การศึกษาการพัฒนาโต๊ะระบบสัมผัสสำหรับการปฏิสัมพันธ์แบบเทเบิลท็อป

A STUDY OF TOUCH TABLE DEVELOPMENT FOR TABLETOP INTERACTION

โดย

นนทวัฒ เนียมขุนทด

ปพน ศิริวิทิตี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการพัฒนาโต๊ะระบบสัมผัสสำหรับการปฏิสัมพันธ์แบบเทเบิลท็อป

A STUDY OF TOUCH TABLE DEVELOPMENT FOR TABLETOP INTERACTION

T144522

จัดทำโดย

นนทภัทร เสียงเสนาะ

ปพน ดำริห์ดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ณฐพล พันธุวงศ์

เลขหมู่..... 144522
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ย. 2559

00268/87
b.12814805
i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF TOUCH TABLE DEVELOPMENT FOR TABLETOP INTERACTION

NONTAPAT SIENGSANOR

PAPON DUMRHIDEE

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

OF BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2/2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองโครงงาน (PROJECT)

เรื่อง

การศึกษาการพัฒนาโต๊ะระบบสัมผัสสำหรับการปฏิสัมพันธ์แบบเทเบิลท็อป

A STUDY OF TOUCH TABLE DEVELOPMENT FOR TABLETOP INTERACTION

นายนนทภัทร เสียงเสนาะ รหัสประจำตัว 54070048

นายปพน ดำริห์ดี รหัสประจำตัว 54070050

ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้ข้าพเจ้าไม่ได้คัดลอกมาจากที่ใด

รายงานฉบับนี้ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงงาน

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ)

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. ณฐพล พันธุวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาการพัฒนาโต๊ะระบบสัมผัสสำหรับการปฏิสัมพันธ์แบบเทเบิลท็อป	
นักศึกษา	นายนนทภัทร เสียงเสนาะ	รหัสนักศึกษา 54070048
	นายปพน ดำริห์ดี	รหัสนักศึกษา 54070050
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2557	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ณฐพล พันธุวงศ์	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาวิธีการที่จะสามารถสร้างโต๊ะหน้าจอสัมผัส (Touchscreen Table) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาค่อนข้างสูงให้สามารถใช้งานได้จริงในราคาที่ต่ำกว่า โดยการศึกษาหลักการทำงาน รวมถึงเทคโนโลยีต่างๆของโต๊ะหน้าจอสัมผัสที่มีตามท้องตลาดทั่วไป แล้วนำหลักการทำงานต่างๆเหล่านี้มาวิเคราะห์ เพื่อนำไปสืบค้นข้อมูลว่าจะสามารถนำอุปกรณ์ใดมาใช้ทดแทนได้บ้าง ซึ่งอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้จะต้องสามารถหาซื้อได้ง่าย และราคาไม่แพงจนกินไป แล้วจึงใช้อุปกรณ์เหล่านี้ไปใช้ทดแทนอุปกรณ์เดิมเพื่อลดต้นทุน ซึ่งส่วนที่สำคัญที่สุดคือระบบสัมผัสของโต๊ะ เพราะจะใช้กล้องรับภาพจุดที่นิ้วมือสัมผัสและทำงานควบคู่กับซอฟท์แวร์ reacTIVision เพื่อช่วยวิเคราะห์ตำแหน่ง ลักษณะ รูปแบบของนิ้วมือที่สัมผัสลงไปแทนการใช้แผ่นทัชสกรีน โดยระบบที่ใช้ทดสอบการใช้งานจะพัฒนาด้วยภาษา Action Script 3 บนโปรแกรม Adobe Flash และทดสอบบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ 8.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	A Study of Touch Table Development for Tabletop Interaction	
Student	Mr. Nontapat Siengsanor	Student ID 54070048
	Mr. Papon Dumrhidee	Student ID 54070050
Degree	Bachelor of Science	
Program	Information Technology	
Academic	2014	
Advisor	Dr. Nuttapon Puntuwong	

ABSTRACT

The objective of the study was how to build multi-touchscreen table, which is equipped with a relatively high price to be usable in a lower price by study principles and technology of touchscreen. Then analyze data to search how to replace the original devices with other devices which easy to buy and affordable. Then apply these devices to replace old equipments to reduce costs. The important part is the touch system of the table. The touch system will be usable by use the camera to capture the position of a touch point that on the surface. Additionally the system is worked with reacTIVision software that is used to analyze the characteristics for a touch surface instead of a touchscreen. The system's application is developed with Action Script 3 and tested on a Windows 8.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการศึกษาการพัฒนาโต๊ะระบบสัมผัสสำหรับการปฏิสัมพันธ์แบบเทเบิลท็อป จักไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีหากขาดความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณฐพล พันธุวงศ์ สำหรับคำแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ช่วยตรวจทานข้อบกพร่อง ในโครงงาน และบริษัท เอ เอสดี ดิสทริบิ้วชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ Infrared Illuminator เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีสารสนเทศที่เอื้ออำนวยสถานที่ในการค้นคว้าและดำเนินงาน เพื่อให้โครงงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณคณาจารย์ที่และผู้ที่ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวคิดในการปฏิบัติงานในด้านต่างๆ จนโครงงานนี้สามารถสำเร็จขึ้นได้

นนทภัทร เสียงเสนาะ

ปพน ดำริห์ดี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญรูป VII

สารบัญรูป (ต่อ) VIII

สารบัญตาราง IX

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงาน 2

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน 2

1.6 ขอบเขตโครงงาน 3

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา 3

2. ทฤษฎีและหลักการ 5

2.1 อุปกรณ์และเทคโนโลยีเกี่ยวข้องที่ใช้ในระบบ 5

2.1.1 Point Grey Firefly MV 5

2.1.2 Projector 6

2.1.3 Touchscreen Table 6

2.2 reacTIVision 7

2.3 DI (Diffused Illumination) 8

2.4 TUIO (Tangible User Interface Objects) 8

2.5 Infrared 9

2.6 Actionscript (AS) 9

3. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3.1 ศึกษาระบบงานเดิม 10

3.1.1 หน้าจอแบบ Resistive 10

3.1.2 หน้าจอแบบ Capacitive 11

3.2 ปัญหาที่พบในระบบปัจจุบัน 12

3.3 การวิเคราะห์ความต้องการระบบ (System requirement analysis) 13

3.3.1 ความต้องการที่เป็นหน้าที่หลักของระบบ (Functional Requirement) 13

3.3.2 ความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่หลักของระบบ (Non-Functional Requirement) .. 13

3.4 การวิเคราะห์และวิจารณ์ระบบที่ต้องการออกแบบ 13

3.5 บล๊อคไดอะแกรม (Block Diagram) แสดงภาพรวมของระบบ 14

3.6 การออกแบบ 14

3.6.1 ขั้นตอนการสร้างโต๊ะ 14

3.6.2 ขั้นตอนการใช้งานซอฟท์แวร์ 15

4. ผลการทดลองหรือต้นแบบ 16

4.1. โต๊ะทัชสกรีน 16

4.2 แอพพลิเคชั่นสำหรับทดสอบระบบ 18

4.3 ผลการทดสอบ 21

4.3.1 ทดสอบการส่องสว่าง 21

4.3.2 ทดสอบการใช้งาน 25

5. สรุปผลโครงงาน 28

5.1 สรุปผลโครงงาน 28

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน 29

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนา 30

5.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา 30

บรรณานุกรม 31

ภาคผนวก

ก. วิธีการติดตั้งซอฟท์แวร์ในระบบ 32

ก.1 การติดตั้งซอฟท์แวร์ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

ก.2 การใช้งาน TUIO กับ Action Script 36

ข. ซอร์สโค้ดของซอฟท์แวร์ทดสอบ 40

ซอร์สโค้ดไฟล์ Main.as 41

ประวัติผู้เขียน 50

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 รูปกล้อง Point Grey Firefly MV 5
2.2 รูปโปรเจคเตอร์ 6
2.3 แอพพลิเคชั่น reacTIVision 7
2.4 หลักการกระจายแสงแบบ DI 8
2.5 รูปแสดงช่วงความถี่ของคลื่น 9
2.6 โลโก้ของ Action script 3.0 9
3.1 โครงสร้างหน้าจอแบบ Resistive 11
3.2 โครงสร้างหน้าจอแบบ Capacitive 12
3.3 โครงสร้างของโต๊ะหน้าจอระบบสัมผัส 14
3.4 โครงสร้างการทำงานในส่วนซอฟท์แวร์ 15
4.1 โต๊ะที่ใช้ในการสร้าง 16
4.2 โปรเจคเตอร์ที่ใช้กับโต๊ะระบบสัมผัส 16
4.3 ไฟอินฟราเรดที่ใช้ในโต๊ะ 17
4.4 กล้อง Firefly MV 17
4.5 อินเตอร์เฟสของซอฟต์แวร์ทดสอบ 18
4.6 อินเตอร์เฟสของ TUIO Simulator 19
4.7 อินเตอร์เฟสของซอฟต์แวร์ทดสอบขณะใช้งานจริง 20
4.8 ภาพที่กล้องสามารถบันทึกได้ 20
4.9 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 1 21
4.10 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 2 22
4.11 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 3 22
4.12 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 4 23
4.13 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 5 23
4.14 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 6 24
4.15 บริเวณที่แบ่งเพื่อใช้ทดสอบ 24
ก.1 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture 33
ก.2 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

ก.3 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture 34
ก.4 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture 35
ก.5 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture 35
ก.6 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture 36
ก.7 ขั้นตอนการใช้งาน TUIO 36
ก.8 การสร้างไฟล์ Action Script 3.0 37
ก.9 การตั้งค่า Action Script 3.0 37
ก.10 การกำหนด Source path เพื่อใช้งาน TUIO Library 38
ก.11 การตั้งชื่อไฟล์และบันทึกไฟล์ 38
ก.12 ไฟล์ทั้งหมดในโฟลเดอร์ tuio_as3_v_0_8 39
ก.13 การแก้ไขไฟล์ Class 39
ก.14 หน้าต่างในส่วนของ Action Script 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

4.1 แสดงผลการทดลอง.....25
4.2 แสดงผลการทดลองที่ 1 - 5 26
5.1 สรุปอุปกรณ์และหน้าที่ในการทำงาน.....28
5.2 สรุปอุปกรณ์และต้นทุนที่ใช้ในโครงงาน 29

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้า เริ่มต้นมาจากโทรศัพท์มือถือที่มีการพัฒนาต่อเนื่องมาเป็นสมาร์ทโฟน แต่ก็ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในบางสถานการณ์ เช่น ประชุมเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ของบริษัท หรือกิจกรรมอื่นๆต้องใช้งานพร้อมกันหลายคน สมาร์ทโฟนและแทบเล็ทจะมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดหน้าจอ เพราะอุปกรณ์เหล่านี้มีขนาดเล็กใช้งานไม่สะดวก เหมาะสำหรับการใช้งานเพียงคนเดียว จึงเกิดการพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ๆขึ้นมา เช่น แท็บเล็ท อัลตราบุ๊ค นาฬิกาอัจฉริยะ และรวมไปถึงโต๊ะหน้าจอสัมผัส หรือโต๊ะทัชสกรีน

ทางผู้จัดทำมีความคิดเห็นว่าในการทำงานร่วมกันควรจะมีสื่อกลางที่ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น ก็คือโต๊ะหน้าจอระบบสัมผัสที่จะช่วยลดจำนวนเอกสารที่ใช้ในการประชุมที่มีความยุ่งยากในการอ่าน หรือทำความเข้าใจ รวมถึงการแสดงความคิดเห็นที่ต้องการภาพประกอบการอธิบาย ก็สามารถใช้นิ้วสัมผัสที่หน้าจอเพื่อวาด หรือใช้เปิดสื่อผสมอื่นๆก็ได้เช่นกัน และเนื่องจากโต๊ะสามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟิกที่น่าสนใจ จึงเข้าใจง่ายกว่าการอ่านจากเอกสาร แต่ถึงแม้โต๊ะหน้าจอสัมผัสจะมีข้อดีแต่กลับไม่ได้รับความนิยม ผู้จัดทำจึงค้นคว้าข้อมูลเพื่อหาสาเหตุ และพบว่าอุปกรณ์ชนิดนี้มีราคาสูง ไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับความสามารถ และความจำเป็นในการใช้งาน ผู้จัดทำจึงหาวิธีในการลดต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ชนิดนี้ให้อยู่ในราคาที่เป็นไปได้ในระดับครัวเรือน หรือ องค์กร และหาแนวทางเพิ่มความน่าสนใจในการใช้งานต่อยอดให้กับอุปกรณ์ที่แตกต่างจากอุปกรณ์อื่น

โต๊ะหน้าจอระบบสัมผัส (Touchscreen Table) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถตอบโจทย์การใช้งานทั้งในเรื่องของขนาดหน้าจอที่กว้างกว่าโทรศัพท์สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ท และเหมาะกับการใช้งานหลายคน ซึ่งโต๊ะทัชสกรีนสามารถใช้เป็นสื่อในการแสดงผลเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล อีกทั้งยังมีความสะดวกมากกว่าการใช้งานคอมพิวเตอร์ทั่วๆไป เนื่องจากไม่ต้องใช้อุปกรณ์ในการป้อนข้อมูลอื่นๆเพราะใช้นิ้วมือสัมผัส นอกจากนี้การใช้งานด้วยการใช้นิ้วมือสัมผัสยังเป็นการรับส่งข้อมูลโดยตรง (Direct Manipulation) ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์สามารถเรียนรู้ได้เร็ว ถึงแม้ว่าจะไม่คุ้นเคยหรือไม่เคยใช้อุปกรณ์ประเภทนี้มาก่อนก็สามารถใช้งานเป็น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ราคาของอุปกรณ์นี้ค่อนข้างสูง จึงทำให้ตลาดของอุปกรณ์ชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนัก ผู้จัดทำจึงได้นำหัวข้อนี้มาศึกษาเพื่อหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางในการลดต้นทุนโดยการใช้อุปกรณ์อื่นๆมาประยุกต์ใช้ แทนอุปกรณ์เดิม เพื่อให้อุปกรณ์ชนิดนี้ให้เป็นที่นิยมมากขึ้น ซึ่งจะเป็นตัวช่วยในการทำงานให้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาวิธีการที่จะสามารถสร้างโต๊ะทัชสกรีน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาค่อนข้างสูงให้มีราคาถูกได้ โดยการศึกษาหลักการทำงานของโต๊ะทัชสกรีนที่มีตามท้องตลาดทั่วไป แล้วนำหลักการทำงานต่างๆเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่าย แล้วจึงใช้อุปกรณ์เหล่านั้นไปใช้ทดแทนอุปกรณ์เดิมเพื่อลดต้นทุน ซึ่งระบบหน้าจอสัมผัสโต๊ะทัชสกรีนทั่วๆไปจะใช้หน้าจอ LED ร่วมกับแผ่นทัชสกรีนปัจจุบันนิยมใช้แบบ Capacitive แต่ถ้าจะหาซื้ออุปกรณ์ทั้งสองอย่างเพื่อนำมาใช้งาน จะต้องซื้อที่ขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ หรือถ้ามีก็ต้องสั่งทำจากบริษัทซึ่งก็มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

ดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้จึงเสนอวิธีการลดต้นทุนในการหาโต๊ะทัชสกรีนมาใช้งาน โดยการใช้กล้องมาจับภาพภาพพื้นผิวสัมผัสของโต๊ะ แล้วนำมาประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์เพื่อตรวจสอบตำแหน่งที่นิ้วมือสัมผัสกับพื้นผิวของโต๊ะ ซึ่งการใช้ซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยทดแทนการทำงานของฮาร์ดแวร์ก็เป็นหนึ่งในวิธีที่จะลดต้นทุนของโต๊ะทัชสกรีน ได้เป็นอย่างดี

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ใช้นิ้วมือสัมผัส และสามารถติดตามการเคลื่อนไหวของนิ้วมือได้

1.3.2 สามารถติดตาม (Track) นิ้วมือได้พร้อมๆกัน อย่างน้อย 2 จุด

1.3.3 เมื่อนำอุปกรณ์ต่างๆมาประกอบกัน สามารถใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ทดสอบได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงาน

ทฤษฎีที่นิยมใช้เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดคือ DI (Diffuse Illumination) และ FTIR (Frustrated Total Internal Inflection) ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกวิธี DI แบบ Rear เนื่องจากมีความยุ่งยากในการติดตั้งน้อยกว่า FTIR และจะใช้ซอฟต์แวร์ที่มีฟังก์ชัน Finger Detection เพื่อตรวจจับนิ้วมือที่กดลงไปแทนการรับข้อมูลผ่านแผ่นทัชสกรีน ซึ่งจะใช้ร่วมกับ Finger Tracking เพื่อใช้จับระยะทางและทิศทางที่นิ้วเคลื่อนที่ไป

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

วิธีการแบบดั้งเดิมคือผู้ใช้ซื้อโต๊ะทัชสกรีนแบบสำเร็จรูป ซึ่งส่วนใหญ่จะทำออกมาสำหรับใช้งานในองค์กรหรือบริษัทต่างๆ จึงมีประสิทธิภาพสูงแต่ก็มีราคาแพงเช่นกัน ดังนั้นจึงยากที่องค์กรอื่นๆจะทดลองซื้อมาใช้งาน และยากที่ซื้อมาใช้ในครัวเรือน อีกทั้งความสามารถบางอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของทัชสกรีนที่มีจำหน่ายทั่วไปก็อาจเกินความจำเป็นของผู้ใช้หลายๆกลุ่ม เพราะผู้ใช้อาจไม่ต้องการใช้งานทุกๆฟังก์ชัน ซึ่งถ้าหากตัดฟังก์ชันต่างๆออกก็จะเป็นการลดต้นทุนไปได้มาก

