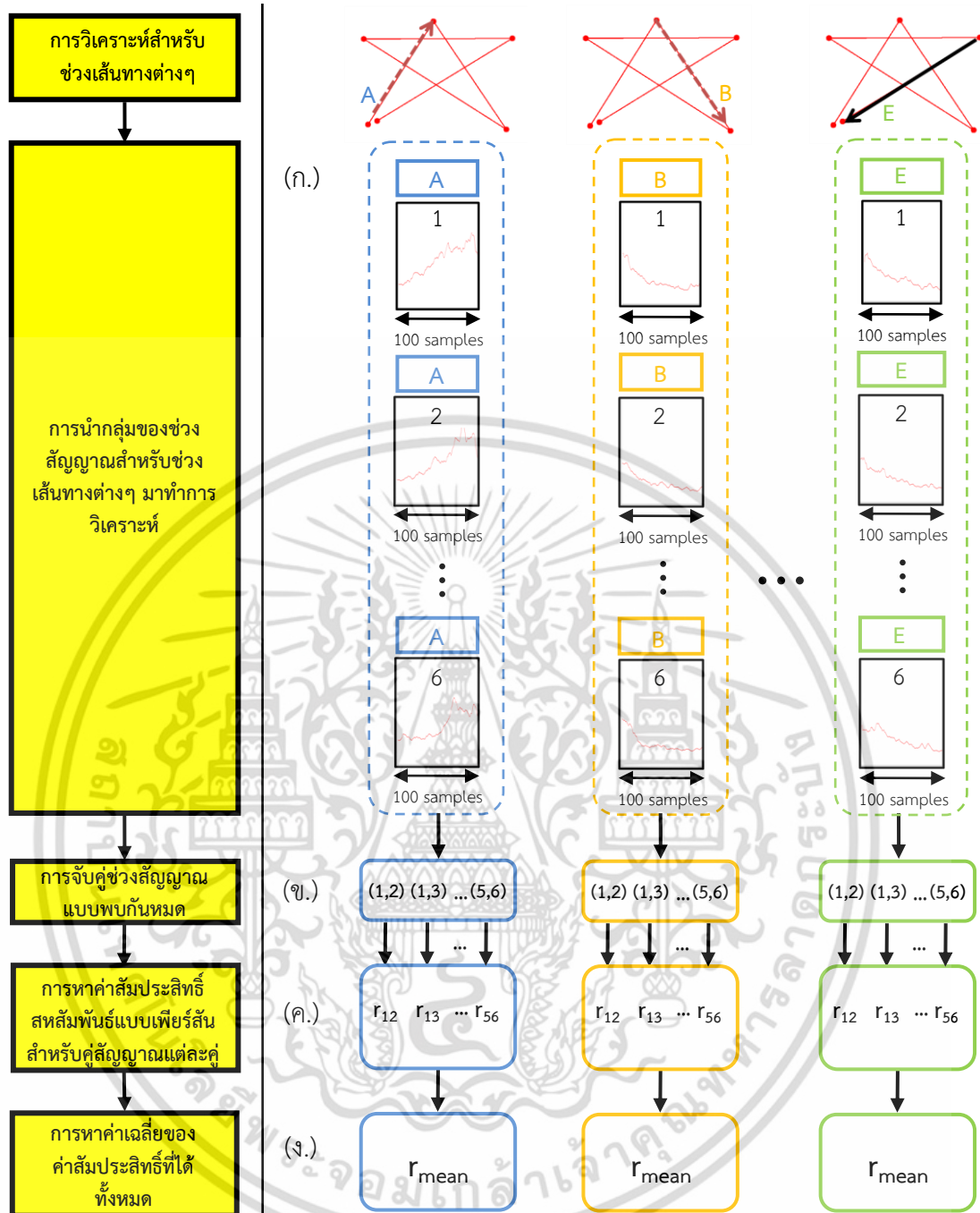
รูปที่ 4.30 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณมาทำการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางหนึ่งๆ (ข.) การนำช่วงสัญญาณทั้งหมด 6 ช่วงสัญญาณมาทำการจับคู่กันแบบพบกันหมดซึ่งจะทำให้ได้คู่สัญญาณสำหรับการวิเคราะห์เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 คู่ (ค.) การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับคู่สัญญาณแต่ละคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไข
 หนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทาง
 หนึ่งๆ (ข.) การนำช่วงสัญญาณทั้งหมด 6 ช่วงสัญญาณมาทำการจับคู่กันแบบพบกันหมด
 ซึ่งจะทำให้ได้คู่สัญญาณสำหรับการวิเคราะห์เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 คู่ (ค.) การหาค่า
 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับคู่สัญญาณแต่ละคู่ ซึ่งจะทำให้ได้ค่า
 สัมประสิทธิ์ทั้งหมด 15 ค่า (ง.) การหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้
 ได้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆ (ต่อ) (ก.) การนำกลุ่มของช่วงสัญญาณมาทำการแยกวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางต่างๆ (ข.) การนำช่วงสัญญาณทั้งหมด 6 ช่วงสัญญาณมาทำการจับคู่กันแบบพบกันหมด ซึ่งจะทำให้ได้คู่สัญญาณสำหรับการวิเคราะห์เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 คู่ (ค.) การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสำหรับคู่สัญญาณแต่ละคู่ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมด 15 ค่า (ง.) การหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆนั้นจะกำหนดให้ทำการนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อ 6 สัญญาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยการวิเคราะห์สำหรับการทดสอบเงื่อนไขหนึ่งๆนั้นจะถือเป็นอันเสร็จสิ้นเมื่อการวิเคราะห์นั้นได้หาค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยสำหรับช่วงเส้นทางที่ทำการพิจารณาครบทุกช่วงเส้นทาง

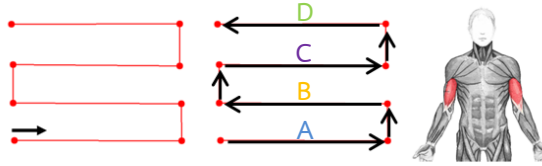
งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำสำหรับการทดสอบแต่ละเงื่อนไขโดยวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวข้างต้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบแต่ละเงื่อนไขนั้นคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเฉลี่ยสำหรับช่วงเส้นทางแต่ละช่วงซึ่งได้บ่งบอกถึงความสามารถในการวัดซ้ำสำหรับช่วงเส้นทางแต่ละช่วง โดยช่วงเส้นทางที่มีความสามารถในการวัดซ้ำสูงนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียง 1 มากตามเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบแต่ละเงื่อนไขหรือค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.11 หรือรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 1–Biceps brachii

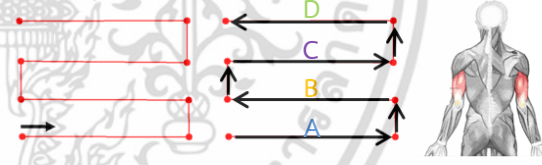
เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 1 Biceps brachii			
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D
r_{mean}	0.510	0.574	0.643	0.536
$r_{\text{standard deviation}}$	0.157	0.121	0.072	0.223



ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 1 – Biceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทางต่างๆ ช่วงนั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.510 – 0.643 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดปานกลาง โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 1 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับปานกลางสำหรับช่วงเส้นทางต่างๆ ช่วง เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 1–Triceps brachii

เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 1 Triceps brachii			
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D
r_{mean}	0.361	0.736	0.650	0.627
$r_{\text{standard deviation}}$	0.108	0.067	0.100	0.101



ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 1 – Triceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง A นั้นมีค่าเท่ากับ 0.361 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดเล็ก และค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง B C D นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.650 – 0.736 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดปานกลาง โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 1 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับต่ำสำหรับช่วงเส้นทาง A และมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับปานกลางสำหรับช่วงเส้นทาง B C D เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 2–Biceps brachii

เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 2 Biceps brachii			
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D
r_{mean}	0.948	0.937	0.914	0.960
$r_{\text{standard deviation}}$	0.020	0.020	0.031	0.025

ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 2 – Biceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทางต่างๆช่วงนั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.914 – 0.960 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดใหญ่ โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 2 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับช่วงเส้นทางต่างๆช่วง เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 2–Triceps brachii

เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 2 Triceps brachii			
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D
r_{mean}	0.934	0.920	0.945	0.943
$r_{\text{standard deviation}}$	0.034	0.021	0.022	0.029

ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 2 – Triceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทางต่างๆช่วงนั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.920 – 0.945 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดใหญ่ โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 2 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับช่วงเส้นทางต่างๆช่วง เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 3–Biceps brachii

เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 3 Biceps brachii				
	A	B	C	D	E
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D	E
r_{mean}	0.885	0.942	0.958	0.545	0.876
$r_{\text{standard deviation}}$	0.043	0.028	0.018	0.149	0.061

ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 3 – Biceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง A B C E นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.876 – 0.958 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดใหญ่ และค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง D นั้นมีค่าเท่ากับ 0.545 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดปานกลาง โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 3 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับช่วงเส้นทาง A B C E และมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับปานกลางสำหรับช่วงเส้นทาง D เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 3–Triceps brachii

เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 3 Triceps brachii				
	A	B	C	D	E
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D	E
r_{mean}	0.857	0.942	0.944	0.546	0.847
$r_{\text{standard deviation}}$	0.059	0.022	0.022	0.125	0.042

ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 3 – Triceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง A B C E นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.847 – 0.944 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดใหญ่ และค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง D นั้นมีค่าเท่ากับ 0.546 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดปานกลาง โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 3 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับช่วงเส้นทาง A B C E และมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับปานกลางสำหรับช่วงเส้นทาง D เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 4– Biceps brachii

เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 4 Biceps brachii				
	A	B	C	D	E
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D	E
r_{mean}	0.890	0.549	0.919	0.948	0.913
$r_{\text{standard deviation}}$	0.038	0.141	0.024	0.021	0.023

ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 4 – Biceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง A C D E นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.890 – 0.948 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดใหญ่ และค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง B นั้นมีค่าเท่ากับ 0.549 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดปานกลาง โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 4 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับช่วงเส้นทาง A C D E และมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับปานกลางสำหรับช่วงเส้นทาง B เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii

ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 4– Triceps brachii

เงื่อนไข ในการทดสอบ	Route 4 Triceps brachii				
	A	B	C	D	E
ช่วงเส้นทาง	A	B	C	D	E
r_{mean}	0.902	0.486	0.907	0.925	0.882
$r_{\text{standard deviation}}$	0.035	0.131	0.041	0.029	0.035

ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบเงื่อนไข Route 4 – Triceps brachii นั้นสามารถแสดงดังตารางที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง A C D E นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.882 – 0.925 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดใหญ่ และค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่ได้สำหรับช่วงเส้นทาง B นั้นมีค่าเท่ากับ 0.486 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยที่มีขนาดเล็ก โดยค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยทั้งหมดที่ได้นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์เสมือนจริงด้วยรูปแบบเส้นทาง Route 4 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับช่วงเส้นทาง A C D E และมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับต่ำสำหรับช่วงเส้นทาง B เมื่อได้ทำการวัดผลการทดสอบจากมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

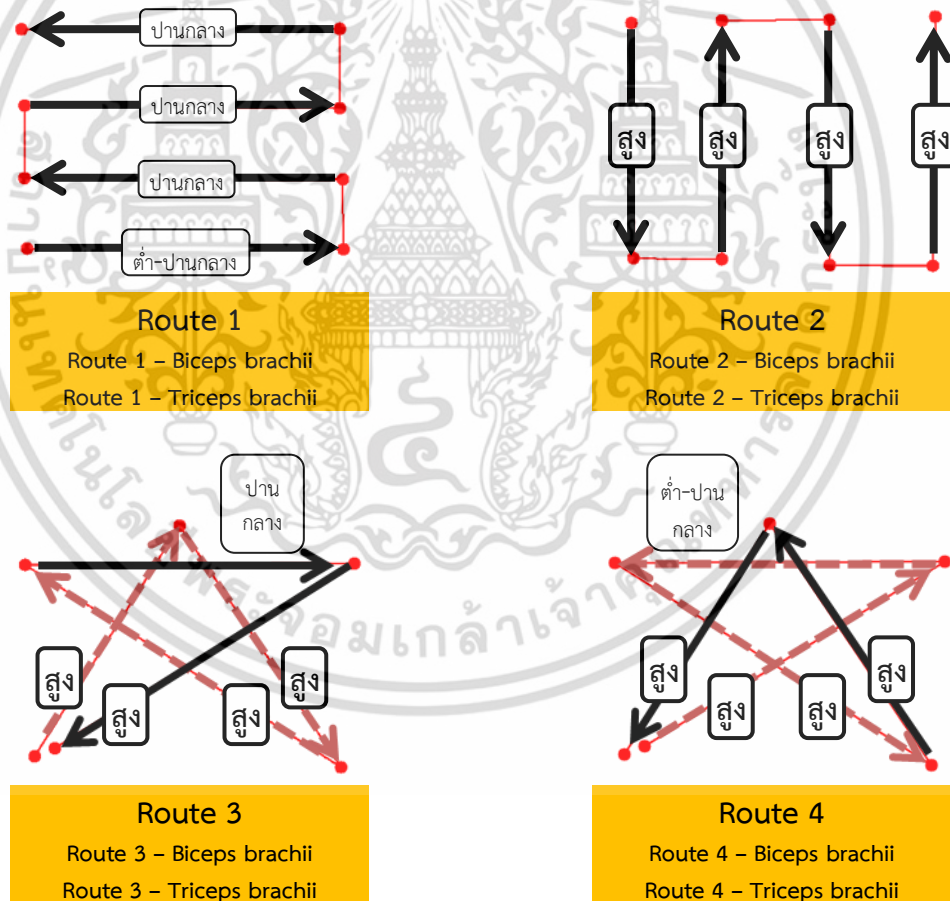
5.1 บทสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับการบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้ป่วยนั้นเข้ารับการฟื้นฟู โดยระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ กล้องเว็บแคม วัตถุทรงกลมขนาดพอดีมือที่ได้ติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้ และเก้าอี้ที่ได้ติดตั้งแผ่นอะคลีริกไว้ในแนวเอียง โดยระบบที่นำเสนอได้กำหนดให้กล้องเว็บแคมนั้นได้หันส่องมายังบริเวณระนาบของแผ่นอะคลีริกดังกล่าว โดยการฟื้นฟูด้วยระบบที่นำเสนอจะกำหนดให้ผู้เล่นนั่งอยู่บนเก้าอี้ที่ได้ติดตั้งแผ่นอะคลีริกไว้ในแนวเอียง พร้อมทั้งหยิบจับวัตถุทรงกลมที่ได้ติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้และเคลื่อนวัตถุทรงกลมดังกล่าวไปบนแผ่นอะคลีริกตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนดไว้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

