โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพพิกัดจริงบนภาพจากกล้องวีดีโอ

นาย พฤฒิพร ลพเกิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPUTER PROGRAM FOR SUPERIMPOSED SPATIAL IMAGE FROM VIDEO CAMERA

Mr. Prittiporn Lopkerd

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติ เข้ากับภาพพิกัดจริงบนภาพจากกล้องวีดีโอ
โดย	นาย พฤฒิพร ลพเกิด
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กวีไกร ศรีหิรัญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรชัย เลาหชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กวีไกร ศรีหิรัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ปรีชญา สิทธิพันธุ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์สุรพล พฤกษ์ไพบูลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย พฤฒิพร ลพเกิด : โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพพิกัดจริงบนภาพจากกล้องวีดีโอ. (COMPUTER PROGRAM FOR SUPERIMPOSED SPATIAL IMAGE FROM VIDEO CAMERA) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.กวีไกร ศรีหิรัญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ.ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์ 115 หน้า

การสร้างหุ่นจำลอง 3 มิติในรูปแบบการจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในงานออกแบบสถาปัตยกรรม โดยการสร้างรูปจำลองเสมือนจริงนั้นต้องการให้เป็นภาพที่ใกล้เคียงกับภาพจริงมากที่สุด ทั้งส่วนที่เป็นผลงานการออกแบบและส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมของงาน แต่ในส่วนของการจำลองสภาพแวดล้อมนั้นไม่สามารถแสดงคุณสมบัติทางกายภาพได้ครบสมบูรณ์ รวมทั้งมีปัญหาที่ตามมา ได้แก่ การใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์ระดับสูง สิ้นเปลืองพลังงาน และสิ้นเปลืองเวลา

ดังนั้นจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาและหาวิธีการสร้างเครื่องมือในการนำแบบจำลองเสมือนไปผสานกับสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งลดระยะเวลาและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการทำงาน รวมทั้งเป็นสื่อนำเสนอที่ง่ายต่อการรับรู้และเข้าใจเสมือนกับเห็นตัวงานที่ออกแบบมีอยู่จริงในพื้นที่นั้น งานวิจัยนี้มีวิธีดำเนินการคือ ศึกษาแนวคิดแนวคิดและเลือกใช้ทฤษฎีในเรื่องวิสัยทัศน์ทางคอมพิวเตอร์ และทฤษฎีเกี่ยวกับความจริงเสริม เป็นแนวทางหลักในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้นแบบเพื่อทดลองใช้งานได้ โดยใช้แนวคิดและเทคนิคการหาตำแหน่งสำคัญของภาพในกระบวนการทำงานของโปรแกรม โดยขอบเขตมุ่งเน้นไปที่การผสานสภาพแวดล้อมจริงกับแบบจำลองเสมือน 3 มิติให้อยู่ในมุมทัศนมิติเดียวกัน ซึ่งไม่รวมถึงวิธีการสร้างแบบจำลอง ต้องเป็นแบบจำลองที่สร้างเสร็จแล้ว และสภาพแวดล้อมที่จัดฉากไว้แล้ว

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า งานวิจัยนี้สามารถใช้งานได้ผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างมุมมองของภาพจริง กับมุมมองของวัตถุเสมือน ซึ่งหากงานวิจัยนี้ได้รับการพัฒนาต่อไป ลดความคลาดเคลื่อน และแสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหวตามมุมมองของกล้องวีดีโอได้แล้วจะสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนากระบวนการ การออกแบบของสถาปนิกให้มีประสิทธภาพมากขึ้น

ภาควิชา สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2549	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4674151025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: COMPUTER PROGRAM / VIRTUAL REALITY / AUGMENTED REALITY FOR ARCHITECTURE / DIGITAL IMAGE / MERGING REAL AND VIRTUAL WORLD

PRITTIPORN LOPKERD: COMPUTER PROGRAM FOR SUPERIMPOSED SPATIAL IMAGE FROM VIDEO CAMERA. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. KAWEEKRAI SRIHIRAN, THESIS COADVISOR: TIDASIRI BHATRAKARN, 115 pp.

Creation of a 3d Model in Virtual Reality is an important design tool in architecture. It is important, therefore, for the design of the subject to be as accurate as possible in its environment. A design in a Virtual Environment, however, can never be perfect. Time, energy and high quality computer resources can be wasted.

The primary goal of this research was to study and find ways of creating new tools to reduce the error between the Virtual Reality Model and Real Environment which would help reduce design resources and timescales. In addition, the research also attempted to find ways to improve understanding by presenting a design in the actual environment. This research studied the ideas and theories of Computer Vision and Augmented Reality as a guide for creating a prototype computer program to find Camera Calibration. During testing, the computer program focused on the reduction of error between a finished Real Environment and 3d Model in the Virtual Reality design by imposing the same perspective; it did not include a way to create 3d virtual objects.

The research found that the computer program could achieve the goal while still finding some errors in the Real Perspective and Virtual Perspective. Further research, however, could reduce the error of the Real Perspective and Virtual Perspective and may be able to show the output as motion in real time on a video camera. This would be a great benefit to the design process, helping of architects to be more efficient.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Architecture	Student's signature.....
Field of study : Architecture	Advisor's signature.....
Academic year: 2006.	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของคณาจารย์ ดังนี้ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์กวีไกร ศรีหิรัญ สำหรับคำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือที่ดี, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์ แรงสนับสนุนและข้อแนะนำตั้งแต่ต้นทางของงานวิจัย, อาจารย์ ดร.ปรีชญา สิทธิพันธุ์ ที่ให้คำแนะนำที่สำคัญในช่วงโค้งสุดท้ายของงานวิจัย, และอาจารย์กลุ่มสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ในการออกแบบสถาปัตยกรรมทุกท่าน, ร่วมถึง อาจารย์ภิญโญ จินันทุยา ที่กรุณาให้คำปรึกษานอกรอบมาโดยตลอด และขอขอบคุณผู้ที่ให้คำแนะนำหรือช่วยตอบข้อสงสัยในการทำงานจากกระดานถาม-ตอบ OpenCV Group ใน เวปไซต์ Yahoo.com รวมทั้งเวปไซต์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่ให้ตัวอย่างต่างๆ เป็นแนวทางในการทำงาน

ขอบคุณ อภิรมย์ฤดี โล่ห์อำนวยกุล สำหรับความช่วยเหลือและแรงใจที่ดีเสมอมา ขอบคุณความช่วยเหลือเล็กๆ น้อยๆ แต่สำคัญยิ่งจากยุ้งและเหงี่ยน รวมทั้งเพื่อน พี่และน้องๆ ที่ให้คำแนะนำในช่วงเวลาของการทำงานวิจัย

ในท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่พรทิพย์ ลพเกิด ที่คอยห่วงใย ให้กำลังใจและช่วยผลักดัน ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....4

1.6 นิยามศัพท์.....5

บทที่ 2 แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาทฤษฎีระบบการมองเห็นทางกายภาพและกล้องถ่ายภาพ.....8

2.2 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์กราฟิคในเชิงสามมิติและการจำลองแบบเสมือนจริง.....14

2.3 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานทางกระบวนการประมวลภาพดิจิตอ.....24

2.4 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับความเป็นจริงเสริม 29

2.5 การการศึกษาและวิเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....32

บทที่ 3 แนวความคิดและขั้นตอนในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม

3.1 แนวความคิดในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม.....39

3.2 การเลือกเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม.....40

3.3 การวางระบบโครงสร้างการเขียนโปรแกรม.....49

3.4 การวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรเพื่อประกอบการทำงานของโปรแกรม.....52

3.5 การวิเคราะห์และวางระบบการคำนวณภายในโปรแกรม.....53

หน้า

3.6 การพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI, Graphic User Interface)……....55

บทที่ 4 ผลการออกแบบโปรแกรม

4.1 ผังการทำงานของโปรแกรม……..……58

4.2 รายละเอียดองค์ประกอบของโปรแกรม……..…..61

4.3 ขั้นตอนและวิธีการใช้งาน……..……....64

4.4 การทดสอบและประเมินผลหลังการใช้โปรแกรม…..……....74

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย……..……81

5.2 ปัญหาและอุปสรรค……..……82

5.3 แนวทางการพัฒนาโปรแกรมและข้อเสนอแนะ……..……84

รายการอ้างอิง……..…….87

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....……..……90

ภาคผนวก ข.....……..……99

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……..……103

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงจุดเด่นและข้อจำกัดของกรณีศึกษาที่ 1.....	35
ตารางที่ 2.2	แสดงจุดเด่นและข้อจำกัดของกรณีศึกษาที่ 2.....	38
ตารางที่ 4.1	รูปแบบภาพเสมือน 3 มิติ ที่ใช้ในโปรแกรม.....	66
ตารางที่ 4.2	ตัวอย่างภาพถ่ายที่นำมาใช้ในโปรแกรม.....	64
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่1 รูปที่ 1 และรูปที่ 2.....	75
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่1 รูปที่ 3 และรูปที่ 4.....	76
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่2 รูปที่ 1 และรูปที่ 2.....	77
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่2 รูปที่ 3 และรูปที่ 4.....	78
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่3 รูปที่ 1 และรูปที่ 2.....	79

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงระบบการรับรู้ของดวงตามมนุษย์.....	9
รูปที่ 2.2	แสดงการคำนวณหา FOV	11
รูปที่ 2.3	แสดงความแตกต่างระหว่างการเคลื่อนกล้องเข้าหาวัตถุ (ภาพซ้าย) กับการซูมวัตถุ (ภาพขวา).....	12
รูปที่ 2.4	แสดงลักษณะของกล้องรูเข็ม.....	13
รูปที่ 2.5	แสดงระยะโฟกัสที่มีผลต่อการเกิดภาพ.....	13
รูปที่ 2.6	แสดงองค์ประกอบหลักของการจำลองแบบเสมือนจริง.....	14
รูปที่ 2.7	แสดงมุมมองการรับภาพจากกล้องเสมือนจริง	15
รูปที่ 2.8	แสดงกฎมือขวาและมือซ้ายในระบบพิกัด 3 มิติ.....	16
รูปที่ 2.9	แสดงการอ้างอิงระบบพิกัด 3 มิติ.....	16
รูปที่ 2.10	แสดงการเลื่อนตำแหน่งวัตถุในพิกัด 3 มิติ.....	18
รูปที่ 2.11	แสดงการเปลี่ยนขนาดวัตถุในพิกัด 3 มิติ.....	19
รูปที่ 2.12	แสดงการหมุนวัตถุในพิกัด 3 มิติ	20
รูปที่ 2.13	แสดงการฉายภาพทัศนมิติ.....	21
รูปที่ 2.14	แสดงหลักการทางเรขาคณิตในการฉายภาพ	22
รูปที่ 2.15	แสดงการฉายภาพโดยระนาบภาพอยู่หน้าจุดโฟกัส.....	23
รูปที่ 2.16	แสดงการใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้ายในการฉายภาพ.....	24
รูปที่ 2.17	แสดงกระบวนการอิมเมจดิจิตอล.....	25
รูปที่ 2.18	แสดงระบบพิกัดในการแสดงผลระดับพิกเซลของจอภาพ.....	26
รูปที่ 2.19	แสดงตัวแปรอะเรย์ที่ใช้เก็บข้อมูลภาพขนาด M*N	26
รูปที่ 2.20	แสดงโมเดลสีในระบบพิกัด RGB Cube (ซ้าย), การผสมสีทางแสง (ขวา).....	27
รูปที่ 2.21	แสดงตัวอย่างของแนวคิดความเป็นจริงเสริม.....	30
รูปที่ 2.22	แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ Tracking Devices	31
รูปที่ 2.23	แสดงรูปแบบความเป็นจริงเสริมที่ใช้เทคนิค Image Processing & Marking..	31
รูปที่ 2.24	แสดงวิธีการแบบ Image Processing & Marking	32
รูปที่ 2.25	ไดอะแกรมแสดงระบบการทำงานของโปรแกรมตัวอย่าง.....	33
รูปที่ 2.26	แสดงไดอะแกรมการใช้งานโปรแกรม.....	34
รูปที่ 2.27	แสดงส่วนต่อประสานของการจัดการด้านฐานข้อมูลงานระบบอาคาร	34