ส่วนวิธีการที่นำเสนอคือ สร้างโต๊ะทัชสกรีนเองโดยการใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป และมีราคาต่ำกว่ามาใช้ทดแทนการทำงานของอุปกรณ์เดิม อุปกรณ์บางอย่างที่มีอยู่แล้วก็สามารถนำมาใช้สร้างโต๊ะทัชสกรีนได้ เช่น คอมพิวเตอร์ เว็บแคม(Webcam) ฯลฯ ทำให้ต้นทุนถูกลงกว่าแบบเดิมมาก นอกจากการลดต้นทุนทางด้านฮาร์ดแวร์แล้วยังรวมไปถึงซอฟต์แวร์อีกด้วย เพราะปัจจัยหนึ่งในเรื่องของราคาคือค่าพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะช่วยลดต้นทุนในส่วนนี้คือการใช้ reacTIVision ที่เป็นโอเพนซอร์สเฟรมเวิร์ค (Open Source Framework) สำหรับจัดการและประมวลผลภาพจากกล้อง และประมวลผลตำแหน่งที่นิ้วมือสัมผัส ในส่วนของการพัฒนาซอฟต์แวร์จะใช้ Action Script 3 เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ทดสอบการทำงานของโต๊ะทัชสกรีน ซึ่งใช้งานร่วมกับ TUIO Library ที่เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างแอพพลิเคชั่นที่ใช้แสดงผล และ reacTIVision ที่ประมวลผลสัญญาณจากการรับภาพจากกล้อง

1.6 ขอบเขตโครงงาน

1.6.1 ได้โต๊ะระบบสัมผัสที่สามารถใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ทดสอบได้ และรองรับการใช้งานพร้อมกันจากผู้ใช้หลายๆคน

1.6.2 ได้ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับทดสอบการใช้งานของโต๊ะ

1.6.3 ได้ต้นทุนในการสร้างต่ำกว่าราคาโต๊ะระบบสัมผัสตามท้องตลาด

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

1.7.1 กำหนดที่มาและความสำคัญ เพื่อใช้เป็นเป้าหมายของโครงงานว่าทำเพราะอะไร เพื่ออะไร และกำหนดวัตถุประสงค์อย่างชัดเจน โดยการตั้งสมมติฐานความเป็นไปได้จากแหล่งข้อมูลที่ศึกษามา ว่ามีวิธีการดำเนินการอย่างไร

1.7.2 ศึกษาทฤษฎีรวมถึงวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการทำโต๊ะทัชสกรีนซึ่งได้แก่ DI และ FTIR เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ระบบ DI ,FTIR, Finger Tracking และ Finger Detection รวมถึงอุปกรณ์และเทคโนโลยีต่างๆที่ใช้ในการสร้าง

บทที่ 3 การวิเคราะห์และการออกแบบ

บทที่ 4 ผลการทดลองหรือระบบต้นแบบ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

การสร้างโต๊ะทัชสกรีนให้สามารถใช้งานได้นั้น จำเป็นต้องศึกษาระบบการทำงานของโต๊ะทัชสกรีนที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป และศึกษาเพื่อหาวิธีนำอุปกรณ์ที่มีอยู่มาใช้ทดแทนเพื่อลดต้นทุน ซึ่งทฤษฎีหรือหลักการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ หลักการกระจายแสง (Diffused Illumination) หลักการสะท้อนแสงแบบ FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) และหลักการทำงานของอินฟราเรด เป็นต้น

2.1 อุปกรณ์และเทคโนโลยีเกี่ยวข้องที่ใช้ในระบบ

2.1.1 Point Grey Firefly MV

รูปที่ 2.1 รูปกล้อง Point Grey Firefly MV

Point Grey Firefly MV คือ กล้อง Digital Imaging Camera ที่สามารถบันทึกภาพที่มีความคมชัดได้มากกว่ากล้อง Web Camera ธรรมดา และสามารถถอดเปลี่ยนเลนส์เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆได้ อีกทั้งยังสามารถปรับการตั้งค่าต่างๆของกล้องได้ เช่น การปรับระดับความสว่าง ฯลฯ

1.1 องค์ประกอบด้านฮาร์ดแวร์

Point Grey Firefly MV ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ 2 อย่าง ได้แก่ ตัวกล้อง และเลนส์กล้องที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ ซึ่งในปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะใช้เลนส์อินฟราเรดที่สามารถปรับโฟกัสของกล้องได้ เพื่อให้การทดสอบ reacTIVision ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 องค์ประกอบด้านซอฟต์แวร์

1.2.1 Firefly MV Firmware คือซอฟต์แวร์ที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในตัวกล้อง Point Grey Firefly MV เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายในต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 FlyCapture คือซอฟต์แวร์ที่ใช้ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ ภายในซอฟต์แวร์จะประกอบไปด้วยไดรฟ์เวอร์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ติดต่อกับกล้อง รวมถึงทำให้กล้องสามารถใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์อื่นๆได้ และอีกส่วนหนึ่งคือส่วนของซอฟต์แวร์แสดงผลภาพที่ถูกถ่ายมาจากกล้อง ซึ่งจะใช้บันทึกภาพหรือปรับการตั้งค่าต่างๆของกล้องได้

2.1.2 Projector

รูปที่ 2.2 รูปโปรเจคเตอร์

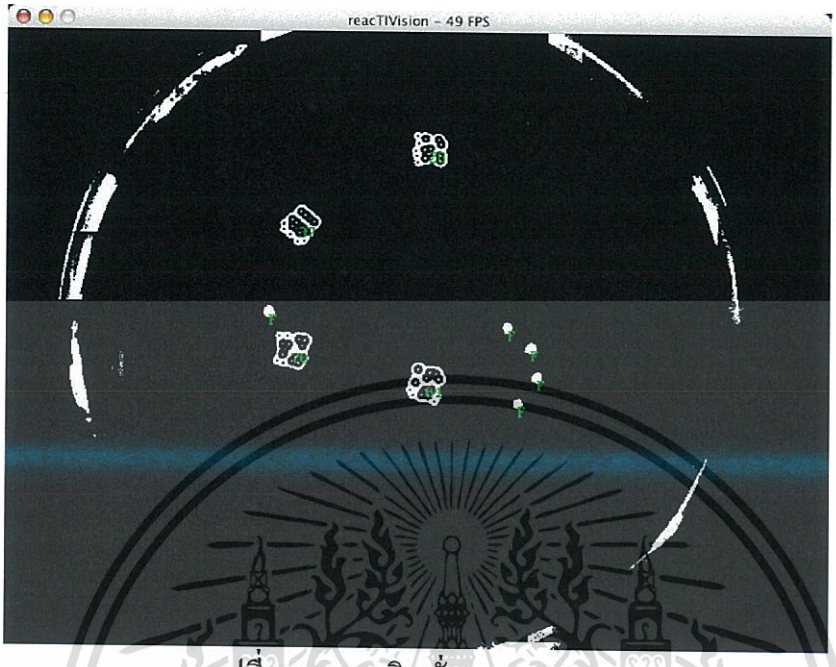
โปรเจคเตอร์ คืออุปกรณ์ส่งข้อมูล(Output) ประเภทหนึ่งซึ่งใช้ฉายภาพเพื่อแสดงผลต่างๆหลักการทำงานของโปรเจคเตอร์โปรเจคเตอร์จะรับข้อมูลภาพเข้ามาแล้วฉายภาพโดยการใช้หลอดไฟที่มีความส่องสว่างสูง ส่องผ่านกระจกสะท้อนกรองแสงเพื่อแยกแม่สีของแสง จากนั้นแสงที่ถูกแยกจะสะท้อนผ่าน LCD Panel ซึ่งแต่ละพิกเซล จะมีการเปิดปิดเพื่อยอมให้แสงผ่าน และแม่สีของแสงที่ผ่าน LCD Panel จะผสมกันเพื่อให้ได้ภาพตามสัญญาณที่ถูกส่งเข้ามา และภาพที่ได้จะถูกยิงออกไปยังพื้นผิวตกกระทบควรจะเป็นสีทึบสว่างและเรียบเพื่อได้ภาพที่ดี

2.1.3 Touchscreen Table

โต๊ะทัชสกรีนในที่นี้หมายถึงโต๊ะที่ปิดทึบและมีพื้นผิวด้านบนเป็นกระจกใส และนำ Silicone rubber ลงไปที่กระจกเพื่อให้สามารถรับภาพที่ถูกฉายออกมาจากโปรเจคเตอร์ได้ ไม่ให้แสงทะลุผ่านได้หมด ซึ่งอาจใช้แผ่นกระจายแสงจากจอ LCD (Diffuse film) ได้เช่นกัน และเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกที่อาจเข้ามารบกวนการทำงานของ แอพพลิเคชั่น จึงใช้โต๊ะที่ปิดสนิททุกด้านเพื่อป้องกันแสงที่ไม่จำเป็นภายในโต๊ะจะมีแสงอินฟราเรดเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 reacTIVision



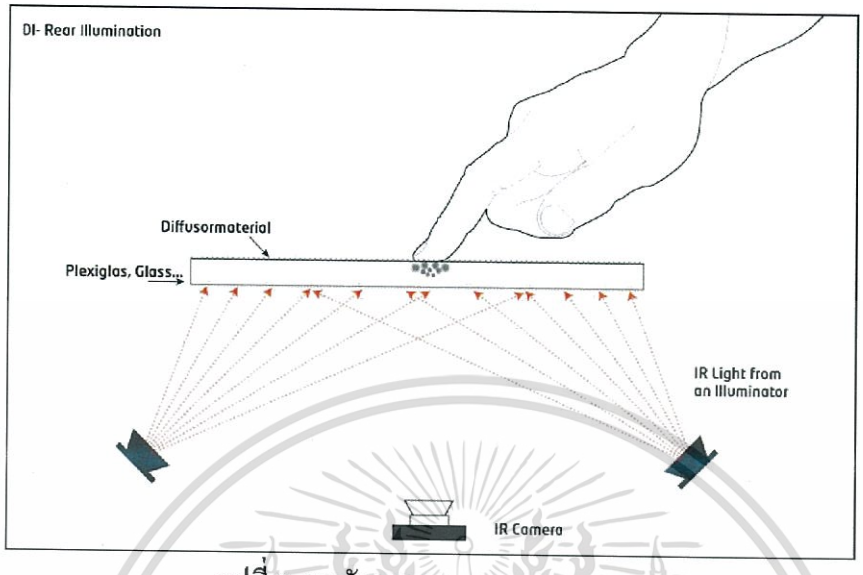
รูปที่ 2.3 แอพพลิเคชั่น reacTIVision

reacTIVision คือเฟรมเวิร์คแบบโอเพนซอร์ส เป็นแอพพลิเคชั่นที่สามารถติดตั้งและใช้งานได้กับหลายแพลตฟอร์ม โดยเป้าหมายของผู้พัฒนาคือใช้สำหรับตรวจจับ (Finger Detection) และติดตามการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ (Finger Tracking) รวมถึง Fiducial Marker และวัตถุที่สามารถจับต้องได้เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การพัฒนา ดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว ผู้พัฒนาคือ Martin Kaltenbrunner และ Ross Bencina

หลักการทำงานของ reacTIVision คือ จะส่งข้อความผ่าน TUIO ไปที่ UDP Port 3333 เพื่อให้ ซอฟต์แวร์อื่นๆที่ใช้งาน TUIO เหมือนกันเข้าไปรับข้อมูลจาก Port 3333 แล้วนำมาถอดรหัสข้อความ เพื่อนำข้อมูลที่อยู่ภายในไปใช้งานได้ โปรโตคอล TUIO ถูกออกแบบให้เข้ารหัสโดยใช้ข้อมูล สถานะของวัตถุที่อยู่บนพื้นผิวโต๊ะ และ Multi-Touch Events จากพื้นผิวโต๊ะมาเป็นข้อมูลในการสื่อสาร นอกจากนี้ TUIO ยังสามารถส่งข้อความแบบ MIDI ที่เหมาะกับการทำแอพพลิเคชั่นที่เกี่ยวกับเสียงไว้เป็นทางเลือกสำหรับผู้พัฒนาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 DI (Diffused Illumination)



รูปที่ 2.4 หลักการกระจายแสงแบบ DI

DI คือหลักการกระจายแสงเพื่อใช้หาตำแหน่งในการวางจุดกำเนิดแสงที่เหมาะสม โดยจะวางแหล่งกำเนิดแสงไว้ข้างใต้ของวัตถุรับสัมผัส แล้วฉายแสงเพื่อให้แสงกระจายทั่วระนาบด้านล่างของพื้นผิวทำให้พื้นผิวมีความสว่าง เมื่อพื้นผิวถูกสัมผัสจะทำให้เกิดจุดดำบริเวณที่สัมผัสลงไป เมื่อใช้กล้องอินฟราเรดจับภาพแล้วจะสามารถตรวจจับจุดที่สัมผัสได้ หลักการ DI เหมาะแก่การใช้กับกระจกที่มีความโปร่งแสงน้อย แสงสามารถผ่านได้บางส่วน

2.4 TUIO (Tangible User Interface Objects)

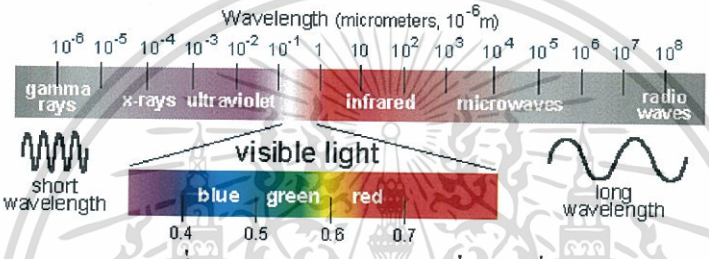
TUIO เป็นเฟรมเวิร์คแบบโอเพนซอร์สที่มีชุดคำสั่งสำเร็จหรือ Library ที่เปิดให้ใช้นักพัฒนาซอฟต์แวร์นำไปพัฒนาต่อยอดได้ ซึ่งชุดคำสั่งหลักๆจะประกอบไปด้วยโปรโตคอล และ API (Application Programming Interface) สำหรับส่งข้อมูลการสัมผัสบนพื้นผิว โดยข้อกำหนดในการสื่อสารของ TUIO จะให้การส่งข้อมูล เหตุการณ์ ตำแหน่ง สถานะของวัตถุที่สัมผัสได้ ซึ่งโปรโตคอลนี้จะแปลงรหัส ข้อมูลในการควบคุมที่ถูกส่งมาจากระบบ Tracker Application และส่งข้อมูลที่เข้ารหัสไปให้ระบบลูกข่าย (Client application) ถอดรหัสข้อมูลจากโปรโตคอลนี้

โปรโตคอลนี้ทำให้การผสมผสานการทำงานของ TUIO Tracker , โปรโตคอล และ Client Implementation โดย TUIO ได้ถูกออกแบบมาสำหรับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิว แต่ก็ยังถูกใช้ในหลายๆระบบที่เกี่ยวข้องด้วย ในทางเทคนิคแล้ว TUIO ขึ้นอยู่กับ OSC (Open Sound Control) ซึ่งเป็นโปรโตคอลชนิดหนึ่ง แต่ TUIO ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงในการควบคุมเสียงหรือเครื่องดนตรี อีกทั้งยังสามารถดำเนินการได้ง่ายบนแพลตฟอร์มต่างๆ ที่สนับสนุน OSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Infrared

แสงอินฟราเรดเป็นคลื่นความถี่สั้นและมีความถี่อยู่ในช่วงเดียวกับคลื่นไมโครเวฟ ความยาวคลื่นจะอยู่ระหว่างแสงสีแดงและคลื่นวิทยุ ไม่สามารถทะลุวัตถุทึบแสงได้ ดังนั้นถ้าจะนำไปใช้งานจะต้องทำให้ตัวรับกับตัวส่งต้องอยู่ในแนวเดียวกัน และไม่มีสิ่งกีดขวาง โดยธรรมชาติแล้วมนุษย์มองไม่เห็นแสงอินฟราเรด เพราะความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรดไม่อยู่ในช่วงของแสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็น ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่มักใช้แสงอินฟราเรดได้แก่ รีโมทคอนโทรล ระบบล็อครถยนต์ กล้องอินฟราเรดที่ทำให้มองเห็นวัตถุในที่มืด ฯลฯ



รูปที่ 2.5 รูปแสดงช่วงความถี่ของคลื่น

2.6 Actionscript (AS)

รูปที่ 2.6 โลโก้ของ Action script 3.0

Action Script คือชุดคำสั่งหรือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมหรือสั่งการในโปรแกรม Flash แต่ในปัจจุบันสามารถเขียนหรือพัฒนาจากโปรแกรมโอเพนซอร์สอื่นๆได้ AS เป็นภาษาที่ช่วยให้ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม Flash สามารถพัฒนาส่วนที่ใช้สำหรับโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ง่ายขึ้น จึงเหมาะกับการนำไปพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เน้นในเรื่องของอินเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

3.1 ศึกษาระบบงานเดิม

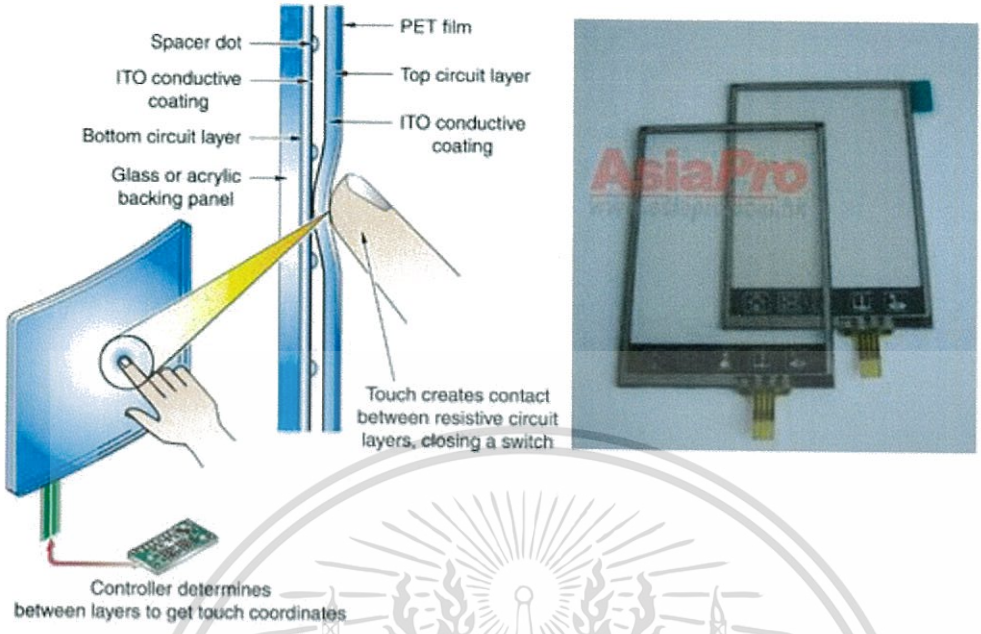
โดยทั่วไปโต๊ะทัชสกรีนจะใช้จอระบบสัมผัสแบบ Resistive และ Capacitive ที่เป็นแผ่นทัชสกรีนแบบสำเร็จรูป สามารถนำมาใช้ร่วมกับหน้าจอแสดงผลได้ทันที ส่วนใหญ่จะผลิตและจำหน่ายพร้อมติดตั้งระบบปฏิบัติการที่พร้อมใช้งาน แต่ก็มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง ส่วนอุปกรณ์อื่นๆเช่น แทบเล็ท ซึ่งกำลังเป็นที่นิยม ก็ยังไม่มีขนาดหน้าจอใหญ่พอกับการใช้งาน หลังจากได้ศึกษาข้อมูลต่างๆ พบว่าวิธีการตรวจจับการสัมผัสที่มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ได้แก่ โดยพื้นผิวสัมผัสสามารถหาได้ง่ายเป็นกระจกใสติดฟิล์มทึบบางๆ การตรวจจับจะใช้ซอฟต์แวร์โดยซอฟต์แวร์จะตรวจจับจากรูปร่างของแสงเงาที่กดลงบนพื้นผิว โดยมีวิธีการกระจายแสงอยู่สองแบบคือ FTIR และ DI