เมื่อเริ่มต้นการฟื้นฟู ระบบจะกำหนดให้กล้องเว็บแคมทำการรับเฟรมภาพของสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาจริง โดยที่เฟรมภาพดังกล่าวนี้ได้แสดงให้เห็นถึงระนาบของแผ่นอะคลีริกที่ถูกติดตั้งไว้บนเก้าอี้ที่ผู้ป่วยนั่ง โดยระบบจะทำการวาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมและวาดเส้นทางลงบนเฟรมภาพที่ได้รับจากกล้องเว็บแคม พร้อมทั้งแสดงเฟรมภาพที่ถูกวาดทับดังกล่าวออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผู้เล่นจะต้องถือวัตถุทรงกลมที่ได้ติดตั้งแผ่นมาร์กเกอร์ไว้มาวางบนระนาบของแผ่นอะคลีริก โดยให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม โดยระบบจะทำการตรวจสอบว่าได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าวหรือไม่โดยใช้หลักการของการประมวลผลภาพ ซึ่งหากระบบได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าวแล้ว ระบบจะทำการเคลื่อนกรอบสี่เหลี่ยมไปในหน้าจอคอมพิวเตอร์ตามทิศทางของเส้นทางที่ถูกแสดงขึ้น ผู้เล่นจะต้องเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปบนแผ่นอะคลีริกตามกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าวเพื่อให้ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ภายในเฟรมภาพนั้นอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมตลอดการเคลื่อนที่ หากผู้เล่นเคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยมในขณะที่กรอบสี่เหลี่ยมกำลังเคลื่อนที่นั้น ระบบจะทำการเพิ่มจำนวนความผิดพลาดรวมและทำการหยุดการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยม โดยระบบจะสั่งให้กรอบสี่เหลี่ยมนั้นหยุดรอจนกระทั่งผู้เล่นนั้นได้เคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมอีกครั้ง โดยเมื่อผู้เล่นได้เคลื่อนมาร์กเกอร์กลับเข้ามาอยู่ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมแล้ว ระบบจะสั่งให้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางต่อไป โดยเกมส์จะสิ้นสุดลงเมื่อกรอบสี่เหลี่ยมนั้นได้เคลื่อนมายังจุดปลายทางของเส้นทาง โดยเมื่อเกมส์นั้นได้สิ้นสุดลงแล้ว ระบบจะทำการนับจำนวนความผิดพลาดรวมทั้งหมดที่ผู้เล่นได้เคลื่อนมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม พร้อมทั้งแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบที่นำเสนอในเบื้องต้นโดยทำการวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบ โดยการทดสอบดังกล่าวนี้ได้เลือกผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพจำนวนหนึ่งคนเข้ารับการทดสอบ โดยการทดสอบวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบนั้นประกอบไปด้วยการทดสอบทั้งหมด 6 ชุดการทดสอบ โดยที่การทดสอบแต่ละชุดนั้นมีลักษณะของการทดสอบที่เหมือนกัน โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดการทดสอบหนึ่งๆนั้นประกอบไปด้วยเงื่อนไขในการทดสอบที่แตกต่างกันทั้งหมด 8 รูปแบบซึ่งประกอบไปด้วยการเล่นเกมส์โดยวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นด้วยรูปแบบเส้นทางที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 รูปแบบเส้นทาง และทำการวัดผลการทดสอบของการเล่นเกมส์ดังกล่าวโดยทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของผู้เล่นในขณะที่ทำการเล่นเกมส์จากมัดกล้ามเนื้อทั้งหมด 2 มัดกล้ามเนื้อ ได้แก่ มัดกล้ามเนื้อ biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ triceps brachii โดยการวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบจะทำการนำสัญญาณที่ถูกวัดภายใต้เงื่อนไขในการทดสอบเดียวกันจากชุดการทดสอบแต่ละชุดมาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน กล่าวคือ การวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบจะทำการนำสัญญาณที่วัดได้จากการเล่นเกมส์ด้วยรูปแบบเส้นทางเดียวกันและวัดได้จากมัดกล้ามเนื้อเดียวกันจากชุดการทดสอบแต่ละชุดมาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน โดยการวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบนั้นสามารถทำได้โดยการแปลงสัญญาณแต่ละสัญญาณที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ พร้อมทั้งนำรูปร่างของสัญญาณที่ถูกแปลงรูปแล้วมาทำการเปรียบเทียบกันโดยทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเฉลี่ย (r_{mean}) โดยการเปรียบเทียบนั้นจะทำการแยกเปรียบเทียบทีละช่วงสัญญาณเพื่อทำการแยกวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบทีละช่วงเส้นทาง



รูปที่ 5.1 แสดงระดับความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับช่วงเส้นทางต่างๆทั้งสำหรับมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับเงื่อนไขในการทดสอบ Route 1 - Biceps brachii และเงื่อนไขในการทดสอบ Route 1 – Triceps brachii นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์ด้วยช่วงเส้นทางที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวนอนภายในเส้นทาง Route 1 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับต่ำถึงระดับปานกลางสำหรับมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเฉลี่ยทุกๆค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางดังกล่าวนั้นมีขนาดต่ำถึงขนาดปานกลางนั่นเอง

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับเงื่อนไขในการทดสอบ Route 2 - Biceps brachii และเงื่อนไขในการทดสอบ Route 2 – Triceps brachii นั้นได้แสดงให้เห็นว่าการเล่นเกมส์ด้วยช่วงเส้นทางที่มีลักษณะเป็นเส้นตั้งขึ้นหรือเส้นตั้งลงในเส้นทาง Route 2 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเฉลี่ยทุกๆค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางดังกล่าวนี้มีขนาดใหญ่ทั้งหมดนั่นเอง

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของระบบสำหรับเงื่อนไขในการทดสอบ Route 3 – Biceps brachii , Route 3 – Triceps brachii , Route 4 – Biceps brachii และ Route 4 – Triceps brachii นั้นได้แสดงให้เห็นว่า การเล่นเกมส์สำหรับช่วงเส้นทางที่มีลักษณะเป็นเส้นเฉียงทั้งหมดภายในเส้นทาง Route 3 และ Route 4 นั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงสำหรับมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเฉลี่ยทุกๆค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สำหรับช่วงเส้นทางดังกล่าวนี้มีขนาดใหญ่ทั้งหมดนั่นเอง

