ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ

VIRTUAL TOUCHSCREEN SYSTEM USING STEREO CAMERAS

โดย

สน หาญวงศ์

SOUN HANWONG

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์

วพ.
ส1873
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....04552.....
วัน,เดือน,ปี.....19 มิ.ย. 2551.....

H004552

b.....11921351.....
i.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการพัฒนาระบบงาน

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIRTUAL TOUCHSCREEN SYSTEM USING STEREO CAMERAS

SOUN HANWONG

A SYSTEM DEVELOPMENT PROJECT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1/ 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2007

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	ระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ
นักศึกษา	นายสน หาญวงศ์
รหัสนักศึกษา	46066240
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
แขนงวิชา	วิทยาการสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ เพื่อใช้ในการจำลองการทำงานของจอสัมผัสให้ใช้งานบนจอปกติอื่นๆ ทั่วไปได้ โดยในการทำให้จอปกติทั่วไปสามารถตรวจจับการสัมผัสแบบเสมือนได้นั้นจะใช้หลักการทางด้านการวิเคราะห์ และ ประมวลผลภาพจากกล้องเข้าช่วย ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะใช้งานร่วมกับการติดตั้งกล้องแบบสเตอริโอเพื่อใช้ในการจับภาพ และ วิเคราะห์หาข้อมูลแบบ 3 มิติของภาพ ด้วยข้อมูลแบบ 3 มิติของภาพที่ได้นี้จะทำให้เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับระบบของเราได้มากกว่าระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบตัวเดียว ซึ่งใช้ข้อมูลแบบ 2 มิติในการประมวลผล

ในการพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอนี้ ได้เลือกใช้เครื่องมือในการพัฒนาคือ โปรแกรมMS Visual C++ โดยใช้ไลบรารี OpenCV ในการทำการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Virtual Touchscreen System Using Stereo Cameras
Student	Mr. Soun Hanwong
Student ID.	46066240
Degree	Master of Science
Programme	Information Science
Academic Year	2007
Advisor	Asst.Prof. Dr. Thanarat Chalidabhongse

ABSTRACT

This project presents a development of the virtual touchscreen system using stereo cameras. The project aims to simulate the real touchscreen system for non-touchscreen monitors. In order to create the virtual touchscreen system, the computer vision and the image processing from the cameras are used. This developed system uses the stereo cameras to capture images and analyzes the 3D information of the images. Because of the 3D information, the system efficiency is more than the virtual touchscreen system using one camera with 2D data processing.

MS Visual C++ and some additional libraries are chosen to used as development tools. The external chosen library is OpenCV which is used for image processing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพัฒนาระบบงานนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆ จึงขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆ ดังนี้ ขอบคุณพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง รวมทั้งให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนอย่างเต็มที่ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษาและการแนะแนวทางสำหรับแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องในการพัฒนาโครงการนี้ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ต่างๆ เพื่อนำความรู้มาใช้ในการพัฒนาโครงการ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่มอบความหวังดีที่ทำให้สามารถทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สน หาญวงศ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VI

บทที่1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ในการพัฒนา 2

1.3 ขอบเขตของการพัฒนาโครงการ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 การศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 หลักการของระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้อง 3

2.2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ 5

2.2.1 ทฤษฎีปริภูมิสี 5

2.2.2 การตรวจจับสีผิวโดยใช้แบบจำลองชนิดวงรี 9

2.2.3 การหาความเยื้องศูนย์กลางของกราฟวงรี 11

2.2.4 หลักการเบื้องต้นของกล้องแบบสเตอริโอ 13

2.2.5 การวิเคราะห์หาความลึกของภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ 14

2.2.6 วิเคราะห์หาตำแหน่งของภาพสเตอริโอที่คู่กัน (Stereo matching) 15

2.2.7 การวัดค่าของกล้อง (Camera calibration) 16

2.2.8 วิเคราะห์องค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected component) 17

2.2.9 การติดตามการเคลื่อนไหวของภาพ (Tracking) 18

2.2.10 การทำไดเลชัน (Dilation) และ การทำอีโรชัน (Erosion) 19

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา 21

2.3.1 Microsoft Visual C++ 21

2.3.2 Intel Open Source Computer Vision Library 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 พัฒนาระบบ 23

3.1 การวิเคราะห์ และ ออกแบบระบบ 23

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ 23

3.1.2 การวิเคราะห์ระบบ และ การติดตั้งอุปกรณ์ 23

3.1.3 การออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ 26

3.1.4 การออกแบบโปรแกรม 27

3.2 การพัฒนาระบบ 28

3.2.1 การรับภาพจากกล้อง 28

3.2.2 การเตรียมภาพจากกล้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ 29

3.2.3 การวิเคราะห์แยกส่วนของมือจากภาพ 32

3.2.4 การวิเคราะห์หาความลึกของมือที่ระนาบหน้าจอ 34

3.2.5 การวิเคราะห์หาตำแหน่งจุดสัมผัสของจอเสมือน 37

3.3 การใช้งานโปรแกรม 38

3.3.1 หน้าจอโปรแกรม และ การใช้งานเบื้องต้น 38

3.3.2 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ 42

บทที่ 4 บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ 43

4.1สรุปผลการพัฒนาโครงการ 43

4.2 ข้อเสนอแนะ 43

บรรณานุกรม 45

ประวัติผู้เขียน 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบการทำงานของจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้อง 4

2.2 แบบจำลองปริภูมิสี RGB 6

2.3 รูปแสดงตัวอย่างปริภูมิสี rgb ที่มีค่าเท่ากัน 7

2.4 ปริภูมิสี HIS 7

2.5 การกระจายตัวของสีผิวของ (a) YCbCr และ (b) CbCr 10

2.6 รูปร่างที่จะหาความเยื้องศูนย์กลาง 11

2.7 การแปลงคู่ลำดับ (x,y) ไปสู่ระนาบ $\alpha\beta$ 12

2.8 รูปแสดงระบบเบื้องต้นของกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Camera) 13

2.9 รูปแสดงการจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Camera) 14

2.10 รูปแสดงการหาความลึกจากภาพของกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Camera) 15

2.11 รูปแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาขอบของภาพที่คู่กัน (Edge Matching) 16

2.12 ภาพ Binary Image และค่าของแต่ละพิกเซลที่สอดคล้องกับภาพ 17

2.13 การกำหนดองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน 18

2.14 แสดงการทำไดเลชัน 20

2.15 แสดงการทำอีโรชัน 20

3.1 รูปแสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งกล้องที่จับภาพได้อย่างครบถ้วน 24

3.2 รูปแสดงแนวทิศทางการวางกล้องที่ทำให้เกิดการบดบังจากตัวผู้ใช้งานระบบ 24

3.3 การตั้งกล้องจับภาพแบบสเตอริโอที่ใช้ระยะห่างระหว่างกล้อง และ ความแตกต่างของทิศทางการหันมุมของกล้องน้อย 25

3.4 การตั้งกล้องจับภาพแบบสเตอริโอที่ใช้ระยะห่างระหว่างกล้อง และ ความแตกต่างของทิศทางการหันมุมของกล้องมาก 26

3.5 การออกแบบการจัดวางระบบ 26

3.6 ระบบของจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ 28

3.7 แสดงตัวอย่างการรับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ 29

3.8 แสดงกรอบขอบเขตของจอภาพจากที่จะทำการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) 30

3.9 แสดงการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) 32

3.10 แสดงการหาตำแหน่งของภาพที่เป็นส่วนของสีผิว 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.11 ภาพที่ได้จากกล้องตัวเดียว 34
3.12 ภาพที่ใช้ในการตรวจการสัมผัสหน้าจอเสมือนของกล้องสเตอริโอ 34
3.13 การตรวจจับการสัมผัสหน้าจอโดยการตรวจการซ้อนทับของภาพโครงร่างมือ 36
3.14 การตรวจจับการสัมผัสหน้าจอแบบหลายจุด (Multi-touch) 37
3.15 แปลงตำแหน่งจุดสัมผัสจากการประมวลผลเป็นตำแหน่งของจอสัมผัสจริง 38
3.16 หน้าจอโปรแกรมเมื่อเริ่มต้นเปิดใช้งาน 38
3.17 หน้าจอแสดงการกำหนดจุดขอบเขตพื้นที่จอภาพประมวลผล 39
3.18 หน้าจอแสดง การแปลงเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) ภาพ 40
3.19 หน้าจอแสดงการเก็บตัวอย่างสีผิว 40
3.20 หน้าจอแสดงการตรวจจับสีผิว 41
3.21 หน้าจอแสดงการทำงานของจอสัมผัส 42
3.22 ตัวอย่างโปรแกรมป้ายโฆษณาแบบโต้ตอบ(Interactive Billboard) 42
3.23 ตัวอย่างโปรแกรมดูรูปภาพด้วยระบบจอสัมผัสแบบหลายจุด (Multi-touch) 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

จอสัมผัส เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่งที่ใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการแสดงผลเอาท์พุท และ การรับอินพุทในเวลาเดียวกัน โดยจอสัมผัสนี้ก็จะมีลักษณะเหมือนกับจอคอมพิวเตอร์ทั่วไป คือใช้ในการแสดงผลภาพ แต่จอประเภทนี้จะพิเศษกว่าจอคอมพิวเตอร์อื่นๆทั่วไปตรงที่สามารถตรวจจับการสัมผัสหน้าจอที่ตำแหน่งต่างๆ และ บอกเป็นค่าพิกัดตำแหน่งของจุดที่สัมผัสได้ ในการใช้งานจอสัมผัส ถ้าผู้ใช้ต้องการใช้งานก็เพียงแค่ใช้ปลายนิ้วสัมผัสที่หน้าจอ เพื่อใช้ในการควบคุมเคอร์เซอร์ หรือ กดปุ่มควมคุมต่างๆแทนการใช้อุปกรณ์ประเภทเมาส์ หรือ แทร็กบอล ได้ด้วยความง่าย และ ความสะดวกในการใช้งานนี้เองจอสัมผัสจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการนำไปใช้กับตู้เอทีเอ็ม ตู้เกม หรือ ตู้คีออส สำหรับให้ข้อมูลข่าวสารที่ตั้งตามสถานที่ต่างๆ เป็นต้น

ปกติแล้วจอสัมผัส เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง แม้ในปัจจุบันราคาของจอสัมผัสจะลดลงมากแล้วก็ตาม แต่ก็ยังถือว่ามีราคาค่อนข้างสูงอยู่ดี คือมีราคาแพงมากกว่า 2 เท่าของจอคอมพิวเตอร์ทั่วไป ยิ่งถ้าหากเป็นจอสัมผัสขนาดใหญ่ด้วยแล้วราคาส่วนต่างก็ยิ่งสูงขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้เองจึงมีหลายคนที่พยายามสร้างจอสัมผัสแบบเสมือนขึ้นมา เพื่อต้นทุนที่ถูกกว่า ซึ่งในการสร้างจอสัมผัสแบบเสมือนนี้ต่างก็มีเทคนิคต่างๆมากมายที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการสร้าง การใช้เทคนิคทางด้านการตรวจจับภาพจากกล้องก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปประยุกต์กับงานทางด้านการจัดแสดงในงานมหกรรม หรือ งานนิทรรศการต่างๆ เพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับจอที่มีขนาดใหญ่มากๆได้ โดยต้นทุนในการทำระบบจอสัมผัสแบบเสมือนขนาดใหญ่นี้จะมีราคาที่ถูกมากเมื่อเทียบกับจอสัมผัสระบบอื่นๆ

ระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องนั้น ระบบที่เคยพัฒนาขึ้นมาจะใช้วิธีการประมวลผลภาพแบบวิเคราะห์จากกล้องเพียงตัวเดียว จุดดีของระบบนี้คือง่าย แต่ว่าข้อเสียของระบบคือจะไม่สามารถรับรู้ และ ใช้ประโยชน์จากข้อมูลในแนวลึกของภาพได้เลย ใช้ได้เพียงแค่การประมาณจากรูปร่าง และ ขนาดของมือเพื่อนำมาวิเคราะห์เท่านั้น ซึ่งการใช้งานระบบรูปแบบนี้จะทำให้การวิเคราะห์หาตำแหน่งจุดสัมผัสมีความผิดพลาดได้ค่อนข้างมาก ยิ่งโดยเฉพาะถ้าหากมีการวางมือลอยๆโดยไม่ได้สัมผัสกับหน้าจอจริงด้วยแล้ว

จากจุดนี้เอง ในการพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้กล้องนั้น ถ้าพัฒนาระบบให้สามารถวิเคราะห์หาข้อมูลในแนวลึกของภาพได้ ข้อมูลความลึกนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มความแม่นยำให้กับระบบ และสามารถขจัดปัญหาต่างๆของระบบเบื้องต้นได้ ดังนั้นโครงการฉบับนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอวิธีการในการพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอเพื่อใช้แทนระบบแบบเดิม โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นของระบบเดิมที่ใช้การวิเคราะห์ภาพจากกล้องแบบตัวเดียวให้แม่นยำมากขึ้นได้

นอกจากปัญหาที่กล่าวมาเบื้องต้นแล้ว ระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้ภาพจากกล้องนั้นจะมีจุดเด่นอย่างหนึ่งคือ จอสัมผัสจริงทั่วไปนั้นจะใช้การตรวจการสัมผัสหน้าจอโดยใช้การวัดค่าจากตัวเซ็นเซอร์ทางไฟฟ้าเพื่อหาความต่างศักย์ของตำแหน่งที่จุดสัมผัส ซึ่งระบบนี้จะทำการตรวจจับจุดสัมผัสได้เพียงครั้งละหนึ่งจุดเท่านั้น แต่สำหรับระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้ภาพจากกล้องนั้นจะพิเศษตรงที่สามารถตรวจจับจุดสัมผัสครั้งละหลายๆ จุดพร้อมกันได้ ซึ่งคุณสมบัติพิเศษตรงจุดนี้จะมีประโยชน์ในการใช้งานคอมพิวเตอร์ในด้านต่างๆอย่างมหาศาล แต่ระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปในปัจจุบันนั้นยังไม่รองรับคุณสมบัติในส่วนนี้ และระบบจอสัมผัสแบบเสมือนก็ยังไม่ได้นำคุณสมบัติส่วนนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วย เหตุเองนี้ในการนำเสนอโครงการฉบับนี้นอกจากจะมุ่งเน้นที่การพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอแล้ว ยังจะมุ่งเน้นในการนำคุณสมบัติการตรวจจุดสัมผัสแบบหลายจุดพร้อมกัน(Multi-touch) มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการพัฒนาโครงการ

- พัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอเพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบจอสัมผัสแบบเสมือนที่ใช้การประมวลผลภาพจากกล้องตัวเดียวให้มีประสิทธิภาพ และ แม่นยำมากยิ่งขึ้น
- พัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อทดลองนำคุณสมบัติการตรวจจุดสัมผัสแบบหลายจุดพร้อมกัน(Multi-touch) ของระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

1.3 ขอบเขตการพัฒนาโครงการ

- ระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบต้นแบบโดยมุ่งเน้นที่การนำไปใช้กับโปรแกรมประยุกต์ที่รองรับการทำงานระบบตรวจจับการสัมผัสแบบหลายจุด(Multi-touch) ที่พัฒนาขึ้นเท่านั้นระบบจะไม่มุ่งเน้นการนำมาใช้งานกับโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานทั่วไปตามท้องตลาดในปัจจุบันเนื่องจากโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานทั่วไปจะทำงานโดยใช้ระบบเคอร์เซอร์เมาส์ที่เน้นจุดสัมผัสจุดเดียวเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลัก จึงทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นไม่ได้แสดงให้เห็นถึงการใช้งานของระบบการตรวจจับการสัมผัสแบบหลายจุด(Multi-touch)ได้

- ระบบการตรวจจับการสัมผัสแบบหลายจุด(Multi-touch)ที่พัฒนาขึ้นนั้นจะไม่สามารถตรวจจับจุดสัมผัสที่เกิดจากการบดบังกล้องได้ ทั้งนี้ถือเป็นข้อจำกัดของระบบ แต่ทั้งนี้การพัฒนาระบบจะมุ่งเน้นที่การตรวจจับจุดสัมผัสให้ได้หลายจุดที่สุดเท่าที่ทำได้
- โปรแกรมประยุกต์ตัวอย่างที่พัฒนาขึ้นนั้นเป็นต้นแบบที่มุ่งเน้นแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของระบบการตรวจจับการสัมผัสแบบหลายจุด(MULTI-TOUCH)ที่พัฒนาขึ้นให้เห็นภาพชัดเจน และ เสนอแนวทางเบื้องต้นในการนำระบบไปใช้งานได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