3.1.1 หน้าจอแบบ Resistive

Resistive คือเทคโนโลยีหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิตหน้าจอสัมผัส เพราะสามารถคำนวณตำแหน่งที่สัมผัสได้ละเอียด ราคาถูก กินไฟน้อย และสามารถใช้วัตถุอื่นนอกจานิ้วมือสัมผัสกับหน้าจอได้ ส่วนข้อเสียของหน้าจอประเภทนี้คือ ไม่มีความทนทาน และสัมผัสไม่สมจริง

ส่วนประกอบของหน้าจอแบบ Resistive ได้แก่ เลเยอร์ด้านบนที่มีความยืดหยุ่นเพื่อรองรับแรงกด และเลเยอร์ล่างที่อยู่บนพื้นแข็ง ระหว่างสองเลเยอร์จะถูกคั่นด้วยเม็ดฉนวนที่ทำให้ด้านในของทั้งสองเลเยอร์ไม่สัมผัสกัน แต่เมื่อเลเยอร์ด้านบนถูกกดก็จะยุบลงไปสัมผัสกับเลเยอร์ด้านล่าง ทำให้สารตัวนำไฟฟ้าที่ถูกเคลือบไว้ด้านในของทั้งสองเลเยอร์สัมผัสกันจนเกิดความเปลี่ยนแปลงด้านกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าทั้งแนวตั้งและแนวนอนถูกนำไปคำนวณก็จะทราบถึงตำแหน่งที่หน้าจอถูกสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างหน้าจอแบบ Resistive

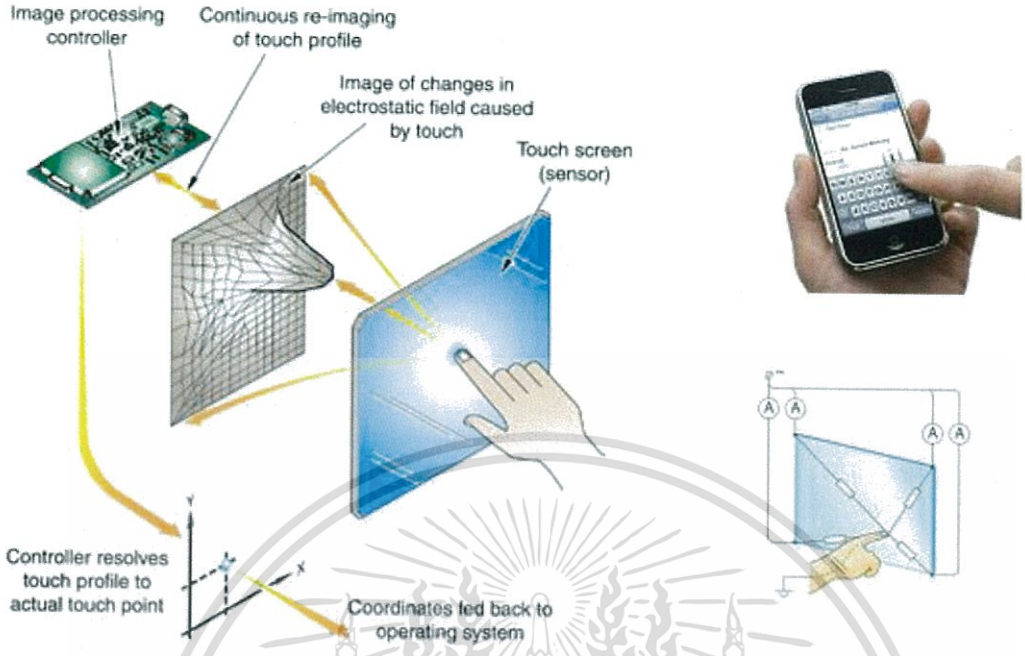
3.1.2 หน้าจอแบบ Capacitive

Capacitive นั้นประกอบด้วยแผ่นแก้วเคลือบผิวด้วยอ็อกไซด์ของโลหะแบบโปร่งแสง เมื่อถึงเวลาการใช้งานก็จะมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่มุมทั้งสี่ของหน้าจอพื้นผิวสัมผัสเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ความเข้มสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งแผ่น ผู้ใช้จะต้องใช้นิ้วมือเปล่าๆสัมผัสที่จอเพื่อดึงกระแสจากแต่ละมุมที่ให้แรงดันตกลง จากนั้นแผงวงจรควบคุมก็จะคำนวณเป็นตำแหน่งที่สัมผัสได้

Capacitive คืออีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตหน้าจอสัมผัสเช่นกัน เนื่องจากแสงสามารถผ่านได้ดีกว่าแบบ Resistive จึงมีความคมชัดของหน้าจอมากกว่าทนทานมากกว่า ส่วนการหาตำแหน่งที่นิ้วมือสัมผัสก็สามารถทำได้แม่นยำ แต่ข้อเสียคือมีราคาแพง

หน้าจอแบบ Capacitive ประกอบด้วยแก้วที่เคลือบผิวด้วยออกไซด์ของโลหะแบบโปร่งแสงที่จะทำงานโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าที่มุมทั้งสี่ของหน้าจอเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น เมื่อหน้าจอถูกสัมผัสจะทำให้กระแสไฟฟ้าตรงจุดที่สัมผัสถูกดึงให้สูงขึ้น และกระแสไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกจากทั้งสี่มุมจะมีแรงดันต่ำลง เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าจากแต่ละมุมไปคำนวณก็จะทราบตำแหน่งที่สัมผัสบนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างหน้าจอแบบ Capacitive

3.2 ปัญหาที่พบในระบบปัจจุบัน

ไม่สามารถใช้หน้าจอแบบ Resistive ได้ เนื่องจากเป็นโต๊ะต้องการความทนทานในระดับหนึ่งจึงควรใช้หน้าจอแบบ Capacitive ซึ่งหากใช้หน้าจอระบบสัมผัสแบบ Capacitive ในการทำโต๊ะ จะมีราคาที่สูงมากในการผลิต ยิ่งขนาดใหญ่จะยิ่งมีราคาแพงส่งผลให้โต๊ะหน้าจอระบบสัมผัสมีราคาที่สูงมากตามไปด้วย จึงยังไม่เหมาะที่บุคคลทั่วไปจะซื้อไปเพื่อใช้งานในครัวเรือน อีกทั้งยังไม่มีฟังก์ชั่นหรือแอพพลิเคชั่นที่น่าสนใจ เพราะโต๊ะหน้าจอสัมผัสส่วนใหญ่จะถูกผลิตมาเพื่อใช้ในองค์กร หรือใช้ในเชิงธุรกิจ จึงมีเฉพาะแอพพลิเคชั่นที่อำนวยความสะดวกเฉพาะด้าน

จากปัญหาในวิชาโครงงาน 1 ในเรื่องต่างๆ

- ความไม่แม่นยำ และไม่สเถียรในเรื่องของการตรวจจับนิ้วมือ เนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างไม่เพียงพอ
- ขนาดของจอแสดงผลที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากขนาดของโต๊ะ
- กล้องไม่สามารถรับภาพได้ทั้งโต๊ะ
- ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย มีน้ำหนักมาก และ อุปกรณ์ค่อนข้างไม่มั่นคง

ผู้จัดทำจึงได้ค้นคว้าหาวิธีแก้ไขปัญหาต่างๆ ในวิชาโครงงาน 2 เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์ความต้องการระบบ (System requirement analysis)

3.3.1 ความต้องการที่เป็นหน้าที่หลักของระบบ (Functional Requirement)

- สามารถรับข้อมูลได้จากการสัมผัส
- แสดงผลโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

3.3.2 ความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่หลักของระบบ (Non-Functional Requirement)

- ใช้งานได้สะดวกรวดเร็วมากขึ้น
- มีความสวยงามและน่าสนใจ
- ขนาดจอใหญ่ขึ้น รองรับการทำงานจากหลายบุคคล

3.4 การวิเคราะห์และวิจารณ์ระบบที่ต้องการออกแบบ

1) จุดประสงค์ของโครงงานนี้ จัดทำเพื่อสร้าง Multi-Touchscreen Table ในต้นทุนที่ต่ำ และใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (มีความถูกต้องแม่นยำในการรับข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และแสดงผล)

2) เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบสัมผัสโดยการใช้กล้อง Firefly MV ที่มีความละเอียดสูงกว่ากล้อง Web Camera อีกทั้งยังมีหน้าเลนส์กว้าง มีขอบเขตการรับภาพสูงกว่า

- ใช้หลักการฉายแสงแบบ Diffused Illumination (DI) กับระบบสัมผัส เนื่องจากมีความสะดวกในงานติดตั้งและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ เพราะหลักการ DI จะวางแหล่งกำเนิดแสงไว้แยกกับแผ่นรับสัมผัส หากเกิดปัญหากับส่วนใดส่วนหนึ่งก็สามารถแยกเปลี่ยนชิ้นส่วนได้ง่าย

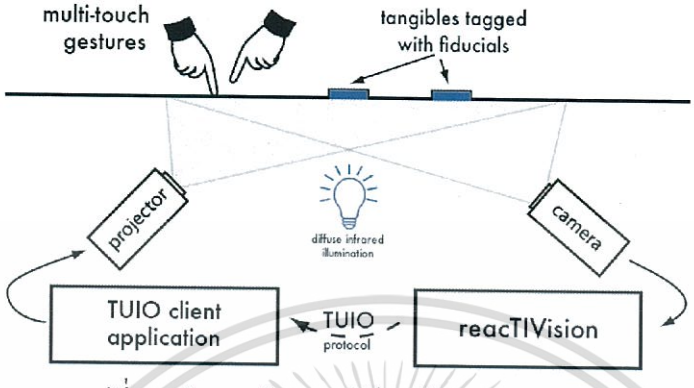
- การใช้โปรเจคเตอร์ฉายภาพแทนจอ LCD ง่ายต่อการปรับใช้ตามขนาดของโต๊ะ กล่าวคือ เมื่อต้องการเปลี่ยนไปใช้โต๊ะที่มีขนาดต่างจากเดิม ก็สามารถใช้งานได้ โดยปรับแค่ขนาดและจุดตกของภาพที่ฉายออกไป

3) ใช้หน่วยประมวลผลเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป หรือโน้ตบุ๊ค แทนการใช้หน่วยประมวลผลแบบฝัง (Embedded Device) เพราะสามารถหาซื้อได้ง่าย หรือนำที่มีอยู่มาใช้ได้เลย

4) เพิ่มความสูงของโต๊ะโดยใช้ไม้เสริมเพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างโปรเจคเตอร์และจุดตกกระทบ ทำให้ขนาดหน้าจอแสดงผลใหญ่ขึ้น ติดแผ่นสติกเกอร์ขุ่นที่ด้านล่างของแผ่นกระจกเพื่อลดแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสง และติดล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 บล๊อคไดอะแกรม (Block Diagram) แสดงภาพรวมของระบบ



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของโต๊ะหน้าจอระบบสัมผัส

3.6 การออกแบบ

3.6.1 ขั้นตอนการสร้างโต๊ะ

เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือ โต๊ะที่มีกระจกใสอยู่ด้านบน โปรเจคเตอร์ กระจกเงา กล้อง digital camera พัดลมระบายอากาศ แผ่นติดกระจก กระดาษไข หลอดไฟอินฟราเรด แท่นวางกล้องและไฟ

ขั้นตอนที่ 1 สร้างโต๊ะขนาดตามต้องการ (ในโครงงานนี้ใช้ขนาด กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 73 เซนติเมตร และ สูง 77 เซนติเมตร) ด้านบนส่วนผิวโต๊ะใช้กระจกใส และติดล้อที่ด้านล่างเพื่อง่ายต่อการขนย้าย

ขั้นตอนที่ 2 ทำความสะอาดโต๊ะเตรียมพื้นที่และวางกระจกเงาด้านล่าง ติดพัดลมระบายอากาศ และติดกระดาษไขด้านบนผิวกระจกผิวเพื่อรับภาพจากโปรเจคเตอร์และติดแผ่นเคลือบกระจกที่ด้านล่างเพื่อลดการสะท้อนของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง

ขั้นตอนที่ 3 ติดโปรเจคเตอร์เข้ากับผนังโต๊ะด้านในพร้อมทดสอบการฉายภาพไปยังกระจกเงาเพื่อขึ้นพื้นผิวกระจก ดูตำแหน่งของภาพรวมทั้งปรับองศาของโปรเจคเตอร์และกระจกเงาเพื่อให้ได้ขนาดภาพที่พอดีกับกระจก

ขั้นตอนที่ 4 จัดวาง Infrared Illuminator (หลอดไฟอินฟราเรด) ในตำแหน่งที่ทำให้แสงสามารถส่องสว่างทั่วทั้งโต๊ะ และจัดวางกล้องพร้อมทดสอบตำแหน่งให้สามารถบันทึกภาพพื้นผิวโต๊ะได้ทั้งหมด

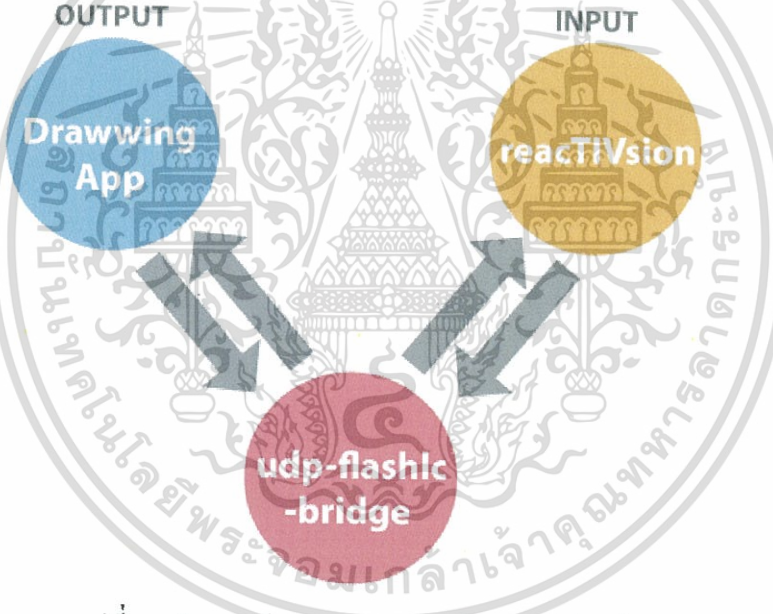
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ขั้นตอนการใช้งานซอฟท์แวร์

ในส่วนนี้จะแสดงขั้นตอนการใช้งานซอฟท์แวร์ทดสอบ เพื่อใช้งานร่วมกับโต๊ะและอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งในส่วนของขั้นตอนในการติดตั้งสามารถศึกษาได้ในภาคผนวก

ขั้นตอนที่ 1 เปิดซอฟท์แวร์ reacTIVision และ (หากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีกล้องมากกว่า 1 ตัว ให้ปรับการตั้งค่าโดยเปิดไฟล์ camera.xml ที่อยู่ในโฟลเดอร์เดี่ยวกับซอฟท์แวร์ reacTIVision แล้วแก้ไข camera id จาก 1 เป็น auto จากนั้นบันทึกไฟล์แล้วเปิด reacTIVision อีกครั้ง)

ขั้นตอนที่ 2 เปิดซอฟท์แวร์ Adobe Flash ในแถบเมนูด้านบนเลือก File > Open จากนั้นเลือก DrawingApp.fla หลักจากนั้นกดรันซอฟท์แวร์ทดสอบเพื่อใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.4 โครงสร้างการทำงานในส่วนซอฟท์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองหรือต้นแบบ

4.1. โต๊ะทัชสกรีน

รูปที่ 4.1 โต๊ะที่ใช้ในการสร้าง

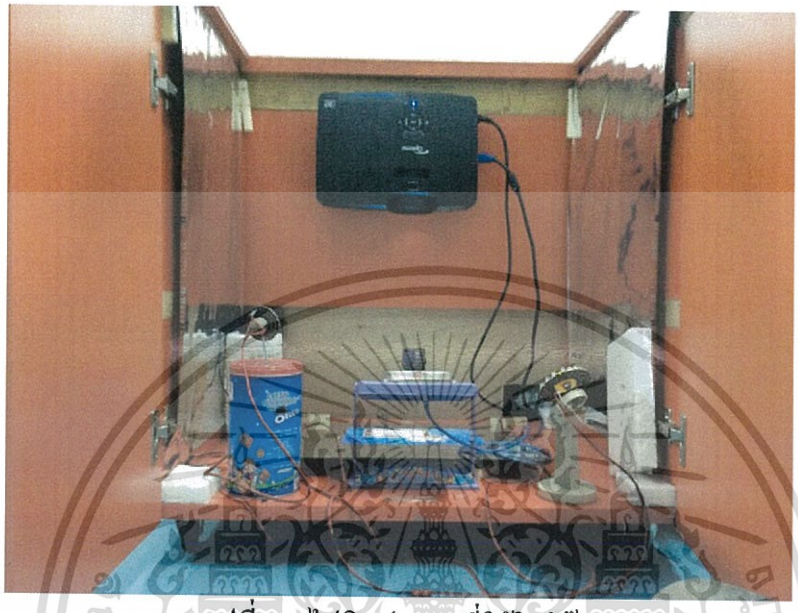
รูปที่ 4.1 แสดงโต๊ะที่ใช้มีความ สูง 77.5 ซม. กว้าง 60 ซม. ยาว 71 ซม. ทำจากไม้ ด้านบนของโต๊ะเป็นกระจก กว้าง 50.5 ซม. ยาว 65 ซม. และใช้แผ่นกระดาษวางบนผิวกระจกเพื่อรับภาพ เพิ่มความสูงของโต๊ะ ขึ้น 9 ซม.เพื่อให้ได้ภาพขนาดที่ใหญ่ขึ้น และภาพในติดกระดาษแก้วเพื่อช่วยให้สะท้อนแสงได้มากขึ้น ติดล้อ 4 ล้อเพื่อช่วยในการเคลื่อนย้ายให้มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 4.2 โปรเจคเตอร์ที่ใช้กับโต๊ะระบบสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รูปที่ 4.2 แสดงโปรเจคเตอร์ยี่ห้อ Optoma ที่ใช้สำหรับฉายภาพจากแอพพลิเคชั่นขึ้นบนพื้นผิวของโต๊ะ โดยปรับความเข้มของแสงให้ต่ำ ใช้รูปแบบแสงเย็น (Cold) ขนาด 1280 x 800 pixel