ช่วงเส้นทางทั้งหมดที่มีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับสูงนั้นได้บ่งบอกว่าการเล่นเกมส์ในช่วงเส้นทางดังกล่าวจะทำให้ผู้ป่วยได้ออกแรงมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii หรือมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii ตามลักษณะแนวโน้มของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพด้วยความเชื่อมั่นในระดับสูง ฉะนั้น เราจึงสามารถนำช่วงเส้นทางดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบเส้นทางในรูปแบบอื่นๆเพื่อให้ผู้ป่วยนั้นได้เล่นเกมส์โดยกำหนดให้ผู้ป่วยนั้นได้ออกแรงมัดกล้ามเนื้อ Biceps brachii และมัดกล้ามเนื้อ Triceps brachii ตามที่ต้องการได้

5.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 เราสามารถพัฒนาระบบที่นำเสนอโดยทำการเพิ่มเติม ลูกเล่น กราฟฟิก เสียง และ รูปแบบการดำเนินเนื้อเรื่องเข้าไปในเกมส์ เพื่อสร้างแรงจูงใจในการเข้ารับการฟื้นฟูที่ดียิ่งขึ้นให้กับผู้ป่วยได้
- 5.2.2 เราสามารถพัฒนาส่วนประสานกับผู้ใช้ (User interface) สำหรับเกมส์เพื่อก่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานระบบที่นำเสนอที่มากยิ่งขึ้น
- 5.2.3 เราสามารถดัดแปลงวัตถุทรงกลมให้เหมาะกับการใช้งานสำหรับผู้ป่วยอัมพาตจริงได้ เช่น การติดตั้งสายรัดไว้ที่วัตถุทรงกลมเพื่อให้สามารถคล้องวัตถุทรงกลมไว้กับมือของผู้ป่วยที่ไม่สามารถหยิบจับวัตถุทรงกลมได้ เป็นต้น
- 5.2.4 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหามาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมนั้นยังปรากฏให้เห็นถึงความผิดพลาดในการตรวจหามาร์กเกอร์ในบางครั้ง กล่าวคือ การประมวลผลนั้นได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ภายในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมในขณะที่ไม่มีมาร์กเกอร์อยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกการดำเนินงานใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดังกล่าวอยู่จริง (false positive) โดยความผิดพลาดของการประมวลผลดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการนับจำนวนความผิดพลาดรวมได้
- 5.2.5 เราสามารถพัฒนาเกมส์เพื่อให้เกมส์สามารถแสดงและบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ถูกวัดในช่วงเวลาจริงได้โดยเลือกใช้อุปกรณ์รับสัญญาณ DAQ Card นอกจากนี้เรายังสามารถพัฒนาเกมส์เพื่อให้เกมส์นั้นสามารถนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้มาร่วมใช้ในการดำเนินเกมส์ได้อีกด้วย
- 5.2.6 การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของผู้เล่นเพื่อทำการวัดความสามารถในการวัดซ้ำของระบบนั้นควรจัดวางตำแหน่งและมุมมองของกล้องเว็บแคมและเก้าอี้สำหรับการทดสอบให้คงที่ตลอดการทดสอบ
- 5.2.7 การทดสอบระบบที่นำเสนอสมควรกำหนดตำแหน่งของการติดอิเล็กโทรดไว้บนมัดกล้ามเนื้อที่ต้องการวัดผลการทดสอบเพื่อให้สามารถควบคุมตำแหน่งของการติดอิเล็กโทรดให้คงที่ตลอดการทดสอบ
- 5.2.8 การจัดเตรียมการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อสมควรหาเจลอิเล็กโทรดในปริมาณที่มากเพียงพอเพื่อลดความต้านทานของผิวหนังบริเวณผิวสัมผัสให้น้อยเพียงพอ นอกจากนี้การจัดเตรียมยังควรนำสายรัดมาทำการรัดทับอิเล็กโทรดให้แน่นเพียงพอ เพื่อไม่ให้อิเล็กโทรดนั้นเกิดการเลื่อนตำแหน่งในระหว่างการทดสอบ
- 5.2.9 การทดสอบระบบที่นำเสนอสมควรนำสายรัดตัวมาทำการรัดตัวผู้เล่นไว้กับเก้าอี้เพื่อไม่ให้ผู้เล่นนั้นเคลื่อนตัวไปมาระหว่างทำการเล่นเกมซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ทำการวัดได้
- 5.2.10 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้นั้นอาจเป็นผลมาจากลักษณะการหยิบจับวัตถุทรงกลม ลักษณะการวางตัวของแขนในขณะที่ทำการเคลื่อนมาร์กเกอร์ สรีระของผู้เล่น ฯลฯ
- 5.2.11 การเล่นเกมในช่วงเส้นทางทั้งหมดที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวนอนนั้นมีความสามารถในการวัดซ้ำในระดับต่ำถึงระดับปานกลางเนื่องจากแผ่นอะคลีริกนั้นมีความกว้างน้อยเกินไปหรือมีช่วงระยะการเคลื่อนที่บนแผ่นอะคลีริกที่สั้นเกินไปเมื่อเทียบกับช่วงการเคลื่อนที่แขนในแนวนอนของผู้เล่น เนื่องด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้การเล่นเกมในช่วงเส้นทางดังกล่าวนั้นมีลักษณะการออกแรงของมัดกล้ามเนื้อที่มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน จึงส่งผลให้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้จากการเคลื่อนแขนในช่วงเส้นทางดังกล่าวจากการทดสอบทั้ง 6 ชุดการทดสอบนั้นมีลักษณะที่ไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเฉลี่ยสำหรับช่วงเส้นทางดังกล่าวนี้มีขนาดต่ำถึงขนาดปานกลางนั่นเอง โดยเราสามารถปรับปรุงและพัฒนาาระบบที่นำเสนอเพื่อให้การเล่นเกมในช่วงเส้นทางดังกล่าวมีความสามารถในการวัดซ้ำที่สูงขึ้นได้โดยทำการเพิ่มความกว้างของแผ่นอะคลีริกเพื่อให้ผู้เล่นนั้นสามารถเล่นเกมโดยเคลื่อนแขนในระยะที่ไกลออกจากลำตัวมากขึ้น
- 5.2.12 เราสามารถพัฒนาผลการทดสอบความสามารถในการวัดซ้ำของระบบได้โดยทำการเพิ่มจำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ เพิ่มรูปแบบเส้นทางการทดสอบ ทำการทดสอบโดยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบสี่เหลี่ยมที่แตกต่างกัน เป็นต้น
- 5.2.13 ระบบที่นำเสนอสามารถนำไปพัฒนาต่อได้โดยทำการนำระบบที่นำเสนอไปทดสอบกับผู้ป่วยจริง เพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่ต้องปรับปรุงและแก้ไขของระบบที่นำเสนอในการใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," Chapter 3, Prentice Hall, 2002, pp.123-124.
- [2] [online]. Available: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm>
- [3] [online]. Available: http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/miscellaneous_transformations.html
- [4] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," Chapter 9, Prentice Hall, 2002, pp.519-532.
- [5] Kenneth r. Castleman, "Digital Image Processing," Prentice-Hall, 1996, pp 494-496.
- [6] D. Vernon, "Machine Vision," Prentice-Hall, 1991, pp 143-145.
- [7] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," Chapter 9, Prentice Hall, 2002, pp.539.
- [8] [online]. Available: http://docs.opencv.org/master/d1/d32/tutorial_py_contour_properties.html#gsc.tab=0
- [9] Peter Konrad, "The ABC of EMG," Noraxon INC. USA., 2005.
- [10] Ganesh R. Naik, "Computational Intelligence in Electromyography Analysis – A Perspective on Current Applications and Future Challenges," Chapter 18, InTech, 2012.
- [11] Tanya Cardillo, Susan Dresden and Jacquelyn Solem, "Crosstalk: Surface Versus Intramuscular Electrodes for the Peroneus Brevis and Peroneus Longus," 1998, pp.14.
- [12] Vaclav Klika, "Biomechanics in Applications," Chapter 15, InTech, 2011, pp.352.
- [13] Carlo J. De Luca, "The Use of Surface Electromyography in Biomechanics," Journal of Applied Biomechanics, 1997, pp.140.
- [14] Peter Sprent and Nigel C. Smeeton, "Applied Nonparametric Statistical Methods," Chapter 10, Chapman & Hall/CRC, 2007, pp.283-285.
- [15] Antonio Frisolo, Massimo Bergamasco, Maria C. Carboncini and Bruno Rossi, "Robotic assisted rehabilitation in Virtual Reality with the L-EXOS," Studies in Health Technology and Informatics, 2009, pp.40-54.
- [16] Manjuladevi Kuttuva, Rares Boian, Alma Merians, Grigore Burdea, Mourad Bouzit, Jeffrey Lewis and Devin Fensterheim, "The Rutgers Arm: An Upper-Extremity Rehabilitation System in Virtual Reality," The Fourth International Workshop on Virtual Rehabilitation (IWVR 2005), 2005.
- [17] J.W. Burke, M. D J. McNeill, D. K. Charles, P. J. Morrow, "Augmented Reality Games for Upper-Limb Stroke Rehabilitation," 2010 Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES 2010), 2010, pp.75-78.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยถูกใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] [online]. Available: <http://www.exrx.net/Lists/Directory.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ชัชชัย คาง และ กิตติพล ชิตสกุล, “ระบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับการบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณ แขน(Augmented Reality Game for Forearm Rehabilitation),” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36), 2556, หน้า 923-926.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
72 ปี
1942-2014