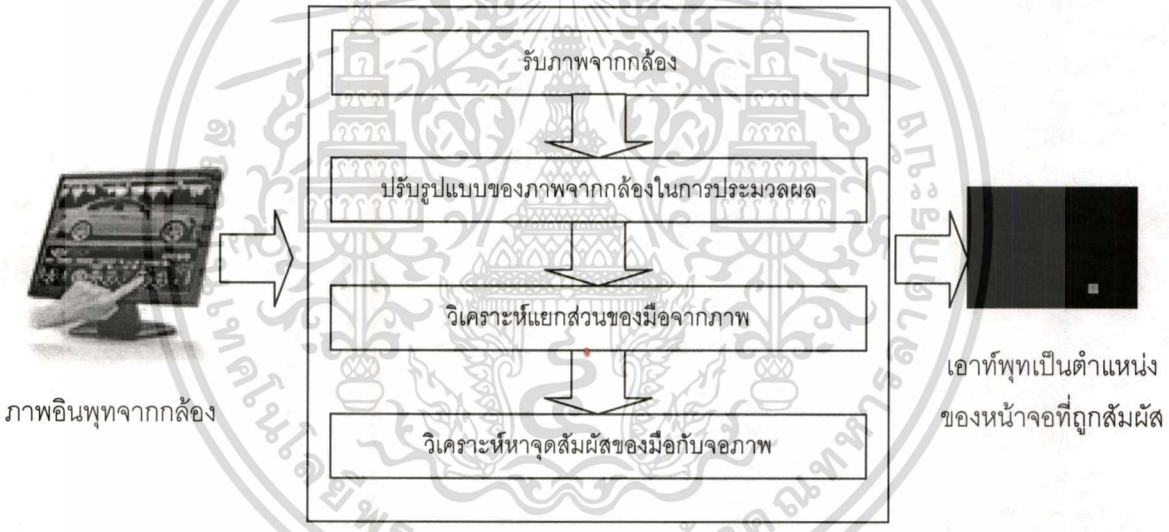
ระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอที่พัฒนาขึ้นนี้คาดหวังว่าน่าจะเกิดประโยชน์ในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานจอสัมผัสแบบเสมือนให้มีความแม่นยำ และ รูปแบบการทำงานที่ยืดหยุ่นมากขึ้นกว่าระบบกล้องแบบตัวเดียวได้ นอกจากนี้ยังคาดหวังว่าระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นต้นแบบนี้ จะสามารถนำไปพัฒนาต่อ และ เป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อนำระบบต้นแบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมประยุกต์ประเภทต่างๆ ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้อง

ในการพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องแบบสเตอริโอนั้น(stereo cameras) ในเบื้องต้นเราจะต้องทำความเข้าใจกับระบบการทำงานของระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องแบบตัวเดียวก่อนหลักการทำงานของระบบแบบนี้มีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อนมากนัก โดยเบื้องต้นมีขั้นตอนการทำงานดังตัวอย่างรูปที่ 2.1 (Wangsiripitak,2005)



รูปที่ 2.1 ระบบการทำงานของจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้อง

ในการทำงานของระบบจากรูปที่ 2.1 เมื่อระบบเริ่มรับภาพจากกล้องโดยมุมกล้องที่ใช้จะต้องจับภาพของจอภาพให้ได้ครบถ้วนมากที่สุด ระบบจะนำภาพที่ได้มาทำการประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อน ไม่ว่าจะเป็นการปรับคุณภาพของภาพ การปรับขนาดของภาพ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วภาพที่ได้จากกล้องมักจะอยู่ในรูปแบบของภาพเปอร์สเปกทีฟ(Perspective) ซึ่งจะยากในการประมวลผลหาตำแหน่ง ในเบื้องต้นระบบจะทำการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟของภาพหน้าจอที่มักจะเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูให้อยู่ในรูปแบบของภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้า(Perspective correction)ซึ่งจะง่ายต่อการวิเคราะห์มากกว่า จากนั้นระบบก็จะทำการวิเคราะห์หาส่วนของมือจากภาพที่ได้จากกล้อง โดยในขั้นตอนนี้ก็จะใช้หลักการทางการประมวลผลภาพหลายอย่างเข้ามาช่วยไม่ว่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์จากสีผิว การวิเคราะห์รูปร่างของมือ และการวิเคราะห์หาเส้นขอบเป็นต้น จากนั้นเมื่อระบบแยกส่วนของมือออกมาจากภาพได้แล้วก็จะทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดสัมผัสกับหน้าจอ แล้วจากนั้นก็ให้เป็นข้อมูลเอาท์พุทของของตำแหน่งจุดสัมผัสออกมา

เมื่อพิจารณาจากระบบการทำงานเบื้องต้น จะเห็นว่าระบบนี้จะใช้งานหลักการทางด้านประมวลผลภาพหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากการใช้งานหลักการทางด้านการประมวลผลภาพที่กล่าวถึงเบื้องต้นในย่อหน้าที่ผ่านมาแล้วนั้น การพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องแบบสเตอริโอที่จะพัฒนาขึ้นยังจำเป็นต้องใช้หลักการของการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานกับกล้องแบบเสตอริโอเข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย ดังนั้นการที่จะพัฒนาโครงการนี้ให้สำเร็จได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการทางด้านการประมวลผลภาพเป็นอย่างดี ซึ่งการศึกษารายละเอียดในส่วนนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ

ในส่วนของการศึกษาทฤษฎีการประมวลผลภาพสำหรับการพัฒนาโครงการนี้จะทำการศึกษาเฉพาะในส่วนที่จำเป็นสำหรับใช้ในการพัฒนาโครงการเท่านั้น ซึ่งในการศึกษาจะครอบคลุมถึงหัวข้อต่างๆได้แก่ ทฤษฎีปริภูมิสี การตรวจจับสีผิวโดยใช้แบบจำลองชนิดวงรี การหาความเยื้องศูนย์กลาง ทฤษฎีการวิเคราะห์ภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ การวิเคราะห์องค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน(Connected Components) การทำไดเลชัน (Dilation) การทำอีโรชัน (Erosion) และ การติดตามภาพที่เคลื่อนไหว(Tracking) โดยในส่วนรายละเอียดจะมีเนื้อหาดังนี้

2.2.1 ทฤษฎีปริภูมิสี

ในงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟฟิก และงานทางด้านสัญญาณภาพวิดีโอต่างๆนั้นได้มีการใช้ปริภูมิสีต่างๆ มากมายหลายรูปแบบ ซึ่งปริภูมิสีแต่ละแบบนั่นก็มีการนำไปใช้อย่างหลาหลายตามความเหมาะสมกับงานประเภทต่างๆ เช่น ปริภูมิสี XYZ ซึ่งเป็นปริภูมิสีมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission Internationale de I'Eclairage) ถูกใช้เป็นตัวกลางในการอ้างอิงและแปลงค่าระหว่างปริภูมิสีทั้งหมด ในงานทางด้านการตีพิมพ์จะใช้ปริภูมิสี CMY หรือ CMYK ในการแสดงภาพบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จะใช้ปริภูมิสี RGB การใช้ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟฟิกหรืองานที่ต้องคำนึงในด้านของศิลปะจะใช้ปริภูมิสี HSI หรืออุปกรณ์เครื่องมือในการวัดสีของผลผลิตทางการเกษตรจะใช้ปริภูมิสี L*a*b* และ YCbCr ซึ่งใช้ในงานด้านโทรทัศน์ เป็นต้น (Jain, R. et. al. 1995; Sonka, M. et. al. 1999)

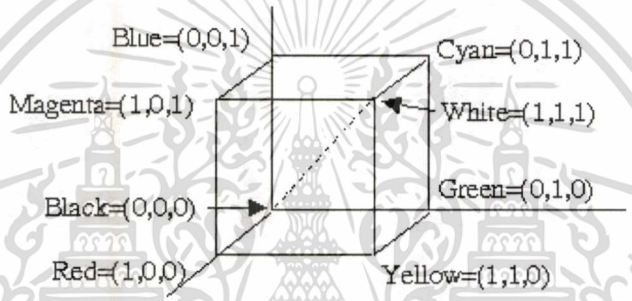
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากปริภูมิสีมีหลากหลายแบบมาก การศึกษาโครงการฉบับนี้จะอ้างอิงถึงเฉพาะปริภูมิสีบางแบบที่นำมาใช้งานในระบบเท่านั้น โดยปริภูมิสีที่ใช้ได้แก่

- **ปริภูมิสี RGB**

เป็นระบบสีที่ใช้กันทั่วไปโดยจะประกอบไปด้วยแม่สีหลัก 3 สีคือ แดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) ซึ่งแต่ละแม่สีจะมีขนาดเป็น 8 บิต ดังนั้นในความลึกของแต่ละพิกเซลจะมีขนาดเป็น 24 บิต ซึ่งในแต่ละแม่สีจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังนั้นสามารถที่จะนำมาสร้างสีได้ถึง 256×256×256 เท่ากับ 16,777,216 สี

ปริภูมิสี RGB สามารถนำมาแสดงในระบบพิกัดปริภูมิสี (Color Space) ในแบบลูกบาศก์ได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แบบจำลองปริภูมิสี RGB

แต่อย่างไรก็ตามปริภูมิสี RGB นั้นข้อมูลของสีในแต่ละค่าของ R G หรือ B นั้นเป็นการผสมกันระหว่างค่าสีและค่าความเข้มของแสงซึ่งสีในลักษณะอย่างนี้ไม่เป็นที่นิยมในงานที่ใช้ในการวิเคราะห์และวิธีการรู้จำโดยใช้สี

- **ปริภูมิสีนอร์แมลไลซ์ RGB (rgb)**

ปัญหาของปริภูมิสี RGB คือการรวมกันของความสว่างสี โดยปริภูมิสีนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตัดความสนใจขององค์ประกอบทิ้งไป โดยหากค่าจุดภาพในปริภูมิสี RGB นั้นมีสีเดียวกันแต่ความสว่างต่างกัน จะถูกกำหนดเป็นค่าเดียวกันในปริภูมิสีนอร์แมลไลซ์ RGB แต่ละค่าสามารถหาได้จาก

$$r = \frac{R}{(R+G+B)} \tag{2.1}$$

$$g = \frac{G}{(R+G+B)} \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b = \frac{B}{(R+G+B)} \tag{2.3}$$

ตัวอย่างเช่น

1. ค่าในปริภูมิสี RGB (255,0,0) ทำการแปลงไปสู่ rgb จะได้(1,0,0)
2. ค่าในปริภูมิสี RGB (100,0,0) ทำการแปลงไปสู่ rgb จะได้(1,0,0)

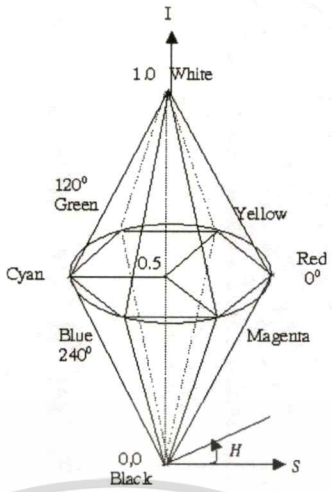
ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าในปริภูมิสีของแต่ตัวอย่างมีเฉพาะองค์ประกอบของสีแดงเพียงอย่างเดียวแต่ว่ามีความเข้มของแสงต่างกัน เมื่อลองมองดูปริภูมิสี rgb จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางแสงจะถูกละทิ้งไปทำให้ค่าทั้ง 2 นี้เป็นค่าเดียวกัน

รูปที่ 2.3 รูปแสดงตัวอย่างปริภูมิสี rgb ที่มีค่าเท่ากัน

- **ปริภูมิสี HSI**

เป็นปริภูมิสีที่สื่อความหมายในการรับรู้ของมนุษย์ได้ดีกว่าปริภูมิสี RGB ซึ่งแนวคิดปริภูมิสีนี้ได้เกิดขึ้นจากแนวคิดด้านศิลปะ โดยปริภูมิสีเหล่านี้ได้อธิบายลักษณะของสีออกเป็นค่าสี (Hue) ความอิ่มสี (Saturation) และความเข้มสี (Intensity) ปริภูมิสี HSI สามารถนำมาแสดงในระบบพิกัดปริภูมิสีด้วยพิกัดทรงกรวย ได้ดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ปริภูมิสี HSI

H ใช้กำหนดค่าสีด้วยค่ามุม ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา โดยที่ H=0 คือค่าสีแดง H=120 คือค่าสีเขียว H=240 คือค่าสีน้ำเงิน เป็นต้น

S ใช้กำหนดความอิ่มสีหรือปริมาณการเจือปนของสีขาว ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ S=1 หมายถึงมีความอิ่มสีมากที่สุดคือไม่มีสีขาวเจือปน S=0 หมายถึงมีความอิ่มสีน้อยที่สุดคือมีสีขาวเจือปนมากที่สุด

I ใช้กำหนดความเข้มสีหรือความสว่างสี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ I=0 จะแทนสีดำ หมายถึงมีความเข้มของสีมากหรือมีความสว่างของสีน้อย I=1 จะแทนสีขาว หมายถึงมีความเข้มของสีน้อยหรือมีความสว่างของสีมาก

ในการแปลงค่าสีจากปริภูมิสี RGB เป็นปริภูมิสี HSI สามารถทำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$H = \cos^{-1}\left[\frac{\frac{1}{2}\left[(R-G)+(R-B)\right]}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}}\right] \tag{2.4}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)}\left[\min(R,G,B)\right] \tag{2.5}$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \tag{2.6}$$

การแปลงกลับจากปริภูมิสีจาก HSI ไปสู่ RGB พิจารณาโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับค่า H มีค่าระหว่าง 0 ถึง 120

$$B = I(1-S) \tag{2.7}$$

$$R = I\left[1+\frac{S\cos H}{\cos(60-H)}\right] \tag{2.8}$$

$$G = 1-(R+B) \tag{2.9}$$

- สำหรับค่า H มีค่าระหว่าง 120 ถึง 240 จะต้องทำการลบค่า H ด้วย 120

$$H = H-120 \tag{2.10}$$

และหาองค์ประกอบ RGB ได้ดังนี้

$$R = I(1-S) \tag{2.11}$$

$$G = I\left[1+\frac{S\cos H}{\cos(60-H)}\right] \tag{2.12}$$

$$B = 1-(R+G) \tag{2.13}$$

- สำหรับค่า H มีค่าระหว่าง 240 ถึง 360 จะต้องทำการลบค่า H ด้วย 240

$$H = H-240 \tag{2.14}$$

และหาองค์ประกอบ RGB ได้ดังนี้

$$G = I(1-S) \tag{2.15}$$

$$B = I\left[1+\frac{S\cos H}{\cos(60-H)}\right] \tag{2.16}$$

- **ปริภูมิสี YCbCr**

ปริภูมิสี YCbCr เป็นปริภูมิสีดิจิทัล ซึ่งจะมีการแบ่งข้อมูลของสีออกในลักษณะที่สอดคล้องกับการรับรู้ของมนุษย์เช่นเดียวกับปริภูมิ HIS โดยที่Y เป็นองค์ประกอบความสว่างมีค่าตั้งแต่ 16-235 CbCr คือองค์ประกอบสีซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของสีน้ำเงินกับค่าความสว่าง และสีแดงกับค่าความสว่างตามลำดับโดยที่ Cb และ Cr มีค่าตั้งแต่ 16-240 โดยในการแปลงปริภูมิสี RGB ไปยัง YCbCr ทำได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2568 & 0.5041 & 0.0980 \\ -0.1482 & -0.2910 & 0.4392 \\ 0.4392 & -0.3678 & -0.0714 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

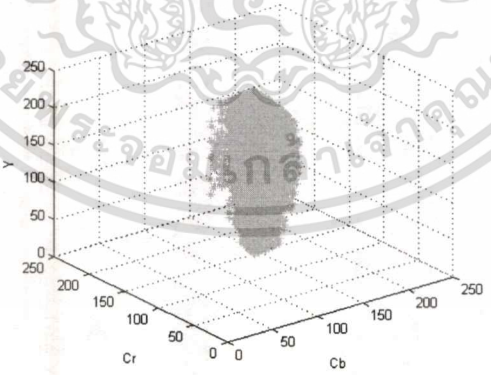
และการแปลงกลับจากปริภูมิสี YCrCb ไปสู่ RGB ทำได้โดย

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.1643 & -0.0018 & 1.5958 \\ 1.1643 & -0.3914 & -0.8135 \\ 1.1643 & 2.0178 & -0.0012 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y-16 \\ Cb-128 \\ Cr-128 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

2.2.2 การตรวจจับสีผิวโดยใช้แบบจำลองชนิดวงรี

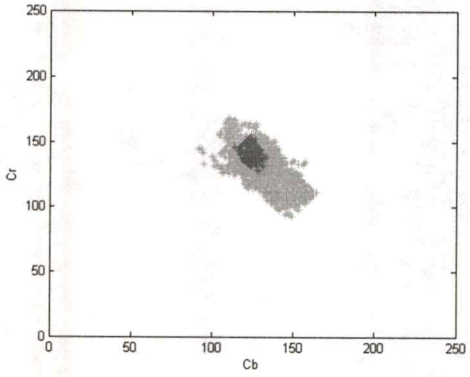
การตรวจจับมือจะนำไปใช้ในการหาตำแหน่งของมือในภาพจากกล้องวิดีโอซึ่งการตรวจจับนี้จะเริ่มจากการตรวจจับสีผิวและนำกลุ่มของสีผิวนั้นคำนวณหาตำแหน่งต่อไป

การตรวจจับสีผิวจะใช้วิธีการตรวจจับสีผิวที่เรียกว่าการตรวจจับสีผิวโดยใช้แบบจำลองชนิดวงรีโดยการสร้างโมเดลสีผิวเป็นลักษณะเป็นวงรีซึ่งการแยกแยะสีผิวโดยวิธีนี้จะนำปริภูมิสี YCbCr มาใช้ในการหาโดยปริภูมิสีนี้จะแก้ไขปัญหาในเรื่องความไม่แน่นอนของแสงที่ตกกระทบบนมือซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในการพิจารณาจะพิจารณาเพียงองค์ประกอบของสี (CbCr) โดยละทิ้งองค์ประกอบทางแสงสว่าง(Y) และเมื่อสังเกตการกระจายตัวของค่าบริเวณสีผิว ดังรูปที่ 2.5 จะเกาะกลุ่มกันลักษณะวงรี(Vezhnevets, V. et. al. 2003)