รูปที่ 4.3 ไฟอินฟราเรดที่ใช้ในโต๊ะ

รูปที่ 4.3 แสดงอินฟราเรดทั้งหมดที่ใช้ภายในโต๊ะ ใช้ไฟอินฟราเรด Infrared illuminator 3 ตัวใช้ไฟ 12 โวลต์ มี 1 ชุดที่นำมาจากกล้อง CCTV และอีก 2 ชุดได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอเอสดี ดิสทริบิวชั่น จำกัด

รูปที่ 4.4 กล้อง Firefly MV

รูปที่ 4.4 แสดงกล้อง Firefly MV ที่ใช้บันทึกภาพและส่งให้แอพพลิเคชั่นวิเคราะห์ภาพและคำนวณหาตำแหน่งที่นิ้วมือสัมผัส ซึ่งนำมาประยุกต์เป็นกล้องอินฟราเรดโดยการถอดตัวกรองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
144522

อินฟราเรดออก (Infrared Filter) และใส่ฟิล์มเพื่อกรองแสงให้เหลือเฉพาะอินฟราเรด โดยแผ่นฟิล์มที่ใช้นำมาจากแผ่น Floppy Disk หรือฟิล์มถ่ายภาพ นำมาใช้แทนกล้อง Web cam ซึ่งมีความละเอียดคมชัดและสเถียรกว่า

4.2 แอพพลิเคชั่นสำหรับทดสอบระบบ

ซอฟท์แวร์ทดสอบพัฒนาด้วยภาษา Action Script 3 ผ่าน Adobe Flash เพื่อใช้เป็นซอฟท์แวร์วาดรูปสำหรับใช้งานกับโต๊ะทัชสกรีน หลักการทำงานของซอฟท์แวร์คือ เมื่อมีการสัมผัสที่ผิวโต๊ะ ซอฟท์แวร์ reacTIvision จะส่งค่าตำแหน่งที่สัมผัสมาที่ port 3333 จากนั้นซอฟท์แวร์ทดสอบจะดึงค่าตำแหน่งที่ได้มากำหนดเป็นจุดสำหรับวาด แต่เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของการส่งค่าตำแหน่งจึงทำให้เส้นที่วาดไม่ต่อเนื่องเช่นกัน ผู้จัดทำจึงพัฒนาให้จุดตำแหน่งต่างๆเชื่อมโยงกันกลายเป็นเส้นตามต้องการ

รูปที่ 4.5 อินเตอร์เฟสของซอฟต์แวร์ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

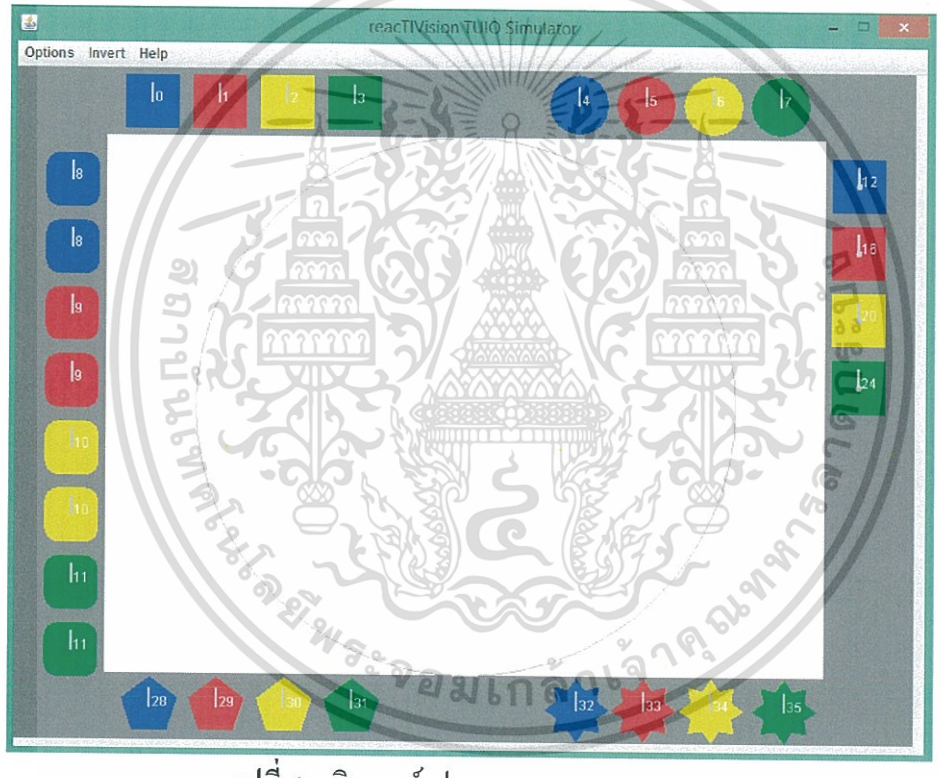
สำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับทดสอบระบบจะต้องทดสอบใน 2 ส่วน ได้แก่

1) ทดสอบกับ TUIO Simulator

2) ทดสอบกับโต๊ะ

1) ทดสอบกับ TUIO Simulator

TUIO Simulator เป็นซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของโต๊ะทัชสกรีน ถูกกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ทดสอบกับโปรแกรมที่พัฒนาด้วย Library ของ TUIO เพื่อใช้ทดสอบในขั้นแรก ว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาสามารถใช้งานได้



รูปที่ 4.6 อินเตอร์เฟสของ TUIO Simulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทดสอบกับโต๊ะ

ใช้งานซอฟท์แวร์ทดสอบร่วมกับโต๊ะเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ทั้งในเรื่องของความแม่นยำและความเร็วในการตอบสนอง

รูปที่ 4.7 อินเตอร์เฟสของซอฟต์แวร์ทดสอบขณะใช้งานจริง

รูปที่ 4.8 ภาพที่กล้องสามารถบันทึกได้

รูปที่ 4.8 แสดงภาพที่กล้องบันทึกได้ขณะใช้งานจริง จุดสีเขียวคือตำแหน่งที่ซอฟท์แวร์สามารถวิเคราะห์ตำแหน่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

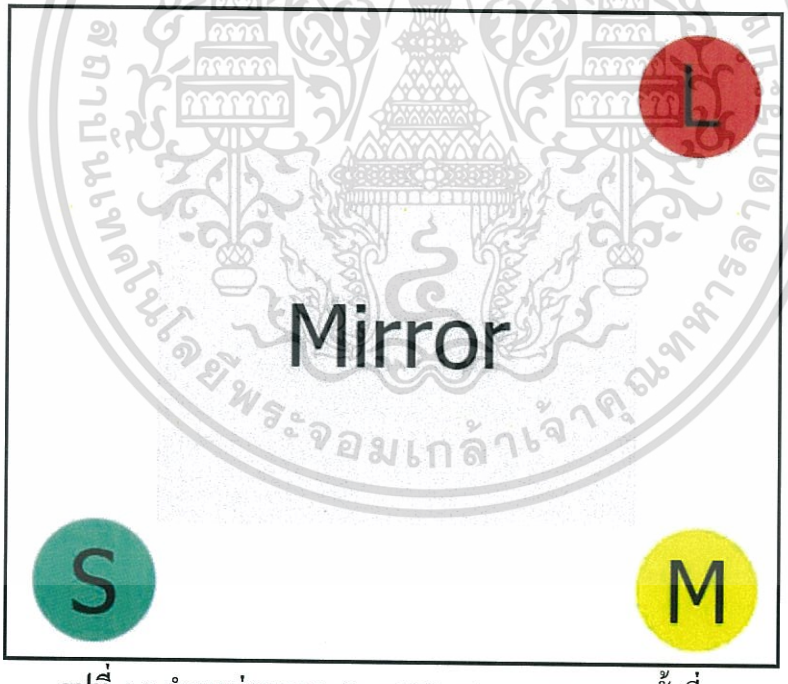
4.3 ผลการทดสอบ

4.3.1 ทดสอบการส่องสว่าง

ทดสอบการส่องสว่างของ Infrared Illuminator โดยจะใช้ภาพและสัญลักษณ์แทนอุปกรณ์ในตำแหน่งต่างๆของโต๊ะ(มองจากด้านบน) เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้แสงสามารถส่องสว่างได้ทั่วถึงแผ่นรับสัมผัส ซึ่งความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้แทนอุปกรณ์ต่างๆ มีดังนี้

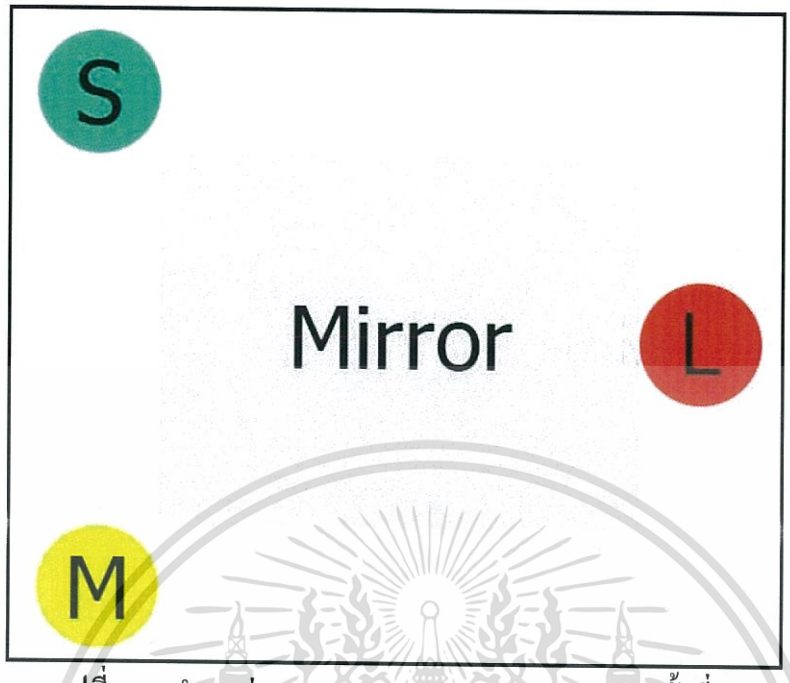
S	คือ	Infrared Illuminator ขนาด 3V 12 ดวง
M	คือ	Infrared Illuminator ขนาด 3V 36 ดวง
L	คือ	Infrared Illuminator ขนาด 5V 30 ดวง
Mirror	คือ	กระจกเงา

ส่วนทิศทางการส่องสว่างของ Infrared Illuminator แต่ละตัว จะปรับให้ส่องไปยังจุดกึ่งกลางของโต๊ะเป็นหลัก

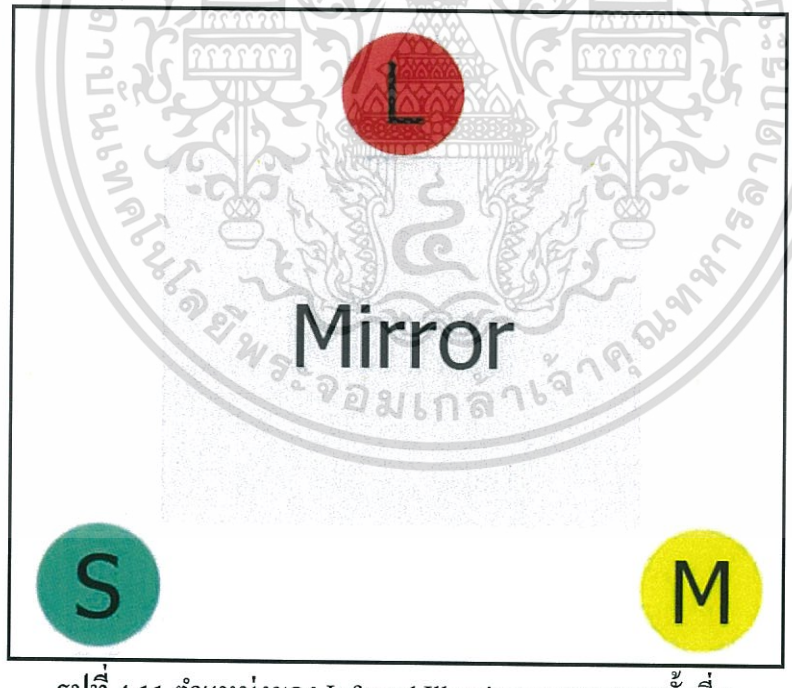


รูปที่ 4.9 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

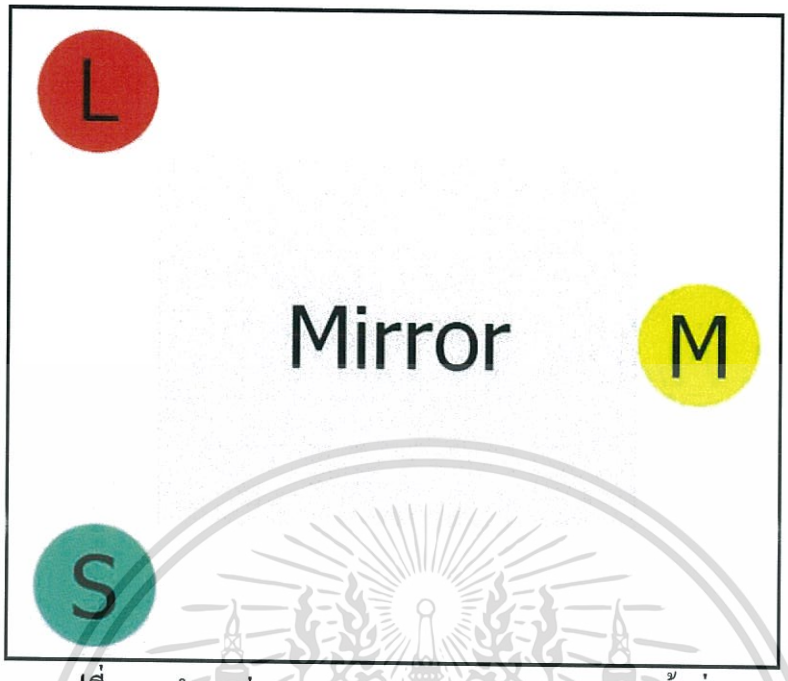


รูปที่ 4.10 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 2

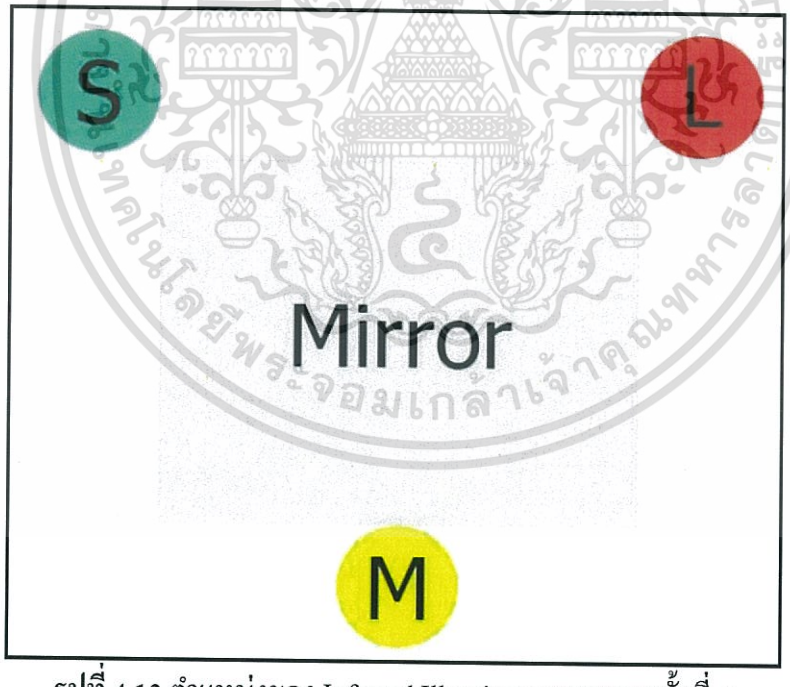


รูปที่ 4.11 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

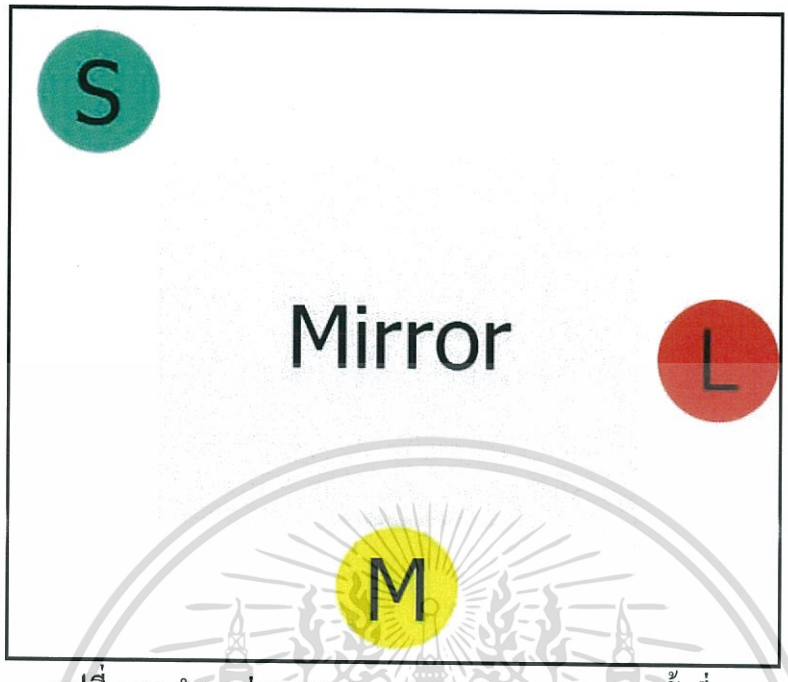


รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 4



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งของ Infrared Illuminator ทดสอบครั้งที่ 6