Volume 2

- (CM) ไฟฟ้าสื่อสาร
- (EL) อิเล็กทรอนิกส์
- (PH) ไฟฟ้านิวเคลียร์
- (CT) ระบบควบคุม
และการวัดคุม
- (DS) การประมวล
สัญญาณดิจิทัล
- (CP) คอมพิวเตอร์
และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- (GN) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
กับวิศวกรรมไฟฟ้า
- (BE) วิศวกรรมชีวการแพทย์

Electrical Engineering Dept.

Faculty of Engineering

Kasetsart University

50 Ngamwongwan Road Laksi

Chatuchak Bangkok 10900

Tel: 02-797-0999 ext 1503, 1504

Fax: 02-579-7566



L&E

silicon craft

ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเกมส์เสมือนจริงสำหรับการบำบัดผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน Augmented Reality Game for Forearm Rehabilitation

ชัชชัย คาง กิติพล ชิตสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ : 0-2329-8344 E-mail: chuthaikang@hotmail.com, kekkitiph@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาเกมสำหรับเป็นเครื่องมือกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนถึงไหล่โดยนำเทคโนโลยีด้าน Augmented Reality มาใช้เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้ป่วยเข้ารับการบำบัด ระบบเกมส์ที่ได้นำเสนอประกอบด้วย วัตถุทรงกลมที่มีการติดตั้งมาร์กเกอร์(marker) แบบแผ่นกลม 2 มิติ และคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งกล้องเว็บแคมไว้ที่หนึ่งตัวพร้อมซอฟต์แวร์ วิธีการบำบัดเริ่มจากให้ผู้ป่วยหยิบถือวัตถุทรงกลมดังกล่าว โดยหันหน้าของมาร์กเกอร์ เข้าหากล้องเว็บแคม พร้อมทั้งเคลื่อนวัตถุทรงกลมในมือไปตามรูปแบบเส้นทางที่ระบบเกมส์ได้กำหนดไว้ บทความนี้จะได้นำเสนอผลการทดสอบเบื้องต้นของงานใช้งานจริงของระบบกับอาสาสมัครกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีทุพพลภาพมีช่วงอายุ 18-21 ปี โดยใช้รูปแบบเส้นทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ และปรับระดับความเร็วในการทดสอบให้อยู่ในระดับสำหรับบุคคลที่ไม่มีทุพพลภาพ จากการทดสอบพบว่า รูปแบบเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบสามารถบ่งชี้ถึงระดับความยากง่ายของเกมส์ได้ ซึ่งน่าจะสามารถนำไปใช้ช่วยในการประเมินความทุพพลภาพและฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขนและไหล่ได้

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การออกแบบเกมส์, เทคโนโลยีเสมือนจริง, การบำบัดผู้ป่วยอัมพาต

Abstract

This article describes development of a game system for arm-shoulder rehabilitation in patients who get strokes or some accidents. Based on augmented reality, the proposed system consists of a spherical object attached with a marker and a webcam attached to a microcomputer. The process begins by demanding the player to pick up the object, then to set the marker facing to the webcam. The player tries to move the object following the predetermined trajectory track shown on the monitor. The preliminary tests with healthy subjects (age of 18-21 years) were carried on using two different trajectory tracks. The experimental results shown that the performance of the players could be assessed by different trajectory tracks. Hopefully the proposed system

could be used for assessment of disability and also as a tool for arm-shoulder rehabilitation in the future.