หน้า

รูปที่ 2.28	แสดงอุปกรณ์จอภาพสวมศีรษะ (HMD) และอุปกรณ์จับตำแหน่งและทิศทาง (Tracking Device).....	35
รูปที่ 2.29	แสดงหน้าจอการทำงานของโปรแกรมตัวอย่าง	35
รูปที่ 2.30	แสดงหลักการทำงานของโปรแกรม BlackMagic Book	36
รูปที่ 2.31	แสดงรูปแบบเครื่องหมายที่อยู่ในหนังสือ BlackMagic Book.....	37
รูปที่ 2.32	แสดงการใช้งาน BlackMagic Book โดยใช้กล้องเวปแคม หรือใช้จอภาพสวมศีรษะ ตามลำดับ.....	37
รูปที่ 2.33	แสดงผลการใช้งาน BlackMagic Book ในมุมมองของผู้ใช้งาน.....	37
รูปที่ 3.1	ไดอะแกรมแสดงแนวคิดในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม	40
รูปที่ 3.2	แสดงเครื่องมือทางด้านซอฟแวร์ที่นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรม.....	40
รูปที่ 3.3	แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Microsoft Visual C++.Net.....	42
รูปที่ 3.4	แสดงแนวคิดของไลบรารี OpenGL	43
รูปที่ 3.5	แสดงหลักการทำงานของไลบรารี OpenGL	44
รูปที่ 3.6	แสดงกระบวนการชอง OpenGL ในการแปลงโคออดิเนทสามมิติของวัตถุไปเป็นพิกเซลบนจอภาพ.....	45
รูปที่ 3.7	แสดงโครงสร้างของไลบรารี OpenCV	47
รูปที่ 3.8	แสดงหน้าต่างการทำงานของ Qt.....	48
รูปที่ 3.9	แสดงโครงสร้างไฟล์ ของโปรแกรม	49
รูปที่ 3.10	แสดงรายละเอียดของคลาสในการเขียนโปรแกรม.....	51
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างเครื่องหมายรูปตารางหมกรุก ขนาด 5 X 6.....	53
รูปที่ 3.12	ผังแสดงการคำนวณภายในโปรแกรม.....	54
รูปที่ 3.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้กับโครงสร้างโปรแกรม.....	56
รูปที่ 3.14	แสดงรูปแบบส่วนต่อประสาน (Interface) ของโปรแกรม.....	56
รูปที่ 4.1	แสดงภาพรวมผังการทำงานของโปรแกรม.....	58
รูปที่ 4.2	แสดงรายละเอียดผังการทำงานของโปรแกรมพร้อมภาพประกอบ.....	60
รูปที่ 4.3	แสดงไอคอนและคอนโทรลต่างๆ ในส่วนการควบคุมและติดต่อกับโปรแกรม...	62
รูปที่ 4.4	แสดงไดอะลอกในโหมด Superimpose พร้อมแทบเครื่องมือประกอบการใช้งาน.....	63

หน้า

รูปที่ 4.5 ส่วนแสดงสถานะของโปรแกรมให้ผู้ใช้งานทราบผลการประมวลผลในแต่ละขั้นตอน..... 63

รูปที่ 4.6 แสดงคอนโทรลในการเลือกฐานข้อมูลภาพเสมือน 3 มิติ..... 64

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างรูปแบบเครื่องหมายตารางหมากรุกที่นำมาใช้ทดสอบโปรแกรม..... 65

รูปที่ 4.8 แสดงหน้าหลักเมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรม และการตั้งค่าเริ่มต้น..... 67

รูปที่ 4.9 แสดงโหมดการตวจเช็คภาพถ่ายที่นำเข้ามาใช้ในโปรแกรม..... 67

รูปที่ 4.10 แสดงการคลิกคอนโทรล Image Number เพื่อดูภาพถ่ายทั้งหมดที่นำเข้ามาในโปรแกรม..... 68

รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งการคลิกคอนโทรล Runเพื่อประมวลผลโปรแกรม..... 69

รูปที่ 4.12 แสดงการแจ้งข้อความที่แทบสถานะ เมื่อการประมวลผลเสร็จสมบูรณ์..... 69

รูปที่ 4.13 แสดงภาพผลลัพธ์จากการเลือกไอคอนเพื่อแสดงผลในโหมด Superimpose... 69

รูปที่ 4.14 แสดงภาพผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม..... 70

รูปที่ 4.15 แสดงการใช้เครื่องมือปรับขนาด ทิศทางตามแกน X, Y, Z ตามลำดับ..... 71

รูปที่ 4.16 แสดงการเลือกภาพเสมือน 3 มิติ เพื่อแสดงผล..... 72

รูปที่ 4.17 แสดงการเลือกโหมด Calibration เพื่อแสดงภาพการเช็คจุดตัดของเครื่องหมาย..... 73

รูปที่ 4.18 แสดงการเลือกโหมด C-Parameters เพื่อแสดงค่าตัวเลขที่ได้จากการคำนวณ. 73

รูปที่ 4.19 แสดงแทบสถานะของโปรแกรมที่แจ้งข้อผิดพลาดในการดำเนินการกับภาพ.... 80

รูปที่ ก-1 แผนภาพของ Milgram's Reality-Virtuality 92

รูปที่ ก-2 ภาพตัวอย่างรูปแบบการต่อประสานระหว่างโลกจริงและโลกเสมือน 92

รูปที่ ก-3 แสดงการทำงานของระบบ Monitor Based Augmented 94

รูปที่ ก-4 แสดงการทำงานของระบบ Video see-through Augmented Reality 95

รูปที่ ก-5 ตัวอย่างตัวแสดงผลระบบ Video see-through Augmented Reality 95

รูปที่ ก-6 แสดงการทำงานของระบบ Optical See-through Augmented..... 96

รูปที่ ก-7 ตัวอย่างตัวแสดงผลระบบ Optical See-through Augmented Reality..... 96

รูปที่ ก-8 Motion Tracking และค่าตัวแปร X, Y, Z, yaw, pitch, roll..... 97

รูปที่ ข-1 แสดงหลักการทำงานของไลบรารี OpenGL..... 100

รูปที่ ข-2 แสดงรูปแบบคำสั่งของ OpenGL..... 101

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นตัวแทนในการนำเสนอ และการศึกษาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบเพื่อช่วยในกระบวนการออกแบบ ก่อนการก่อสร้างจริง โดยการสร้างสรรค์จากการรวมวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของไม้ และพลาสติกเป็นหลัก ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือทางกายภาพ ที่มีข้อดีของความหลากหลายในทางคุณสมบัติ ทั้งในด้านรูปร่าง สี และผิวสัมผัส แต่การสร้างแบบจำลองดังกล่าวมีข้อจำกัดหลายอย่างด้วยกัน อาทิเช่น การทำซ้ำจะต้องเริ่มต้นทำแบบจำลองใหม่ทุกครั้ง ซึ่งไม่สามารถกระจายงานเพื่อช่วยกันทำได้ การแก้ไขเฉพาะส่วนทำได้ยากและสิ้นเปลืองเวลา ทั้งยังมีข้อจำกัดในด้านวัสดุและพื้นที่ในการปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากร แรงงาน และค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์

การปฏิวัติเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ กล่าวได้ว่าเป็นการปฏิวัติวิถีชีวิตมนุษย์ต่อจากการปฏิวัติการเกษตรกรรมและการปฏิวัติอุตสาหกรรม เป็นการสร้างสังคมยุคใหม่ที่ผนวกมิติทางด้านเทคโนโลยีเข้าสู่ส่วนอื่นๆ ของวิถีชีวิตมนุษย์ ประดิษฐกรรมทางคอมพิวเตอร์ได้นำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว และช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรบางส่วนลง รวมทั้งทำให้เกิดการกระจายทักษะและความรู้ออกไปสู่ขอบเขตที่กว้างไกลขึ้น โดยเฉพาะในงานสถาปัตยกรรม การนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม (Computer-Aided Architectural Design, CAAD) ไม่เฉพาะแต่ในการเขียนแบบแต่ยังครอบคลุมถึงการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในด้านอื่นๆ ได้แก่ การออกแบบ การก่อสร้าง และการจัดการอาคาร Gerhard Schmitt ได้จำแนกการใช้งานคอมพิวเตอร์ในสำนักงานสถาปนิกเป็น 2 ประเภท คือ ใช้เป็นเครื่องมือทดแทนเครื่องมือทั่วไปและใช้เพื่อเป็นสื่อ (1999 อ้างถึงใน อารยา เช้ากระจ่าง, 2545: 54)

สำหรับในประเทศไทย ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในการใช้งานด้านสถาปัตยกรรมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการสร้างแบบจำลอง 3 มิติเสมือนจริงที่นำมาทดแทนการทำแบบจำลองทางกายภาพ เพื่อเป็นสื่อนำเสนอ และใช้เป็นเครื่องมือสื่อสารเป็นหลัก โดยองค์ประกอบหลักของการจำลองแบบเสมือนจริงนั้นจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แบบจำลอง 3 มิติ ที่เป็นชิ้นงานหลัก และส่วนของสภาพแวดล้อมเสมือน ที่ช่วยเพิ่มการรับรู้ในการสร้างบรรยากาศให้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงให้มากที่สุด แต่ในกระบวนสร้างสภาพแวดล้อม