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

รูปที่ 2.5 การกระจายตัวของสีผิวของ (a) YCbCr (b) CbCr

โดยเราสามารถสร้างแบบจำลองได้ดังนี้

$$L_1 : AC_b + BC_r + C = 0 \tag{2.19}$$

$$L_2 : BC_b - AC_r + D = 0 \tag{2.20}$$

$$\frac{L_1^2}{a^2} + \frac{L_2^2}{b^2} = 1 \tag{2.21}$$

โดยที่

L_1 และ L_2 คือ แกนเอกและโทของวงรี ตามลำดับ

A,B,C และ D สามารถหาได้จากค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนร่วมของ CbCr

a และ b คือ ความยาวของแกนเอก และแกนโทของวงรีตามลำดับ

โดยการพิจารณาว่าจุดสีใดนั้นเป็นผิวหรือไม่นั้นพิจารณาโดยค่า CbCr

$$MSkin(i,j) = \begin{cases} 1, if \quad enclose \quad with\, ellipse \\ 0, \quad otherwise \end{cases} \tag{2.22}$$

โดยที่ MSkin(i,j) คือ มาสก์ของบริเวณสีผิว

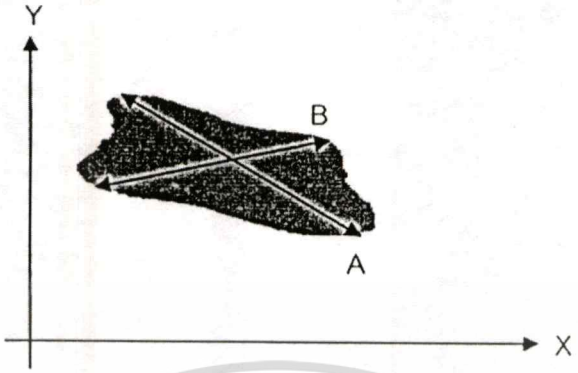
i,j คือ ตำแหน่งของจุดสีในภาพ

2.2.3 การหาความเยื้องศูนย์กลางของกราฟวงรี

วิธีการหาความเยื้องศูนย์กลางนี้จะถูกนำไปใช้ในส่วนการสร้างแบบจำลองวงรีเพื่อการแยกแยะสีผิว โดยหลักการนั้นมีอยู่ว่า หากรูปภาพใดๆ ที่มีลักษณะที่ไม่สมมาตรกับรูปร่างใดๆ การหาคอร์ด A ที่มีความยาวสูงสุด และ คอร์ด B ที่ตั้งฉากกันสามารถทำได้โดยพิจารณาความเยื้อง

เอกสารนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกใช้ในการแปลงตำแหน่งใดๆในระนาบ XY แปลงไปสู่ระนาบ $\alpha\beta$ ดังต่อไปนี้(Vezhnevets, V. et. al. 2003)



รูปที่ 2.6 รูปร่างที่จะหาความเยื้องศูนย์กลาง

การแปลงแต่ละคู่ลำดับ (x,y) ไปเป็นคู่ลำดับ (α, β) ทำได้โดย

$$\begin{bmatrix} \alpha(x.y) \\ \beta(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \tag{2.23}$$

โดยที่ (α, β) คือ คู่ลำดับใหม่ในระนาบ $\alpha\beta$

θ คือ ทิศทางของคอร์ดที่ยาวที่สุด

ในการหาค่าต่ำสุดและสูงสุดของ α และ β จะทำเพื่อกำหนดขอบเขตของความยาว (l_1) และความกว้าง(l_2) ที่ล้อมรอบรูปร่างนั้นทำได้โดย

$$l_1 = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} \tag{2.24}$$

$$l_2 = \beta_{\max} - \beta_{\min} \tag{2.25}$$

การหาทิศทางของคอร์ดที่ยาวที่สุด (θ) สามารถหาได้จาก

$$\theta = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} + \mu_{02}}\right) \tag{2.26}$$

ซึ่งเราสามารถหา μ_{pq} ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty}\sum_{j=-\infty}^{\infty}(i-\bar{x})^p (j-\bar{y})^q f(i,j) \tag{2.27}$$

โดยที่

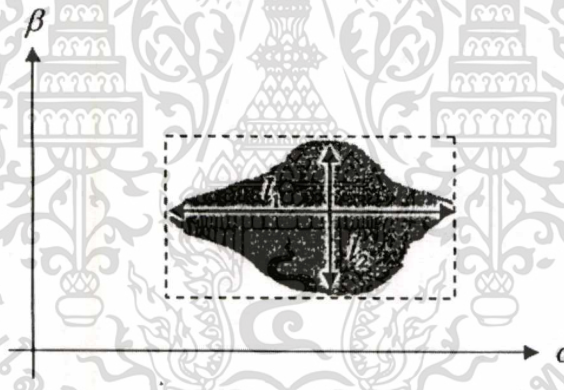
$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \tag{2.28}$$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \tag{2.29}$$

และสามารถคำนวณ m_{pq} ได้ดังนี้

$$m_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty}\sum_{j=-\infty}^{\infty} i^p j^q f(i,j) \tag{2.30}$$

เมื่อพิจารณาคู่ลำดับ $(\bar{x},\bar{y})$ แล้วจะเห็นว่าคือจุดศูนย์ถ่วงของรูปร่างนั้นเอง



รูปที่ 2.7 การแปลงคู่ลำดับ (x,y) ไปสู่ระนาบ $\alpha\beta$

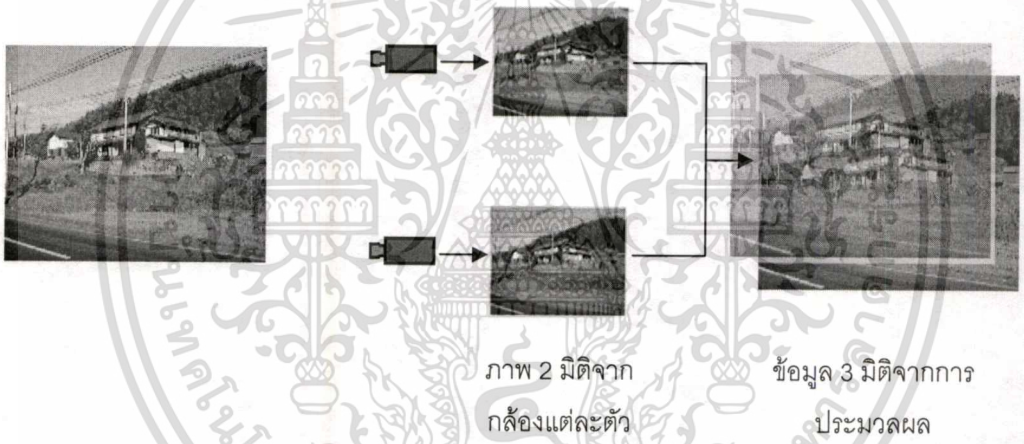
2.2.4 หลักการเบื้องต้นของกล้องแบบสเตอริโอ

โดยปกติแล้วภาพที่ได้จากกล้องทั่วไปจะเป็นภาพแบบ 2 มิติซึ่งจะมีเฉพาะมิติในแนวตั้งและ แนวนอนเท่านั้น จะไม่มีข้อมูลในส่วนของความลึกของภาพ ลักษณะการมองเห็นของมนุษย์ก็เช่นเดียวกัน ภาพที่เรามองเห็นจากตาเพียงข้างใดข้างหนึ่งเพียงข้างเดียวจะเป็นเพียงภาพแบบ 2 มิติเท่านั้น แต่การที่เราสามารถมองเห็นภาพที่เป็นแบบ 3 มิติได้นั้นนั่นก็เป็นเพราะว่า เมื่อเรามองภาพจากตาทั้ง 2 ข้างของเราซึ่งมีตำแหน่งของมุมมองของภาพจากตำแหน่งของตาข้างซ้าย และ ตาข้างขวาที่ต่างกันจึงทำให้เราได้รับภาพที่แตกต่างกัน 2 ภาพ คือภาพในส่วนของมุมมองจากตาข้างซ้าย และ ภาพในส่วนของมุมมองจากตาข้างขวา จากนั้นภาพที่แตกต่างกันทั้ง 2 ภาพนี้จะถูกส่งไปรวมกันที่สมอง แล้วสมองของเราก็จะทำการนำภาพทั้ง 2 ภาพจากตาข้างซ้ายและตาข้างขวามาซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน แล้วทำการวิเคราะห์ และ ตีความหมายของภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดภาพ 3 มติขึ้นในสมองของเรา ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้คนเราสามารถมองเห็นภาพต่างๆเป็นภาพเป็นภาพแบบ 3 มิติ ซึ่งมีส่วนของข้อมูลความลึกเพิ่มเข้ามา หลักการที่ทำให้เรามองเห็นภาพแบบ 3 มิตินี้เรียกว่า สเตอริโอสโคปิค (Stereoscopic) (Sonka, M. et. al. 1999)

กล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras) เป็นการใช้งานกล้องรูปแบบหนึ่งที่ทำให้เราสามารถจำลองการมองเห็นภาพให้เป็นภาพแบบ 3 มิติได้ โดยหลักการทำงานของกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)นี้ก็อาศัยหลักการมองเห็นภาพแบบสเตอริโอสโคปิค (Stereoscopic) นั่นเอง หลักการเบื้องต้นของการทำงานของกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras) คือ เริ่มต้นเราจะต้องทำการจับภาพจอกล้องก่อน โดยภาพจากกล้องเราจะใช้ภาพจากกล้อง 2 ตัว จากนั้นเราก็จะทำการนำภาพที่ได้จากกล้องทั้ง 2 ตัวนี้มาประมวลผลในส่วนต่างๆเพื่อหาข้อมูลแบบ 3 มิติของภาพ โดยระบบการทำงานเบื้องต้นมีการทำงานดังรูปที่ 2.8



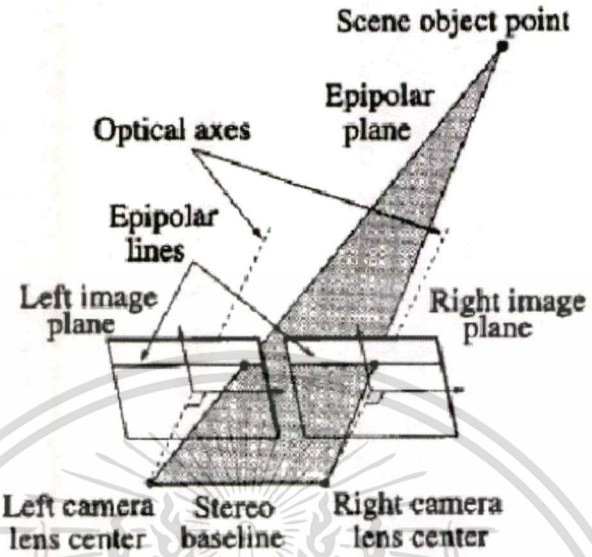
รูปที่ 2.8 รูปแสดงระบบเบื้องต้นของกล้องแบบสเตอริโอ

ในการวิเคราะห์ภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)นั้นสิ่งที่เราต้องทำก็คือการแปลงข้อมูลของภาพแบบ 2 มิติที่ได้มาจากกล้องทั้ง 2 ตัวให้เป็นข้อมูลแบบ 3 มิติของภาพนั้นๆ สิ่งที่ต้องวิเคราะห์ก็คือการหาความลึกของภาพ และ หาคู่ของจุดที่ปรากฏในทั้ง 2 จอภาพที่อ้างอิงถึงจุดเดียวกัน หรือ คอนจูเกตแพร์ (conjugate pair)

2.2.5 การวิเคราะห์หาความลึกของภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ

การจับภาพของกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras) จะมีลักษณะของการจับภาพจากกล้องที่มีตำแหน่งแตกต่างกัน ดังนั้นภาพของวัตถุชิ้นเดียวกันที่เห็นจากมุมมองของกล้องคนละตัวกันก็จะมีตำแหน่ง และ มุมมองที่แตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 2.9 (Sonka, M. et. al. 1999)

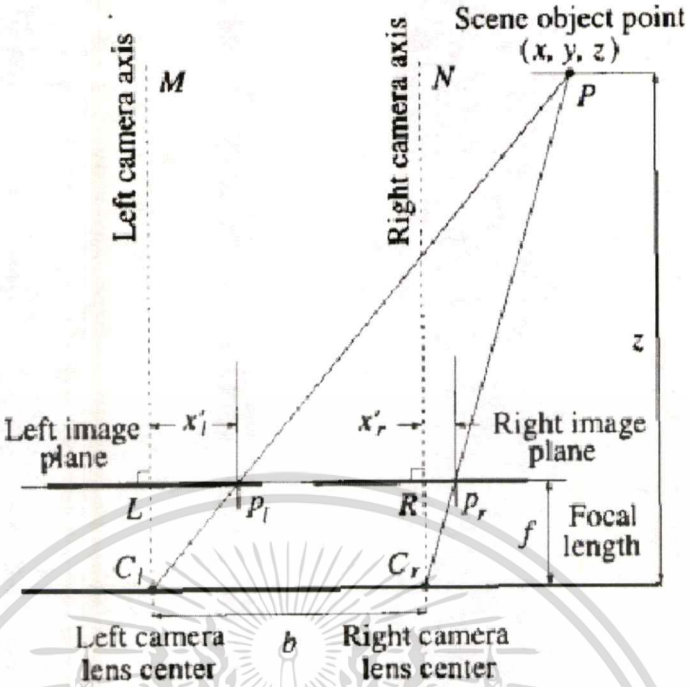
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 รูปแสดงการจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าจุดของวัตถุหนึ่งจุดจะฉายลงในฉากของฉากรับภาพซ้าย และ ฉากรับภาพขวาที่ตำแหน่งแตกต่างกัน ในทางกลับกันนั่นก็คือจุดที่ปรากฏในกล้องทั้ง 2 ตัวนี้ต่างก็อ้างอิงถึงตำแหน่งของวัตถุตำแหน่งเดียวกัน คู่ของจุดที่ปรากฏในฉากรับภาพทั้ง 2 ภาพที่อ้างอิงถึงจุดเดียวกันของวัตถุนี้เรียกว่า คอนจูเกตแพร์(conjugate pair) โดยระยะห่างระหว่างจุดทั้ง 2 ในฉากรับภาพเรียกว่าดิสพาริตี(disparity) แนวระนาบระหว่างจุดของวัตถุใน 3 มิติและจุดของวัตถุที่ปรากฏบนฉากคือ เอพิโพลาร์แพลน (Epipolar plane) ส่วนแนวตัดของเอพิโพลาร์แพลน (Epipolar plane) และ ฉากรับภาพจะเกิดเป็นแนวเส้น เส้นนี้จะเรียกว่า เอพิโพลาร์ไลน์ (Epipolar line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 รูปแสดงการหาความลึกจากภาพของกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)

จากรูปที่ 2.10 จุด Pl และ Pr เป็นจุดของจุด P ที่ฉายลงในฉากรับภาพด้านซ้ายและฉากรับภาพด้านขวาเมื่อกำหนดให้จุดศูนย์กลางของแกนพิกัดฉากอยู่ที่จุดศูนย์กลางของเลนส์ด้านซ้าย จากรูปจะเห็นว่าสามารถคำนวณความลึกของจุด(z)ได้โดยใช้คุณสมบัติของสามเหลี่ยมด้านคล้าย โดยได้สมการคือ

$$z = \frac{bf}{x'_l - x'_r} \tag{2.31}$$

จากสมการทำให้ได้ว่าค่าความลึกของวัตถุสามารถจะหาได้เมื่อรู้ค่าของ ดิสพาริตี (disparity) ของจุดของวัตถุ โดยการคำนวณทั่วไปแล้วค่าที่ใช้ในการคำนวณ ใช้เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นในการคำนวณค่าความลึกให้ถูกต้องมากขึ้น ทำได้โดยการเพิ่มค่าเส้นฐานระยะห่างของกล้อง (Base line b)ซึ่งจะทำให้ช่วงค่าของ ดิสพาริตี(disparity) มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการกระทำข้างต้นก็ทำให้เกิดปัญหาอื่นตามมานั่นคือภาพในฉากรับภาพทั้ง 2 กล้องจะต่างกันมากขึ้นทำให้การระบุคอนจูเกตแพร์(conjugate pair) ทำได้ยากขึ้น