Keywords: image processing, game design, augmented reality, Arm-shoulder rehabilitation

1. บทนำ

ผู้ป่วยอัมพาตตั้งแต่แขนถึงไหล่เป็นผลจากสมองส่วนควบคุมถูกกดทับด้วยเส้นเลือดในสมอง โป่งพองหรือแตกทำให้ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนได้ตามปกติ หรืออาจเกิดได้จากอุบัติเหตุกับสมองหรือระบบประสาทสั่งการ ภายหลังการรักษา ผู้ป่วยจะต้องเข้ารับการทำกายภาพบำบัดเพื่อฟื้นฟูสภาพกล้ามเนื้อที่ขาดการเคลื่อนไหวในช่วงของการรักษา การฟื้นฟูที่ใช้กันอยู่เช่นการจับย้ายลูกบอลนั้นมีข้อจำกัดคือ ผู้ป่วยมักขาดแรงจูงใจในการเข้ารับการฟื้นฟู เนื่องจากรูปแบบการฟื้นฟูทำให้เกิดความรู้สึกเบื่อหน่าย เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้มีความพยายามในการนำเทคโนโลยีเกมส์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการฟื้นฟูผู้ป่วย เช่น มีการพัฒนาระบบการฟื้นฟูผู้ป่วยโดยใช้เทคโนโลยีด้าน Virtual Reality และ Augmented Reality [1,2] และงานวิจัย [3] ซึ่งได้ออกแบบเกมส์โดยติดตั้งกล้องเว็บแคมดวงตาของผู้ป่วย โดยกำหนดให้ผู้ป่วยเคลื่อนวัตถุภายใต้สิ่งแวดล้อมจริงที่มีโมเดล 3 มิติซ้อนทับอยู่ งานวิจัยดังกล่าวได้แสดงผลประเมินให้เห็นว่าระบบการฟื้นฟูผู้ป่วยในรูปแบบของเกมส์นั้นสามารถสร้างแรงจูงใจให้ผู้ป่วยเข้ารับการฟื้นฟูได้เป็นอย่างดี เนื่องจากจากระบบการฟื้นฟูที่ก่อให้เกิดความสนุกสนาน สร้างแรงกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาตนเอง อีกทั้งยังสามารถปรับระดับความยากง่ายให้ตรงตามความต้องการของผู้ป่วยได้อีกด้วย นอกจากนี้ระบบเกมส์ยังสามารถแสดงผลและบันทึกผลการฟื้นฟูของผู้ป่วยได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการลดภาระการเก็บบันทึกข้อมูลของผู้ควบคุมดูแลได้เป็นอย่างดี

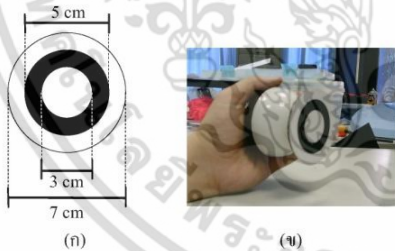
ในบทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเกมสำหรับรับการฟื้นฟูผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน-ไหล่ โดยเลือกใช้เทคโนโลยีด้าน Augmented Reality เนื่องจากการฟื้นฟูที่ควรมีสภาวะแวดล้อมในการฟื้นฟูที่ใกล้เคียงกับการใช้ชีวิตประจำวัน ดังนั้นระบบการฟื้นฟูที่อาศัยเทคโนโลยีด้าน Augmented Reality จึงก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีกว่าระบบ

การฟื้นฟูที่อาศัยเทคโนโลยีด้าน Virtual Reality [4] ระบบที่นำเสนอถูกทดสอบในเบื้องต้นกับอาสาสมัครกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีทุพพลภาพ โดยกำหนดรูปแบบที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ

2. แนวคิดและหลักการออกแบบ

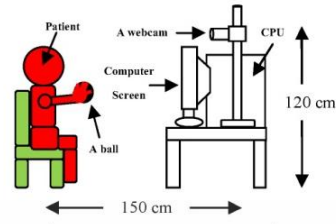
2.1 แนวคิดของระบบ

จากหลักการฟื้นฟูที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือให้ผู้ป่วยเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อส่วนที่ต้องการฟื้นฟูซ้ำ ๆ ไปมา ด้วยความช่วยเหลือจากนักกายภาพบำบัดในช่วงต้น ๆ และให้ผู้ป่วยพยายามทำด้วยตนเองเมื่อผ่านไประยะหนึ่ง ระบบที่นำเสนอจะใช้กับช่วงหลัง โดยกำหนดให้ผู้ป่วยนั่งหันเข้าหากลางจอภาพคอมพิวเตอร์ที่ได้ติดตั้งกล้องเว็บแคมไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กล้องเว็บแคมที่มีอัตราการแสดงภาพ 30 เฟรมต่อวินาทีตรงจับการเคลื่อนไหวแขนของผู้ป่วย กระบวนการฟื้นฟูได้กำหนดให้ผู้ป่วยหยิบถือวัตถุทรงกลมที่ได้มีการติดตั้งแผ่น มาร์กเกอร์ ไว้ดังแสดงได้ดังรูปที่ 1 ข มาร์กเกอร์ ดังกล่าวมีลักษณะเป็นวงกลมสีดำและวงกลมสีขาวซ้อนกันดังแสดง ได้ดังรูปที่ 1 ก ผู้ป่วยจะต้องบังคับมือและแขน หันระนาบของ มาร์กเกอร์ เข้าหากล้องเว็บแคมพร้อมกับเคลื่อนไหววัตถุทรงกลมไปตามทิศทางที่เกมส์ได้กำหนด เมื่อเริ่มต้นการฟื้นฟู ระบบจะทำการรับเฟรมภาพในช่วงเวลาจริง (real time) ผ่านทางกล้องเว็บแคม หลังจากนั้นระบบจะทำการคำนวณหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์ในเฟรมภาพด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ พร้อมทั้งแสดงผลออกทางจอคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไลบรารี OpenCV[®] สำหรับการพัฒนาโปรแกรมภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows[™] รูปแบบการใช้งานแสดงดังรูปที่ 2

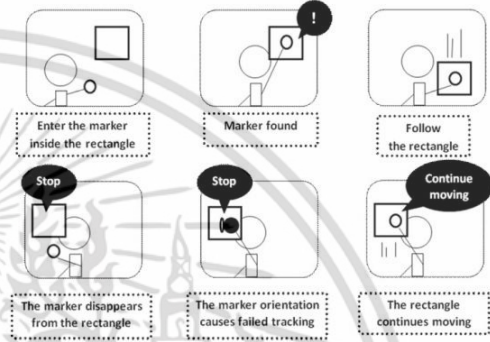


รูปที่ 1 รูปแบบ มาร์กเกอร์ ที่เลือกใช้สำหรับระบบที่นำเสนอ (ก) ขนาดของ มาร์กเกอร์ (ข) การติดตั้งมาร์กเกอร์ เข้ากับวัตถุทรงกลม

ข้อได้เปรียบของการเลือกใช้ มาร์กเกอร์รูปแบบดังกล่าวคือ มีกระบวนการและขั้นตอนในการตรวจจับมาร์กเกอร์ที่ไม่ซับซ้อน และมีโอกาสพบเห็นวัตถุอื่นที่มีลักษณะเช่นเดียวกันในเฟรมภาพน้อย เนื่องจาก มาร์กเกอร์ ดังกล่าวมีลักษณะเป็นวงกลมสองวงที่มีความเข้มทางสีต่างกัน (ดำ - ขาว) แต่มีจุดศูนย์กลางอยู่ร่วมกัน [5]