เสมือนจะมีความซับซ้อนมากกว่า จึงจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ระดับสูง ประกอบกับการใช้เวลาในการสร้างและให้แสงเงา บางครั้งใช้ระยะเวลามากกว่าการสร้างรูปจำลอง 3 มิติ ที่เป็นชิ้นงานหลัก นอกจากนี้ยังไม่สามารถทำได้เหมือนจริงทั้งหมด เพียงแต่ใกล้เคียงกับความจริงเท่านั้น และถ้าต้องการความสมจริงมากขึ้นจะมีผลต่อระยะเวลาและทรัพยากรที่ใช้ทำงานมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีอีกทางเลือก คือการใช้สภาพแวดล้อมจริงแทน โดยอาศัยการจับภาพจากกล้องแล้วนำภาพไปซ้อนไว้กับรูปจำลอง 3 มิติ แต่กระบวนการนี้ผู้ใช้งานจะต้องใช้เวลามาปรับมุมมองและตำแหน่งของรูปจำลอง 3 มิติให้ตรงกับมุมมองทัศนียภาพของสภาพแวดล้อมจริง และถ้าเป็นภาพเคลื่อนไหวด้วยแล้ว จะต้องแยกภาพออกมาเป็นภาพนิ่งแต่ละภาพแล้วตามไปปรับมุมมองและตำแหน่งของรูปจำลอง 3 มิติให้ตรงกับภาพทุกภาพ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาพอสมควร และความแม่นยำของผู้ใช้งานแต่ละคนจะไม่เหมือนกัน บ้างครั้งอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนหรือความไม่สอดคล้องกันของมุมมองระหว่างรูปจำลอง 3 มิติและภาพถ่ายสภาพแวดล้อมจริง

จากประเด็นดังกล่าว การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาและพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากคอมพิวเตอร์ให้เหมาะสมสำหรับเป็นเครื่องมือช่วยในการนำแบบจำลอง 3 มิติเสมือนจริง ไปผสานกับสภาพแวดล้อมจริง โดยใช้เทคนิคการเทียบมาตรฐานกล้อง (Camera Calibration) เพื่อช่วยพัฒนากระบวนการออกแบบของสถาปนิกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยขยายการรับรู้เรื่องของตำแหน่งและการจัดวางของหุ่นจำลอง 3 มิติ อันจะช่วยลดระยะเวลาและทรัพยากรในด้านต่างๆ ดังที่กล่าวไว้แล้ว อีกทั้งเป็นสื่อในการนำเสนอผลงานออกแบบของสถาปนิกที่ง่ายต่อการรับรู้และเข้าใจของบุคคลทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการนำระบบการประสานแบบจำลองเสมือนเข้ากับพิกัดจริง (Augmented Reality) มาประยุกต์ใช้ในงานออกแบบสถาปัตยกรรม
2. เพื่อศึกษาแนวคิด วิธีการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบการประสานแบบจำลองเสมือนเข้ากับพิกัดจริง (Augmented Reality)
3. เพื่อศึกษาแนวคิด วิธีการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่ง และระยะจากกล้องถ่ายภาพทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวในรูปแบบดิจิตอล
4. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดวางวัตถุเสมือน 3 มิติบนสภาพแวดล้อมจริง เพื่อช่วยในการเปรียบเทียบมุมมองและระยะจริงกับวัตถุเสมือน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตของเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ไว้ดังต่อไปนี้
    1.1. เครื่องมือในการรับส่งและแสดงผล (Input-Output Device) การนำเข้าข้อมูลภาพเป็นเฟรมภาพจากกล้องจับภาพเคลื่อนไหว หรือกล้องถ่ายภาพนิ่งที่ถ่ายต่อเนื่องกันหลายๆ เฟรม, อุปกรณ์การจับตำแหน่ง ระยะมุมมองจากพื้นที่จริง, และการแสดงผล จะรับ-ส่งข้อมูลระบบใช้สายนำสัญญาณ แสดงผลผ่านจอมอนิเตอร์
    1.2. ทางด้านซอฟแวร์การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมของระบบปฏิบัติการวินโดว์เอกซ์พี (Window XP) หรือสูงกว่าบนระบบปฏิบัติการเดียวกัน
    1.3. ทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้พัฒนาโปรแกรมต้นแบบดำเนินการบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer/PC)
2. โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจะไม่รวมการขึ้นรูป 3 มิติจากคอมพิวเตอร์ แต่เป็นการใช้งานแบบจำลอง 3 มิติแบบเบื้องต้นเท่านั้น โดยได้จากการออกแบบและขึ้นรูปมาเรียบร้อยแล้ว และใช้แบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างสำเร็จมาจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่นๆ แล้วนำเข้ามาในรูปแบบไฟล์ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนาโปรแกรม
3. งานวิจัยนี้ต้องใช้กล้องจับภาพเคลื่อนไหวหรือกล้องถ่ายภาพนิ่ง โดยเป็นรูปแบบของกล้องรูเข็ม หรือใช้เลนส์แบบปกติที่ให้ภาพในมุมมองที่คอมพิวเตอร์สามารถสร้างภาพในมุมมองลักษณะเดียวกันได้
4. งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้ระยะเวลาและงบประมาณที่จำกัด ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมจึงมุ่งเน้นที่การจำลองแบบเสมือนจริงบนตำแหน่งพื้นที่จริงเท่านั้น ไม่มุ่งเน้นการพัฒนาที่ช่วยวิเคราะห์และวัดคุณภาพงานสถาปัตยกรรมในกระบวนการออกแบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการศึกษาการออกแบบอาคาร โดยสร้างทางเลือกให้วิเคราะห์สัดส่วนและความสัมพันธ์ของอาคารที่ออกแบบกับสภาพแวดล้อมบนพื้นที่จริง
2. เป็นแนวทางในการออกแบบที่ช่วยลดทรัพยากรทางกายภาพในการสร้างหุ่นจำลองสามมิติ และลดการใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือน

3. ลดขั้นตอนการสร้างสภาพแวดล้อม 3 มิติบนคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปใช้งานกับแบบจำลอง 3 มิติเสมือนจริง
4. เป็นแนวทางที่จะนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้นแบบไปพัฒนาเชิงพาณิชย์เพื่อใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติวิชาชีพ
5. เป็นแนวทางในการขยายผล เพื่อใช้ในงานด้านการอนุรักษ์ และการปรับปรุงสภาพอาคาร ทั้งในด้านสถาปัตยกรรม ภูมิสถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมภายใน หรือเพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลการจัดการอาคารในเรื่องโครงสร้างและงานระบบ
6. เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอมพิวเตอร์และผู้ใช้ (Human-Computer Interaction)

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยจะเน้นที่การใช้ระเบียบวิธีการศึกษาข้อมูลเชิงเอกสาร (Documentary Research) เป็นหลักในการดำเนินงาน โดยเรียงลำดับขั้นตอนของกระบวนการวิจัยได้ดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเชิงเอกสารเบื้องต้น เป็นการการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review) จากเอกสาร ตำราวิชาการ และข้อมูลทางอินเตอร์เนท ในส่วนของแนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแบ่งรายละเอียดเป็น
    1.1. ศึกษาการรับรู้และสร้างหุ่นจำลองสามมิติในงานออกแบบสถาปัตยกรรม
    1.2. ศึกษาแนวคิดและหลักการ กราฟฟิคคอมพิวเตอร์ในเชิงสามมิติ
    1.3. ศึกษาแนวคิดและหลักการ การจำลองแบบเสมือนจริง (Virtual Reality)
    1.4. ศึกษาแนวคิดและหลักการ ความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality) และ กระบวนการประมวลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing)
2. ศึกษาวิธีการทางคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดรายละเอียดและรูปแบบของเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลและแนวทางจากขั้นตอนที่ผ่านมา มาวิเคราะห์และกำหนดรูปแบบที่ชัดเจนของโปรแกรม เพื่อกำหนดขอบเขต แนวทางพัฒนาโปรแกรมและการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้
    2.1. ศึกษาตัวแปร และปัจจัยต่างๆ ของข้อมูลที่มีอิทธิพลในการคำนวณ เพื่อกำหนด ลักษณะของข้อมูล และกำหนดชื่อของตัวแปรทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบและเขียนโปรแกรม

2.2. ศึกษาและกำหนดโครงสร้างของโปรแกรม (Computer Algorithm) และภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เขียนโปรแกรม (Computer Language)

2.3. ศึกษาและเลือกใช้ซอฟแวร์สนับสนุนในด้านกราฟฟิคสามมิติและและวิสัยทัศน์ทางคอมพิวเตอร์ (Computer Vision)

2.4. ศึกษา วิเคราะห์และเลือกใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพื่อการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2.5. ศึกษาและวิเคราะห์การสร้างโปรแกรมเพื่อติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) เพื่อให้การติดต่อใช้งานระหว่างผู้ใช้กับตัวโปรแกรมเป็นไปได้ง่าย และการแสดงผลออกมาง่ายต่อการรับรู้และเข้าใจ เสนอแนวทางในการใช้โปรแกรมเพื่อช่วยในการศึกษาและทำความเข้าใจในการออกแบบหุ่นจำลองเบื้องต้น

3. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรม รวมถึงการติดต่อกับผู้ใช้งาน
4. ทดสอบการทำงานของโปรแกรม
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบใช้งานโปรแกรม
6. สรุปผลการวิจัย และนำเสนอแนวทางการพัฒนาโปรแกรม

1.6 นิยามศัพท์

- **การจำลองแบบเสมือนจริง หรือ ความเป็นจริงเสมือน** (Virtual Reality) คือ สภาพจำลองที่ถูกสร้างขึ้นเสมือนกับความเป็นจริงหรือจัดเตรียมเป็นลักษณะของประสบการณ์ต่างๆ ให้มีสภาพเหมือนในความเป็นจริง โดยเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะสร้างรูปภาพต่างๆ ขึ้นมาด้วยข้อมูลที่จัดเตรียมไว้ให้ในพื้นที่ว่างภายในคอมพิวเตอร์ (ที่มา: ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์, 2546: 257)
- **การเทียบมาตรฐานกล้อง** (Camera Calibration) เป็นการคำนวณหาพารามิเตอร์ของกล้องจากภาพ มีค่าเป็นตัวเลขที่บอกถึงลักษณะเฉพาะที่เป็นองค์ประกอบของกล้องนั้นๆ
- **ความเป็นจริงเสริม** (Augmented Reality) คือ การซ้อนทับระหว่างสภาพจำลองที่ถูกสร้างขึ้นหรือเนื้อหาสารสนเทศลงบนสภาพแวดล้อมจริง โดยผู้ใช้สามารถรับรู้ผ่านอุปกรณ์ป้อนตรงต่อประสาทสัมผัสด้านการเห็นเป็นหลัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับรู้ของผู้ใช้งาน