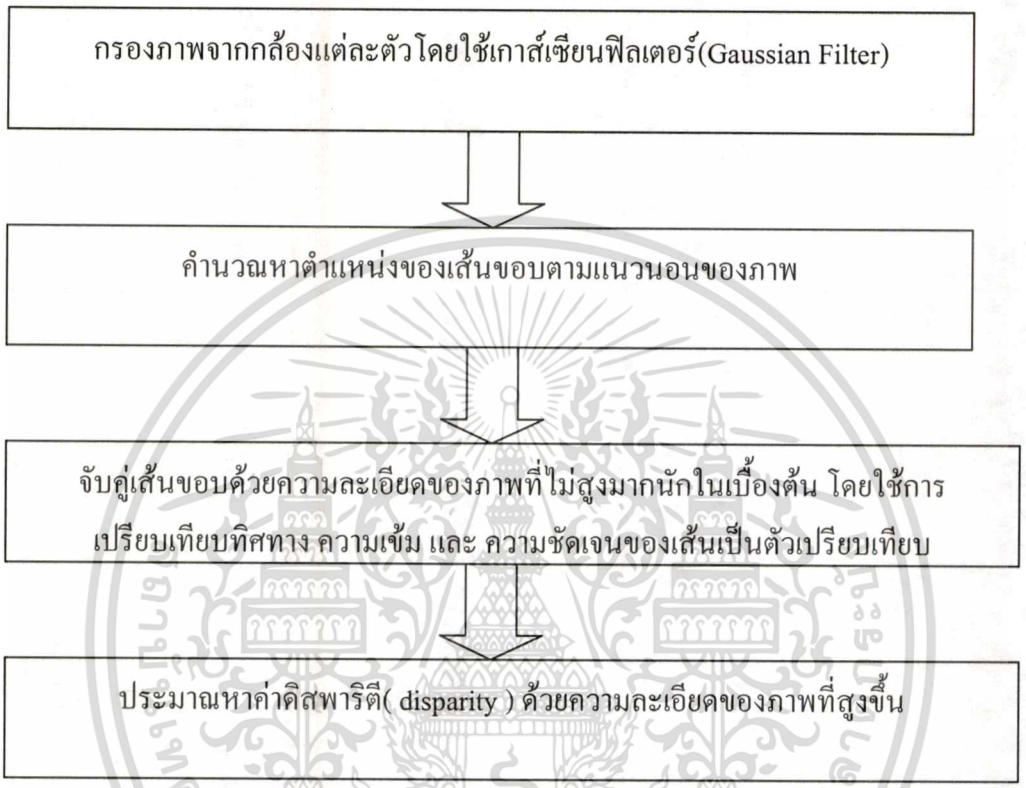
2.2.6 การวิเคราะห์หาตำแหน่งของภาพสเตอริโอที่คู่กัน(Stereo matching)

ในการที่เราจะหาความลึกของภาพได้นั้นเราจำเป็นจะต้องหาคอนจูเกตแพร์(conjugate pair) ของภาพทั้ง 2 ภาพให้ได้ก่อน โดยหลักการคือแต่ละจุดในภาพที่หนึ่งเราจะทำการวิเคราะห์หา

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเดียวกันในภาพที่สอง โดยในส่วนนี้เราจะใช้หลักการวิเคราะห์หาขอบของภาพที่คู่กัน (Edge Matching) เพื่อทำการหาคอนจูเกตแพร์(Sonka, M. et. al. 1999)

หลักการวิเคราะห์หาขอบของภาพที่คู่กัน(Edge Matching)นั้นมีขั้นตอนในการทำงานดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาขอบของภาพที่คู่กัน(Edge Matching)

2.2.7 การวัดค่าของกล้อง(Camera calibration)

การวัดค่าของกล้อง(Camera calibration) นั้นนับว่าเป็นงานอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ เพราะในการแปลงจากภาพ 2 มิติให้เป็นข้อมูลแบบ 3 มิตินั้น ความถูกต้องของการวัดค่าต่างๆย่อม มีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติที่ได้ (Jain, R. et. al. 1995; Sonka, M. et. al. 1999)

งานด้านการวัดค่าของกล้อง(Camera calibration)ประกอบด้วยงานย่อย 4 ส่วนด้วยกันคือ

- Absolute orientation เป็นการหาค่าทรานส์ฟอร์เมชัน(Transformation)ระหว่างพิกัดฉาก 2 ระบบ หรือ เป็นการหาค่าตำแหน่ง และ การหมุนของจุดที่วัดค่าภายในระบบพิกัดฉากสัมบูรณ์(Absolute coordinate)จากจุดวัดค่าภายในฉากรับภาพ
- Relative orientation เป็นการหาค่าตำแหน่ง และ การหมุนของกล้อง 2 ตัวเปรียบเทียบกันจากจุดวัดค่าภายในฉากรับภาพ
- Exterior orientation เป็นการหาค่าตำแหน่ง และ การหมุนของของกล้องภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบพิกัดฉากสัมบูรณ์(Absolute coordinate)จากจุดวัดค่าภายในฉากรับภาพ

- Interior orientation เป็นการหาค่าคุณสมบัติภายในของกล้อง

2.2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected Component)

การหาองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected Component) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพ เพื่อหาว่าในภาพนั้นมีองค์ประกอบ (Component) เป็นจำนวนเท่าใด (Jain, R. et. al. 1995; Sonka, M. et. al. 1999)

0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0

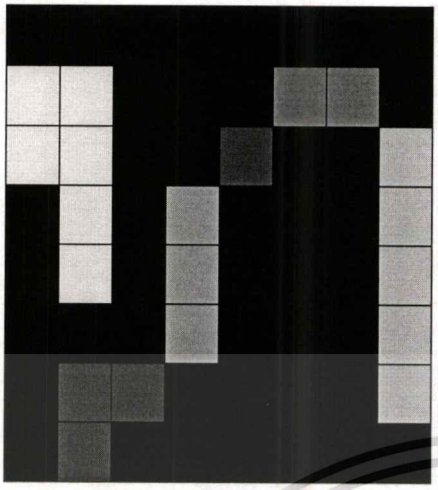
รูปที่ 2.12 ภาพ Binary Image และค่าของแต่ละพิกเซลที่สอดคล้องกับภาพ

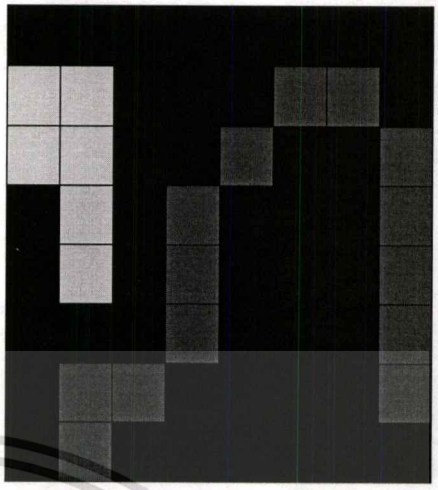
นิยามขององค์ประกอบที่เชื่อมต่อกันมีอยู่ว่า แต่ละพิกเซลจะถือว่าเป็นองค์ประกอบเดียวกันได้ ก็ต่อเมื่อ แต่ละพิกเซลจะต้องเชื่อมต่อถึงกัน ทุกคู่ของพิกเซลต้องมีค่าเดียวกัน และมีเส้นทางเชื่อมถึงกันได้ ซึ่งเราสามารถใช้หลักพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

- 4-neighborhood Connected Component (4-N) พิจารณาเฉพาะพิกเซลที่ติดกันทางด้านบน ล่าง ซ้าย และ ขวา
- 8-neighborhood Connected Component (8-N) พิจารณาพิกเซลที่อยู่ติดกันทั้งหมดทุกด้าน ทั้งด้านบน ล่าง ซ้าย ขวา และทแยงมุม ทั้ง 4 ด้าน

จากตัวอย่างรูปที่ 2.12 หากเรานำมาคำนวณหาองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน และทำการกำหนดองค์ประกอบ (Connected Component Labeling) ตามหลัก 4-N และ 8-N ก็จะได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	5	5	0
1	1	0	0	4	0	0	6
0	1	0	3	0	0	0	6
0	1	0	3	0	0	0	6
0	0	0	3	0	0	0	6
0	2	2	0	0	0	0	6
0	2	0	0	0	0	0	0

4-neighborhood Connected Component

0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	2	2	0
1	1	0	0	2	0	0	2
0	1	0	2	0	0	0	2
0	1	0	2	0	0	0	2
0	0	0	2	0	0	0	2
0	2	2	0	0	0	0	2
0	2	0	0	0	0	0	0

8-neighborhood Connected Component

รูปที่ 2.13 การกำหนดองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าถ้าเรากำหนดองค์ประกอบตามหลัก 4-N เราจะได้องค์ประกอบทั้งสิ้น 6 องค์ประกอบ แต่ถ้าใช้หลัก 8-N จะได้เพียง 2 องค์ประกอบเท่านั้น ซึ่งเทคนิคในการกำหนดองค์ประกอบนั้นนิยมทำกัน 2 วิธีคือ ใช้ Recursive Algorithm หรือใช้ Row-by-row 2 passes Algorithm

2.2.9 การติดตามภาพที่เคลื่อนไหว (Tracking)

ในส่วนของการติดตามจะนำมาใช้ในการลดการประมวลผลในการจำแนกหาตำแหน่งต่าง โดยหลักการดังต่อไปนี้ (Sonka, M. et. al. 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พิจารณาตำแหน่งของวัตถุในเฟรมก่อนหน้าและตำแหน่งปัจจุบัน
- นำตำแหน่งที่ได้ประมาณความเร็วในการเคลื่อนที่เพื่อทำนายตำแหน่งวัตถุในเฟรมถัด
- ค้นหาวัตถุตามตำแหน่งที่ได้ประมาณไว้

ซึ่งการคำนวณความเร็วจะใช้วิธีการประมาณความเร็วแบบคงที่หรือแบบมีความเร่งก็ได้ การประมาณตำแหน่งของวัตถุด้วยความเร็วคงที่หาได้จาก

$$s = vt \tag{2.32}$$

โดยที่ s คือ ระยะทาง
v คือ ความเร็วของวัตถุ
t คือ เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่

การประมาณตำแหน่งของวัตถุด้วยความเร่งหาได้จาก

$$s = vt + \frac{1}{2}at^2 \tag{2.33}$$

โดยที่ s คือ ระยะทาง
v คือ ความเร็วของวัตถุ
t คือ เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่
a คือ ความเร่งของวัตถุ

2.4.10 การทำไดเลชัน (Dilation) และการทำอีโรชัน (Erosion)

รูปภาพหรือกลุ่มของจุดภาพสีดำและขาว ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปภาพฐานสอง(Binary Image) การทำไดเลชันและอีโรชันถือเป็น ตัวดำเนินการเชิงสัณฐานเบื้องต้น และเป็นพื้นฐานในการนำไปใช้กับกระบวนการที่มีความซับซ้อนอันได้แก่ ตัวดำเนินการแบบเปิด (Opening Operator), ตัวดำเนินการแบบปิด (Closing Operator) (Sonka, M. et. al. 1999)

การทำไดเลชัน

<u>นิยาม</u> คือ เซตของจุด p ที่เกิดจาก x+b โดยที่ x เป็นสมาชิกของ x และ b เป็นสมาชิกของ B

$$X \oplus B = \left\{ p \in \varepsilon^2 : p = x + b, x \in X \,\&\, b \in B \right\} \tag{2.34}$$

โดยที่ X คือ รูปภาพที่ทำการไดเลชัน
B คือ โครงสร้างส่วนย่อยในการทำไดเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

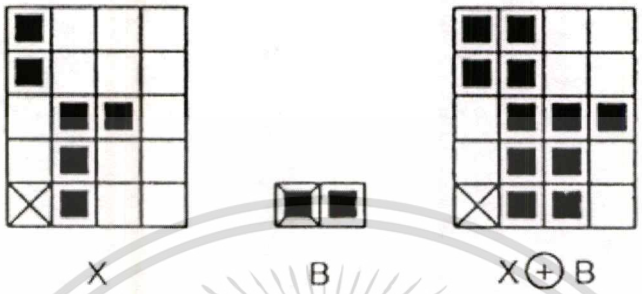
ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวอย่าง การทำไดเลชันกำหนดให้

$$X = \{(1,0),(1,1),(1,2),(2,2),(0,3),(0,4)\}$$

$$B = \{(0,0),(1,0)\}$$

$$X \oplus B = \{(1,0),(1,1),(1,2),(0,3),(0,4),(2,0),(2,1),(2,2),(3,2),(1,3),(1,4)\}$$



รูปที่ 2.14 แสดงการทำไดเลชัน

การทำอีโรชัน

นิยามคือ เซตของจุด p ทุกจุดจากรูปภาพทดสอบ ผลลัพธ์ของการทำอีโรชันคือ จุด p เหล่านั้นที่ทำให้ p+b เป็นสมาชิกของ X สำหรับทุกๆ b ที่เป็นสมาชิกของ B

$$X \Theta B = \{p \in \varepsilon^2 : p + b \in X \ for \quad every \ b \in B\} \tag{2.32}$$

โดยที่ X คือ รูปภาพที่ทำการอีโรชัน

B คือ โครงสร้างส่วนย่อยในการทำอีโรชัน

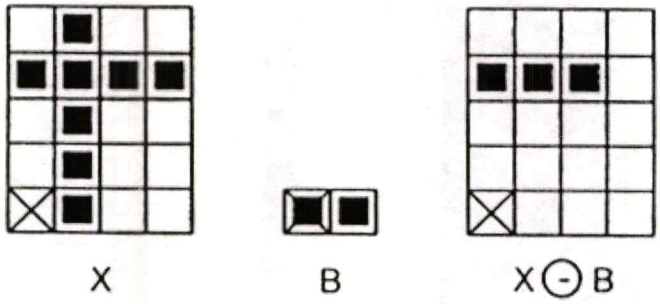
ตัวอย่าง การทำอีโรชันกำหนดให้

$$X = \{(1,0),(1,1),(1,2),(0,3),(1,3),(2,3),(3,3),(1,4)\}$$

$$B = \{(0,0),(1,0)\}$$

$$X \Theta B = \{(0,3),(1,3),(2,3)\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
04552



รูปที่ 2.15 แสดงการทำอีโรชัน

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

2.3.1 Microsoft Visual C++

Microsoft Visual C++ (MSVC) เป็น IDE (Integrated Development Environment) สำหรับการสร้างโปรแกรมด้วยภาษา C, C++ และ C++/CLI ที่พัฒนาโดยไมโครซอฟท์ MSVC มีเครื่องมือต่างๆ มากมายสำหรับการพัฒนาซอฟแวร์และการดีบัก นิยมใช้กันมากในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับ Microsoft Windows API, DirectX API และ Microsoft .NET Framework

จุดเด่นของ MSVC ตัวอย่างเช่น การไฮไลท์ syntax, ระบบเติมเต็มโค้ดอัตโนมัติ (IntelliSense), การดีบักขั้นสูง เช่น สามารถดีบักจากเครื่องอื่นภายในเครือข่ายได้ สามารถดีบักโค้ดได้แบบทีละบรรทัด และสามารถบิวท์โปรแกรมให้ทำงานต่อได้ในระหว่างการดีบัก โดยไม่ต้องปิดเปิดโปรแกรมใหม่ (Wikipedia. 2006)

2.3.2 Intel Open Source Computer Vision Library (Intel computer. 2001)

OpenCV คือไลบรารีที่รวบรวมฟังก์ชันในภาษา C และคลาสในภาษา C++ ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ (Image Processing) และการรับรู้โดยการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ไว้ด้วยกันเพื่อช่วยให้โปรแกรมเมอร์พัฒนาซอฟแวร์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น OpenCV พัฒนาโดยบริษัท อินเทล(Intel) สามารถใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ (Linux) และวินโดวส์ (Windows) และอนุญาตให้ใช้งานได้ฟรี ไม่ว่าจะนำไปสร้างโปรแกรมเพื่อการค้าหรือไม่ก็ตาม ซึ่งชุดคำสั่งของ OpenCV จะมาจากเทคนิคเบื้องต้นในการประมวลผลภาพ และอัลกอริธึมที่นิยมใช้กัน ชุดคำสั่งใน OpenCV จะเน้นไปในการประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ ลักษณะของแอพพลิเคชันที่ใช้งาน OpenCV เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสื่อสารระหว่างคนกับคอมพิวเตอร์ (Human-Computer Interface)
- การวิเคราะห์ลักษณะวัตถุ (Object Identification)
- การแยกแยะและรู้จำ (Segmentation and Recognition)
- การรู้จำใบหน้า (Face Recognition)
- การรู้จำท่าทาง (Gesture Recognition)
- การติดตามการเคลื่อนไหว (Motion Tracking)
- การเคลื่อนไหวของกล้อง (Ego-motion)
- การเข้าใจการเคลื่อนไหว (Motion Understanding)
- การหารูปทรงวัตถุโดยใช้การเคลื่อนกล้อง (Structure From Motion)
- การควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกล (Mobile Robotics)

ไลบรารีของ OpenCV สามารถแยกได้เป็นส่วนต่างๆ คือ

- **CxCore** ประกอบด้วยฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการเขียนโปรแกรมด้วย OpenCV เช่น การจัดโครงสร้างของข้อมูล ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ การจัดการหน่วยความจำ การติดต่อไฟล์และ I/O เป็นต้น
- **Cv** ประกอบด้วยฟังก์ชันและอัลกอริธึมสำหรับการประมวลผลภาพและการรับรู้โดยการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นการประมวลผลภาพสี ภาพขาวดำ ภาพนิ่ง หรือภาพเคลื่อนไหว ทั้งในแบบสองมิติและสามมิติ, การเปรียบเทียบภาพ, การหาพิกัดของกล้อง เป็นต้น
- **CvAux** ประกอบด้วยฟังก์ชันพิเศษ ฟังก์ชันที่ยังอยู่ในขั้นทดลอง และฟังก์ชันที่ไม่นิยมใช้แล้ว
- **CvCam** ประกอบด้วยฟังก์ชันที่ใช้ควบคุมกล้อง การรับส่ง, บันทึก, และแสดงผลภาพวิดีโอ
- **HighGUI** เป็นไลบรารีที่เสริมเข้ามาเพื่อให้โปรแกรมเมอร์สามารถสร้างอิน-เตอร์เฟสแบบกราฟฟิคเพื่อแสดงผลและควบคุมวิดีโอได้โดยง่าย เช่นการสร้างหน้าต่าง ปุ่มเล่นไฟล์ แทร็กบาร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การพัฒนาระบบ