รูปที่ 4.15 บริเวณที่แบ่งเพื่อใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
บริเวณที่ 1	ไม่ติด	ไม่ติด	ติด	ติด	ไม่ติด	ติด
บริเวณที่ 2	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด
บริเวณที่ 3	ไม่ติด	ไม่ติด	ไม่ติด	ไม่ติด	ติด	ไม่ติด
บริเวณที่ 4	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด
บริเวณที่ 5	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด
บริเวณที่ 6	ติด	ติด	ติด	ไม่ติด	ติด	ไม่ติด
บริเวณที่ 7	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด
บริเวณที่ 8	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด	ติด
บริเวณที่ 9	ไม่ติด	ไม่ติด	ไม่ติด	ไม่ติด	ติด	ไม่ติด

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทสอบโดยการสัมผัสไปยังบริเวณต่างๆของโต๊ะ ซึ่งตำแหน่งที่ใช้ทดสอบในครั้งที่ 1 – 6 อ้างอิงจาก รูปที่ 4.9 - 4.14 ตามลำดับ และบริเวณที่ 1 – 9 อ้างอิงจากรูป 4.15

จากการทดลองพบว่าการทดลองครั้งที่ 5 สามารถส่องสว่างแสงได้ทั่วถึงมากที่สุด ทำให้ตรวจจับนิ้วมือได้ดีกว่าการวางในตำแหน่งอื่นๆ แต่บริเวณขอบของโต๊ะในทุกๆการทดลองยังคงพบปัญหาแสงไม่พอ ทำให้ตรวจจับตแหน่งบริเวณขอบได้น้อยกว่าบริเวณกลางโต๊ะ

4.3.2 ทดสอบการใช้งาน

ผลจากการทดสอบการใช้งานของโต๊ะร่วมกับซอฟท์แวร์ ทำให้ทราบถึงปัญหาความหน่วงในการใช้งาน อีกทั้งยังมีความคลาดเคลื่อนระหว่างจุดสัมผัสและจุดแสดงผล แต่อย่างไรระบบยังขาดความสมบูรณ์ในหลายๆด้าน ซึ่งหลักๆแล้วจุดประสงค์ของระบบจะเน้นการทดสอบของระบบว่าสามารถวาดได้ รับข้อมูลเข้าและแสดงผลได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใดเป็นสำคัญ

การทดสอบประสิทธิภาพนั้นถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวัดความสามารถในการตรวจจับนิ้วมือ (การทดลองที่ 1 - 3) และการวัดความแม่นยำในการตอบสนองและแสดงผล (การทดลองที่ 4 - 5) ในการทดสอบที่ 4 และ 5 จะเก็บผลการทดลองเฉพาะที่ตอบสนองเท่านั้น ถ้าสัมผัสหน้าจอแล้วไม่แสดงผลจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งจนกว่าจะมีการแสดงผล จากนั้นจึงบันทึกข้อมูล

<u>การทดลองที่ 1</u> ทดสอบโดยการใช้นิ้วสัมผัสลงบนหน้าจอพร้อมกันทั้ง 5 นิ้ว จากนั้นนับจำนวนจุดที่สามารถตรวจจับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 ทดสอบโดยการใช้นิ้วสัมผัสลงบนหน้าจอพร้อมกันทั้ง 5 นิ้ว แล้วลากจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดซึ่งมีระยะห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นนับจำนวนจุดที่สามารถตรวจจับได้ (ทดสอบต่อจากการทดลองที่ 1)

การทดลองที่ 3 ทดสอบโดยการใช้ 1 นิ้วสัมผัสลงบนหน้าจอ 2 ครั้งในเวลาใกล้เคียงกัน จากนั้นนับจำนวนครั้งที่สามารถตรวจจับได้

การทดลองที่ 4 ทดสอบโดยการใช้ 1 นิ้วสัมผัสไปยังตำแหน่งใดๆบนหน้าจอแล้ววัดระยะห่างระหว่างจุดที่นิ้วสัมผัสและจุดที่แสดงผลเพื่อหาความคลาดเคลื่อน ถ้าจุดที่สัมผัสและผลลัพธ์มีระยะห่างน้อยกว่า 0.5 เซนติเมตรจะถือว่าไม่คลาดเคลื่อน

การทดลองที่ 5 ทดสอบโดยการใช้ 1 นิ้วสัมผัสไปยังตำแหน่งใดๆบนหน้าจอเพื่อจับเวลาในการตอบสนอง เมื่อสัมผัสลงบนหน้าจอแล้วสามารถตอบสนองได้ (แสดงผลลัพธ์) ภายใน 1 วินาทีจะถือว่าตอบสนองเร็ว

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ 1 - 5

	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
ผลครั้งที่ 1	ติด 2 นิ้ว	ไม่ติดเลย	ไม่ติดเลย	1 เซนติเมตร	เร็ว
ผลครั้งที่ 2	ติด 3 นิ้ว	ติด 1 นิ้ว	ติด 2 ครั้ง	5 เซนติเมตร	ช้า
ผลครั้งที่ 3	ติด 3 นิ้ว	ติด 1 นิ้ว	ติด 1 ครั้ง	2.5 เซนติเมตร	ช้า
ผลครั้งที่ 4	ติด 5 นิ้ว	ติด 3 นิ้ว	ติด 1 ครั้ง	ไม่คลาดเคลื่อน	เร็ว
ผลครั้งที่ 5	ติด 3 นิ้ว	ติด 1 นิ้ว	ติด 1 ครั้ง	2 เซนติเมตร	เร็ว
ผลครั้งที่ 6	ติด 2 นิ้ว	ไม่ติดเลย	ติด 1 ครั้ง	1.5 เซนติเมตร	ช้า
ผลครั้งที่ 7	ติด 5 นิ้ว	ติด 2 นิ้ว	ไม่ติดเลย	1 เซนติเมตร	ช้า
ผลครั้งที่ 8	ติด 3 นิ้ว	ติด 1 นิ้ว	ติด 1 ครั้ง	4 เซนติเมตร	ช้า
ผลครั้งที่ 9	ติด 1 นิ้ว	ไม่ติดเลย	ติด 1 ครั้ง	ไม่คลาดเคลื่อน	ช้า
ผลครั้งที่ 10	ติด 4 นิ้ว	ติด 1 นิ้ว	ติด 2 ครั้ง	2 เซนติเมตร	ช้า

จากการทดลองพบว่าตำแหน่งที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยหรือไม่มีความคลาดเคลื่อนคือบริเวณที่วางกล้อง และพบปัญหาในการแสดงผล คือ ตำแหน่งที่กล้องสามารถบันทึกได้ยังไม่ตรงกับตำแหน่งผลลัพธ์ที่โปรเจคเตอร์ฉายออกไป เกิดจากขนาดที่กล้องสามารถบันทึกได้ใหญ่กว่าขนาดของซอฟท์แวร์ทดสอบ ทั้งนี้วิธีการแก้ปัญหาคือการจำกัดขอบเขตให้กล้องรับภาพเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณหน้าจอที่ใช้งาน อีกหนึ่งปัจจัยคือเลนส์ของกล้องที่มีความโค้งทำให้ได้มุมมองแบบตาปลา (Fisheye View) ภาพที่ได้จึงมีความโค้งมากกว่าปกติ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับภาพให้ตรงก่อนจะนำมาคำนวณหาจำแหน่งจึงจะแก้ปัญหาดังกล่าวได้ การทำงานยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ความแม่นยำ ความหน่วงในการตอบสนอง เมื่อใช้นิ้วสัมผัสบนหน้าจอจุดที่บอกตำแหน่งจะยังไม่แสดงผลทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลโครงงาน

การสร้างโต๊ะระบบสัมผัส มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง เพื่อเป็นที่นิยมและใช้กันได้อย่างแพร่หลายในสังคม โดยวิธีการผู้จัดทำได้พยายามข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในการสร้างและหาอุปกรณ์ทดแทนรวมถึงเทคนิคต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับโครงงานเช่น การใช้ตัวกรองแสงอินฟราเรดให้กล้อง การใช้เฟรมเวิร์คในการตรวจจับนิ้วที่สัมผัสบนโต๊ะ การใช้การสะท้อนของภาพจากที่สูงของเครื่องฉายภาพเพื่อให้ได้ภาพที่กว้างขึ้น เป็นต้น ทั้งนี้จะสามารถลดต้นทุนลงไปได้อย่างมากเมื่อเทียบกับโต๊ะหน้าจอสัมผัสที่มีวางขายตามท้องตลาด แต่อย่างไรการตรวจจับนิ้วของโต๊ะยังมีความไม่แม่นยำเนื่องจากการกระจายแสงของไฟอินฟราเรดยังไม่ครอบคลุมทั่วทั้งโต๊ะ รวมทั้งความคลาดเคลื่อนและหน่วงของตำแหน่งที่แสดงผลจริงจากโปรเจคเตอร์

5.1 สรุปผลโครงงาน

ตารางที่ 5.1 สรุปอุปกรณ์และหน้าที่ในการทำงาน

อุปกรณ์	รายละเอียด
โต๊ะ	เป็นโต๊ะปิดทึบทุกด้าน เว้นด้านบนเพื่อใส่กระจกใส
กระจกใส	เป็นกระจกใสหรือแผ่นอะคริลิคเพื่อใช้รับสัมผัส และเป็นฉากรับภาพ
สติกเกอร์ติดกระจกแบบขุ่น	ติดที่ด้านล่างของกระจกใสเพื่อลดการสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสง (ไฟอินฟราเรด)
กล้อง	กล้อง Firefly MV ที่ใช้เลนส์อินฟราเรด นำ Infrared Filter ออกแล้วติดแผ่นฟิล์มไว้ที่เลนส์ เผื่อกรองให้ผ่านได้เฉพาะแสง Infrared โดยภาพที่ได้จะประมวลผลผ่านแอพพลิเคชั่นของ reacTIVision เพื่อหาตำแหน่งที่นิ้วมือสัมผัส
โปรเจคเตอร์	ใช้สำหรับฉายภาพมาที่ผิวของโต๊ะเพื่อแสดงผลอินเตอร์เฟส
กระจกเงา	ใช้สำหรับสะท้อนภาพจากโปรเจคเตอร์
ไฟอินฟราเรด	ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้กล้องสามารถจับภาพบนผิวโต๊ะได้
คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์ทั่วไปบนระบบปฏิบัติการ Windows ใช้สำหรับการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 สรุปอุปกรณ์และต้นทุนที่ใช้ในโครงงาน

อุปกรณ์	รายละเอียด	ราคา
โต๊ะ	ขนาด กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 73 เซนติเมตร และ สูง 77 เซนติเมตร ด้านบนจะมีช่องใส่กระจกเพื่อเป็นพื้นผิวรับสัมผัส	2,500.-
กระจกใส	ขนาดกว้าง 56 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และหนา 0.5 เซนติเมตร	450.-
สติกเกอร์ติดกระจกแบบขุ่น	ขนาดเท่ากับกระจกใส	165.-
กล้อง	กล้อง Firefly MV ความละเอียด 1.3 เมกะพิกเซล พร้อมเลนส์	9,750.-
โปรเจคเตอร์	ความละเอียดของภาพ 1280 x 800 พิกเซล	15,900.-
กระจกเงา	ขนาดกว้างและยาว 30 เซนติเมตร	350.-
ไฟอินฟราเรด	ใช้ Infrared Illuminator ที่แทนการใช้หลอด Infrared LED เนื่องจากมีความสว่างมากกว่า	600.-
reacTIVision	ซอฟท์แวร์วิเคราะภาพเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุที่สัมผัส	-
คอมพิวเตอร์	Dell รุ่น Precision 390	13,000.-
รวม		**42,715.-**

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างการทำงานต่างๆของระบบสัมผัสแบบ DI รวมทั้งข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดอื่นๆ เพื่อนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา
2. เรียนรู้หลักการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดเพื่อนำมาประยุกต์ใช้แทนที่อุปกรณ์เดิม ซึ่งอาจนำไปพัฒนาหรือใช้กับอุปกรณ์ชนิดอื่นๆได้
3. ได้พัฒนาซอฟท์แวร์ทดสอบด้วยภาษา Action Script จึงได้เรียนรู้เกี่ยวกับการพัฒนาซอฟท์แวร์เชิงวัตถุที่สนับสนุนกราฟิกอินเตอร์เฟส
4. ได้มีการออกแบบและพัฒนาซฮฟท์แวร์ที่เพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้
5. สร้างแรงกระตุ้นในเรื่องของแนวคิด การออกแบบ และการพัฒนาซอฟท์แวร์ เพื่อผลักดันให้ผู้ที่สนใจได้นำสร้างสรรค์ระบบใหม่ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนา

1. การหาตำแหน่งในการวางไฟอินฟราเรดที่เหมาะสม เพื่อให้แสงส่องสว่างทั่วทั้งโต๊ะ
2. กำลังส่องสว่างของไฟอินฟราเรดไม่เพียงพอทำให้ความแม่นยำในการตรวจจับน้อยลง
3. การสร้างซอฟต์แวร์หรือทดลองใช้ซอฟต์แวร์เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบสัมผัสมีความยุ่งยาก
4. กล้องเป็นเลนส์รับภาพแบบ Fisheye จะได้ภาพบูนต้องทำการลดทอนการบิดของภาพก่อนนำมาวิเคราะห์ตำแหน่งจึงจะได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง
5. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ตรวจจับภาพมีความเร็วในการวิเคราะห์ตำแหน่งของนิ้วมือน้อย ทำให้รู้สึกหน่วงขณะใช้งานจริง
6. ขนาดของภาพที่ฉายจากโปรเจคเตอร์ไปยังหน้าจอยังไม่พอดีเท่ากับกระจก ซึ่งเกิดจากระยะในการฉายระหว่างโปรเจคเตอร์และฉากรับภาพน้อยเกินไป
7. ความคมชัดของภาพแสดงผลต่ำลง เนื่องจากการติดแผ่นสติกเกอร์ขุ่นกับผิวกระจกด้านล่างเพื่อลดแสงสะท้อน
8. การทาซิลิโคนบนกระจกช่วยให้การตรวจจับนิ้วมือง่ายขึ้น แต่การทำให้ซิลิโคนเรียบไปกับผิวกระจกทำได้ยาก อาจต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้เพื่อแก้ปัญหา

5.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

1. การจัดตำแหน่ง องศา และระยะห่างของไฟมีผลกับความสว่างของแผ่นกระจกรับสัมผัส ถ้ามีความสว่างสม่ำเสมอจะช่วยให้ซอฟต์แวร์ตรวจจับตำแหน่งได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. การเลือกกล้องที่มีหน้าเลนส์กว้าง และการจัดวางตำแหน่งการวางของกล้องช่วยให้รับขนาดภาพได้มากขึ้น รวมทั้งการลดทอนความบิดของภาพจะช่วยเพิ่มความแม่นยำ
3. ควรหาวัสดุใหม่ๆมาทดแทนให้การทำงานในส่วนต่างๆ ให้ดีขึ้น
4. การเลือกหลอดอินฟราเรดสำหรับนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ควรใช้แบบที่มีความสว่างเป็นพิเศษ หลอด Infrared LED ทั่วไปจะใช้สำหรับเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ซึ่งมีกำลังส่องสว่างไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้งาน
5. การใช้หลักการกระจายแสงแบบ DI ไม่เหมาะกับการใช้งานในที่ๆมีแสงมาก เพราะเมื่อแสงจากด้านบนกระจกมีมากกว่าแสงที่มาจากด้านล่าง จะทำให้กล้องไม่สามารถจับตำแหน่งของนิ้วมือได้
6. การใช้แผ่นอะคริลิคร่วมกับหลักการ FTIR อาจช่วยให้ระบบสัมผัสมีประสิทธิภาพ และความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] **"reacTIVision"** [Online] Available : http://reactivision.sourceforge.net/

[2] **"TUIO"** [Online] Available : http://www.tuio.org/

[3] **"Fiducial marker"** [Online] Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Fiducial_marker/

[4] **"Getting Started With MultiTouch"** [Online]

Available : http://nuigroup.com/forums/viewthread/1982/

[5] **"Rear Diffuse Illumination"** [Online]

Available : http://wiki.nuigroup.com/Diffused_Illumination/

[6] **"Actoin Script"** [Online]

Available : http://www.adobe.com/devnet/actionscript/learning.html/

[7] **"รังสีอินฟราเรด"** [Online] Available : http://th.wikipedia.org/wiki/รังสีอินฟราเรด/. 2015

[8] Eric Hemphill. **"DIY Touch Table for Under $200: Construction Overview"** [Online]

Available : https://www.youtube.com/watch?v=MhAH5rkChAk/. 2012

[9] Hack in a Minute. **"Building Diy Multi-Touch Table"** [Online]

Available : https://www.youtube.com/watch?v=i4lAxBeCMTM/. 2009

[9] PeauProductions. **"How To Build a Rear DI Multitouch Table"** [Online]

Available : https://www.youtube.com/watch?v=RrQ1Gb2vNEk/. 2010

[10] **"Guides"** [Online] Available : http://bubblebird.at/tuioflash/guides/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการติดตั้งซอฟท์แวร์ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การติดตั้งซอฟท์แวร์

1. **reacTIVision** : ใช้ประมวลผลภาพเพื่อแปลงเป็นค่าตำแหน่งแล้วส่งให้กับซอฟท์แวร์ที่ใช้ทดสอบ (ควรใช้เวอร์ชัน 1.4)

   Download : http://reactivision.sourceforge.net/#files

2. **udp-flashlc-bridge** : ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบ UDP ระหว่างพอร์ต 3333 และโปรแกรม Adobe Flash (ใช้ส่งค่าตำแหน่งระหว่างใช้งาน)

   Download : http://gkaindl.com/software/udp-flashlc-bridge

3. **Adobe Flash Professional** (ใช้งานฟรี 30 วัน) : ใช้สำหรับการเขียนภาษา Action Script รวมทั้งออกแบบ User Interface ให้กับซอฟท์แวร์ทดสอบ