- **เครื่องหมาย** (Marking) เป็นสัญลักษณ์ทางภาพ ที่เมื่อแปลงเป็นข้อมูลทางดิจิตอลแล้ว คอมพิวเตอร์สามารถแปลความหมายหรือใช้อ้างอิงได้ในกระบวนการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์จากภาพถ่าย
- **โคออดิเนท** (Coordinate) **หรือระบบพิกัดอ้างอิง** เป็นระบบที่ใช้อ้างอิงเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของจุดต่างๆ ได้ (พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.:110)
- **แบบจำลอง** (Model) การสร้างสิ่งที่เลียนแบบของจริงตามมาตรส่วนที่กำหนดขึ้น (ที่มา: ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์, 2546: 258)
- **พิกัดจริง** ระบบการวัดระยะที่ระบุตำแหน่งของจุดหรือสิ่งต่างๆ ในโลกของความเป็นจริง
- **พิกัดเสมือน** ระบบการวัดระยะที่ระบุตำแหน่งของจุดหรือสิ่งต่างๆ โดยอ้างอิงจากสิ่งสมมุติจากสภาพการจำลองที่ถูกสร้างขึ้น
- **เฟรม** (Frame) คือ ช่องบรรจุภาพภายในม้วนของฟิล์มภาพยนตร์ ซึ่งเป็นช่องสี่เหลี่ยมเรียงกันเป็นแถบยาว ภายในช่องเหล่านี้ปรากฏภาพถ่ายขนาดเล็กๆ เรียงติดกัน ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กราฟฟิคไม่มีการใช้ฟิล์มภาพยนตร์ แต่ยังใช้คำว่าเฟรม เพื่อสมมุติเป็นภาพที่นำมาใช้ลำดับให้เกิดการเคลื่อนไหวบนจอภาพ อัตราการเคลื่อนไหวของภาพจะวัดเป็นเฟรมต่อวินาที (ไพศาล โมลิสกุลมงคล: 2550: 523)
- **ภาพเสมือน 3 มิติ** เป็นการจำลองแบบเสมือนจริงที่เฉพาะจงไปที่การจำลองในเชิง 3 มิติ คือ มีความกว้าง ความยาว และความลึก
- **ไลบรารี** (Library) เป็นชุดของโปรแกรมย่อย สำหรับใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งประกอบด้วยโค้ดสำหรับเรียกใช้และข้อมูล ที่สนับสนุนหรือช่วยเหลือตามการเรียกใช้ของโปรแกรม
- **สภาพแวดล้อมเสมือน** (Virtual Environment) เป็นบรรยากาศหรือองค์ประกอบที่ถูกจำลองขึ้นให้เสมือนกับบรรยากาศหรือสภาพแวดล้อมจริงๆ (Physical Environment, Reality Environments)
- **ส่วนต่อประสาน** (Interface) ส่วนต่อประสานระหว่างอุปกรณ์ 2 เครื่อง หรือระหว่างโปรแกรมใช้งาน 2 โปรแกรม หรือระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมเพื่อทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลขึ้น ส่วนต่อประสานนี้จะทำให้เราสามารถโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ และทำให้คอมพิวเตอร์มีการโต้ตอบกับอุปกรณ์รอบข้างต่างๆ (ที่มา: ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์, 2546: 259)

- **ส่วนต่อประสานผู้ใช้** (User Interface) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ให้ผู้ใช้สื่อสารกับคอมพิวเตอร์หรือให้คอมพิวเตอร์ติดต่อกับผู้ใช้ได้ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ แผงแป้นอักขระ เม้าส์ และรายการเลือกใช้งาน (ที่มา: ธิดาสิริ ภัทราคาญจน์, 2546: 259)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเพื่อรวบรวมข้อมูล แนวความคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แบ่งประเด็นในการศึกษาออกเป็น 5 หัวข้อ ดังนี้

2.1 การศึกษาทฤษฎีระบบการมองเห็นทางกายภาพและกล้องถ่ายภาพ

2.2 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์กราฟิคในเชิงสามมิติและการจำลองแบบเสมือนจริง

2.3 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานทางกระบวนการประมวลภาพดิจิตอล

2.4 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับความเป็นจริงเสริม

2.5 การการศึกษาและวิเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาทฤษฎีระบบการมองเห็นทางกายภาพและกล้องถ่ายภาพ

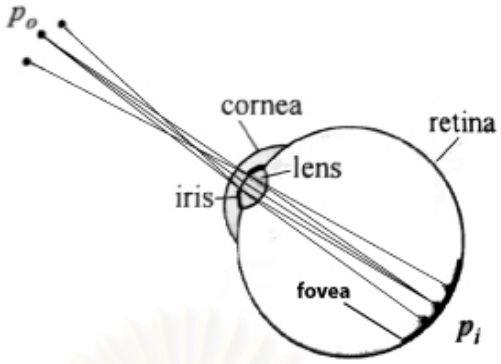
หลักการทำงานพื้นฐานของกล้องถ่ายภาพไม่ว่าจะเป็นภาพเคลื่อนไหวหรือภาพนิ่งจะมีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกันกับดวงตาของมนุษย์ในกระบวนการรับภาพที่อาศัยแสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนเข้าดวงตาหรือกล้องถ่ายภาพ

2.1.1 ดวงตามนุษย์กับกล้องถ่ายภาพ

ส่วนประกอบและการทำงานของกล้องถ่ายภาพและดวงตามนุษย์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่ทำให้เกิดภาพ ดวงตาและกล้องถ่ายภาพมีเลนส์รวมแสงจากวัตถุให้เกิดภาพบนจอตา เลนส์ของกล้องมีระบบกลไก เปิด-ปิด ให้แส่งผ่านเข้าไปยังฉากหลังควบคุมเวลาด้วยชัตเตอร์ (Shutter) ส่วนดวงตาควบคุมด้วยหนังตา (Eyelid) ในส่วนหนึ่งของเลนส์จะมีไดอะแฟรม (Diaphragm) สามารถปรับให้เกิดรูรับแสง (Aperture) ขนาดต่างๆ เช่นเดียวกับดวงตามนุษย์จะมีส่วนที่เรียกว่า ม่านตา (Iris) ตรงกลางของม่านตาจะมีช่องกลมเรียก รูม่านตาหรือพิวพิล (Pupil) เป็นทางให้แสงผ่านสามารถปรับให้มีขนาดต่าง ๆกันโดยอัติโนมัติ ตามความสว่างของแสง

2. ส่วนที่ไวแสง ส่วนที่เป็นฉากหลังในกล้องจะเป็นตำแหน่งที่ตั้งวัสดุไวแสง เช่น ฟิล์ม , ซีซีดี, ซีมอส เป็นต้น ส่วนในดวงตา ได้แก่ จอตาเป็นฉากรับภาพ เรียกว่า เรตินา (Retina) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานประสาท ประกอบด้วยเส้นประสาทไวต่อแสงและประสาทเชื่อมโยงไปยังส่วนที่ทำหน้าที่ในการรับความรู้สึกเกี่ยวกับการมองเห็นทำให้ทราบถึงรูปร่าง ขนาด ลักษณะของพื้นผิวตลอดจนสีสันของวัตถุ



รูปที่ 2. 1 แสดงระบบการรับรู้ของดวงตามมนุษย์

(ที่มา: Bimber and Rasker, 2005: 31)

2.1.2 **ส่วนประกอบพื้นฐานสำคัญของกล้องถ่ายภาพ**

2.1.2.1 **เลนส์** (Lens)

มีลักษณะเป็นวัสดุโปร่งใส ทำด้วยแก้วหรือพลาสติก มีหน้าที่สำคัญ คือ หักเหแสงสะท้อนจากวัตถุให้ไปตัดกันเกิดเป็นภาพบนฉากรับภาพ

คุณสมบัติหลักของเลนส์ ที่สำคัญคือ ความยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal Length) คือ ระยะระหว่างเลนส์ถึงระนาบโฟกัสของภาพ เมื่อโฟกัสวัตถุในตำแหน่งไกลสุดขอบฟ้า (Infinity) ความยาวโฟกัสมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (โดยปกติถือว่าระยะของวัตถุที่ห่างจากเลนส์ 50 ฟุตขึ้นไป เป็นระยะสุดขอบฟ้า) ความยาวโฟกัสของเลนส์มีผลต่อ

- ขนาดของภาพ ความยาวโฟกัสสั้น สิ่งที่ถ่ายได้มีขนาดเล็กลง ความยาวโฟกัสยาว สิ่งที่ถ่ายได้มีขนาดใหญ่ขึ้น
- มุมรับภาพ (Angle of View) ความยาวโฟกัสสั้น มีมุมรับภาพกว้าง ความยาวโฟกัสยาว มีมุมรับภาพแคบ
- ช่วงความชัด (Depth of Field) ความยาวโฟกัสสั้น มีช่วงความชัดมาก (ชัดลึก) ความยาวโฟกัสยาว มีช่วงความชัดน้อย (ชัดตื้น)
- ความเร็วของเลนส์ (Lens Speed) หมายถึงปริมาณของแสงที่ผ่านเลนส์เข้าไปในกล้องได้มาก-น้อยเพียงใด เมื่อเปิดช่องรับแสง (Aperture) กว้างสุด

ประเภทของเลนส์จำแนกตามความยาวโฟกัสและมุมรับภาพ สามารถแบ่งเป็น

- เลนส์ปกติหรือเลนส์มาตรฐาน (Normal Lens) เป็นเลนส์ที่มีค่ามุมรับภาพใกล้เคียงกับสายตามนุษย์ อยู่ระหว่าง 40-55 องศา (ตามนุษย์มีมุมรับภาพ 53 องศา)

- เลนส์มุมกว้าง (Wide Angle Lens) เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้นกว่าปกติ ทำให้ถ่ายภาพได้ในมุมที่กว้างขึ้น มีมุมรับภาพใหญ่กว่า 55 องศา เหมาะสำหรับถ่ายภาพมุมแคบ, ถ่ายภาพได้ความคมชัดสูง, หรือเพื่อเน้นและทำให้ภาพบิดเบือนไปจากความจริง (Distortion)
- เลนส์เทเลโฟโต้ (Telephoto Lens) หรือเลนส์ถ่ายไกล เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสยาวกว่าปกติ ตั้งแต่ 70 มม.ขึ้นไป เหมาะกับการถ่ายภาพระยะไกลที่ต้องกานให้วัตถุมาอยู่ใกล้และยังได้ทัศนมิติที่เป็นธรรมชาติ
- เลนส์ซูม (Zoom Lens) เป็นเลนส์ชุดหนึ่งที่รวมเอาเลนส์หลายความยาวโฟกัสเข้าด้วยกัน สามารถเลื่อนหรือปรับเปลี่ยนความยาวโฟกัสได้ตามต้องการ แต่มีข้อจำกัดในด้านขนาด น้ำหนัก การสั่นไหว และการสูญเสียของแสงที่หักเหผ่านเลนส์หลายตัว เหมาะสำหรับถ่ายภาพกีฬา การท่องเที่ยว และภาพบุคคลที่มีปัญหาเรื่องการปรับขนาดของภาพ

2.1.2.2 **รูรับแสง** (Aperture)

เป็นกลไกที่ใช้ในการปรับปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาที่ฉากรับภาพตามที่ต้องการ โดยมีม่านเลนส์ (Diaphragm) เป็นแผ่นควบคุมขนาดของรูรับแสง การเปิดช่องรับแสง ถ้าเปิดกว้างแสงผ่านได้มาก ถ้าเปิดแคบแสงผ่านได้น้อย โดยมีตัวเลขบอกค่าปริมาณแสงที่ผ่านเข้ากล้องเรียกว่า f-stop หรือ f-number

2.1.2.3 **ชัตเตอร์** (Shutter)

เป็นกลไกที่ใช้เปิด-ปิดช่องรับแสง เพื่อให้แสงตกกระทบฉากรับภาพตามเวลาที่กำหนด ช่วงเวลาการเปิด-ปิดม่านชัตเตอร์ เรียกว่า ความเร็วชัตเตอร์ (Shutter Speed) ทำหน้าที่ควบคุมเวลาการรับแสงควบคู่กับขนาดของช่องรับแสง ถ้าความเร็วชัตเตอร์ช้าแสงจะผ่านเข้าได้นาน ถ้าความเร็วชัตเตอร์เร็วแสงจะผ่านเข้าได้น้อย