3.1 การวิเคราะห์ และ ออกแบบระบบ

ในการวิเคราะห์ ออกแบบ และ พัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)นั้น ระบบในที่นี้ไม่ได้หมายความถึงเพียงแค่การพัฒนาโปรแกรมเพียงเท่านั้น หากแต่หมายความรวมถึงการออกแบบสภาพแวดล้อมระบบ รวมจนถึงรูปแบบการติดตั้งระบบอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ซึ่งรายละเอียดต่างๆจะกล่าวถึงในหัวข้อย่อยต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง กล้องสำหรับทำการจับภาพแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras) 2 ตัว และจอแสดงผล 1 จอ ในที่นี้อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง และ พัฒนาระบบต้นแบบได้แก่

- เครื่องคอมพิวเตอร์ HP Pavilion a1587L Intel Pentium D processor 820, 2.8GHz, 512MB, 160GB, 16X DVD-RW Ati Radeon Xpress 200 จำนวน 1 เครื่อง
- เว็บแคม Creative Live Pro จำนวน 2 ตัว
- จอ Panasonic LCD Wide screen 42 นิ้ว จำนวน 1 เครื่อง

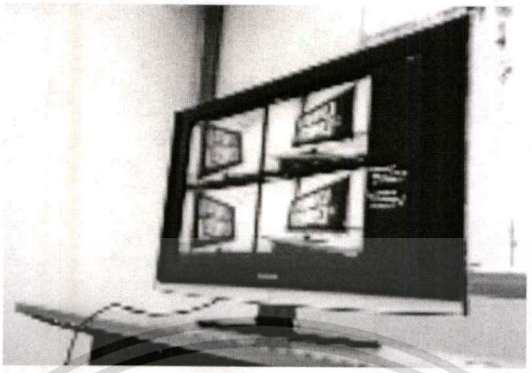
3.1.2 การวิเคราะห์ระบบ และ การติดตั้งอุปกรณ์

ในการออกแบบระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องนั้น การจัดวาง และ ตำแหน่งของกล้องนับว่าเป็นส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าระบบจะทำงานไม่ได้เลยถ้าหากกล้องตัวใดตัวนึงถูกบดบัง ดังนั้นการวางตำแหน่งของกล้องที่ดีนั้นจะต้องคำนึงถึงเรื่องการบดบังภาพของกล้องด้วย

เนื่องจากปัญหาการถูกบดบังภาพของกล้องโดยวัตถุต่างๆนั้น การจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานของระบบนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยในการจัดวางกล้องนั้นต้องระวังไม่ให้มีวัตถุใดๆเข้ามาบดบังทิศทางการจับภาพของกล้อง กับ จอภาพที่จะใช้สร้างเป็นจอสัมผัสแบบเสมือน การจับภาพของกล้องจะต้องจับภาพของจอภาพให้ได้อย่างครบถ้วนดังตัวอย่างรูปที่ 3.1 ซึ่งจับภาพจอได้ครบถ้วนและไม่มีวัตถุอื่นใดมาบดบัง แต่ในการแก้ไขปัญหาการบดบังของกล้องนั้นนอกจากการจัด

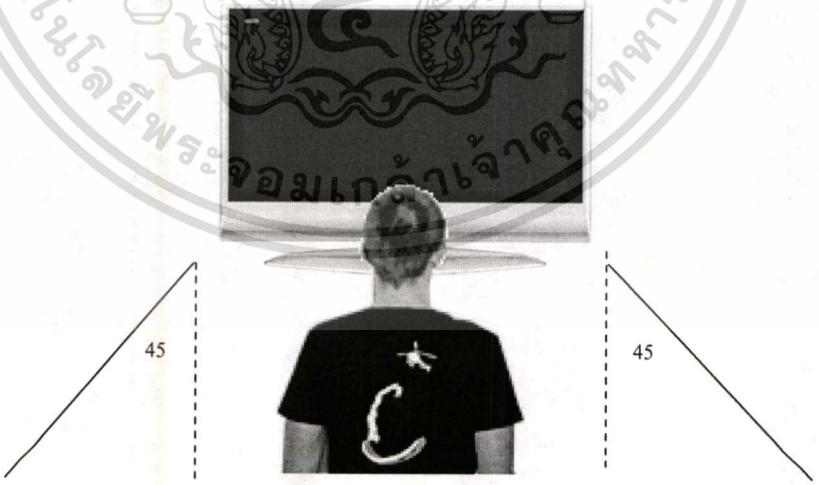
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพแวดล้อม และ วางตำแหน่งกล้องไม่ให้มีการบดบังเกิดขึ้นแล้ว การบดบังกล้องยังอาจเกิดได้จากการใช้งานของตัวผู้ใช้ระบบเองได้



รูปที่ 3.1 รูปแสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งกล้องที่จับภาพได้อย่างครบถ้วน

จากการวิเคราะห์ผู้ใช้งานจอสัมผัสทั่วไปแล้วนั้น ปกติตำแหน่งที่ผู้ใช้งานจอสัมผัสมักจะใช้งานนั้นจะเป็นตำแหน่งแนวทิศทางของการมองเห็นที่สะดวกที่สุด นั่นคือตำแหน่งแนวตั้งฉากกับหน้าจอ และบวกทิศทางซ้ายขวาอีกไม่เกิน 45 องศา ดังรูปที่ 3.2 การวางกล้องที่มีแนวของภาพผ่านทางทิศทางนี้จะทำให้เกิดปัญหาการบดบังจากตัวผู้ใช้งานขึ้นได้ ดังนั้นการตั้งกล้องเพื่อหลีกเลี่ยงการบดบังจึงต้องวางตำแหน่งในทิศทางซ้ายขวาอย่างน้อย 45 องศาจากแนวตั้งฉาก

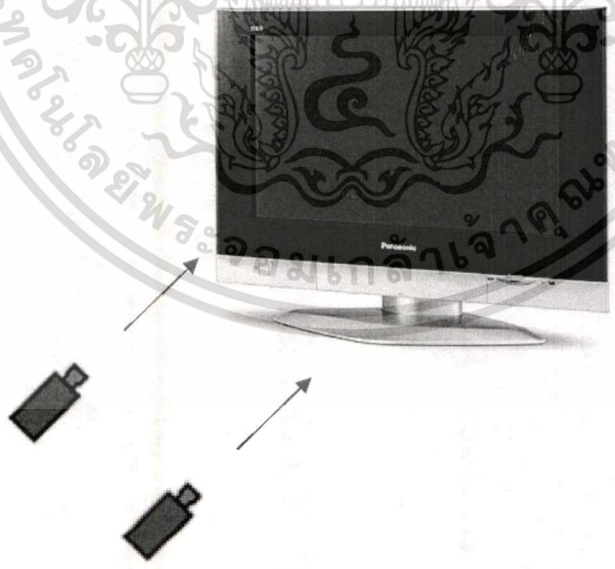


รูปที่ 3.2 รูปแสดงแนวทิศทางการวางกล้องที่ทำให้เกิดการบดบังจากตัวผู้ใช้งานระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของตำแหน่งการวางกล้องนั้น นอกจากเราจะพิจารณาในเรื่องของการบดบัง และการตั้งกล้องเพื่อให้เก็บภาพของหน้าจอให้ครบแล้วนั้น การวิเคราะห์ถึงการวางตำแหน่งของกล้อง มุม และ ระยะห่างระหว่างทั้งกล้อง 2 ตัวที่ใช้ในการทำการจับภาพแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras) ก็เป็นส่วนสำคัญที่ต้องพิจารณาถึงด้วย

โดยปกติแล้วระยะห่างระหว่างกันของกล้องแต่ละตัวในการทำการจับภาพแบบสเตอริโอ (Stereo Cameras)นั้นจะมีผลต่อการประมวลผล และ ความยากง่ายต่อการสร้างระบบค่อนข้างมาก การตั้งกล้อง 2 ตัวที่มีระยะห่างกันน้อยๆและ ใช้การตั้งมุมของกล้องกับจอภาพใกล้เคียงกันดังตัวอย่างรูป 3.3 นั้นการทำการจับคู่ภาพสเตอริโอ(Stereo matching)จะทำได้ค่อนข้างง่ายเพราะภาพที่ได้จากกล้อง 2 ตัวนั้นมีลักษณะภาพที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ผลที่ตามมาก็คือข้อมูลความลึกของภาพที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีโอกาสผิดพลาดสูงมาก ในขณะเดียวกันถ้าหากเราใช้การตั้งกล้อง 2 ตัวที่มีระยะห่างระหว่างกันมาก และ ใช้การตั้งมุมของกล้องกับจอภาพที่แตกต่างกันคือกล้องแต่ละตัวต่างก็หันเข้าหาจอภาพเพื่อจับภาพของจอภาพให้ครบถ้วนมากที่สุด ดังตัวอย่างรูป 3.4 การทำการจับคู่ภาพสเตอริโอ(Stereo matching)ในลักษณะนี้จะทำได้ยากเพราะภาพที่ได้จากกล้อง 2 ตัวนั้นมีลักษณะภาพที่แตกต่างกันสูงมาก ทั้งตำแหน่งของภาพ และ มุมของภาพที่แตกต่างกัน แต่ผลที่ตามมาก็คือข้อมูลความลึกของภาพที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีความถูกต้องสูงกว่า เพราะมีมิติของภาพที่ดีกว่า เห็นระยะต่างๆชัดเจนกว่า



รูปที่ 3.3 การตั้งกล้องจับภาพแบบสเตอริโอที่ใช้ระยะห่างระหว่างกล้องแต่ละตัว และความแตกต่างของทิศทางการหันมุมของกล้องน้อย(Narrow-Baseline Stereo cameras) ทำให้การจับคู่ภาพสเตอริโอ(stereo matching)ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การตั้งกล้องจับภาพแบบสเตอริโอที่ใช้ระยะห่างระหว่างกล้องแต่ละตัว และ ความแตกต่างของทิศทางการหันมุมของกล้องมาก (Wide-Baseline Stereo cameras) ทำให้เห็นระยะต่างๆชัดเจน และ วิเคราะห์ความลึกได้ดีกว่า

3.1.3 การออกแบบการติดตั้งระบบ

จากข้อมูลการวิเคราะห์เกี่ยวกับการติดตั้งระบบในหัวข้อที่ผ่านมานั้น การออกแบบการติดตั้งสำหรับระบบจอสัมผัสแบบเสมือนที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีรูปแบบการจัดวางดังตัวอย่างรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การออกแบบการจัดวางระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าระบบการจัดวางกล้องที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนที่จะสร้างขึ้นนั้น จะใช้การจัดวางกล้องแบบที่ใช้ระยะห่าง และ มุมทิศทางการหันทิศของกล้องที่แตกต่างกันมากๆ(Wide-Baseline Stereo cameras) โดยการวางกล้องจะวางที่ตำแหน่งซ้ายและ ขวาของจอภาพที่จะทำการสร้างเป็นจอสัมผัสแบบเสมือน โดยข้อกำหนดในการติดตั้งระบบมีดังนี้

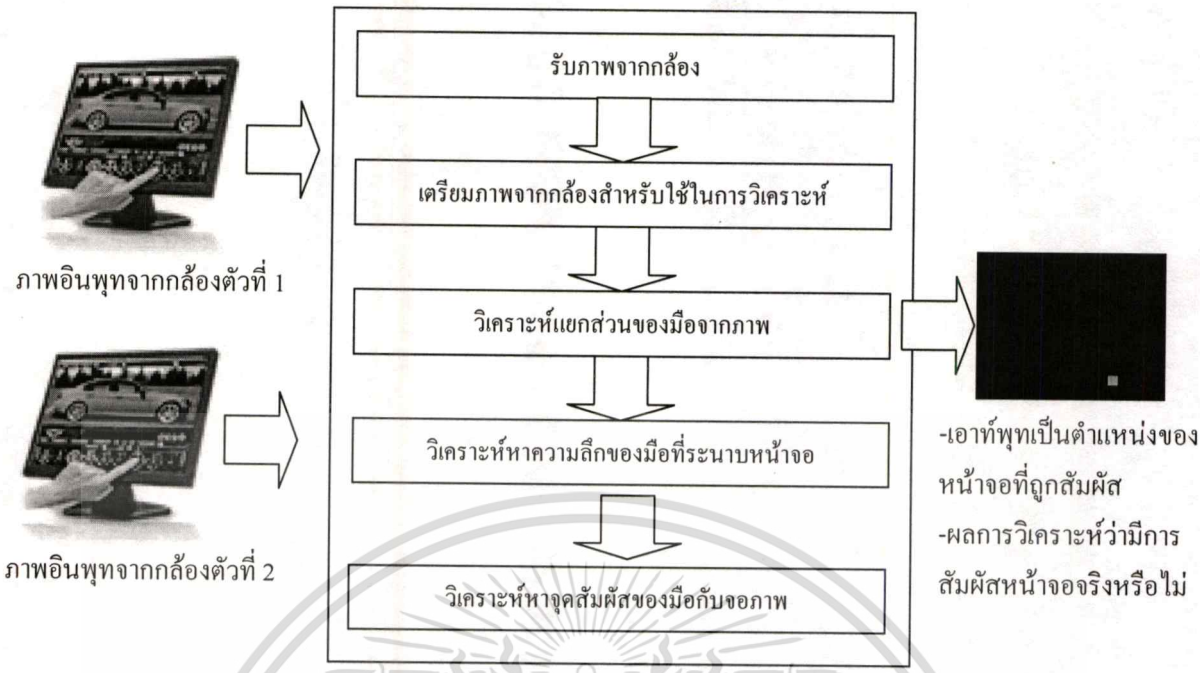
- มุมแนวระนาบที่กำหนดในการจัดวางกล้องที่ตำแหน่งซ้าย และ ขวาของจอภาพ ใช้มุมระหว่าง 45 – 75 องศาจากแนวแกนตั้งฉากของจอภาพ
- การปรับมุมเงยของกล้องปรับตามความเหมาะสม แต่ทั้งนี้การใช้มุมกดมากๆจะทำให้ขนาดของภาพที่ได้แคบลง
- ระยะห่างระหว่างกล้องกับจอภาพให้ห่างน้อยที่สุดเท่าที่สามารถจับภาพได้ครบถ้วน ทั้งนี้ถ้าหากยิ่งตั้งกล้องห่างจากจอภาพเท่าไหร่ ขนาดของภาพบริเวณที่จะนำมาวิเคราะห์จะยิ่งมีขนาดเล็กลง แต่ทั้งนี้ถ้าหากใช้กล้องจับภาพประเภทที่สามารถปรับซูมได้ ให้ปรับซูมภาพให้จับภาพบริเวณที่สนใจให้ได้ใหญ่ที่สุด
- การจัดวางกล้องจะต้องไม่มีวัตถุอื่นใดมาบดบังการจับภาพของกล้อง

3.1.4 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมสำหรับระบบจอสัมผัสแบบเสมือนแบบใช้การประมวลผลภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Cameras) นั้น จะอ้างอิงตามรูปแบบการทำงานหลักของระบบจอสัมผัสแบบเสมือนแบบใช้การประมวลผลภาพจากกล้องตัวเดียวจากตัวอย่างรูปภาพที่ 2.1 ของบทที่ 2 แต่จะมีการเพิ่มในส่วนของขั้นตอนบางขั้นตอน การรับอินพุทภาพที่เพิ่มขึ้นของกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Cameras) และ การให้ผลเอาท์พุทที่ออกมาไม่ใช่แค่เพียงตำแหน่งของจุดสัมผัสแต่รวมถึงผลการวิเคราะห์ที่บอกว่ามีการสัมผัสที่เกิดขึ้นกับหน้าจอจริงหรือไม่อีกด้วย โดยรูปแบบการทำงานที่ปรับใหม่นี้จะมีรูปแบบการทำงานดังรูปที่ 3.6

จากขั้นตอนการทำงานในรูปที่ 3.6 ที่ได้ทำการออกแบบแล้วนั้น จะมีขั้นตอนการทำงานแบ่งเป็นส่วนหลักๆทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ การรับภาพจากกล้อง การปรับรูปแบบของภาพจากกล้องเพื่อใช้ในการประมวลผล การวิเคราะห์แยกส่วนของมือจากภาพ การวิเคราะห์ภาพสเตอริโอ (Stereo Cameras) เพื่อหาความลึก และ การวิเคราะห์หาตำแหน่งจุดสัมผัสของมือกับจอภาพ ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้เราจะแยกเป็นส่วนๆแล้วจะทำการพัฒนาโปรแกรมขึ้นในส่วนของการพัฒนาระบบที่จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ระบบของจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การประมวลผลภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Cameras)

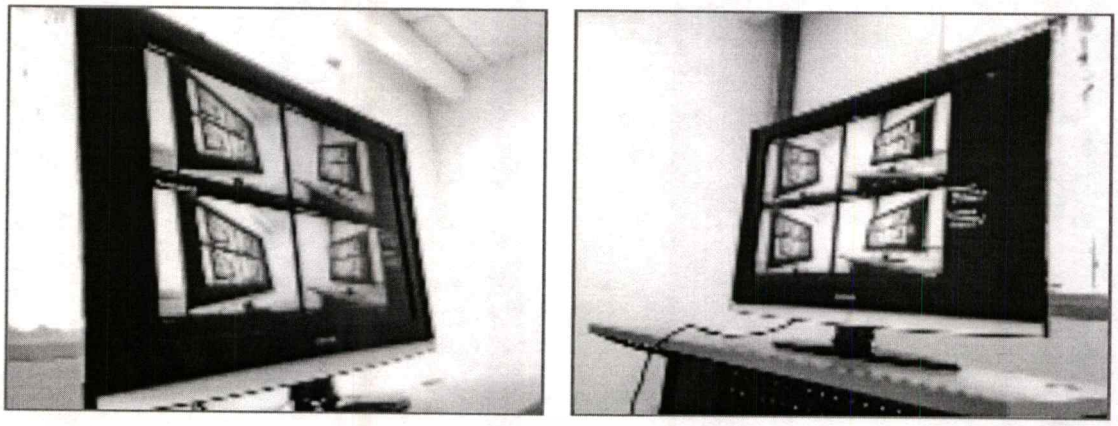
3.2 การพัฒนาระบบ

จากขั้นตอนการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ เราจะนำมาพัฒนาระบบขึ้น โดยในส่วนต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงการทำงานของระบบในแต่ละขั้นตอน