   Download : http://www.adobe.com/products/flash.html

4. **TUIO Library** : เป็นชุดคำสั่งสำหรับใช้งานร่วมกันระหว่างภาษา Action Script ในโปรแกรม Adobe Flash และ reacTIVision (วิธีการใช้งานอยู่ในหัวข้อภาคผนวก ก.2)

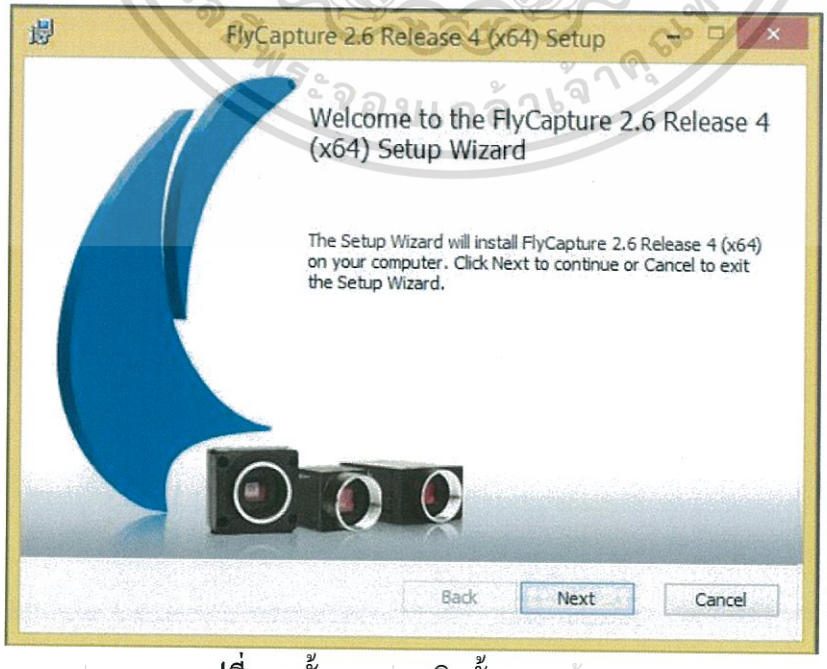
   Download : http://www.tuio.org/?software (เลือก Flash AS3)

5. **FlyCapture 2.6** : Driver สำหรับใช้งานและตั้งค่ากล้อง Firefly MV

   Download : http://www.ptgrey.com/support/downloads

<u>ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture</u>

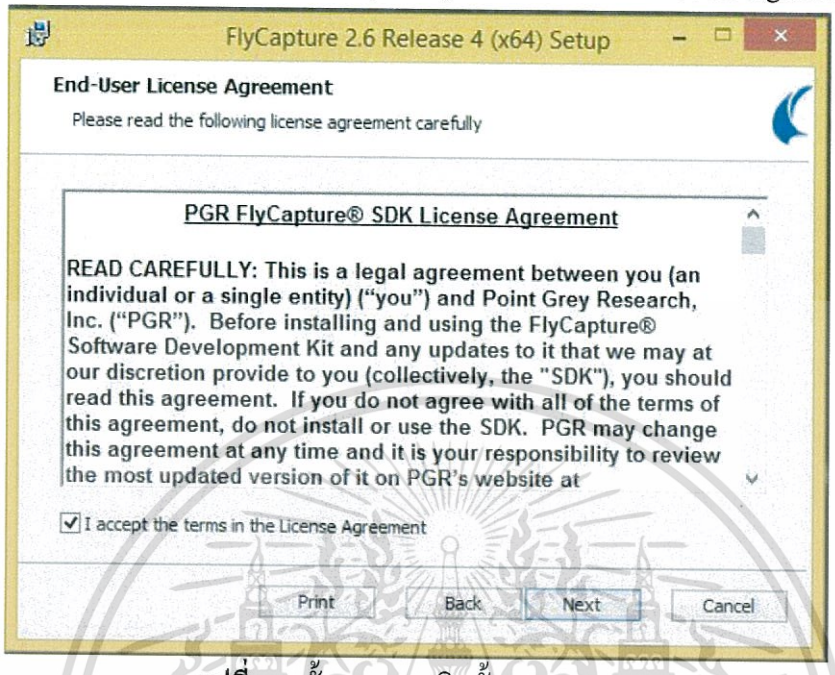
1) เปิดโปรแกรม FlyCapture แล้วกดกด Next



รูปที่ ก.1 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture

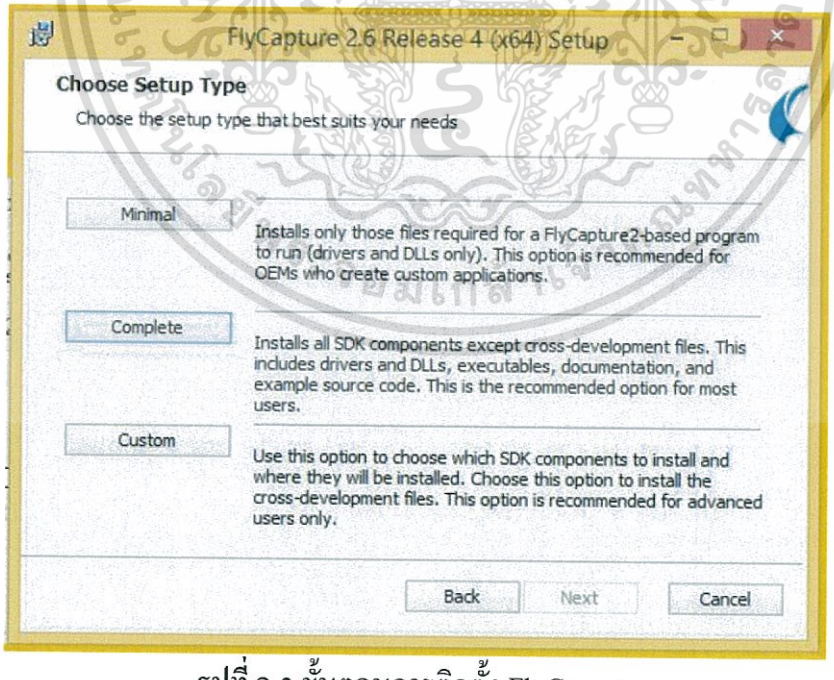
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ยอมรับเงื่อนไขและข้อตกลง (I accept the terms in the License Agreement)



รูปที่ ก.2 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture

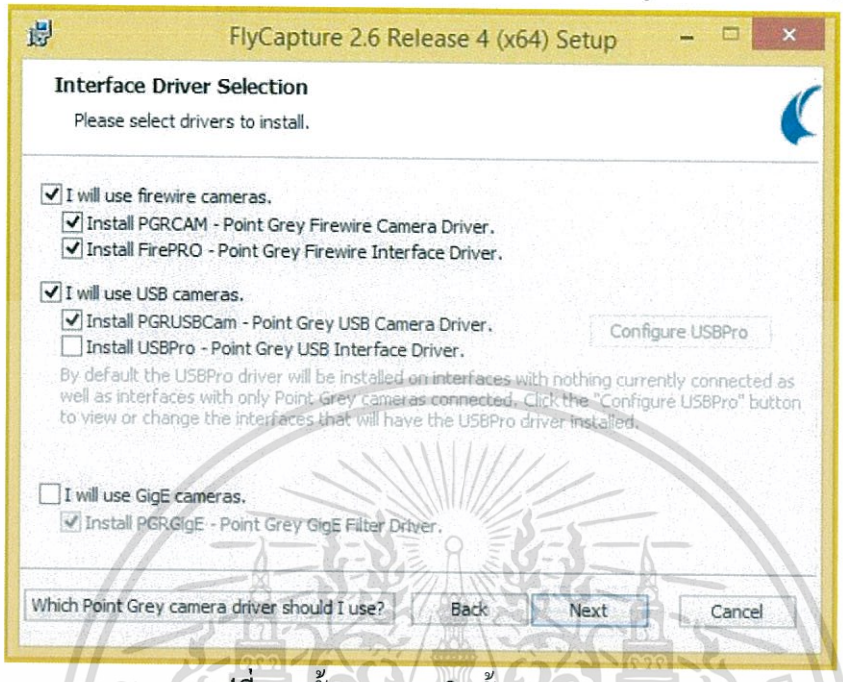
3) เลือก Complete เพื่อติดตั้งทั้งหมด



รูปที่ ก.3 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture

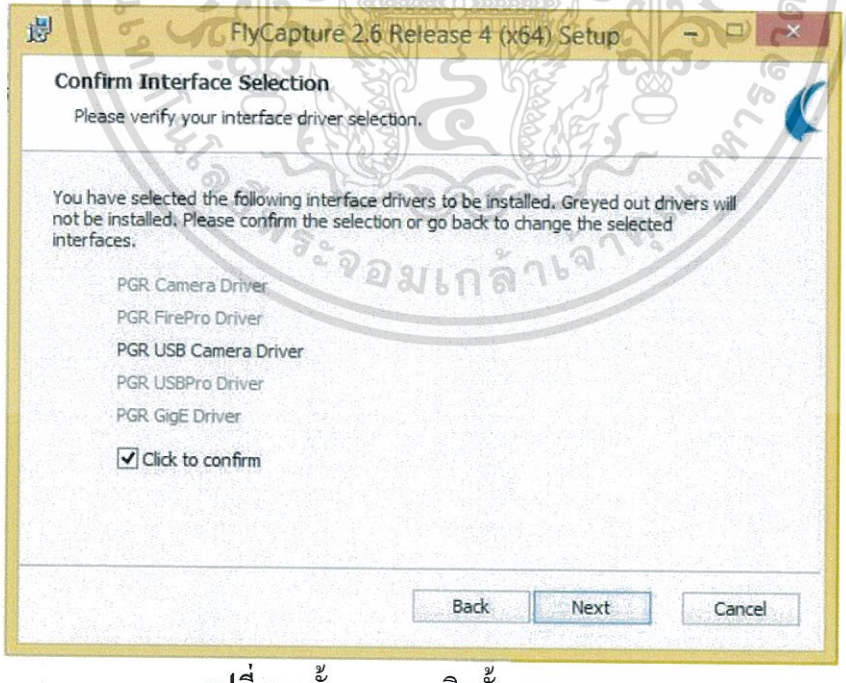
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เลือกติดตั้งตามภาพเพื่อให้สามารถใช้งานกล้อง Firefly ร่วมกับซอฟท์แวร์อื่นได้



รูปที่ ก.4 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture

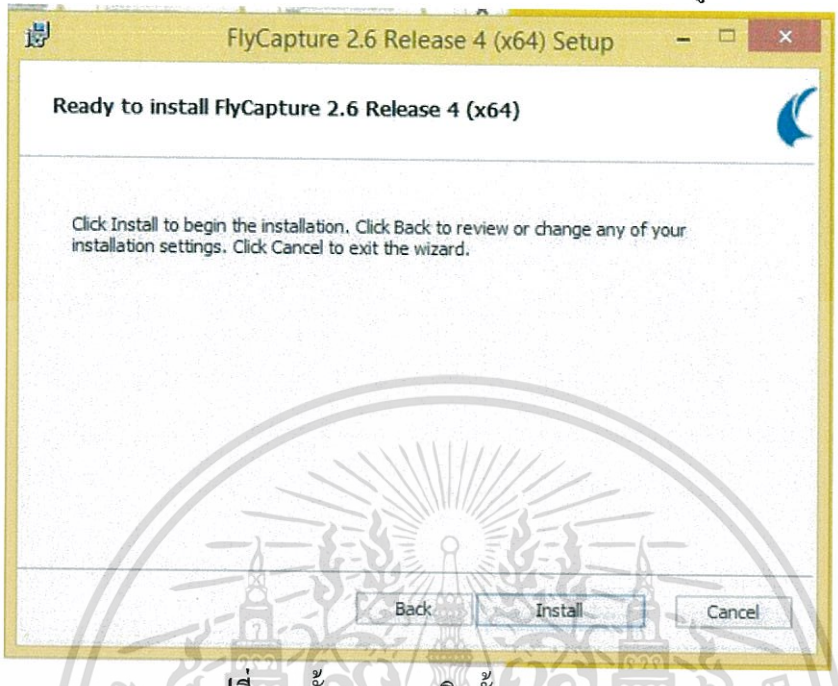
5) คลิกที่ช่อง Click to confirm เพื่อยืนยันการติดตั้ง แล้วกด Next



รูปที่ ก.5 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) กด Install เพื่อติดตั้ง และรอจนกว่าซอฟท์แวร์จะติดตั้งสมบูรณ์



รูปที่ ก.6 ขั้นตอนการติดตั้ง FlyCapture

ก.2 การใช้งาน TUIO กับ Action Script

เมื่อต้องการพัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อใช้งานกับโต๊ะด้วยภาษา Action Script จะต้องใช้ Library ของ TUIO เพื่อให้ซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานร่วมกับ reacTIVision ได้ ซึ่งเนื้อหาในส่วนนี้จะอธิบายเพียงการติดตั้งและใช้งานเบื้องต้น สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ http://bubblebird.at/

การใช้งาน Action Script ภายในโปรแกรม Adobe Flash จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือไฟล์ .fla ที่เกี่ยวกับส่วนแสดงผลหรืออินเตอร์เฟส และไฟล์ .as หรือไฟล์ Action Script ที่จะเกี่ยวข้องกับโค้ดและคำสั่งในการทำงานต่างๆ

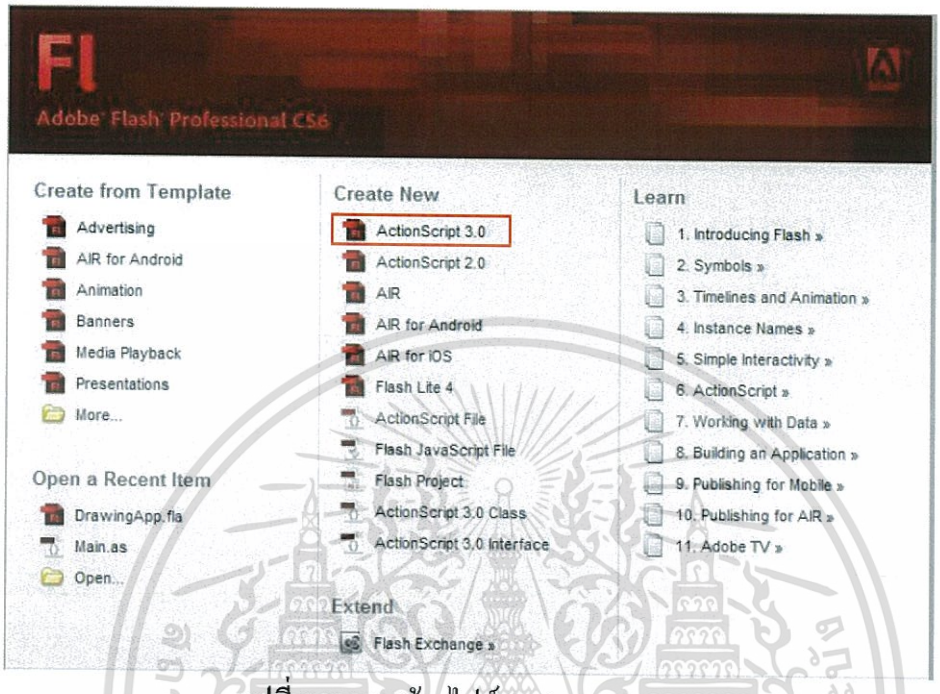
ขั้นตอนการติดตั้งและใช้งาน TUIO

1) หลังจากดาวน์โหลด TUIO และ unzip ไฟล์แล้วจะได้ดังรูป

รูปที่ ก.7 ขั้นตอนการใช้งาน TUIO

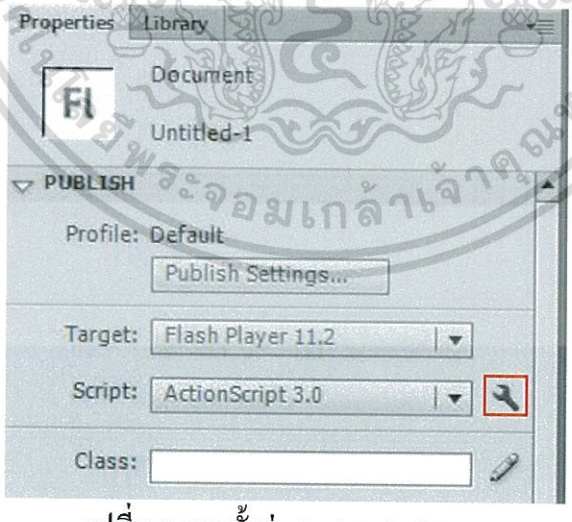
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เปิดโปรแกรม Adobe Flash แล้วจะขึ้นหน้าต่างดังภาพ ที่หัวข้อ Create New เลือก Action Script 3.0



รูปที่ ก.8 การสร้างไฟล์ Action Script 3.0

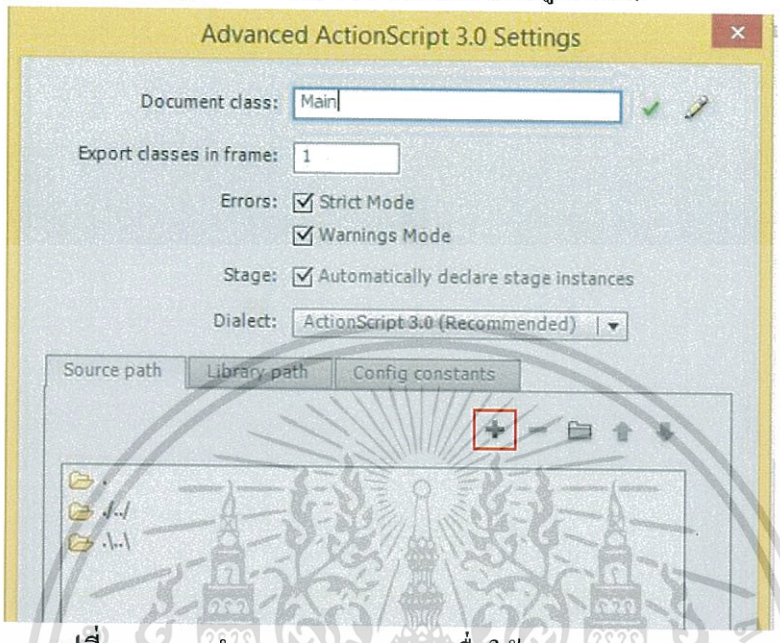
3) ที่ด้านขวาของโปรแกรมจะมีหน้าต่าง Property (ดังภาพ ก.9) ให้คลิกที่ เพื่อตั้งค่า