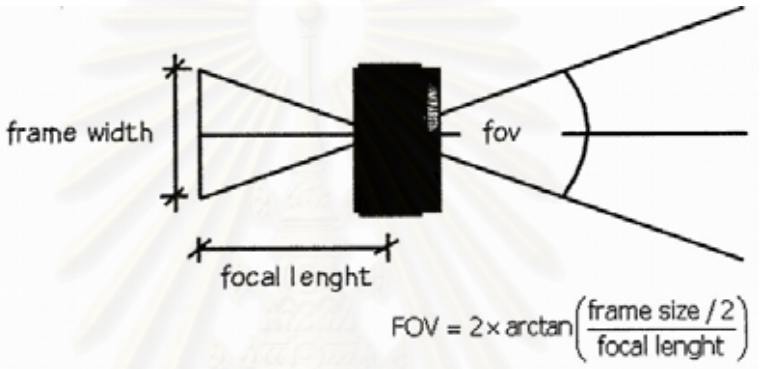
2.1.2.4 **กล้องวีดีโอ**

กล้องวีดีโอหรือกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว ไม่ว่าจะเป็นระบบใช้ฟิล์มหรือจะเป็นระบบดิจิตอล มีหลักการพื้นฐานคล้ายกับกล้องถ่ายภาพนิ่ง แต่จะเป็นการถ่ายภาพอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราความเร็วที่ต่อเนื่อง มีหน่วยเป็นภาพต่อวินาที (Frames per Second, fps) เช่น 12 fps, 24 fps เป็นต้น ซึ่ง

2.1.3 **ทัศนมิติ** (Perspective)

การมองเห็นวัตถุที่มีขนาดเท่ากันแต่ระยะห่างจากผู้สังเกตต่างกัน จะพบว่าวัตถุที่อยู่ใกล้จะมีขนาดที่ใหญ่กว่าวัตถุที่อยู่ห่างไกลออกไป ปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นผลของ Perspective ซึ่งในงานคอมพิวเตอร์กราฟฟิกสามมิตินั้นเราจะเป็นจะต้องทราบหลักการของ Perspective เพื่อให้ภาพที่ได้มีความจริง (พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.: 34)

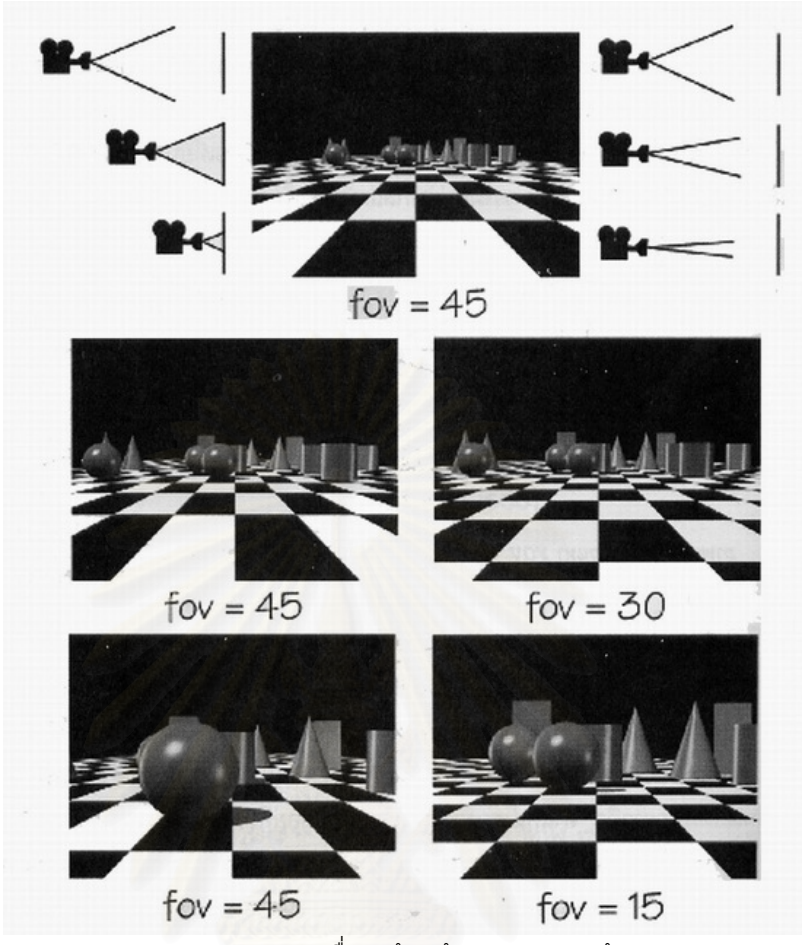
การเปรียบเทียบมุมการรับภาพจากพิจารณาจากพื้นที่การมองเห็น (FOV, Field of View) ซึ่งเป็นมุมที่กล้องสามารถรับภาพได้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของฉากรับภาพและความยาวโฟกัส โดยค่า FOV คำนวณได้จากดังภาพ



รูปที่ 2. 2 แสดงการคำนวณหา FOV

(ที่มา: พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.: 35)

การกำหนดมุมการรับภาพตามทฤษฎีจะมีผลต่อขนาดของภาพเท่านั้น แต่ไม่มีผลต่อทัศนมิติ แต่ในความเป็นจริงจะมีการบิดเบือนเล็กน้อยอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของเลนส์ โดยเฉพาะกับเลนส์ที่มีค่า FOV กว้างมากๆ อย่างเลนส์มุมกว้าง (Wide Angle Lens) เป็นต้น ดังนั้นเมื่อถ่ายภาพที่วัตถุต่างๆ และจุดศูนย์กลางของเลนส์อยู่ที่ตำแหน่งเดิม ไม่ว่าจะใช้เลนส์ขนาดใดๆ หรือฉากรับภาพขนาดใดๆ มุมมองของทัศนมิติที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกันแต่หากมีการย้ายตำแหน่งกล้องจะมีผลให้มุมมองทัศนมิติเปลี่ยนไปทันที พิจารณาจากภาพประกอบ

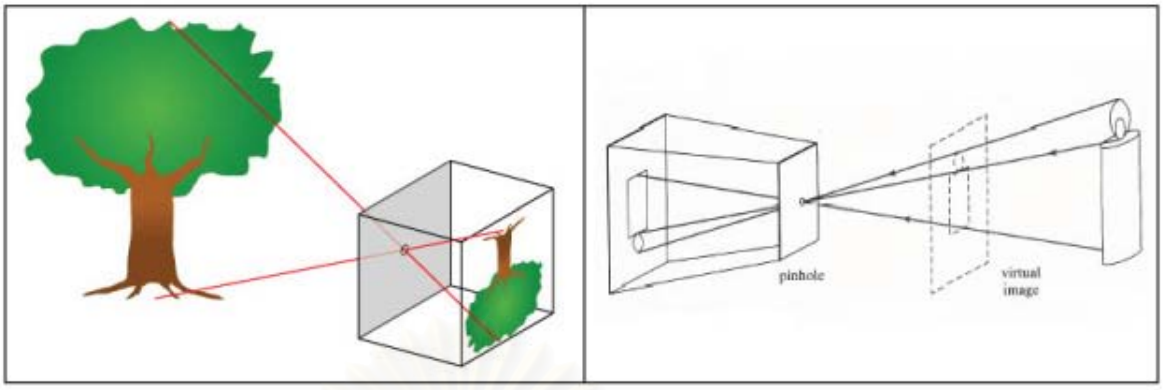


รูปที่ 2. 3 แสดงความแตกต่างระหว่างการเคลื่อนกล้องเข้าหาวัตถุ (ภาพซ้าย) กับการซูมวัตถุ (ภาพขวา)
(ที่มา: พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.: 36)

มุมมองทัศนมิติ หรือ Perspective มีผลต่อระบบการมองของมนุษย์ เพราะจะเป็นตัวบอกความใกล้-ไกล ทิศทางการมอง หรือขนาดของวัตถุได้ (พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.:37)

2.1.4 **ช่วงความชัด** (Depth of Field)

การกำหนดรูรับแสงที่มีขนาดต่างๆ ทำให้เกิดช่วงของระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน ช่วงของระยะโฟกัสเรียกว่า ช่วงความชัด (Depth of Field) ถ้ารูรับแสงกว้างช่วงความชัดจะแคบ แต่ถ้ากำหนดรูรับแสงแคบลง ช่วงความชัดจะกว้างขึ้น และเมื่อกำหนดรูรับแสงให้มีขนาดเล็กเท่ากับจุดซึ่งมีการสมมุติเหตุการณ์ในอุดมคติภาพที่เกิดขึ้น จะมีความคมชัดทุกระยะโฟกัส เนื่องจากจุดที่เล็กสามารถจัดระเบียบแสงได้เอง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นลักษณะการเกิดภาพ อย่างเช่น กล้องรูเข็ม (Pin Hole Camera) หรือแสงอาทิตย์ที่รอดจากรูเล็กๆ รวมทั้งกล้องเสมือนจริง (Virtual Camera) ซึ่งเป็นกล้องที่กำหนดมุมมองในคอมพิวเตอร์ก็เป็นหลักการเดียวกันกับกล้องรูเข็ม

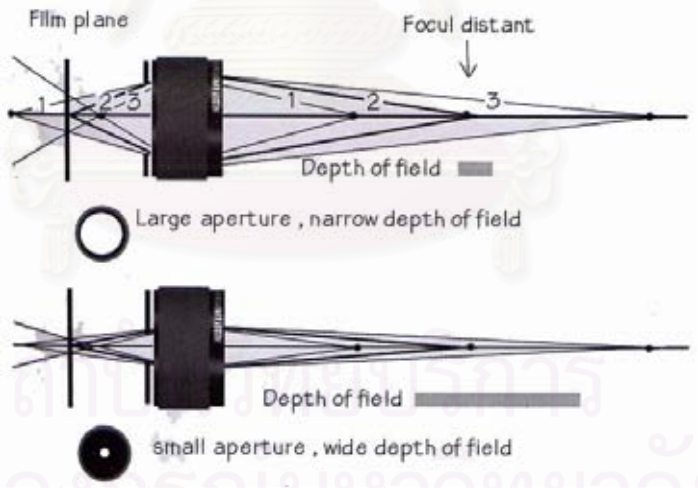


รูปที่ 2. 4 แสดงลักษณะของกล้องรูเข็ม

(ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Pin_hole_camera)

ส่วนการที่แสงผ่านเลนส์เข้ามาแล้วทำให้เกิดภาพคมชัดบ้างไม่คมชัดบ้าง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเลนส์ที่ไม่สามารถหักเหแสงที่มาจากวัตถุระยะต่างๆ ให้ตกลงในจุดเดียวกันได้ทั้งหมด โดยแสงที่มาจากวัตถุที่ต่างระยะกันจะเกิดภาพที่ต่างระยะกัน

ส่วนการที่แสงผ่านเลนส์เข้ามาแล้วทำให้เกิดภาพคมชัดบ้างไม่คมชัดบ้าง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเลนส์ที่ไม่สามารถหักเหแสงที่มาจากวัตถุระยะต่างๆ ให้ตกลงในจุดเดียวกันได้ทั้งหมด โดยแสงที่มาจากวัตถุที่ต่างระยะกันจะเกิดภาพที่ต่างระยะกัน