3.2.1 การรับภาพจากกล้อง

ขั้นตอนการรับภาพจากกล้องนี้นับว่าเป็นขั้นตอนแรกของการทำงานของระบบ ในขั้นตอนนี้ถ้าหากเป็นระบบการทำงานแบบกล้องตัวเดียวนั้นก็จะเป็นการรับภาพจากกล้องแบบธรรมดาทั่วไป ไม่มีอะไรซับซ้อมมาก แต่ถ้าหากเป็นการรับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพิ่มขึ้นนั้นก็คือจังหวะเวลาของการจับภาพในแต่ละเฟรม กล้องแต่ละตัวอาจมีความเร็วของจับภาพในแต่ละเฟรมไม่เท่ากัน เบื้องต้นในระบบที่พัฒนาขึ้นเลือกใช้กล้องที่มียี่ห้อและ รุ่นเดียวกันเพื่อให้มีความแตกต่างทางด้านอุปกรณ์น้อย และ ใช้การควบคุมจังหวะการจับภาพโดยใช้ฟังก์ชันของโอเพ่นซีวี(OpenCV) ในการสั่งจับภาพ และ ควบคุมจังหวะในการจับภาพให้มีระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน สำหรับการทำงานแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)โดยเฉพาะอีกด้วย ตัวอย่างการจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)จากกล้องทั้ง 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **3.7** แสดงตัวอย่างการรับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo Cameras)

3.2.2 การเตรียมภาพจากกล้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

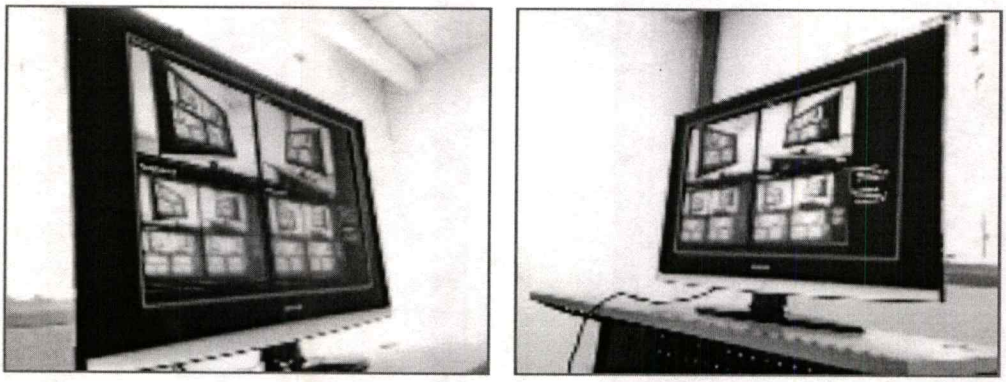
การรับภาพจากกล้องนั้นภาพที่ได้จากกล้องจะยังไม่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพสำหรับระบบได้โดยทั่วไปแล้วภาพที่ได้จากกล้องจะอยู่ในรูปแบบของภาพแบบเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) ซึ่งจะยากในการประมวลผลหาตำแหน่ง ในเบื้องต้นระบบจะทำการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟของภาพหน้าจอที่มักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูให้อยู่ในรูปแบบของภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Perspective correction) ซึ่งจะง่ายต่อการวิเคราะห์

ในการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟของภาพหน้าจอที่มักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูให้อยู่ในรูปแบบของภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Perspective correction) นั้น การทำงานของระบบในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการกำหนดกรอบขอบเขตพื้นที่ของจอภาพจากภาพแบบเปอร์สเปกทีฟ(Perspective) ที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และ ขั้นตอนการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟของภาพหน้าจอให้อยู่ในรูปแบบของภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Perspective correction)

- **ขั้นตอนการกำหนดกรอบขอบเขตของจอภาพจากภาพเปอร์สเปกทีฟ(Perspective)**

ขั้นตอนนี้จะต้องทำในส่วนของกำหนดขอบเขตเริ่มต้นระบบก่อน ระบบจึงจะสามารถทำงานได้ ขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานจะต้องกำหนดขอบเขตของจอภาพที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อทำระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยการกำหนดจุด 4 จุดซึ่งเป็นตำแหน่งมุมของบริเวรกรอบขอบเขตของจอภาพ หลังจากผู้ใช้ได้ทำการกำหนดขอบเขตของจอภาพแล้วค่านี้จะถูกเก็บไว้เพื่อใช้ในการประมวลผลภาพในแต่ละเฟรมต่อๆไปในการทำงานของระบบจอสัมผัสแบบเสมือน ทั้งนี้หากมีการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือ มุมของภาพจากกล้อง ผู้ใช้งานจะต้องทำขั้นตอนนี้ใหม่อีกรอบเพื่อให้ได้ขอบเขตของจอภาพที่จะใช้ในการประมวลผลใหม่อีกครั้งให้ถูกต้องด้วย ภาพที่ทำการกำหนดกรอบขอบเขตของจอภาพเสมือนแล้วจะเป็นดังรูปตัวอย่างที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงกรอบขอบเขตของจอภาพจากที่จะทำการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟ(Perspective)

- **ขั้นตอนการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟ(Perspective Correction)** ขั้นตอนนี้เมื่อระบบได้ทำการกำหนดกรอบขอบเขตของจอภาพเสมือนแล้วเราก็จะนำค่าที่ได้นี้ไปทำทรานสฟอร์เมชันเมตริก (Transformation Matrix) แล้วค่าเมตริกที่ทำขึ้นนี้ก็ถูกนำไปใช้ในการแปลงภาพแบบเปอร์สเปกทีฟของหน้าจอภาพ (Perspective Correction) ในทุกเฟรมของภาพต่อไป ในการคำนวณการแปลงภาพแบบเปอร์สเปกทีฟของหน้าจอภาพ (Perspective Correction) นั้นจะใช้สมการทำทรานสฟอร์เมชันเมตริก (Transformation Matrix)ทั่วไปดังสมการที่ 3.1

$$X = Hx \qquad (3.1)$$

โดยจากสมการนี้ค่า X คือค่าของตำแหน่งของภาพที่ทำการแปลงเปอร์สเปกทีฟของจอภาพให้ถูกต้อง (Perspective Correction) แล้ว ค่า x คือค่าของตำแหน่งของภาพก่อนทำการแปลงเปอร์สเปกทีฟของหน้าจอภาพ (Perspective Correction) ส่วนค่า H คือค่าของทรานสฟอร์เมชันเมตริก (Transformation Matrix)ที่จะใช้ในการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟของจอภาพให้ถูกต้อง(Perspective Correction) โดยจากสมการที่ 3.1 นี้จะเขียนใหม่โดยลงรายละเอียดจะเป็นดังสมการที่ 3.2

$$\begin{bmatrix} XW \\ YW \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (3.2)$$

ซึ่งจากสมการที่ 3.2 นี้ ค่าของ W คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W = gx + hy + 1 \qquad (3.3)$$

เมื่อนำ W ไปหารทั้ง 2 ข้างของสมการที่ 3.2 แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}} \qquad (3.4)$$

$$\begin{aligned} X &= ax + by + c - 0d + 0e + 0f - Xxg - Xyh \\ Y &= 0a + 0b + 0c + xd + ye + f - Yxg - Yyh \end{aligned} \qquad (3.5)$$

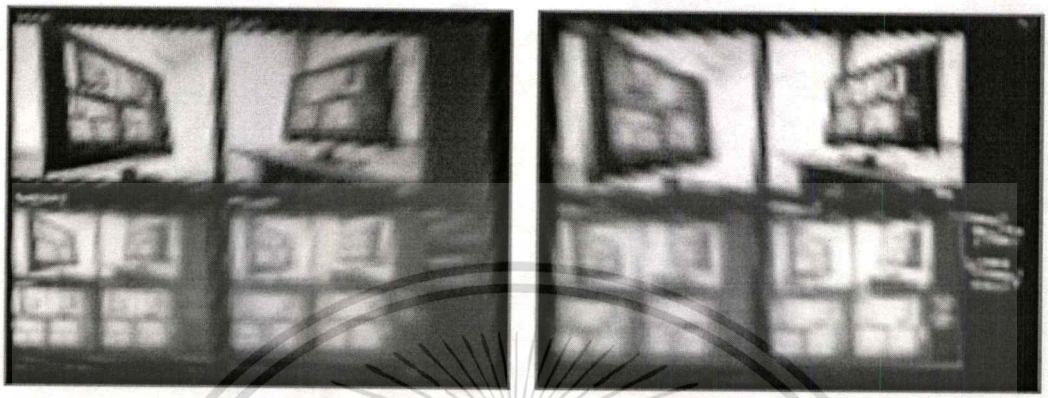
จากสมการที่ 3.5 เมื่อแทนค่าในสมการนี้ก็จะสามารถทำการแปลงเปอร์สเปกทีฟของจอภาพให้ถูกต้อง(Perspective Correction)ได้ แต่ก่อนจำทำขั้นตอนนี้ได้นั้นขั้นแรกจะต้องทำการหาค่าทรานสฟอร์เมชันเมตริก (Transformation Matrix) ให้ได้ก่อน ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถหาได้โดยการแทนค่าตำแหน่งที่เป็นคู่กันของภาพทั้งก่อนและหลังการแปลงเปอร์สเปกทีฟ (Perspective Correction)ที่อ้างอิงถึงตำแหน่งเดียวกันบนแต่ละภาพอย่างน้อย 4 คู่เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า a,b,c,…h ทั้งหมด 8 ค่าดังสมการที่ 3.6 ในที่นี้เพื่อให้ง่ายในการใช้อ้างอิงในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จึงใช้เป็นจุดมุมทั้ง 4 ของภาพเป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณค่าทรานสฟอร์เมชันเมตริก (Transformation Matrix)

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -X_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -Y_1x_1 & -Y_1y_1 \\ x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_2x_2 & -X_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -Y_2x_2 & -Y_2y_2 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -X_ny_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -Y_nx_n & -Y_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ . \\ . \\ . \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \qquad (3.6)$$

ภาพที่ทำการแปลงเปอร์สเปกทีฟ (Perspective)แล้วนั้นจะมีลักษณะดังภาพตัวอย่างที่ 3.9 ซึ่งภาพของหน้าจอเสมือนที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีลักษณะเป็นภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ได้นี้จะสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งต่างๆของภาพได้ง่ายยิ่งขึ้น ทั้งนี้การแปลงเปอร์สเปกทีฟ(Perspective)จะมีความถูกต้องมากน้อยแค่ไหนนั้นการกำหนดขอบเขตกรอบของจอภาพในขั้นตอนก่อนหน้านี้นับว่ามีผลเป็นอย่างมาก



รูปที่ 3.9 แสดงการแปลงภาพเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) จากรูปตัวอย่างที่ 3.8

ในการทำการประมวลผลของภาพในขั้นตอนนี้ระบบจะใช้การประมวลที่สูงมากจนอาจทำให้เกิดปัญหาการทำงานของระบบเกิดการหน่วงเกิดขึ้นได้ทั้งนี้การแก้ไขการทำงานของระบบในขั้นตอนนี้อาจแก้ไขเพื่อเพิ่มความเร็วให้กับระบบได้โดยการลดขนาดภาพลง แต่ทั้งนี้การลดขนาดของภาพก็จะทำให้ความละเอียดของภาพที่ใช้ลดลงด้วย ซึ่งนั่นหมายความว่าความละเอียดในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดสัมผัสก็ลดลงด้วย แต่ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบความสำคัญแล้วระบบที่สามารถตรวจจับความละเอียดได้น้อยลงยังสามารถใช้งานได้มากกว่าระบบที่ทำงานหน่วงจนไม่สามารถทำอะไรได้ ดังนั้นในการพัฒนาระบบต้นแบบตัวนี้จะลดความละเอียดของภาพที่ได้จากกล้องจาก 640 * 480 จุดเป็นความละเอียด 160 * 120 จุด เพื่อการประมวลผลที่รวดเร็วของระบบ

3.2.3 การวิเคราะห์แยกส่วนของมือจากภาพ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์แยกส่วนของมือจากภาพนั้น ระบบที่พัฒนาขึ้นจะใช้หลักการการตรวจจับสีผิวแบบวงรี ร่วมกับการทำการหาองค์ประกอบที่ต่อเนื่องกัน (Connected components)

ในการทำงานของระบบนั้นในส่วนเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมระบบจำเป็นต้องทำการรู้จำสีผิวก่อน ซึ่งการที่ระบบจะรู้จำสีผิวได้นั้นผู้ใช้งานระบบจะต้องทำการกำหนดตำแหน่งของสีผิวให้ระบบทำการจดจำ เมื่อระบบทำการจดจำสีผิวได้แล้วจากนั้นในการทำงานของระบบในแต่ละเฟรมต่อๆไป ระบบก็จะสามารถทำการตรวจจับ และ แยกแยะส่วนที่เป็นสีผิวออกจากภาพได้ซึ่งทั้งนี้การตรวจจับตำแหน่งของมือนั้น ระบบจะถือว่าอะไรก็ตามที่เข้ามาในหน้าจอจะถือว่าเป็นมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดเพราะในลักษณะการใช้งานจอสัมผัสทั่วๆไปนั้น การใช้งานโดยปกติของคนกับระบบจอสัมผัสนั้นจะใช้การสั่งงานโดยใช้มือสัมผัสไม่ใช่ใช้เท้า เข่า หรือ ศีรษะ

ในการตรวจจับสีผิวแบบวงรีนั้นในเบื้องต้นระบบจะตัดสีผิวได้มากน้อยเพียงใดนั้นอยู่ที่การควบคุมรัศมีของวงรี ซึ่งยังนับว่ามีปัญหาอยู่บ้าง ถ้ารัศมีของวงรีมากเกินไประบบก็จะตัดเอาส่วนสีอื่นๆที่ไม่ใช่สีผิวเข้ามาด้วย ในขณะเดียวกันถ้าหากระบบกำหนดรัศมีของวงรีสั้นแล้วการตรวจจับเจอตำแหน่งที่เป็นสีผิวแล้วบอกว่าไม่ใช่สีผิวก็จะมากขึ้น ซึ่งทั้ง 2 แบบนี้ต่างก็ทำให้การตัดสีผิวไม่ได้ผลดีในระดับที่น่าพอใจมากนัก

ในเบื้องต้นจากการทดลองพบว่าการประยุกต์ใช้งานวิธีการตรวจจับสีผิวโดยใช้กราฟวงรีนั้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยใช้หลักการการตรวจจับสีผิวแบบวงรี ร่วมกับการทำการหาองค์ประกอบที่ต่อเนื่องกัน (Connected components) โดยวิธีการทำงานวิธีนี้ระบบจะทำการตรวจจับสีผิวโดยใช้รัศมีของวงรีในช่วงที่สั้นเพื่อที่ให้แน่ใจได้ว่าทุกสีที่ทำการวิเคราะว่าเป็นสีผิวแล้วนั้นจะมีความถูกต้องสูง คือไม่มีสีที่บอกว่าเป็นสีผิวแล้วกลับผิดไม่ใช่สีผิว เมื่อเราหาตำแหน่งที่เป็นสีผิวที่มีความถูกต้องสูงได้แล้วนั้นก็ใช้การทำการหาองค์ประกอบที่ต่อเนื่องกัน(Connected components)ที่กำหนดค่าขอบเขต (Threshold)ที่ค่อนข้างต่ำเพื่อทำการหาตำแหน่งของภาพที่เป็นส่วนของสีผิวได้จนครบ รูปตัวอย่างการแยกสีผิวออกจากภาพดังตัวอย่างรูปที่ 3.10

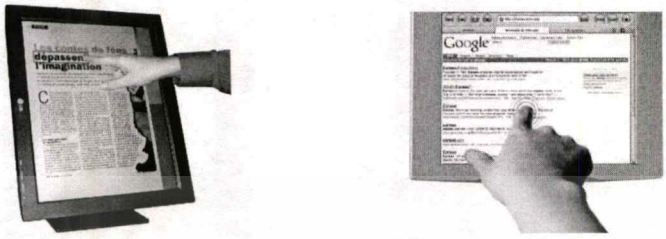
รูปที่ 3.10 แสดงการหาตำแหน่งของภาพที่เป็นส่วนของสีผิว

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ภาพของมือโดยการตรวจจับจากสีผิวนั้นมีข้อจำกัดในการใช้งาน ถ้าหากภาพที่ใช้ในการแสดงบนหน้าจอมีสีใกล้เคียงกับสีผิวมากๆ การใช้การวิเคราะห์โครงร่างของภาพก็จะทำได้ค่อนข้างยาก เพราะเนื่องจากภาพที่ตรวจจับมีสีใกล้กันมากๆ การวิเคราะห์หาเส้นขอบโครงร่างก็จะทำได้ไม่ค่อยดีนัก โครงร่างที่ได้ไม่ค่อยเป็นรูปเป็นร่างที่ชัดเจนจึงทำให้การวิเคราะห์โครงร่างทำได้ยาก ซึ่งในเบื้องต้นปัญหาที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ยังถือเป็นข้อจำกัดของระบบอยู่พอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