รูปที่ ก.9 การตั้งค่า Action Script 3.0

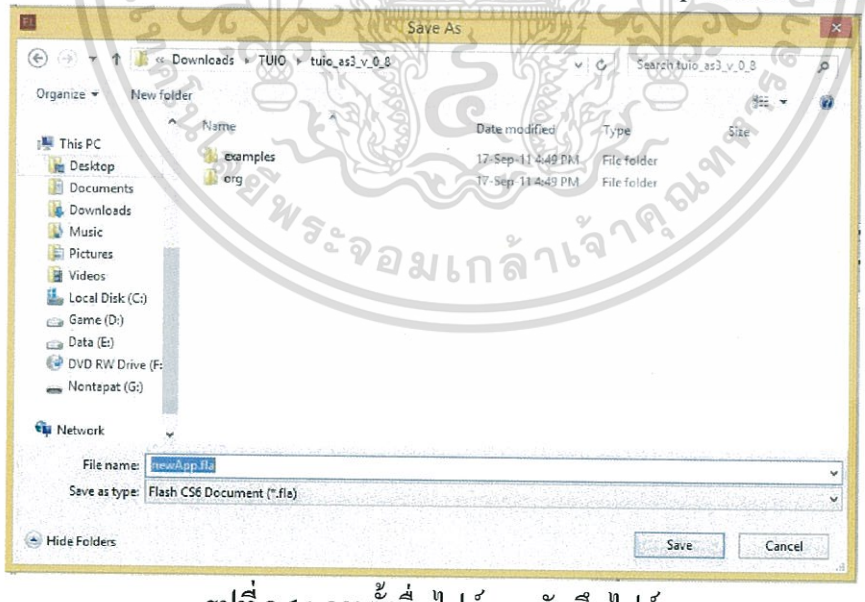
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ตั้งชื่อ Document Class เพื่อสร้างส่วนควบคุมการทำงาน (ไฟล์.as) และคลิกที่ ✚ เพื่อกำหนด Soure path ของ Library โดยใส่ ./../ และ .\..\ เพิ่ม (ตามรูป ก.10)



รูปที่ ก.10 การกำหนด Source path เพื่อใช้งาน TUIO Library

5) ตั้งชื่อไฟล์ และบันทึกไฟล์ไว้ในโฟลเดอร์ของ TUIO ที่ unzip ไว้ในขั้นตอนที่ 1)



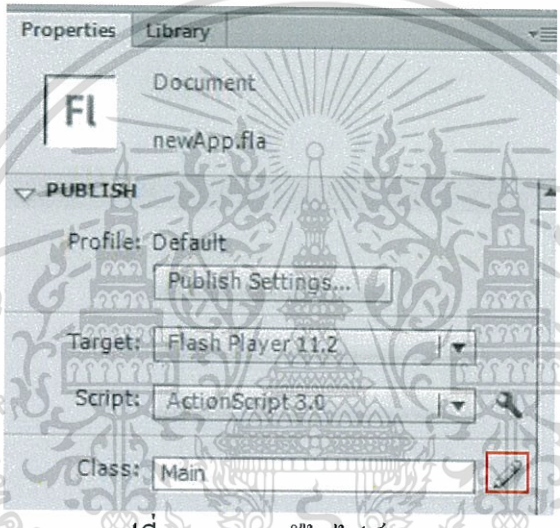
รูปที่ ก.11 การตั้งชื่อไฟล์และบันทึกไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) หลังจากบันทึกไฟล์แล้ว ในโฟลเดอร์ tuio_as3_v_0_8 จะประกอบด้วยไฟล์และโฟลเดอร์ต่างๆ (ดังรูป ก.12)

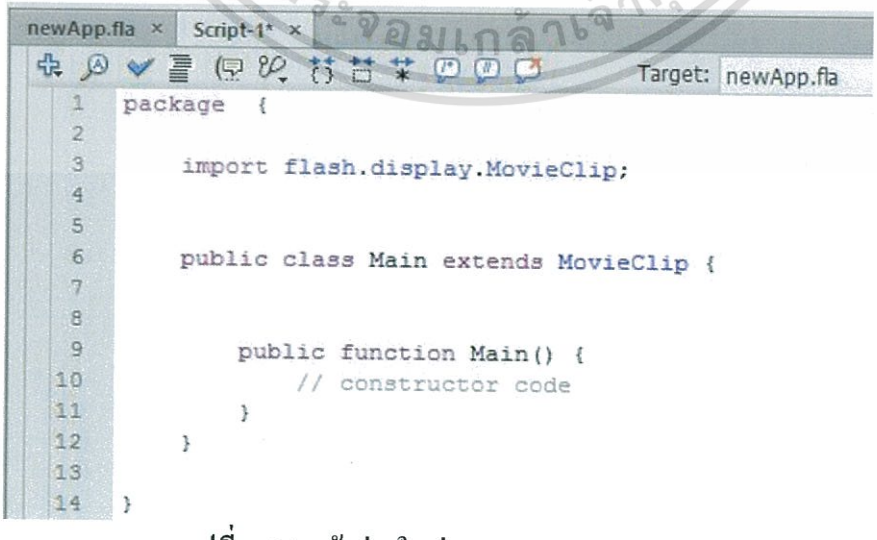
รูปที่ ก.12 ไฟล์ทั้งหมดในโฟลเดอร์ tuio_as3_v_0_8

7) คลิกที่ เพื่อแก้ไขไฟล์ Class (หากยังไม่เคยสร้างโปรแกรมจะสร้างให้อัตโนมัติ)