รูปที่ 2 แบบจำลองการใช้งานระบบที่นำเสนอ

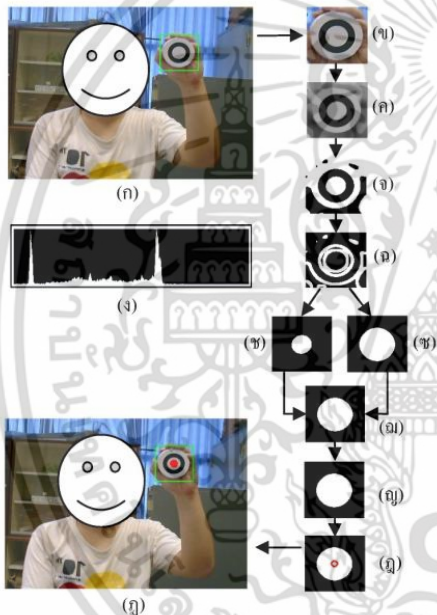


รูปที่ 3 แนวคิดเกมส์ที่นำเสนอ

2.2 แนวคิดเกมส์และการประมวลผลภาพ

รูปแบบเกมส์ที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 3 เมื่อเริ่มต้นเกมส์ระบบจะรับเฟรมภาพในช่วงเวลาจริงผ่านทางกล้องเว็บแคมพร้อมทั้งวาดกรอบสี่เหลี่ยมบนเฟรมภาพเพื่อให้ผู้ป่วยเคลื่อนมาร์กเกอร์เข้าไปในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าว ระบบจะทำการตรวจสอบว่าได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ ภายในกรอบสี่เหลี่ยมดังกล่าวหรือไม่ โดยทำการประมวลผลภาพเฉพาะบริเวณภายในกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น การประมวลผลภาพดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 โดยโปรแกรมจะแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับเทาและกำจัด pixel ขนาดเล็กออกโดย median filter ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4 ก หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการเทรซโซลภาพเพื่อแบ่งส่วนที่เป็นสีดำและสีขาวออกจากกันโดยใช้หลักการของ otsu method เนื่องมาจากลักษณะของฮิสโตแกรมของรูปที่ 4 ก มีลักษณะการแจกแจงแบบ 2 ยอด (Bimodal Distribution) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4 ง ผลของการเทรซโซลภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 จ หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการหาขอบภาพโดยใช้หลักการ inverse adaptive thresholding ผลของการหาขอบภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ฉ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจหา contour ของรูปที่ 4 ฉ ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ contour ของพื้นที่สีดำที่ไม่มี contour ข้อยภายใน และ contour ของขอบสีขาวที่มี contour ข้อยภายใน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4 ช และ 4 ซ ตามลำดับ โปรแกรมจะทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ contour ทุก contour ในรูปที่ 4 ซ เพื่อตรวจหา contour ที่จุดศูนย์กลาง

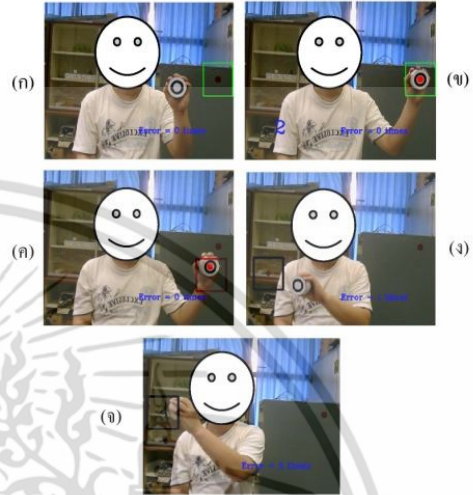
ร่วมกันกับ contour ในรูปที่ 4 ข ผลของการตรวจหา contour ดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ฉ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าความโค้งนูน (convexity) ของ contour เพื่อตรวจหา contour ที่มีลักษณะเป็นวงกลม ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ contour ที่มีค่า convexity มากกว่า 0.9 เป็น contour ที่มีความราบเรียบที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4 จ หลังจากนั้น โปรแกรมจะนำ contour ดังกล่าวไปทำการเปรียบเทียบตำแหน่งจุดศูนย์กลางและขนาดรัศมี กับ contour ของมาร์กเกอร์ในเฟรมก่อนหน้า โดยเลือก contour ที่มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางและขนาดรัศมีใกล้เคียงกับ contour ในเฟรมก่อนหน้ามากที่สุด ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4 ฉ โปรแกรมจะทำการพล็อตจุดสีแดงที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ contour ลงบนเฟรมภาพดังแสดงได้ดังรูปที่ 4 ฉ



รูปที่ 4 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหา มาร์กเกอร์ภายในกรอบสี่เหลี่ยม

เมื่อ โปรแกรมได้ตรวจพบมาร์กเกอร์ ในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยม (รูปที่ 5 ข) ระบบจะทำการเคลื่อนกรอบสี่เหลี่ยมไปตามทิศทางที่ได้กำหนดไว้ ผู้เล่นจะต้องเคลื่อนมาร์กเกอร์ไปตามกรอบสี่เหลี่ยม โดยจะต้องควบคุมมาร์กเกอร์ให้อยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยมอยู่ตลอดเวลา (รูปที่ 5 ค) หากมาร์กเกอร์หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม (รูปที่ 5 ง) หรือหันเหระนาบของมาร์กเกอร์เบี่ยงเบนออกไปจากระนาบของกล้องเว็บแคมเกินกว่าที่ระบบจะทำการตรวจจับมาร์กเกอร์ได้ (รูปที่ 5 จ) ระบบจะสั่งให้กรอบสี่เหลี่ยมหยุดและหักคะแนนของผู้เล่นลง จนกว่าผู้ปวยจะเคลื่อนมาร์กเกอร์เข้ามาอยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยมอีกครั้ง ก่อนที่จะเคลื่อนกรอบสี่เหลี่ยมไปตามทิศทางที่กำหนดไว้ต่อไป เมื่อระบบเกมส์ดำเนินมา

จนถึงปลายทางของเส้นทาง ระบบจะทำการนับจำนวนครั้งที่ผู้ปวยเคลื่อนหลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม พร้อมทั้งแสดงผลออกทางจอคอมพิวเตอร์



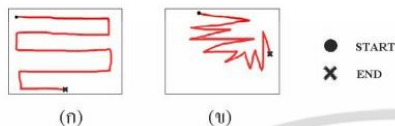
รูปที่ 5 ลำดับการเล่นเกมส์

3. การทดลองและผลการทดลอง

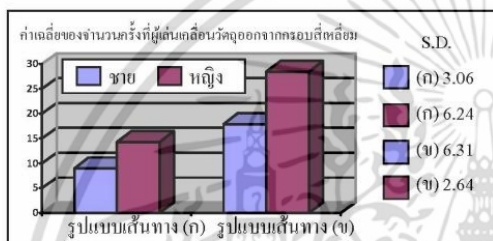
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบ โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีพื้นฐานที่มีอายุอยู่ในช่วงระหว่าง 18 – 21 ปี ทั้งหมด 6 ราย เข้าร่วมการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างถูกแบ่งออกเป็นเพศชาย 3 คน และเพศหญิง 3 คน โดยกลุ่มตัวอย่างเพศชายมีน้ำหนักอยู่ในช่วงระหว่าง 55 – 65 กิโลกรัม กลุ่มตัวอย่างเพศหญิงมีน้ำหนักอยู่ในช่วงระหว่าง 50 - 60 กิโลกรัม กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีส่วนสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 165 – 175 เซนติเมตร งดดื่มแอลกอฮอล์และเคยมีประสบการณ์ในการใช้งานระบบที่นำเสนอมาก่อน ในการทดสอบ กำหนดให้ผู้ทดสอบนั่งห่างจากกล้องเว็บแคมที่ถูกติดตั้งไว้เป็นระยะ 150 เซนติเมตร โดยนั่งให้อยู่กึ่งกลางเฟรมภาพ กล้องเว็บแคมถูกติดตั้งไว้ให้มีส่วนสูงจากระดับพื้นเท่ากับ 120 เซนติเมตร แบบจำลองวิธีการทดสอบระบบที่นำเสนอและการทดสอบระบบจริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 และ 5 ตามลำดับ