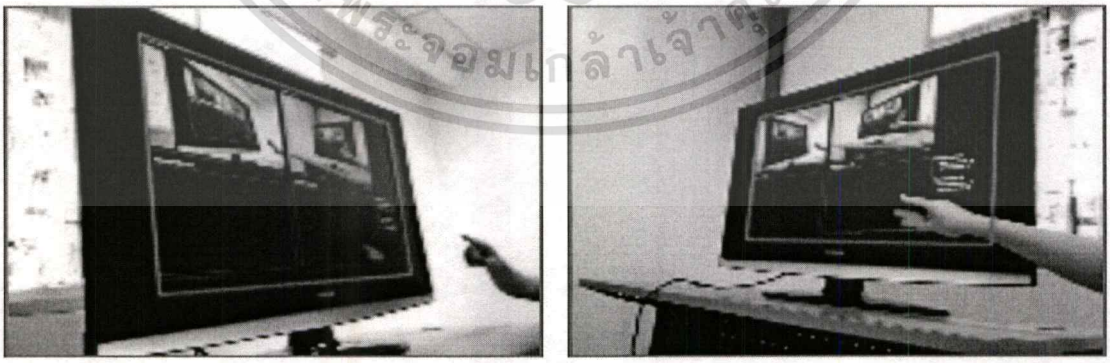
3.2.4 การวิเคราะห์หาความลึกของมือที่ระนาบหน้าจอ

ในการหาความลึกของภาพนั้น เป้าหมายหลักของระบบคือการหาว่าตำแหน่งของมือที่อยู่ในภาพนั้นมีการสัมผัสกับหน้าจอจริงหรือไม่



รูปที่ 3.11 ภาพที่ได้จากกล้องตัวเดียว

จากรูปที่ 3.11 เป็นรูปภาพตัวอย่างที่ได้จากการรับภาพจากกล้องตัวเดียว จากรูปจะเห็นได้ว่าจะไม่สามารถบอกอยากชัดเจนได้เลยว่ามือที่เห็นในภาพนั้นลอยอยู่หรือมีการสัมผัสกับหน้าจอกันแน่ ซึ่งการที่ไม่สามารถรู้ได้นี้ถ้าหากระบบนำภาพที่เป็นมือลอยไปประมวลผลการหาตำแหน่งของจุดสัมผัสที่ได้ออกมาก็จะผิดพลาด กลายเป็นการบอกว่ามีการเอามือสัมผัสที่หน้าจอแล้วทั้งที่อาจจะพึ่งเอามือเคลื่อนไหวเข้ามาในหน้าจอเท่านั้น แต่สำหรับระบบจอสัมผัสแบบเสมือนแบบใช้การตรวจภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Cameras)ที่พัฒนาขึ้นนั้นปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้นเพราะการที่จะวิเคราะห์ว่ามือของผู้ใช้สัมผัสหน้าจอหรือไม่นั้นจะใช้การประมวลผลจากกล้องทั้ง 2 ตัว ภาพที่ได้จากกล้องจะเป็นดังรูปตัวอย่างที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพที่ใช้ในการตรวจการสัมผัสหน้าจอเสมือนของกล้องสเตอริโอ (Stereo Cameras)

จากตัวอย่างรูปที่ 3.12 นั้นเมื่อพิจารณาภาพจากกล้องทางด้านขวามือจะเห็นว่าลักษณะจะคล้ายเคียงกับรูปตัวอย่างที่ 3.11 ซึ่งไม่สามารถบอกได้เลยว่าตำแหน่งของมือบนจอภาพนั้นเป็นเพียง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

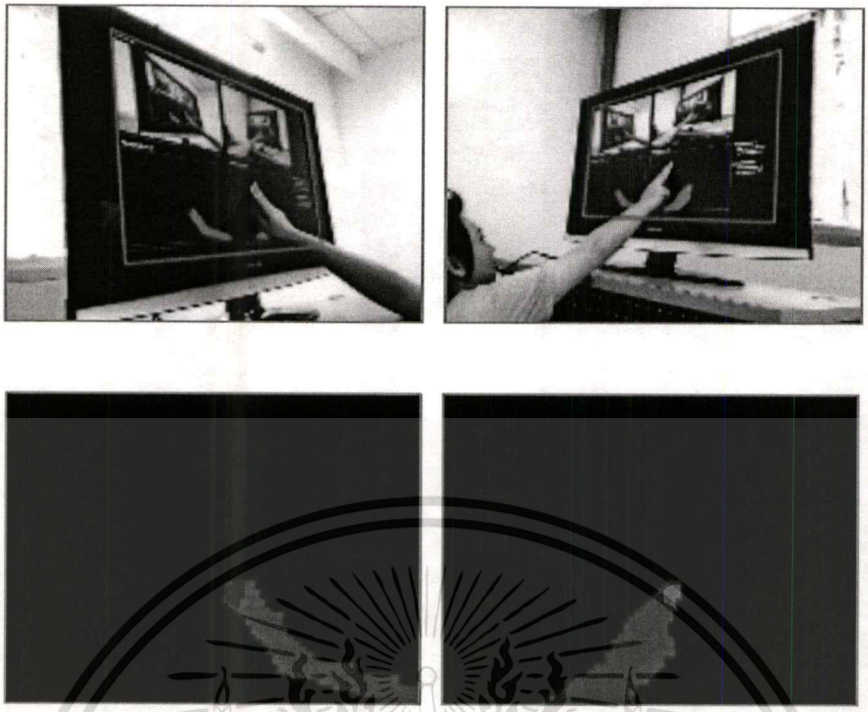
มือลอยๆ หรือเป็นภาพของมือที่ทำการสัมผัสหน้าจอแล้วกันแน่ แต่ว่าถ้าหากพิจารณาจากรูปตัวอย่างที่ 3.12 ภาพทางซ้ายมือจะเห็นได้อย่างชัดเจนเลยว่ามือของผู้ใช้นั้นลอยอยู่และไม่มีการสัมผัสหน้าจอแต่อย่างใด

การวิเคราะห์หาความลึกของภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo cameras)นั้นมีวิธีการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อน และ เวลาในการประมวลผลค่อนข้างมาก เนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีความมุ่งหวังที่จะให้ระบบสามารถทำงานโต้ตอบได้อย่างทันทีทันใด (real time) บวกกับกระบวนการประมวลผลของขั้นตอนก่อนหน้านี้ก็มีผลกระทบกับความเร็วของระบบโดยรวมค่อนข้างมากอยู่แล้ว ถ้าหากเรานำระบบการประมวลผลเพื่อหาความลึกของระบบกล้องสเตอริโอ (Stereo cameras) เต็มรูปแบบมาใช้ด้วยแล้วย่อมจะทำให้เกิดปัญหาต่อความเร็วในการประมวลผลอย่างแน่นอน

การวิเคราะห์หาความลึกของภาพในที่นี้เราจะไม่ได้ต้องการหาออกมาเป็นตัวเลขโดยเฉพาะเจาะจงเลยว่าภาพมีความลึกมากน้อยแค่ไหน แต่ที่ระบบต้องการเพียงแต่ต้องการรับรู้เพียงว่าความลึกของตำแหน่งของมือนั้นลึกถึงตำแหน่งที่เป็นจุดสัมผัสกับหน้าจอหรือไม่ ซึ่งถ้าหากความต้องการของระบบเป็นเช่นนี้การตรวจหาตำแหน่งความลึกของมือก็เป็นเพียงแค่หาว่าตำแหน่งความลึกของมือนั้นเป็นระดับเดียวกันกับตำแหน่งความลึกของหน้าจอสัมผัสแบบเสมือนหรือไม่ นั่นก็หมายความว่าการวิเคราะห์หาความลึกภาพของระบบที่จะทำขึ้นนั้นแทนที่เราจะมุ่งเน้นที่การหาความลึกที่ระยะต่างๆ แต่เราจะสนใจเพียงแค่ระดับความลึกที่ระนาบของหน้าจอเพียงอย่างเดียวแทน

เมื่อความต้องการของระบบเป็นเช่นนี้ การวิเคราะห์หาความลึกของภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo cameras) โดยใช้วิธีการคำนวณที่ค่อนซับซ้อน และ ใช้เวลาในการประมวลผลมากนั้นอาจจะไม่จำเป็นอีกต่อไป ด้วยความได้เปรียบของการใช้ระบบกล้องสเตอริโอแบบตั้งระยะกล้องห่างกันมากๆ (Wide-Baseline Stereo cameras) นั้น เมื่อเรานำภาพที่ได้จากกล้องที่สนใจในระนาบระนาบเดียวมาพิจารณาจะเห็นว่าภาพที่ได้หากเป็นวัตถุใดๆที่อยู่ไกลจากระนาบนี้จะเห็นได้อย่างชัดเจนเลยว่าตำแหน่งของวัตถุจากกล้องทั้ง 2 ตัวจะมีระยะแตกต่างกันมาก แต่ในทางกลับกันถ้าหากวัตถุใดๆที่อยู่ใกล้ระนาบนี้จะเห็นได้อย่างชัดเจนเลยว่าตำแหน่งของวัตถุจากกล้องทั้ง 2 ตัวจะมีระยะใกล้เคียงกันจนเกิดการซ้อนทับกันเกิดขึ้น ซึ่งก็เป็นไปตามหลักการของดิสพารีตี (disparity)ของกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo cameras)นั่นเอง จากหลักการนี้การตรวจจับว่าตำแหน่งความลึกของมือเป็นระดับเดียวกันกับตำแหน่งความลึกของหน้าจอสัมผัสแบบเสมือนหรือไม่นั้นจะสามารถทำได้โดยใช้เพียงแค่การตรวจจับการซ้อนทับ(Intersection) ของภาพโครงร่างมือที่ทำการแยกออกมาจากขั้นตอนก่อนหน้านี้เท่านั้น โดยภาพของโครงร่างมือที่มีการซ้อนทับ(Intersection)กันเกิดขึ้นนั้นจะเป็นส่วนของตำแหน่งของมือที่มีการสัมผัสกับหน้าจอนั่นเอง ตัวอย่างรูปที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเป็นดังตัวอย่างรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



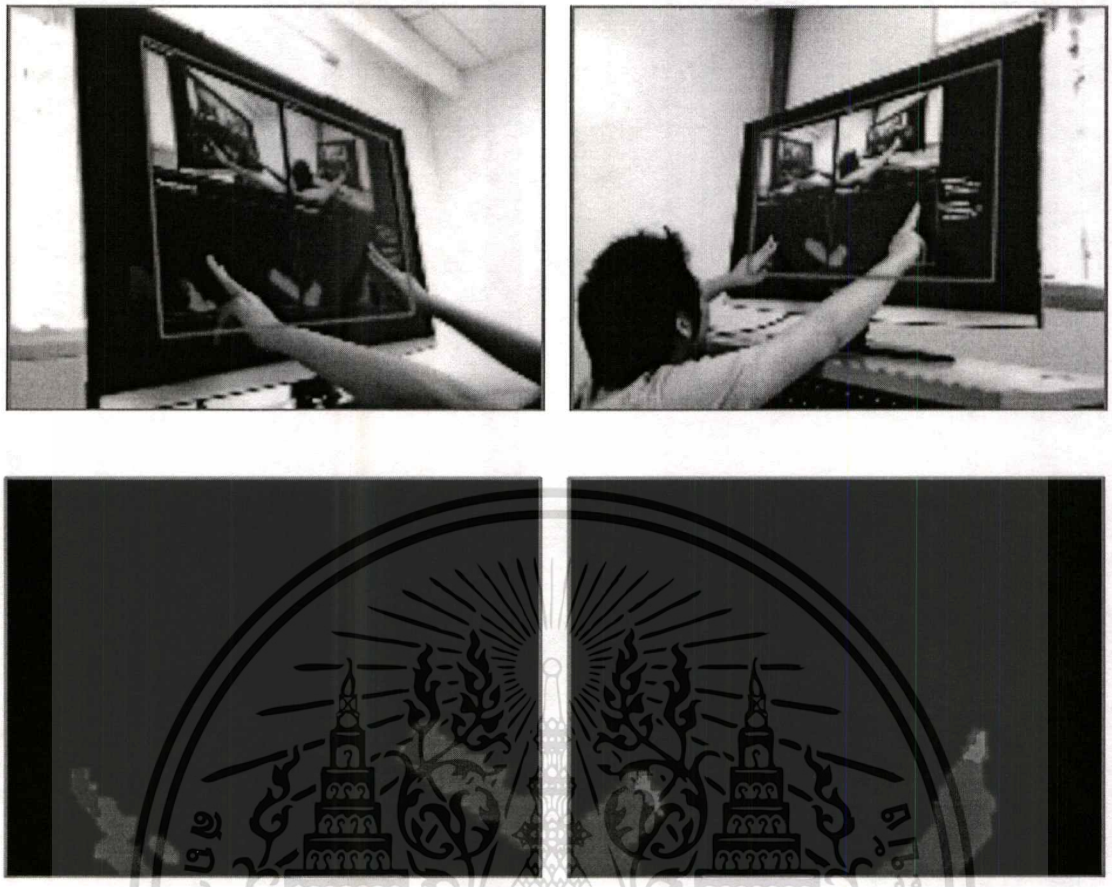
รูปที่ 3.13 การตรวจจับการสัมผัสหน้าจอโดยการตรวจการซ้อนทับของภาพโครงร่างมือ

จากรูปตัวอย่างที่ 3.13 ภาพด้านล่างซึ่งเป็นภาพที่ทำการแปลงเปอร์เสปกทีฟ(Perspective Correction)มาแล้วนั้นจะเห็นว่าบริเวณภาพที่เป็นสีน้ำเงินนั้นจะเป็นส่วนของมือที่ระบบทำการตรวจจับได้ และส่วนที่เป็นบริเวณสีแดงจะเป็นส่วนของพื้นที่ที่ตรวจสอบพบการซ้อนทับ (Intersection) กันเกิดขึ้น ซึ่งนั่นก็คือตำแหน่งของหน้าจอที่ผู้ใช้สัมผัสนั่นเอง

วิธีการคำนวณความลึกที่ใช้ในระบบนี้จะไม่ใช่การใช้หลักการของกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo cameras)ทั้งหมด แต่จะเป็นลักษณะของการเทียบเคียงเอาคุณสมบัติของกล้องแบบสเตอริโอ(Stereo cameras)บางส่วนมาใช้ ซึ่งวิธีการนี้จะมีข้อดีตรงที่ง่าย แต่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้กับสภาพแวดล้อมที่วางไว้ และที่สำคัญวิธีการนี้จะสามารถลดเวลาในประมวลผลของระบบได้ค่อนข้างดีอีกด้วย

จากการใช้งานระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องนั้น นอกจากการทำงานของระบบในการตรวจจับจุดสัมผัสแบบที่ละจุดเหมือนระบบจอสัมผัสทั่วไปแล้วนั้น ระบบจะยังรองรับการตรวจจับการสัมผัสหน้าจอแบบหลายจุด(Multi-touch)ได้ด้วย แต่ทั้งนี้การใช้งานระบบจะต้องมีเงื่อนไขว่าการสัมผัสหน้าจอนั้นจะต้องไม่บดบังกันเอง การตรวจจับการสัมผัสหน้าจอแบบหลายจุด(Multi-touch) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

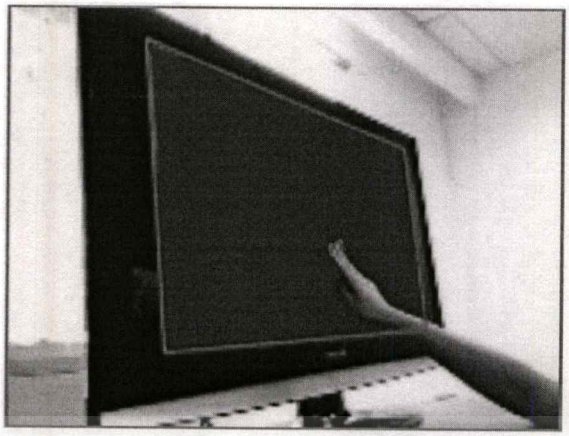


รูปที่ 3.14 การตรวจจับการสัมผัสหน้าจอแบบหลายจุด (Multi-touch)

3.2.5 การวิเคราะห์หาตำแหน่งจุดสัมผัสของจอภาพ

จากขั้นตอนที่ผ่านมานั้นจะเห็นว่าเราจะได้ตำแหน่งที่เป็นจุดสัมผัสของมือกับจอภาพในส่วนของภาพที่ใช้ประมวลผลแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งเหล่านี้กับตำแหน่งของหน้าจอสัมผัสเสมือน ซึ่งภาพที่เราใช้ในการประมวลผลนั้นเราจะทำการแปลงภาพแบบเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) ของหน้าจอภาพให้อยู่ในรูปแบบของภาพแบบออโทกอนอล (Orthogonal) เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนการแปลงตำแหน่งจากจุดสัมผัสที่ได้จากภาพที่ใช้ในการประมวลผลเป็นตำแหน่งของจอสัมผัสจริงก็ทำเพียงแค่ การเปรียบเทียบอัตราส่วนของภาพเท่านั้นเอง ตัวอย่างการแปลงตำแหน่งจากจุดสัมผัสที่ได้จากการประมวลผลเป็นตำแหน่งของจอสัมผัสจริงจะแสดงดังรูปที่ 3.15 โดยตำแหน่งจุดสีแดงที่ปลายนิ้วเป็นตำแหน่งที่บอกว่าที่หน้าจอบริเวณนั้นมีการสัมผัสหน้าจอเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การแปลงตำแหน่งจุดสัมผัสจากการประมวลผลเป็นตำแหน่งของจอสัมผัสจริง