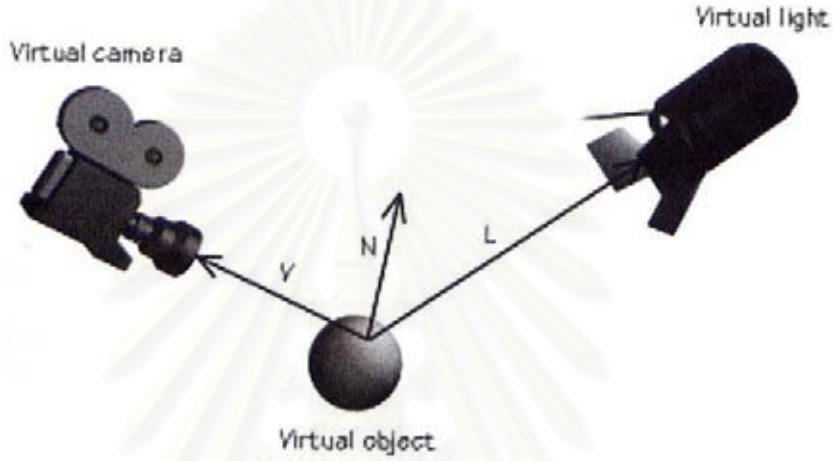
รูปที่ 2. 5 แสดงระยะโฟกัสที่มีผลต่อการเกิดภาพ

(ที่มา: พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.: 39)

2.2 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์กราฟิคในเชิงสามมิติและการจำลองแบบเสมือนจริง

2.2.1 องค์ประกอบหลักของการจำลองแบบเสมือนจริง

การจำลองแบบเสมือนจริงเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับโลกความเป็นจริงตามหลักธรรมชาติ ซึ่งรับรู้ได้จากการมองเห็น โดยเริ่มจากแหล่งกำเนิดแสง วัตถุ และสิ้นสุดที่อุปกรณ์รับภาพ ดังนั้นส่วนประกอบหลักของการจำลองแบบเสมือนจริง ประกอบด้วย

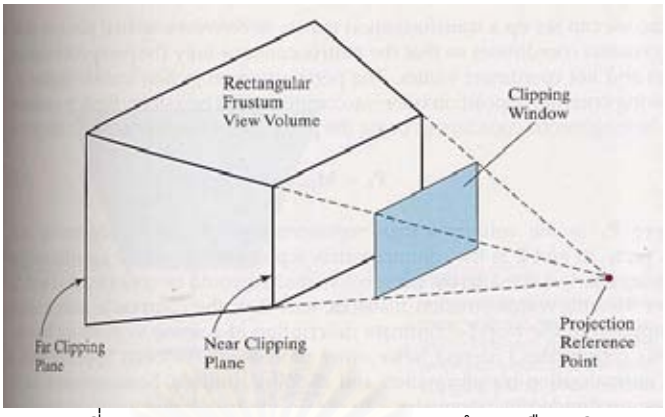


รูปที่ 2. 6 แสดงองค์ประกอบหลักของการจำลองแบบเสมือนจริง
(ที่มา: พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.: 49)

2.2.1.1 กล้องเสมือนจริง (Virtual Camera)

เป็นสิ่งที่แทนกล้องหรือตาของมนุษย์ มีลักษณะทางกายภาพพื้นฐานที่เทียบได้กับกล้องรูเข็ม (Pin Hole Camera) ซึ่งไม่มีเลนส์เพื่อทำการจัดระเบียบแสง ไม่มีความยาวโฟกัส ไม่มีระยะโฟกัส โดยตัวกล้องเสมือนจริงทำหน้าที่เป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณ เพื่อกำหนดมุมมองของภาพกล้องเสมือนจริงได้โดยการกำหนดพื้นที่การมองเห็น (FOV, Field Of View) หรือ มุมของการรับภาพ (Viewing angle) โดยมุมดังกล่าวนี้จะเป็นมุมของยอดของปิรามิดที่มีตำแหน่งของยอดปิรามิดอยู่ที่ตำแหน่งของ Virtual Camera และมีแกนของปิรามิดเป็นแนวแกนเล็งของกล้องดังรูป

สำหรับวัตถุที่เราจะมองเห็นและปรากฏภาพขึ้นบนวิวสกรีน (Viewscreen) นั้นจะต้องอยู่ภาพในปิรามิดนี้ โดยทั่วไปแล้วจะมีการกำหนดขอบเขตระยะใกล้ที่สุด และไกลที่สุดเพื่อให้เป็นปิรามิดที่เป็นลักษณะปิด ซึ่งสามารถทำการกำหนดได้โดยการกำหนดคลิปปิ้งเพลน (Clipping Plane) ทั้งในตำแหน่งระนาบที่ระยะใกล้สุด (Near Clipping Plane) และระนาบที่ระยะไกลสุด (Far Clipping Plane) ซึ่งลักษณะของปิดรามิดยอดตัดนี้เรียกว่าวิววิ่งฟรัสตั้ม (Viewing Frustum)



รูปที่ 2. 7 แสดงมุมมองการรับภาพจากกล้องเสมือนจริง

(ที่มา: Hearn, Baker, 2004: 372)

การสร้างกล้องเสมือนจริงจะต้องจำลองปรากฏการณ์ต่างๆ ให้เหมือนกับกล้องจริงมากที่สุด โดยการกำหนดคุณสมบัติ (Attribute) ของกล้อง ได้แก่ ความยาวโฟกัสของเลนส์, ขนาดรูรับแสง, ความไวชัตเตอร์, ระยะโฟกัส, ตำแหน่งของกล้อง, ทิศทางของกล้อง เป็นต้น ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกใช้ในการคำนวณหาทัศนมิติ ช่วงความชัด และผลกระทบต่างๆ ที่เกิดกับภาพ

2.2.1.2 **วัตถุเสมือนจริง** (Virtual Object)

เป็นวัตถุที่ถูกจำลองในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง การสร้างวัตถุเสมือนจริงจะประกอบขึ้นจากวัตถุพื้นฐาน (Primitive Object) คือส่วนย่อยที่สุดที่นำไปประกอบเป็นวัตถุอื่นที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้น โดยวิธีการขึ้นรูปและสร้างพื้นผิวจากวัตถุพื้นฐาน เรียกว่าการทำโมเดลลิ่ง (Modeling) ซึ่งมีวิธีการแตกต่างกันออกไปแล้วแต่จะเลือกนำมาใช้ แต่มีหลักสำคัญคือ ใช้การโมเดลลิ่งให้น้อยที่สุด เพื่อประสิทธิภาพในการคำนวณได้เร็วที่สุด

2.2.1.3 **แหล่งกำเนิดแสงเสมือนจริง** (Virtual light source)

ทำหน้าที่ในการกำหนดปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิวของวัตถุ เพื่อทำการคำนวณแสงที่สะท้อนออกจากผิวของวัตถุต่อไป และไปสิ้นสุดที่ตำแหน่งของกล้องเสมือนจริง แหล่งกำเนิดแสงมีหลายรูปแบบแต่ที่เป็นมาตรฐานใช้งาน ได้แก่ Point Light, Spot Light, Distant Light เป็นต้น (พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท., 52)

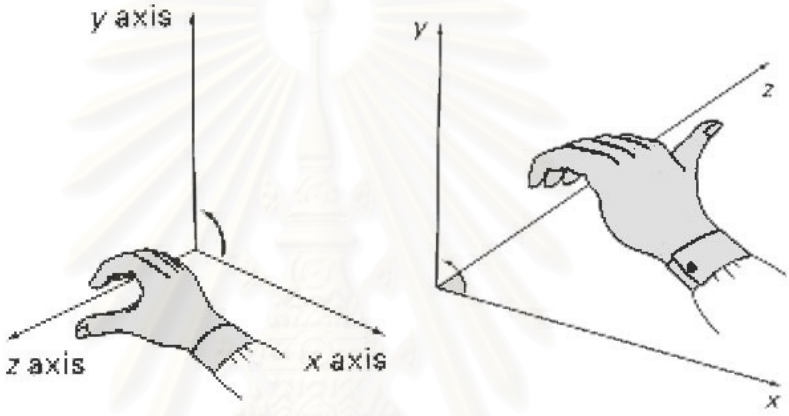
2.2.2 **ระบบพิกัดในงาน 3 มิติ** (Coordinate System in 3D)

ในการระบุตำแหน่งของของจุดต่างๆ ซึ่งจุดดังกล่าวอาจจะเป็นตำแหน่งของวัตถุใดๆ เช่น ตำแหน่งของกล้อง, ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง, ตำแหน่งเวอร์เทค (Vertex) ของวัตถุ หรือตำแหน่งอ้างอิงต่างๆ อาทิจุดอ้างอิงของวัตถุ จึงต้องมีการกำหนดระบบการอ้างอิงตำแหน่งขึ้น ระบบอ้างอิงพิกัดในงานคอมพิวเตอร์กราฟฟิก 3 มิติ คือ Cartesian Coordinate System คือ ระบบที่มีการอ้างอิงพิกัด 3 แกน ได้แก่ แกน X Y และ Z โดยการอ้างอิงถึงจุดด้วยสัญลักษณ์ (X,Y,Z) ซึ่ง

ค่า X Y และ Z เป็นระยะที่วัดจากจุดกำเนิด (Origin) ไปตามแนวแกน X Y และ Z ตามลำดับ โดยระบบที่ใช้กันอยู่นั้นมีทั้งมี 2 แบบ คือ แบบกฎมือขวา (Right hand rule) และแบบกฎมือซ้าย (Left hand rule)

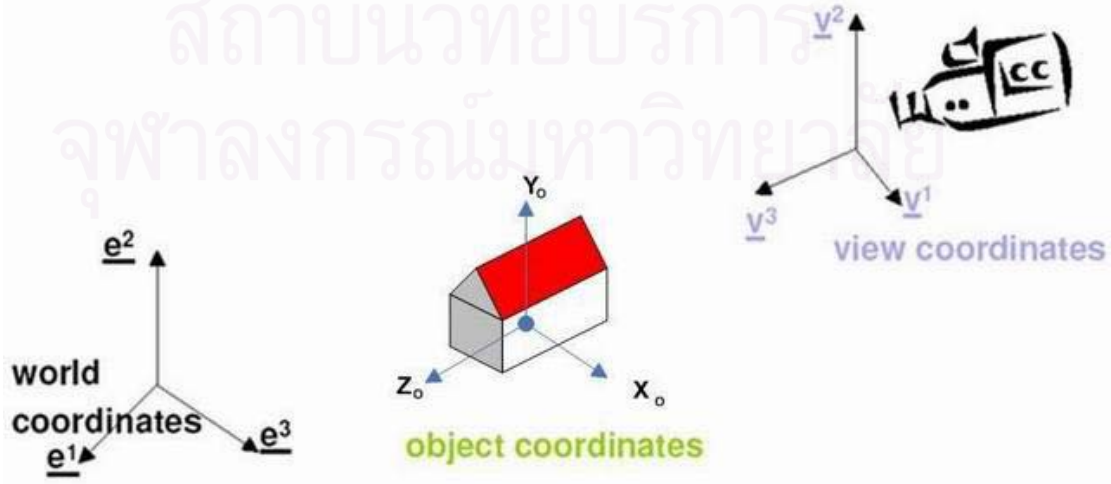
กฎมือขวา : แกน Z จะพุ่งออกตามทิศทางของหัวแม่มือ ระบบนี้มักใช้ในงานทางคณิตศาสตร์ หรือการใช้งานในระบบภูมิศาสตร์