การทดสอบในเบื้องต้นได้เลือกใช้รูปแบบเส้นทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ กำหนดให้รูปแบบเส้นทางทั้งสองมีระยะทาง (จำนวน pixel) ระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางเท่ากับ 2740 pixels เท่ากัน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 6 ผู้เล่นทำการทดสอบรูปแบบเส้นทางละ 5 ครั้ง โดยกำหนดให้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 104 – 120 pixels/sec (ขึ้นกับความเร็วกการทำงานของคอมพิวเตอร์ขณะทำการทดสอบ) ทำการเก็บบันทึกจำนวนครั้งที่ผู้เล่นได้เกิดความคิดพลาดเนื่องมาจากการเคลื่อน มาร์กเกอร์ หลุดออกไปจากกรอบสี่เหลี่ยม โดยเลือกพิจารณาเฉพาะค่าความคิดพลาดในการเล่นครั้งที่ 2, 3, 4 เท่านั้น ผล

การเล่นของผู้เล่นแต่ละคนกำหนดได้จากค่าเฉลี่ยของค่าความคิดพลาดทั้งสามครั้ง ค่าระดับความยากของรูปแบบเส้นทางสามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยของผลการเล่นทุกคนในแต่ละรูปแบบเส้นทาง ผลการเปรียบเทียบระดับความยากของรูปแบบเส้นทางแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 รูปแบบเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 7 ผลการทดสอบรูปแบบเส้นทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ

4. สรุปและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบเกมสำหรับการเล่นสำหรับผู้ป่วยอัมพาตบริเวณแขน โดยใช้เทคโนโลยีของ Augmented reality เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้ป่วยเข้ารับการรักษา ระบบดังกล่าวถูกทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยเลือกอาสาสมัครกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีทุพพลภาพเข้ารับการทดสอบโดยใช้รูปแบบเส้นทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ จากผลการทดสอบพบว่ารูปแบบเส้นทางที่ยากต่อการเล่นจะมีค่าระดับความยากของรูปแบบเส้นทางที่สูง จากกราฟในรูปที่ 7 ได้แสดงให้เห็นว่า รูปแบบเส้นทาง (ข) เป็นรูปแบบเส้นทางที่มีระดับความยากในการเล่นมากกว่ารูปแบบเส้นทาง (ก) ทั้งกลุ่มตัวอย่างเพศชายและหญิง เนื่องจากรูปแบบเส้นทาง (ข) มีการเปลี่ยนทิศทางของเส้นทางที่ถี่กว่าและมีตำแหน่งมุมของเส้นทางที่มากกว่า ซึ่งส่งผลให้ผู้เล่นควบคุมการเคลื่อนไหวของแขน ได้ยากกว่านั่นเอง

จากการสังเกตพบว่าความคิดพลาดในการเล่นยังขึ้นกับลักษณะการตอบสนองของผู้เล่น สมาธิและความตั้งใจในการเล่น รวมไปถึงความยาวและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนของผู้เล่น ซึ่งหากผู้เล่นมีความยาวแขนที่สั้นเกินไป อาจทำให้ผู้เล่นควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนบริเวณเส้นทางที่ห่างออกไปจากตัวผู้เล่น ได้ยาก นอกจากนี้การหยิบถือวัตถุทรงกลมหรือยกแขนบนบั้งระดับสายตาของผู้เล่นเอง อาจก่อให้เกิดความคิดพลาดในการเล่นได้ เนื่องจากผู้เล่น ได้สูญเสียทัศนวิสัยในการเล่นไปนั่นเอง

การทดสอบระบบกับผู้เล่นที่ไม่มีทุพพลภาพได้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบเส้นทางที่ออกแบบไว้แตกต่างกันสามารถบ่งชี้ถึงระดับความยากง่ายในการเล่นได้โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของจำนวนความคิดพลาดในการเล่น งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาผลการทดสอบให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นได้โดยเลือกขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่มากยิ่งขึ้น เพื่อทดสอบรูปแบบเส้นทางที่มากยิ่งขึ้น เปรียบเทียบรูปแบบเส้นทางที่ระดับความเร็วในการเล่นต่างๆ รวมไปถึงการทดสอบระบบกับผู้ป่วยจริง ซึ่งคาดว่าจะสามารถใช้ในการแยกแยะระดับความทุพพลภาพและบ่งชี้ผลการฟื้นฟูในเชิงปริมาณได้

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Dhurjaty, "The Economics of Telerehabilitation," Telemedicine J. and e-Health, vol. 10, no. 2, 2004, pp.196-199.
[2] M.D.J. McNeill, L. Pokluda, S. McDonough, and J. Crosbie, "Immersive Virtual Reality for Upper Limb Rehabilitation Following Stroke," IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol. 3, 2004, pp.2783-2789.
[3] J. W. Burke, M. D. J. McNeill, D. K. Charles, and P. J. Morrow, "Augmented Reality Games for Upper-Limb Stroke Rehabilitation," Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2010, pp.75-78.
[4] Kimberlee Jordan and Marcus King, "Augmented Reality Assisted Upper Limb Rehabilitation Following Stroke," Augmented Reality - Some Emerging Application Areas, 2011, pp.155-174.
[5] L. B. Gatrell, W. A. Hoff, and C. W. Sklair. "Robust image features: concentric contrasting circles and their image extraction," SPIE Proc. Conf. Intelligent Robotic Systems, vol. 1612, 1992, pp.235-244.



ชัยชัย ตาง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและกำลังศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สจล. มีความสนใจงานวิจัยด้าน image processing



กิตติพล ชิตสกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล. ปริญญาเอก สาขา Biomedical จาก University of Paris XII, France ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สจล. ทำงานวิจัยด้าน medical instrumentation, signal & image processing

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36) 11 - 13 ธันวาคม 2556 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายชัชชัย คาง
 วัน เดือน ปีเกิด 29 เมษายน 2533
 ที่อยู่ 867/238 ซ.ปทุมวิถี 51 ถ.สุขุมวิท 101 แขวงบางจาก เขตพระโขนง
 กรุงเทพฯ 10260
 ประวัติการศึกษา 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) การประมวลผลภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้