รูปที่ ก.13 การแก้ไขไฟล์ Class

8) Adobe Flash จะสร้างหน้าใหม่เพิ่มขึ้นมา บันทึกไฟล์เพื่อนำใช้งานต่อไป



รูปที่ ก.14 หน้าต่างในส่วนของ Action Script

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ซอร์สโค้ดของซอฟท์แวร์ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอร์สโค้ดไฟล์ Main.as

```
package {
        import org.tuio.*;
        import org.tuio.osc.*;
        import org.tuio.connectors.*;
        import flash.display.MovieClip;
        import flash.display.Shape;
        import flash.display.*;
        import flash.events.*;
        public class Main extends MovieClip implements ITuioListener {
                private var tuio:TuioClient;
                private var tuioCursor:TuioCursor;
                private var circleSize:uint = 0;
                private var lineWeight:uint = 10;
                private var lineColor:uint = 0x000000;
                private var link:Shape = new Shape();
                private var penPoint:Array = new Array; // [x,y]
                private var touchX:Number; // touch position x
                private var touchY:Number; // touch position y
                private var maxLayer:uint = 2;
                private var layerIndex:uint = 2;
                private var history:Array = new Array(); //  [x,y,color,weight]
                private var hisLine:Shape = new Shape(); // history line
                private var hisBuffer:int; // history buffer is contain number of drawing

                public function Main(){
                  /* Uncomment the connection type you want to use
                        * comment or remove the other one
                        * LocalConnection is the connection method used by default*/
                        this.tuio = new TuioClient(new LCConnector());
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        this.tuio.addListener(this);
        board.addChild(hisLine);
}
public function handleCollision():void  {
                //Change Tool
                if (newButton.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
                {
                        clearScreen();
                }
                else if (penButton.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
                {
                        changeTool(penButton.x,penButton.y);
                        penTool();
                }
                else if (eraserButton.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
                {
                        changeTool(eraserButton.x,eraserButton.y);
                        eraserTool();
                }
                else if (brushButton.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
                {
                        changeTool(brushButton.x,brushButton.y);
                        brushTool();
                }
                else if (undoButton.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
                {
                        undoTool();
                }
                else if (undoButton.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            redoTool();
        }
        // Change Color
        else if (blackColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
        {
            changeColor(0x000000,blackColor.x,blackColor.y);
            trace('black');
        }
        else if (greenColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
        {
            changeColor(0x00CC66,greenColor.x,greenColor.y);
            trace('green');
        }
        else if (cyanColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
        {
            changeColor(0x01B6AD,cyanColor.x,cyanColor.y);
            trace('cyan');
        }
        else if (blueColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
        {
            changeColor(0x3399FF,blueColor.x,blueColor.y);
            trace('blue');
        }
        else if (brownColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
        {
            changeColor(0x771100,brownColor.x,brownColor.y);
            trace('brown');
        }
        else if (redColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                changeColor(0xFF3333,redColor.x,redColor.y);
                trace('red');
            }
            else if (pinkColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
            {
                changeColor(0xFF6699,pinkColor.x,pinkColor.y);
                trace('pink');
            }
            else if (orangeColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
            {
                changeColor(0xFF6600,orangeColor.x,orangeColor.y);
                trace('orange');
            }
            else if (yellowColor.hitTestPoint (touchX,touchY, false))
            {
changeColor(0xFFCC00,yellowColor.x,yellowColor.y);
                trace('yellow');
            }
        }
        public function clearScreen():void{
            link.graphics.clear();
            history = new Array();
            trace('clear');
        }
        public function penTool():void{
            changeColor(0x000000,blackColor.x,blackColor.y);
            lineWeight = 10;
            trace('pen');
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
public function eraserTool():void{
        lineWeight = 20;
        lineColor = 0xFFFFFF;
        trace('eraser');
}
public function brushTool():void{
        lineWeight = 25;
        changeColor(0x000000,blackColor.x,blackColor.y);
        trace('brush');
}

public function showDisplay(){
        var maxLoop:uint = hisBuffer;
            for(var i:int = 0 ; i< hisBuffer;i++){
            if(history[i].length <2){
                    i++;
            }
            else{
                    var startX:Number =  history[i][1][0];
            var startY:Number =  history[i][1][1];
            hisLine.graphics.moveTo(startX,startY);
            for(var j:int = 2 ; j< history[i].length;j++){
                    var preX:Number =  history[i][j][0];
                    var preY:Number =  history[i][j][1];
                    var X:Number = history[i][j][2];
                    var Y:Number = history[i][j][3];
                    var hisColor:uint = history[i][j][4];
                    var weight:uint = history[i][j][5];
            hisLine.graphics.lineStyle(weight, hisColor, 1);
                    hisLine.graphics.lineTo(X,Y);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    }
                }
            }
        }
        public function undoTool():void{
            trace('undo');
                hisBuffer--;
                clearScreen();
                hisLine.graphics.clear();
                showDisplay();
        }
        public function redoTool():void{
            trace('redo');
            hisBuffer++;
            clearScreen();
                hisLine.graphics.clear();
                showDisplay();
        }
            //Change cursor to selected color
    public function changeColor(color:uint,locX:Number,locY:Number):void{
                lineColor = color;
                selectedColor.x = locX;
                selectedColor.y = locY;
    }
    public function changeTool(locX:Number,locY:Number):void{
                selectedTool.x = locX;
                selectedTool.y = locY;
    }
    public function addTuioObject(tuioObject:TuioObject):void {
            trace("add: "+tuioObject.toString());
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
public function updateTuioObject(tuioObject:TuioObject):void {
        trace("update: "+tuioObject.toString());
}
public function removeTuioObject(tuioObject:TuioObject):void {
        trace("remove: "+tuioObject.toString());
}
public function addTuioCursor(tuioCursor:TuioCursor):void {
                var x:Number = tuioCursor.x*board.width;
                var y:Number = tuioCursor.y*board.height;
                touchX = x;
                touchY = y;

                var cursorID:String = tuioCursor.sessionID.toString();
                penPoint[cursorID] = [x,y];
                history.push([cursorID,]);
                handleCollision();
}
public function updateTuioCursor(tuioCursor:TuioCursor):void {
                var cursorID:String = tuioCursor.sessionID.toString();
                var x:Number = tuioCursor.x*board.width;
                var y:Number = tuioCursor.y*board.height;
                var prePosX:Number = penPoint[cursorID][0];
                var prePosY:Number = penPoint[cursorID][1];
LinkLine(cursorID,prePosX,prePosY,x,y,lineWeight,lineColor);
                penPoint[cursorID] = [x,y];  //contain x,y position
                for(var i=0;i<history.length;i++){
                        if(history[i][0]==cursorID){
        history[i].push([prePosX,prePosY,x,y,lineColor,lineWeight]);
                        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                }
        }
        public function removeTuioCursor(tuioCursor:TuioCursor):void {
                trace(history.length);
                for(var i:int=0;i<history.length;i++){
                        if(history[i].length<2){
                                history.splice(i, 1);
                        }
                }
                trace(history.length);
                hisBuffer = history.length;
        }
        public function addTuioBlob(tuioBlob:TuioBlob):void {
                trace("add: "+tuioBlob.toString());
        }
        public function updateTuioBlob(tuioBlob:TuioBlob):void {
                trace("update: "+tuioBlob.toString());
        }
        public function removeTuioBlob(tuioBlob:TuioBlob):void {
                trace("remove: "+tuioBlob.toString());
        }
    public function LinkLine(name:String,preX:Number,preY:Number,
X:Number,Y:Number, lineWeight:uint,lineColor:uint):void {
                link.graphics.lineStyle(lineWeight,lineColor, 1);
                if(preX==0 && preY==0){
                        link.graphics.lineTo(X ,Y);
                }
                else{
                        link.graphics.moveTo(preX,preY);
                        link.graphics.lineTo(X ,Y);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    }
                    board.addChild(link);
                }
            }
        }
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายนนทภัทร เสียงเสนาะ
วัน เดือน ปี เกิด	30 กันยายน 2535
ที่อยู่	73 ถ.ศุขประยูร ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา 24000
โทรศัพท์	087-568-3108
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล	นายปพน ดำริห์ดี
วัน เดือน ปี เกิด	7 ตุลาคม 2535
ที่อยู่	104 ถ.นวมินทร์ แขวง/เขต คันนายาว กรุงเทพ 10230
โทรศัพท์	081-453-2964
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการพัฒนาโต๊ะระบบสัมผัสสำหรับการปฏิสัมพันธ์แบบเทเบิลท็อป

A STUDY OF TOUCH TABLE DEVELOPMENT FOR TABLETOP INTERACTION

นนทภัทร เสียงเสนาะ, ปพน ดำริห์ดี และ ดร.ณฐพล พันธุวงศ์

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: siengnontapat@gmail.com, papondum@hotmail.com

บทคัดย่อ

เอกสารนี้เสนอวิธีการสร้างโต๊ะหน้าจอสัมผัส (Touchscreen Table) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนสูงให้สามารถใช้งานได้จริง โดยใช้อุปกรณ์อื่นมาทดแทนการทำงานของอุปกรณ์เดิม เช่นระบบสัมผัสที่ใช้หลักการฉายแสงอินฟราเรดแบบ Rear Diffuse Illumination ไปยังพื้นผิวของกระจกสำหรับรับสัมผัส แล้วใช้กล้องอินฟราเรดจับภาพบนพื้นผิว ภาพที่ได้จะถูกส่งให้กับซอฟท์แวร์ reacTIVision เพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของนิ้วแทนการใช้แผ่นทัชสกรีน ผลลัพธ์ที่ได้คือพิกัดตำแหน่งที่หน้าจอถูกสัมผัส จากนั้นผลลัพธ์ก็จะถูกส่งเป็นข้อความโดยโปรโตคอล TUIO เพื่อนำไปใช้งานเป็น Input ในแอพลิเคชั่นต่างๆ ทั้งนี้ reacTIVision ยังสามารถตรวจจับ Fiducial Marker ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่สามารถกำหนดค่าได้ ทำให้มีรูปแบบการใช้งานหลากหลายกว่าโต๊ะหน้าจอสัมผัสทั่วไป ส่วนแอพลิเคชั่นทดสอบที่กับโต๊ะใช้ Action script 3 ในการพัฒนา ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 8 เป็นการช่วยลดต้นทุนได้อย่างมาก

คำสำคัญ – โต๊ะ; หน้าจอระบบสัมผัส;

1. บทนำ

เอกสารนี้รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการจัดรูปแบบ เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้า เริ่มต้นมาจากโทรศัพท์มือถือที่มีการพัฒนาต่อเนื่องมาเป็นสมาร์ทโฟน แต่ก็ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในบางสถานการณ์ เช่น ประชุมเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ของบริษัท หรือกิจกรรมอื่นๆต้องใช้งานพร้อมกันหลายคน สมาร์ทโฟนและแทบเล็ทจะมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดหน้าจอ เพราะอุปกรณ์เหล่านี้มีขนาดเล็ก ใช้งานไม่สะดวก เหมาะสำหรับการใช้งานเพียงคนเดียว จึงเกิดการพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ๆขึ้นมา เช่น แท็บเล็ท อัลตราบุ๊ค นาฬิกาอัจฉริยะ และรวมไปถึงโต๊ะหน้าจอสัมผัส หรือโต๊ะทัชสกรีน

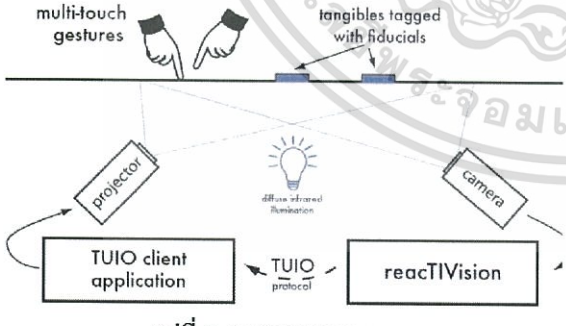
ทางผู้จัดทำมีความคิดเห็นว่า ในการทำงานร่วมกันควรจะมีสื่อกลางที่ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น ก็คือโต๊ะหน้าจอระบบสัมผัสที่จะช่วยลดจำนวนเอกสารที่ใช้ในการประชุมที่มีความยุ่งยากในการอ่าน หรือทำความเข้าใจ รวมถึงการแสดงความคิดเห็นที่ต้องการภาพประกอบการอธิบาย ก็สามารถใช้นิ้วสัมผัสที่หน้าจอเพื่อวาด หรือใช้เปิดสื่อผสมอื่นๆก็ได้เช่นกัน และเนื่องจากโต๊ะสามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟิกที่น่าสนใจ จึงเข้าใจง่ายกว่าการอ่านจากเอกสาร แต่ถึงแม้โต๊ะหน้าจอสัมผัสจะมีข้อดีแต่กลับไม่ได้รับความนิยม ผู้จัดทำจึงค้นคว้าข้อมูลเพื่อหาสาเหตุ และพบว่าอุปกรณ์ชนิดนี้มีราคาสูง ไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับความสามารถและความจำเป็นในการใช้งาน ผู้จัดทำจึงหาวิธีในการลดต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ชนิดนี้ให้อยู่ในราคาที่เป็นไปได้ในระดับครัวเรือน หรือ องค์กร และหาแนวทางเพิ่มความน่าสนใจในการใช้งานต่อยอดให้กับอุปกรณ์ที่แตกต่างจากอุปกรณ์อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โต๊ะหน้าจอระบบสัมผัส (Touchscreen Table) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถตอบโจทย์การใช้งาน ทั้งในเรื่องของขนาดหน้าจอที่กว้างกว่าโทรศัพท์สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ท และเหมาะกับการใช้งานหลายคน ซึ่งโต๊ะทัชสกรีนสามารถใช้เป็นสื่อในการแสดงผลเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล อีกทั้งยังมีความสะดวกมากกว่าการใช้งานคอมพิวเตอร์ทั่วๆไป เนื่องจากไม่ต้องใช้อุปกรณ์ในการป้อนข้อมูลอื่นๆเพราะใช้นิ้วมือสัมผัส นอกจากนี้การใช้งานด้วยการใช้นิ้วมือสัมผัสยังเป็นการรับส่งข้อมูลโดยตรง (Direct Manipulation) ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์สามารถเรียนรู้ได้เร็ว ถึงแม้ว่าจะไม่คุ้นเคยหรือไม่เคยใช้อุปกรณ์ประเภทนี้มาก่อนก็สามารถใช้งานเป็น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ราคาของอุปกรณ์นี้ค่อนข้างสูง จึงทำให้ตลาดของอุปกรณ์ชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนัก ผู้จัดทำจึงได้นำหัวข้อนี้มาศึกษาเพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนโดยการใช้อุปกรณ์อื่นๆมาประยุกต์ใช้ แทนอุปกรณ์เดิม เพื่อให้อุปกรณ์ชนิดนี้ให้เป็นที่นิยมมากขึ้น ซึ่งจะเป็นตัวช่วยในการทำงานให้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ภาพรวมของระบบ

เป็นการสร้างโต๊ะระบบสัมผัสหรือทัชสกรีนเทเบิลด้วยการใช้อุปกรณ์ต่างๆมาแทนที่การทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้โดยทั่วไป ซึ่งจะมีการพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพควบคู่กับการพัฒนาโต๊ะ



รูปที่ 1. ภาพรวมของระบบ

หลักการทำงานของระบบคือ ใช้หลักการกระจายแสงแบบ Diffuse Illumination เพื่อส่องแสงอินฟราเรดไปยังแผ่นกระจกหรือแผ่นอะครีลิค ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้รับสัมผัสจากผู้ใช้งาน แล้วใช้กล้องจับภาพจุดที่อยู่ข้างใต้แผ่นรับสัมผัสเพื่อนำมาหาค่าตำแหน่ง จากนั้นภาพที่ได้จะถูกวิเคราะห์หาตำแหน่งโดย reacTIVision แล้วส่งผ่าน TUIO protocol ไปที่พอร์ต 3333 เพื่อให้ซอฟท์แวร์ที่พัฒนาสามารถรับค่าไปใช้ได้ จากนั้นภาพที่จะใช้แสดงผลจะถูกฉายผ่านโปรเจคเตอร์ไปยังแผ่นรับสัมผัสเพื่อตอบสนองการใช้งาน ซึ่งรายระเอียดการทำงานของอุปกรณ์และเทคนิคที่ใช้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อๆไป

3. หลักการกระจายแสงแบบ DI และ FTIR

ในปัจจุบันแนวคิดในเรื่องการประดิษฐ์อุปกรณ์ประเภทโต๊ะหน้าจอสัมผัสกำลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งหลักการฉายแสงที่นิยมนำมาใช้กับการประดิษฐ์โต๊ะระบบสัมผัสคือ [5] Diffuse Illuminator (DI) และ Frustrated Total Internal Reflection (FTIR) เพราะหลักการเหล่านี้นำมาใช้เพื่อทดแทนการใช้แผ่นทัชสกรีนที่มีราคาแพง

Diffuse Illuminator (DI) เป็นหลักการที่จะใช้แหล่งกำเนิดแสงฉายแสงไปที่แผ่นรับสัมผัส (มักใช้กระจกหรือแผ่นอะคริลิก) เพื่อให้เกิดความสว่าง เมื่อพื้นผิวถูกสัมผัสจะทำให้แสงที่อยู่ในแผ่นรับสัมผัสเกิดการหักเหจนทำให้จุดที่ถูกสัมผัสมีความสว่างหรือมืดกว่าปกติ (ขึ้นอยู่กับประเภทของ DI) และเมื่อใช้กล้องจับภาพที่เกิดขึ้นบนระนาบแล้วนำไปคำนวณก็จะได้ค่าตำแหน่งของจุดที่สัมผัสที่สามารถนำไปใช้งานกับแอพพลิเคชั่นอื่นๆได้

3.1 หลักการกระจายแสงแบบ Diffuse Illumination (DI)

[6] ได้จำแนกการกระจายแสงแบบ DI ไว้เป็น 2 ประเภท

3.1.1 Rear – Diffuse Illumination

คือหลักการกระจายแสงแบบ DI ที่จะวางแหล่งกำเนิดแสงไว้ข้างใต้ของวัตถุรับสัมผัส แล้วฉายแสงขึ้นจากด้านล่างเพื่อให้แสงกระจายทั่วระนาบของพื้นผิวทำให้เกิดความสว่างเมื่อถูกสัมผัสจะเกิดจุดแสงบริเวณที่สัมผัส

3.1.2 Front – Diffuse Illumination

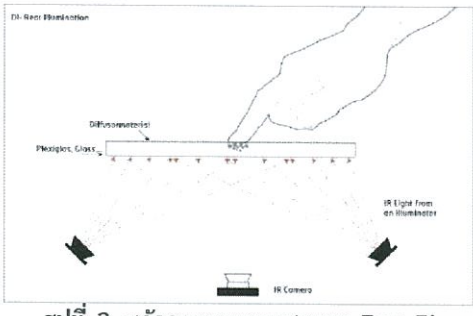
จะวางแหล่งกำเนิดแสงไว้ด้านบนของวัตถุรับสัมผัส แล้วฉายแสงลงมาที่ระนาบของพื้นผิวทำให้เกิดความสว่างสม่ำเสมอ เมื่อระนาบถูกสัมผัสจะเกิดเงามืด ณ จุดที่สัมผัส

3.2 หลักการกระจายแสงแบบ Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)

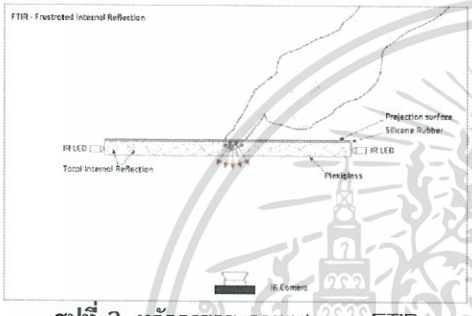
คือหลักการกระจายแสงที่คล้ายกับ DI ที่จะส่องแสงไปยังแผ่นรับสัมผัสให้เกิดการสะท้อนสม่ำเสมอในผิววัตถุแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยการสัมผัสเพื่อเปลี่ยนองศาที่แสงใช้ในการหักเห แต่จะแตกต่างที่ FTIR จะใช้การส่องแสงจากขอบของวัตถุแทนการส่องจากด้านบนหรือด้านล่าง



รูปที่ 2. หลักการกระจายแสงแบบ Rear DI



รูปที่ 3. หลักการกระจายแสงแบบ FTIR

4. อุปกรณ์และเทคโนโลยีเกี่ยวข้อง

4.1. Point Grey Firefly MV

คือ กล้อง Digital Imaging Camera ที่สามารถบันทึกภาพที่มีความคมชัดได้มากกว่ากล้อง Web Camera ธรรมดา และสามารถถอดเปลี่ยนเลนส์เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆได้ อีกทั้งยังสามารถปรับการตั้งค่าต่างๆของกล้องได้ เช่น การปรับระดับความสว่าง ฯลฯประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ 2 อย่าง ได้แก่ ตัวกล้อง และเลนส์กล้องที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ ซึ่งในปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะใช้เลนส์อินฟราเรดที่สามารถปรับโฟกัสของกล้องได้ เพื่อให้การทดสอบ reacTIVision ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

4.2. Projector

คืออุปกรณ์ส่งข้อมูล (Output) ประเภทหนึ่งซึ่งใช้ฉายภาพเพื่อแสดงผลต่างๆหลักการทำงานของโปรเจคเตอร์ โปรเจคเตอร์จะรับข้อมูลภาพเข้ามาแล้วฉายภาพโดยการใช้หลอดไฟที่มีความส่องสว่างสูง ส่องผ่านกระจกสะท้อนกรองแสงเพื่อแยกแม่สีของแสง จากนั้นแสงที่ถูกแยกจะสะท้อนผ่าน LCD Panel ซึ่งแต่ละพิกเซล จะมีการเปิดปิดเพื่อยอมให้แสงผ่าน และแม่สีของแสงที่ผ่าน LCD Panel จะผสมกันเพื่อให้ได้ภาพตามสัญญาณที่ถูกส่งเข้ามา และภาพที่ได้จะถูกยิงออกไปยังพื้นผิวตกกระทบควรจะเป็นสีทึบสว่างและเรียบเพื่อได้ภาพที่ดี ในโครงงานนี้จะใช้โปรเจคเตอร์เพื่อฉายภาพแสดงผลการทำงาน (Output) ไปยังกระจกเงาเพื่อสะท้อนแสงขึ้นพื้นผิวกระจกที่มีแผ่นกรองแสงทำให้ให้เกิดภาพบนโต๊ะ

4.3. Table

โต๊ะทัชสกรีนในที่นี้หมายถึงโต๊ะที่ปิดทึบและมีพื้นผิวด้านบนเป็นกระจกใส และนำ แผ่นกรองแสงทาบกระจกเพื่อให้สามารถรับภาพที่ถูกฉายออกมาจากโปรเจคเตอร์ได้ ไม่ให้แสงทะลุผ่านได้หมด ซึ่งอาจใช้แผ่นกระจายแสงจากจอ LCD (Diffuse film) ได้เช่นกัน เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกที่อาจเข้ามารบกวนการทำงานของ แอพพลิเคชั่น จึงใช้โต๊ะที่ปิดสนิททุกด้านเพื่อป้องกันแสงที่ไม่จำเป็นภายในโต๊ะจะมีแสงอินฟราเรดเท่านั้น

4.4. reacTIVision

คือเฟรมเวิร์คแบบโอเพนซอร์ส เป็นแอพพลิเคชั่นที่สามารถติดตั้งและใช้งานได้กับหลายแพลตฟอร์ม โดยเป้าหมายของผู้พัฒนาคือใช้สำหรับตรวจจับ (Finger Detection) และติดตามการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ (Finger Tracking) รวมถึง Fiducial Marker และวัตถุที่สามารถจับต้องได้ โดยประมวลภาพจากกล้อง เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การพัฒนาดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว

รูปที่ 4. หน้าต่าง แอพพลิเคชั่น reacTIVision

หลักการทำงานของ reacTIVision คือ จะส่งข้อความที่เป็นจุดพิกัดที่ตรวจสอบได้ผ่าน TUIO ไปที่ UDP Port 3333 เพื่อให้ ซอฟต์แวร์อื่นๆที่ใช้งาน TUIO เหมือนกันเข้าไปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

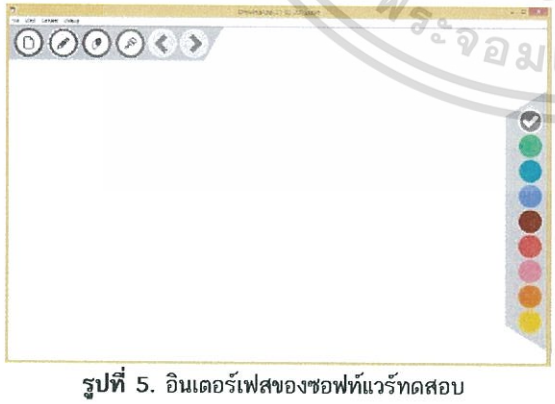
ข้อมูลจาก Port 3333 แล้วนำมาถอดรหัสข้อความ เพื่อนำข้อมูลที่อยู่ภายในไปใช้งานได้ เป็นข้อมูลเข้า (Input)

4.5. Infrared

[7] แสงอินฟราเรดเป็นคลื่นความถี่สั้นและมีความถี่อยู่ในช่วงเดียวกับคลื่นไมโครเวฟ ความยาวคลื่นจะอยู่ระหว่างแสงสีแดงและคลื่นวิทยุ ไม่สามารถทะลุวัตถุทึบแสงได้ ดังนั้นถ้าจะนำไปใช้งานจะต้องทำให้ตัวรับกับตัวส่งต้องอยู่ในแนวเดียวกัน และไม่มีสิ่งกีดขวาง โดยธรรมชาติแล้วมนุษย์มองไม่เห็นแสงอินฟราเรด เพราะความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรดไม่อยู่ในช่วงของแสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็น ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่มักใช้แสงอินฟราเรดได้แก่ รีโมทคอนโทรล ระบบล็อครถยนต์ กล้องอินฟราเรดที่ทำให้มองเห็นวัตถุในที่มืด ฯลฯ

4.6. ซอฟท์แวร์ทดสอบ

ซอฟท์แวร์ทดสอบพัฒนาด้วยภาษา Action Script 3 ผ่าน Adobe Flash เพื่อใช้เป็นซอฟท์แวร์วาดรูปสำหรับใช้งานกับโต๊ะทัชสกรีน หลักการทำงานของซอฟท์แวร์คือ เมื่อมีการสัมผัสที่ผิวโต๊ะ ซอฟท์แวร์ reacTIvision จะส่งค่าตำแหน่งที่สัมผัสมาที่พอร์ต 3333 จากนั้นซอฟท์แวร์ทดสอบจะดึงค่าตำแหน่งที่ได้มากำหนดเป็นจุดสำหรับวาด แต่เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของการส่งค่าตำแหน่งจึงทำให้เส้นที่วาดไม่ต่อเนื่องเช่นกัน ผู้จัดทำจึงพัฒนาให้จุดตำแหน่งต่างๆเชื่อมโยงกันกลายเป็นเส้นตามมต้องการ



รูปที่ 5. อินเตอร์เฟสของซอฟท์แวร์ทดสอบ

5. สรุป

ในเอกสารนี้ได้นำเสนอผลของการสร้างโต๊ะหน้าจอระบบสัมผัส โดยมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลงเพื่อเป็นที่นิยมและใช้กันได้อย่างแพร่หลายในสังคม โดยวิธีการผู้จัดทำได้พยายามข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในการสร้างและหาอุปกรณ์ทดแทนรวมถึงเทคนิคต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับโครงงานเช่น การใช้ตัวกรองแสงอินฟราเรดให้กล้อง การใช้เฟรมเวิร์คในการตรวจจับนิ้วที่สัมผัสบนโต๊ะ การใช้การสะท้อนของภาพจากที่สูงของเครื่องฉายภาพเพื่อให้ได้ภาพที่กว้างขึ้น เป็นต้นทั้งนี้จะสามารถลดต้นทุนลงไปได้อย่างมากเมื่อเทียบกับโต๊ะหน้าจอสัมผัสที่มีวางขายตามเว็บไซต์แต่อย่างไรการตรวจจับนิ้วของโต๊ะยังมีความไม่แม่นยำเนื่องจากการกระจายแสงของไฟอินฟราเรดยังไม่ครอบคลุมทั่วทั้งโต๊ะ รวมทั้งความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่แสดงผลจริงจากโปรเจคเตอร์ ซึ่งในอนาคตผู้จัดทำจะพยายามจัดหาวิธีแก้ไขข้อบกพร่องนี้

6. ปัญหาที่พบ

จากการทดลองพบว่าตำแหน่งที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยหรือไม่มีความคลาดเคลื่อนคือบริเวณที่วางกล้อง และยังคงพบปัญหาในการแสดงผล คือตำแหน่งที่กล้องสามารถบันทึกได้ยังไม่ตรงกับตำแหน่งผลลัพธ์ที่โปรเจคเตอร์ฉายออกไป ซึ่งเกิดจากขนาดที่กล้องสามารถบันทึกได้ใหญ่กว่าขนาดของซอฟท์แวร์ทดสอบ ทั้งนี้วิธีการแก้ปัญหาคือการจำกัดขอบเขตให้กล้องรับภาพเฉพาะบริเวณหน้าจอที่ใช้งาน อีกหนึ่งปัจจัยคือเลนส์ของกล้องที่มีความโค้งทำให้ได้มุมมองแบบตาปลา (Fisheye View) ภาพที่ได้จึงมีความโค้งมากกว่าปกติ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับภาพให้ตรงก่อนจะนำมาคำนวณหาจำแหน่งจึงจะแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งสรุปได้ว่าการทำงานยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ทั้งในเรื่องของความแม่นยำ รวมถึงความหน่วงในการตอบสนอง เมื่อใช้นิ้วสัมผัสบนหน้าจอจุดที่บอกตำแหน่งจะยังไม่แสดงผลทันที

เอกสารอ้างอิง

[1] "reacTIVision" [Online] Available : http://reactivision.sourceforge.net/

[2] "TUIO" [Online] Available : http://www.tuio.org/

[3] "Fiducial marker" [Online] Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Fiducial_marker/

[4] "Getting Started With MultiTouch" [Online] Available : http://nuigroup.com/forums/viewthread/1982/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในโครงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[5] "Rear Diffuse Illumination" [Online]
Available :
http://wiki.nuigroup.com/Diffused_Illumination
/
[6] "Actoin Script" [Online] Available :
http://www.adobe.com/devnet/actionscript/le
arning.html/
[7] "รังสีอินฟราเรด" [Online] Available :
http://th.wikipedia.org/wiki/รังสีอินฟราเรด/. 2015
[8] Eric Hemphill. "DIY Touch Table for Under
$200: Construction Overview" [Online]
Available :
https://www.youtube.com/watch?v=MhAH5rkC
hAk/. 2012
[9] Hack in a Minute. "Building Diy Multi-Touch
Table" [Online]
Available :
https://www.youtube.com/watch?v=i4lAxBeCM
TM/. 2009
[9] PeauProductions. "How To Build a Rear DI
Multitouch Table" [Online]
Available :
https://www.youtube.com/watch?v=RrQ1Gb2v
NEk/. 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้