กฎมือซ้าย : แกน Z จะพุ่งเข้าในทิศทางตรงข้ามกับกฎมือขวา เป็นระบบที่ใช้ในคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ เนื่องจาก ระนาบจอภาพที่อ้างถึงคือ ระนาบ XY ส่วนระยะความลึกจากจอภาพเข้าไป คือแกน Z มีค่าเป็นบวก



รูปที่ 2. 8 แสดงกฎมือขวาและมือซ้ายในระบบพิกัด 3 มิติ

ระบบ Cartesian Coordinate System นี้ จะมีจุดอ้างอิง (0,0,0) ซึ่งเป็นจุดกำเนิดที่สมมติขึ้นมา สามารถใช้ตำแหน่งใดๆ เป็นจุดอ้างอิงก็ได้ ทำให้สามารถกำหนดระบบพิกัดได้ไม่จำกัด โดยจะใช้จุดใดเป็นจุดอ้างอิงก็ได้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อใช้ตำแหน่งของกล้องเป็นจุดกำเนิด และมีระนาบ XY เป็นระนาบที่เกิดจากกล้องและใช้แกน Z เป็นแนวเล็งของกล้อง จะเรียกระบบนี้ว่า Camera Coordinate System (CCS) หรือ View Coordinate เป็นต้น



รูปที่ 2. 9 แสดงการอ้างอิงระบบพิกัด 3 มิติ

ทุกระบบพิกัดจะมีระบบอ้างอิงที่เป็นสื่อกลางเพื่อใช้อ้างอิง ระบบพิกัดทั้งหมดเรียกว่า World Coordinate System (WCS หรือ Global Coordinate System) ระบบพิกัดอื่นที่ถูกกำหนดขึ้นภายใน WCS นี้จะเรียกว่า Sub-coordinate System ซึ่งสามารถมี Sub-coordinate System ของ Sub-coordinate System ได้อีกไม่จำกัด Sub-coordinate System ใช้ประโยชน์ในการสร้าง แก้ไขดัดแปลง และกำหนดการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพราะช่วยให้การกำหนดความสัมพันธ์ของวัตถุ (Hierarchy) ได้ง่ายขึ้น ระบบพิกัดพื้นฐานที่ใช้อ้างอิงที่สำคัญได้แก่

- World Coordinate System (WCS, Global Coordinate System หรือ World Space) เป็นระบบที่ใช้อ้างอิงระบบพิกัดทั้งหมด โดยสามารถเป็นได้ทั้ง กฎมือขวาและกฎมือซ้าย
- Camera Coordinate System (CCS หรือ View Coordinate) เป็นระบบพิกัดของกล้องเพื่อใช้อ้างอิงในการสร้างภาพทัศนมิติ ในขั้นตอนการแสดงภาพ ระบบ CCS นี้จะมีจุดกำเนิด (Origin) อยู่ที่จุด Pinhole ของกล้อง มีระนาบ X – Y เป็นระนาบของภาพสองมิติของกล้องและมีแนวแกน Z เป็นแนวเล็งของกล้อง และเราใช้ค่า Z ของระบบพิกัดนี้เอง เพื่อเป็นค่า Z – Depth หรือ Z – value ของแต่ละพิกเซล โดยทั่วไปแล้ว Camera Coordinate System จะใช้แบบกฎมือซ้าย
- Object Coordinate System เป็นระบบที่ใช้จุดอ้างอิงของวัตถุที่ตำแหน่งใดๆ เพื่ออ้างอิงองค์ประกอบของวัตถุนั้น เช่นการอ้างถึงตำแหน่งของเวอร์เทค (Vertex) ที่ใช้เป็นจุดสำหรับการสร้างโพลีกอนของวัตถุ เมื่อเราใช้คำสั่งหมุนวัตถุ ซึ่งวัตถุในที่นี้ก็คือโพลีกอนก็จะหมุนรอบจุดอ้างอิงนี้ จุดดังกล่าวนี้เราเรียกว่าไพวอท (Pivot) และยังมีประโยชน์ในการกำหนดความสัมพันธ์ของวัตถุ (Hierarchy) ให้กับวัตถุโดยการใช้เป็นจุดอ้างอิงให้กับจุดอ้างอิงของวัตถุอื่นๆ

2.2.3 การแปลงในงาน 3 มิติ (Transformations in 3D)

เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งจุดใดๆ ด้วยกระบวนการทางเมตริกซ์การแปลง (Transformation Matrix) ซึ่งจะคำนวณทุกจุดบนระบบพิกัดของวัตถุนั้นๆ จึงได้ผลลัพธ์เป็นการเปลี่ยนแปลงกับวัตถุทั้งชิ้น ไม่ใช่ส่วนหนึ่งส่วนใดของวัตถุที่ดำเนินการ โดยการแปลงพื้นฐานได้แก่ การเลื่อนตำแหน่ง (Translation), การหมุน (Rotation), การเปลี่ยนขนาด (Scale) จะใช้การดำเนินการ (Operation) ทางเมตริกซ์ ที่แตกต่างกัน ได้แก่ การคูณเมตริกซ์ และการบวกเมตริกซ์ โดยมีการคำนวณหาพิกัดใหม่หลังการแปลงได้ดังนี้

$$P' = M1 * P + M2$$

เมื่อ P' = เมตริกซ์ของโคออร์ดิเนตใหม่หลังการแปลง

P = เมตริกซ์ของโคออร์ดิเนตก่อนการแปลง

M1 = เมตริกซ์ของการแปลงแบบเปลี่ยนขนาด หรือการหมุน

M2 = เมตริกซ์ของการแปลงแบบเลื่อนตำแหน่ง

2.2.3.1 พิกัดโฮโมจีเนียส (Homogeneous coordinate)

เนื่องจากส่วนใหญ่กระบวนการแปลงจะใช้การดำเนินการแบบต่างๆ ร่วมกัน จึงมีการคำนวณหาค่าเมตริกซ์รวมของการแปลง ที่มีทั้งการบวกและการคูณเมตริกซ์ แต่ในการเลื่อนตำแหน่ง (ใช้การบวกเมตริกซ์) ต่างจากการเปลี่ยนขนาดและการหมุน จึงไม่สามารถใช้เมตริกซ์ขนาด 3 x 3 ได้ ดังนั้นจึงใช้การเพิ่มขนาดเมตริกซ์แต่ยังคงสัดส่วนของค่าแกน X, Y, Z เท่าเดิม โดยเพิ่มพารามิเตอร์ h เข้าไปในเมตริกซ์ หลักการนี้เรียกว่า Homogeneous coordinate โดยพารามิเตอร์ h ต้องไม่เท่ากับ 0 (ปกติให้ h = 1) ดังสมการ

$$x = xh/h,\ y = yh/h,\ z = zh/h$$

ความสัมพันธ์ในระบบพิกัด XYZ: $(x, y, z, h) = (x/h, y/h, z/h, 1)$

2.2.3.2 การเลื่อนตำแหน่ง (Translation)

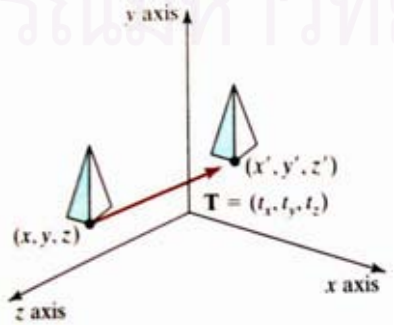
เป็นการเลื่อนตำแหน่งในแนวเส้นตรงตามแนวแกน X, Y, Z ในพิกัด 3 มิติ โดยมีกระบวนการทางเมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อ (X, Y, Z) คือ โคออร์ดิเนตของวัตถุก่อนการย้าย

(X', Y', Z') คือ โคออร์ดิเนตของวัตถุหลังการย้าย

Tx, Ty, Tz เป็นระยะห่างในการย้ายตามแนวแกน X, Y, Z ตามลำดับ



รูปที่ 2. 10 แสดงการเลื่อนตำแหน่งวัตถุในพิกัด 3 มิติ (ที่มา: Hearn, 2004: 263)

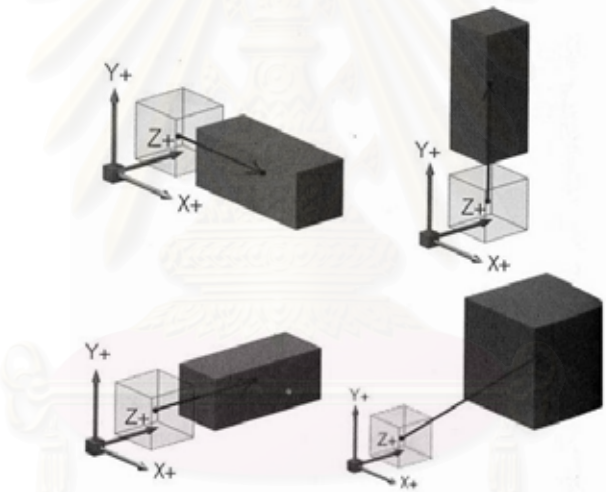
2.2.3.3 **การเปลี่ยนขนาด** (Scale)

คือการเลื่อนจุดหรือวัตถุไปในทิศทางที่อ้างอิงจากจุดอ้างอิงจุดหนึ่งที่กำหนดไว้ โดยมีอัตราส่วนที่แน่นอน โดยมีกระบวนการทางเมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อ Sx, Sy, Sz เป็นค่าอัตราส่วนการย่อ-ขยายตามแนวแกน X, Y, Z ตามลำดับ

หากทำการเปลี่ยนขนาดวัตถุ โดยที่ Sx = Sy = Sz จะได้วัตถุรูปร่างเดิม แต่ขนาดเปลี่ยนไป แต่ถ้า Sx ≠ Sy ≠ Sz วัตถุที่ได้จะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปด้วย และหากวัตถุไม่ได้มีจุดอ้างอิงอยู่ที่จุดเริ่มต้น (0, 0, 0) การเปลี่ยนขนาดทันทีจะทำให้ตำแหน่งของวัตถุเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนขนาดจึงจำเป็นต้องทำที่จุดเริ่มต้น (0, 0, 0)



รูปที่ 2. 11 แสดงการเปลี่ยนขนาดวัตถุในพิกัด 3 มิติ

(ที่มา: พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.: 118)

การเปลี่ยนขนาดวัตถุที่มีจุดอ้างอิงไม่ได้อยู่ที่จุดเริ่มต้น (0, 0, 0) จะมีลำดับในการแปลงดังนี้