การแปลงตำแหน่งจุดสัมผัสจากการประมวลผลภาพเป็นตำแหน่งของจอสัมผัสจริงจะแม่นยำมากแค่ไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพที่ใช้ประมวลผลจากตัวอย่างเบื้องต้น ภาพที่ใช้ประมวลผลมีขนาด 160*120 จุด แต่ภาพที่ใช้ในการแสดงผลจริงมีขนาด 1024*768 จุด ดังนั้นความคลาดเคลื่อนของภาพที่อาจเกิดขึ้นได้อยู่ที่ 0 – 7 จุด

3.3 การใช้งานโปรแกรม

3.3.1 หน้าจอโปรแกรม และ การใช้งานเบื้องต้น

รูปที่ 3.16 หน้าจอโปรแกรมเมื่อเริ่มต้นเปิดใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการใช้งานระบบจอสัมผัสนั้นเราจะต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการทำงานก่อน โดยค่าหลักของระบบจะมีอยู่ 2 ส่วน นั่นก็คือ ค่าตำแหน่งของหน้าจอแสดงผลภาพที่จะประมวลผล และ ค่าเกี่ยวกับการตรวจจับสีผิว โดยในการใช้งานโปรแกรมนั้นหน้าจอเริ่มต้นจะแสดงดังรูปที่ 3.16 เมื่อเปิดโปรแกรมมาเรียบร้อยแล้วในการทำงานเริ่มต้นผู้ใช้จะต้องกำหนดจุดขอบเขตของหน้าจอแสดงผลภาพจากภาพอินพุทที่ได้จากกล้องทั้ง 2 ตัวก่อน โดยกำหนดจุดขอบเขตของหน้าจอแสดงผลภาพนั้นทำได้โดยการกดปุ่มเมาส์ซ้ายบนจอภาพเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) 1 และ 2 (ซ้ายล่าง และ ขวาล่าง) เพื่อกำหนดจุด P1 - P4 ในแต่ละจอภาพ ทั้งนี้จุด P1 ในภาพจากกล้องตัวที่ 1 จะต้องเป็นจุดเดียวกันกับจุด P1 ในภาพจากกล้องตัวที่ 2 ด้วย P2,P3 และ P4 ก็ต้องเป็นไปตามหลักการเช่นเดียวกัน เมื่อกำหนดจุดครบทั้ง 4 จุดแล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังตัวอย่างในรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 หน้าจอแสดงการกำหนดจุดขอบเขตพื้นที่จอภาพประมวลผล

หลังจากที่เราได้ทำการกำหนดจุดขอบเขตของจอภาพครบทั้ง 4 จุดแล้ว เราก็จะสามารถแปลงภาพของจอแสดงผลในรูปแบบของภาพแบบเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) เป็นภาพแบบออโทกอนอล(Orthogonol)ได้ โดยในขั้นตอนนี้ภาพที่ทำการแปลงเปอร์สเปกทีฟ(Perspective) แล้วจะถูกแสดงบนจอภาพเปอร์สเปกทีฟ(Perspective) 1 และ 2 (ซ้ายล่าง และ ขวาล่าง) ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 หน้าจอแสดง การแปลงเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) ภาพ

ขั้นตอนต่อไปของการทำงาน คือการรู้จำสีผิว การที่โปรแกรมจะตรวจจับสีผิวได้นั้น ขั้นตอนแรกจะต้องทำการจดจำสีผิวให้ได้ก่อน การจดจำสีผิวนั้นทำได้โดยใช้กดปุ่มเมาส์ซ้ายแล้วลากกรอบพื้นที่ให้ครอบบริเวณที่เป็นสีผิวตัวอย่างบนหน้าจอเปอร์สเปกทีฟ(Perspective) 1 และ 2 (ซ้ายล่าง และ ขวาล่าง) เพื่อทำการเก็บตัวอย่างของสีผิวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในตัวอย่าง รูปที่ 3.19

รูปที่ 3.19 หน้าจอแสดงการเก็บตัวอย่างสีผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเก็บค่าตัวอย่างสีผิวเรียบร้อยแล้วโปรแกรมก็จะเริ่มทำงานในส่วนของการตรวจจับสีผิวได้ ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3.20 เมื่อโปแกรมทำการตรวจจับสีผิวแล้ว ค่าของการตัดสีผิวจะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ ค่าขอบเขตการตัดสีผิว (Skin Threshold) และค่าขอบเขตองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน(Connected Components Threshold) ค่าขอบเขตการตัดสีผิว (Skin Threshold) เป็นการปรับค่าพื้นที่ของสมการวงรีที่ใช้ในการตัดสีผิวคิดเป็นร้อยละ โดยเริ่มต้นค่านี้จะตั้งอยู่ที่ร้อยละ 70 ของขอบเขตพื้นที่สมการวงรีที่ใช้ในการตัดสีผิว สามารถปรับค่าเพิ่ม หรือ ลดให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมแสงได้โดยกดปุ่มลูกศรขึ้นเพื่อเพิ่มค่าขอบเขตการตัดสีผิว(Skin Threshold) และ ลูกศรลงเพื่อลดค่าขอบเขตการตัดสีผิว(Skin Threshold) ส่วนค่าขอบเขตองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน(Connected Components Threshold) คือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดความแตกต่างของค่าสีว่าค่าสีในจุดข้างเคียงต้องมีค่าไม่เกินค่านี้จึงจะจัดเป็นองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน(Connected Components) เริ่มต้นค่านี้จะตั้งอยู่ที่ 50 สามารถปรับค่าเพิ่ม หรือ ลดได้โดยกดปุ่มลูกศรขวาเพื่อเพิ่มค่าขอบเขตองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน(Connected Components Threshold) และลูกศรซ้ายเพื่อลดค่าขอบเขตองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน(Connected Components Threshold)

รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงการตรวจจับสีผิว

เมื่อปรับค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้วโปรแกรมจอสัมผัสเสมือนโดยใช้การจับภาพกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Cameras)ก็พร้อมทำงาน ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3.21 โดยตำแหน่งจุดสีแดงบนจอภาพจะแสดงตำแหน่งหน้าจอที่มีการสัมผัส

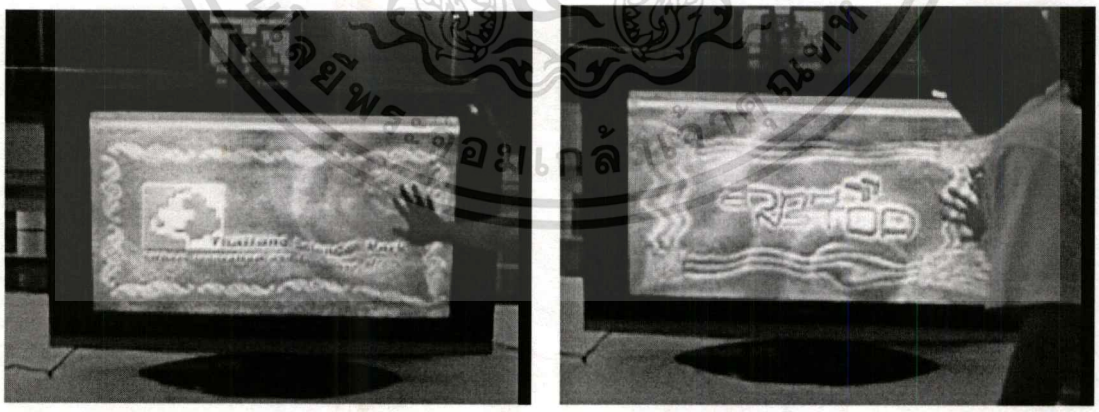
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 หน้าจอแสดงการทำงานของจอสัมผัส

3.1.2 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมประยุกต์

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะกล่าวถึงการใช้งานเบื้องต้นของระบบจอสัมผัสที่พัฒนาขึ้น แต่จะไม่ได้กล่าวถึงในส่วนของการนำมาใช้งานอะไรได้บ้าง ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการทดลองการนำมาใช้งานกับโปรแกรมประยุกต์ต่างๆที่พัฒนาต้นแบบขึ้น

- **ตัวอย่างโปรแกรมป้ายโฆษณาแบบโต้ตอบ (Interactive Billboard)**



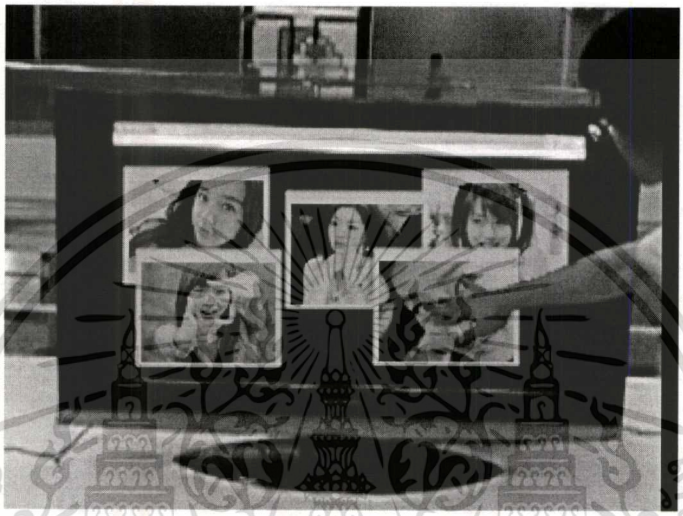
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างโปรแกรมป้ายโฆษณาแบบโต้ตอบ (Interactive Billboard)

ปัจจุบันจะเห็นว่าป้ายโฆษณาที่ใช้กันทั่วไปตามโรงภาพยนตร์ได้เริ่มเปลี่ยนมาใช้จอแอลซีดี (LCD)แทนกันมากขึ้น เพราะภาพที่คมชัดและสวยงามกว่า แต่ขณะนี้แนวทางของงานโฆษณาที่สามารถโต้ตอบได้กำลังจะเข้ามาแทนที่ระบบจอแอลซีดี (LCD)ที่ไม่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นหนึ่ง โปรแกรมตัวนี้จะแสดงการจำลองจอแอลซีดี (LCD)ธรรมดาให้สามารถโต้ตอบกับผู้คนได้ โดยลักษณะการทำงานของโปรแกรมจะทำงานโดยใช้ระบบจอสัมผัสเสมือนโดยใช้ภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ (Stereo Cameras)เพื่อทำการตรวจสอบการสัมผัสหน้าจอแบบหลายจุด (Multi-touch) แล้วแสดงการโต้ตอบเป็นคลื่นน้ำออกมา แสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.22

- **ตัวอย่างโปรแกรมดูรูปภาพด้วยระบบจอสัมผัสแบบหลายจุด (Multi-touch)**



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างโปรแกรมดูรูปภาพด้วยระบบจอสัมผัสแบบหลายจุด (Multi-touch)

โปรแกรมตัวนี้จะเป็นการจำลองการดูภาพที่เสมือนวางอยู่บนโต๊ะ โดยผู้ใช้สามารถใช้มือทั้ง 2 ข้างในการเลื่อนภาพ จัดภาพ และ ขยายภาพเพื่อดูแต่ละภาพตามที่ต้องการได้ การทำงานของระบบในรูปแบบนี้ จะทำให้ผู้ใช้รู้สึกง่ายมากกว่าเพราะเสมือนว่าใช้มือหยิบดูภาพจริงๆ โปรแกรมแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.23

จากตัวอย่างการใช้งานเบื้องต้นที่ยกตัวอย่างมา จะเห็นว่าการใช้งานระบบสัมผัสแบบหลายจุด (Multi-touch)นั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างหลากหลาย นอกจากระบบที่ยกตัวอย่างมาแล้วนั้นยังอาจนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นได้อีกโดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ใช้เกี่ยวกับการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการพัฒนาโครงการ

ในการพัฒนาโครงการระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอ ผลที่ได้นับว่าเป็นที่น่าพอใจ เพราะระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำมากกว่าระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้กล้องแบบตัวเดียว เมื่อใช้ความละเอียดของภาพในการประมวลผลเท่ากัน และนอกจากนี้ระบบยังสามารถใช้การทำงานแบบตรวจสอบจุดสัมผัสหลายจุดพร้อมกัน (Multi touch)ได้ ซึ่งตรงตามขอบเขตของการพัฒนาที่ได้วางไว้

อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีปัญหาอีกหลายจุดในการที่จะนำระบบไปใช้งานจริงได้ ปัญหาข้อแรกคือปัญหาเรื่องการประมวลผล จากการทดลองจะเห็นว่าการประมวลผลภาพของระบบนั้นจะใช้ทรัพยากรการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สูงมาก จนในการประมวลผลต้องใช้ขนาดภาพในการประมวลผลที่ขนาด 160*120 จุดเพื่อเพิ่มความเร็วในการประมวลผลให้กับระบบ แต่ผลที่ตามมาตรงส่วนนี้คือทำให้ความแม่นยำของการวิเคราะห์ตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากกว่าระบบที่ใช้ภาพความละเอียดสูงในการประมวลผล นอกจากนี้แล้วสภาพแวดล้อมของแสงที่ใช้ในการจับภาพก็มีผลต่อความแม่นยำในการตรวจจับสีผิวของระบบ แสงสว่างต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมระบบจึงจะสามารถทำงานได้ ไม่สว่าง หรือ มืดจนเกินไป และ สุดท้ายคือปัญหาที่เกิดจากการบดบังกล้องซึ่งถึงแม้ว่าจะพยายามออกแบบการจัดวางระบบเพื่อหลีกเลี่ยงการบดบังภาพจากสิ่งของที่แวดล้อม และ ตำแหน่งของผู้ใช้งานแล้ว แต่ก็ยังมีปัญหาที่เกิดจากการบดบังนิ้วมือ โดยมือ หรือ นิ้วอื่นๆของผู้ใช้เอง จากจุดนี้จึงทำให้การตรวจจับจุดสัมผัสแบบหลายจุดมีปัญหา แทนที่จะจับจุดสัมผัสได้ครบทุกจุด แต่กลับจับได้แค่บางจุดเพราะถูกบดบังภาพ จึงทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นเบื้องต้นนี้ สามารถประยุกต์ใช้งานได้กับจำนวนจุดสัมผัสที่ไม่มากนัก

4.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบจอสัมผัสโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องนั้นถึงแม้จะมีข้อด้อยหลายข้อ แต่ก็มีข้อดีหลายข้อเหมือนกัน เช่น เรื่องความไวต่อการสัมผัสสูง (Touch sensitive) และ ราคาที่ถูกกว่าการทำระบบจอสัมผัสโดยใช้การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า แต่ทั้งนี้การพัฒนาระบบจะต้องแก้ปัญหาหลักๆ 3 เรื่องให้ได้ นั่นก็คือ เรื่องการใช้ทรัพยากรประมวลผลสูง สภาพแสง และ การบดบังกล้อง

การพัฒนาระบบจอสัมผัสแบบเสมือนโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องแบบสเตอริโอนั้นจะมีปัญหาที่เพิ่มเข้ามาจากการประมวลผลภาพจากกล้องตัวเดียว คือ ใช้การประมวลผลที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไป ซึ่งปัญหานี้อาจเป็นปัญหาหลักของระบบนี้ที่อาจจะทำให้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งานทั่วไปตามบ้าน แต่ทั้งนี้ตัวระบบยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับการจัดกิจกรรมต่างๆในงานอีเว้นท์ที่ใช้กับจอภาพขนาดใหญ่ได้

แนวทางในการพัฒนาระบบจอสัมผัสโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องต่อไป การใช้การติดตั้งกล้องด้านหลังจอภาพที่ใช้งานร่วมกับโปรเจ็คเตอร์แบบฉายด้านหลังน่าจะเป็นแนวทางพัฒนาต่อที่น่าสนใจ ทั้งนี้น่าจะสามารถแก้ปัญหา 3 ข้อหลักของระบบจอสัมผัสโดยใช้การตรวจจับภาพจากกล้องที่กล่าวถึงเบื้องต้นได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Intel Corporation. 2006. **OpenCV Library Wiki.** [Online]. Available: http://opencvlibrary.sourceforge.net/.

Jain, R. Kasturi, R. and Schunck, B.G. 1995. **Machine Vision**. : McGraw-Hill.

Microsoft Corporation. 2006. **C++ Language Reference.** [Online]. Available: http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/3bstk3k5.aspx.

Sonka, M. Hlavac, V. and Boyle, R. 1999. **Image Processing, Analysis, and Machine Vision**. 2nd ed. : Brooks/Cole Publishing.

Vezhnevets V., Sazonov V., Andreeva A. "A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques." **Proc. Graphicon-2003**, pp. 85-92, Moscow, Russia, September 2003 September 2003

Wangsiripitak, S. 2005. "Cursor Position Estimation Model for Virtual Touch Screen Using Camera." **World Enformatica Society**. 30-33.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสน หาญวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	23 กรกฎาคม พ.ศ.2524
ที่อยู่	24/105 ซ.นวมินทร์ 70 ถ.นวมินทร์
	แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10240
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	โปรแกรมเมอร์ บริษัท พิคซอฟท์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้