- ย้ายจุดอ้างอิงของวัตถุไปที่จุดเริ่มต้น (0, 0, 0)
- ย่อ-ขยายขนาดของวัตถุตามที่ต้องการ
- ย้ายจุดอ้างอิงของวัตถุจากจุดเริ่มต้น กลับไปยังจุดเดิม

ลำดับเหล่านี้ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ เมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -T_x \\ 0 & 1 & 0 & -T_y \\ 0 & 0 & 1 & -T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & (1-S_x)T_x \\ 0 & S_y & 0 & (1-S_y)T_y \\ 0 & 0 & S_z & (1-S_z)T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

2.2.3.4 **การหมุน** (Rotation)

คือการหมุนจุดหรือวัตถุใน 3 มิติรอบแกนที่ทำการกำหนดไว้ว่าจะเป็นแกน X, Y, หรือ Z (หรือรอบแกนใดๆ ในสามมิติ) โดยมีกระบวนการทางเมตริกซ์ดังนี้

การหมุนแนวแกน X ค่าที่เปลี่ยนแปลงคือค่าตามแนวแกน Y และ Z

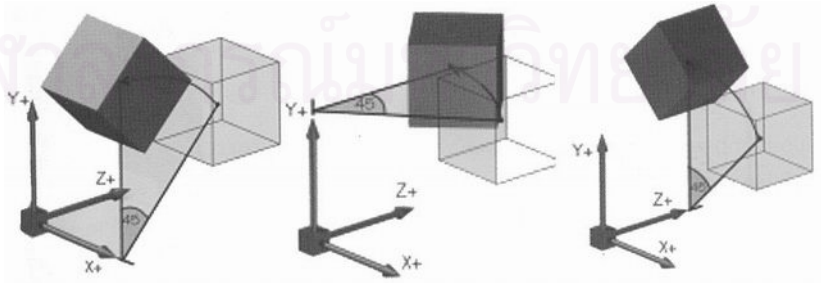
$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

การหมุนแนวแกน Y ค่าที่เปลี่ยนแปลงคือค่าตามแนวแกน X และ Z

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

การหมุนแนวแกน Z ค่าที่เปลี่ยนแปลงคือค่าตามแนวแกน X และ Y

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$



รูปที่ 2. 12 แสดงการหมุนวัตถุในพิกัด 3 มิติ

(ที่มา: พรพล สาครินทร์, กฤษฎา แก้วมณี, ม.ป.ท.: 117)

การหมุนเทียบกับแกนสมมุติซึ่งขนานกับแกนหลัก การหมุนแบบนี้ มีหลักการคล้ายกับการเปลี่ยนขนาดวัตถุที่มีจุดอ้างอิงที่ไม่ใช่จุดกำ าเนิด (Origin Coordinate) ดังนี้

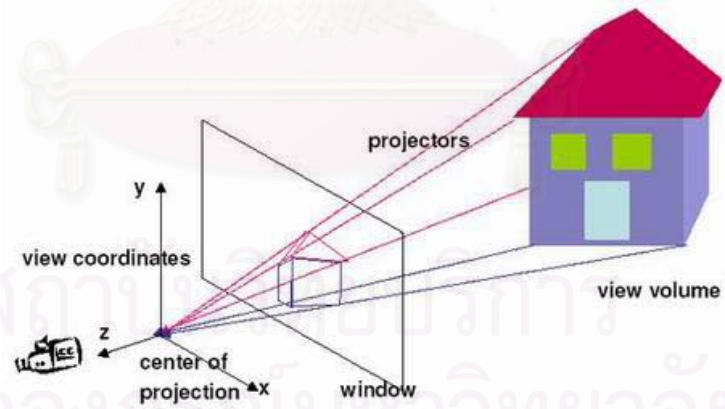
- ย้ายแกนสมมติไปยังแกนหลักที่แกนสมมตินั้นขนาน
- หมุนวัตถุตามแกนนั้นๆ
- ย้ายแกนสมมติกลับไปยังที่เดิม

2.2.4 เรขาคณิตของการฉายภาพทัศนมิติ (The Geometry of Perspective Projection)

การนำเสนอวัตถุ 3 มิติ ให้ปรากฏในจอภาพ 2 มิติ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการฉายภาพ (Projection) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถสร้างภาพ 2 มิติได้ โดยเทคนิคนี้จะเสมือนกับการฉายเงาของวัตถุไปตกบนระนาบหนึ่ง ระนาบนี้เรียกว่า ระนาบภาพ (View of Plane, Projection Plane)

ระนาบภาพ คือ ระนาบที่เป็นฉากสำหรับเงาของวัตถุ ภาพของเงาที่เกิดบนระนาบจะเป็นภาพ 2 มิติของวัตถุ และเป็นภาพที่จะถูกวาดออกทางจอภาพ ระนาบภาพสามารถเป็นระนาบใดๆ ก็ได้ ที่ตั้งอยู ในระบบพิกัด 3 มิติ เราจะมองระนาบภาพนี้เสมือนกับระนาบ XY ธรรมดา

ภาพที่เกิดจากฉายภาพทัศนมิติ (Perspective Projection) นั้นเปรียบได้กับภาพที่เกิดจากการยิงลำแสงพุ่งเข้าหาจุดๆ หนึ่ง เรียกว่า Projection Reference Point หรือ Center of Projection ดังนั้นภาพที่ปรากฏจะมีลักษณะอย่างไร ขึ้นกับระยะของจุดนี้และระยะของระนาบภาพ

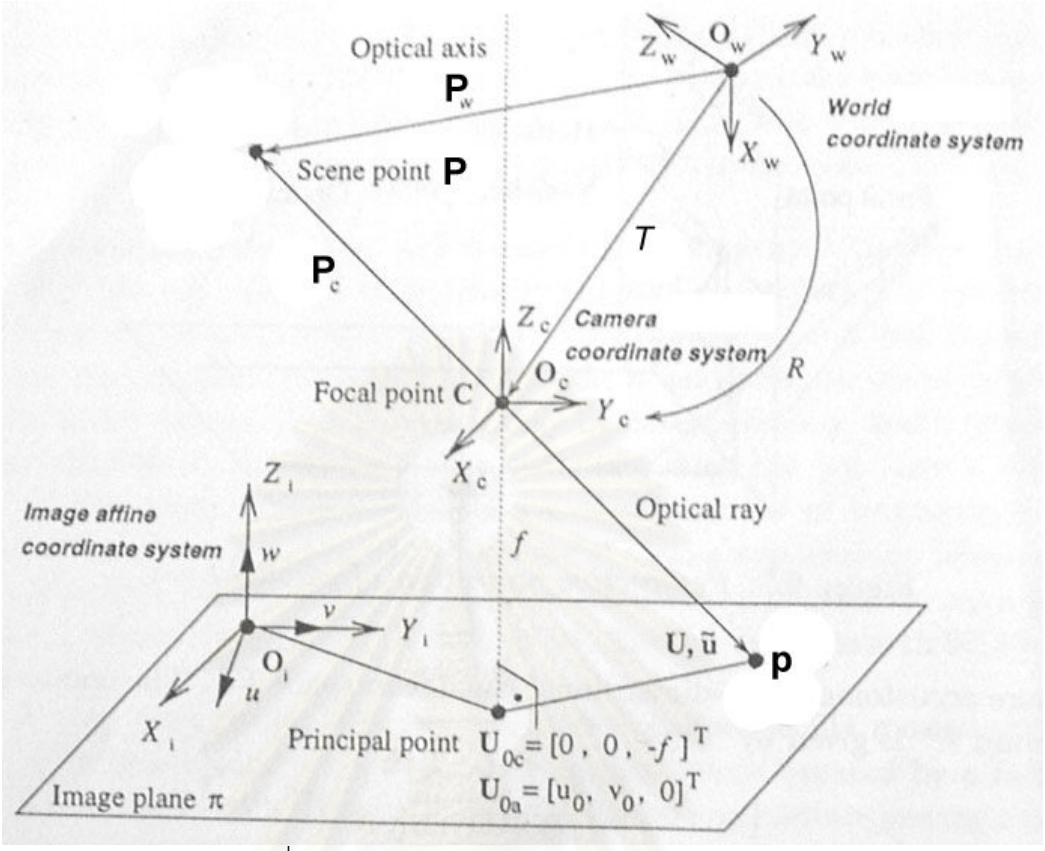


รูปที่ 2. 13 แสดงการฉายภาพทัศนมิติ

(ที่มา: http://www.cse.ucsd.edu/classes/wi03/cse167)

2.2.4.1 หลักการฉายภาพทัศนมิติ

การฉายภาพทัศนมิตินั้นใช้หลักการพื้นฐานของกล้องรูเข็ม โดยมีเทคนิคและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับระบบพิกัดและหลักการทางเรขาคณิต แสดงดังรูป



รูปที่ 2. 14 แสดงหลักการทางเรขาคณิตในการฉายภาพ

(ที่มา: Sonka, Hlavac, and Boyle, 1999: 450)

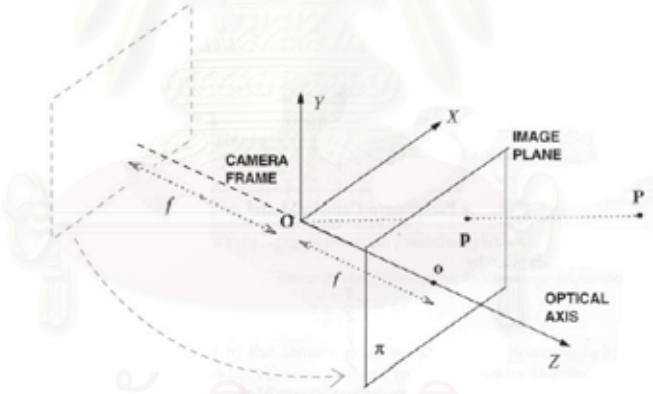
จากรูปสมมุติให้ Image Plane ¶ เป็นระนาบภาพ จุดปะในแนวตั้งเป็นแกนออปติคอล (Optical Axis) เลนส์จะตั้งฉากกับแกนออปติคอลและอยู่ที่ตำแหน่ง Focal Point หรือ Optical Center และระยะ f คือ ความยาวโฟกัส (Focal Length หรือ Principal Axis Distance) จุดตัดของแกนออปติคอลกับระนาบภาพเรียกว่า Principal Point หรือ Image Center (จุดนี้ไม่จำเป็นต้องอยู่กึ่งกลางของระนาบภาพเสมอไป) และในการฉายภาพทุกจุดใดๆ ของวัตถุที่อยู่ในกรอบภาพ (สมมุติให้เป็นจุด P) จะสะท้อนภาพผ่านจุด Focal Point และตกกระทบกับระนาบภาพที่ตำแหน่ง p (จากรูปด้านบนสมมุติให้เป็นตำแหน่ง U) ใดๆ สำหรับระบบพิกัดที่เกี่ยวข้องกับการฉายภาพอธิบายได้ดังนี้

- WCS หรือ World Co-ordinate System มีจุดกำเนิด (Origin) ที่ตำแหน่ง Ow ประกอบด้วยพิกัด Xw, Yw, Zw ตามลำดับ จุด P จะอ้างอิงตำแหน่งกับพิกัดในระบบนี้
- CCS หรือ Camera Co-ordinate System มีจุดกำเนิด (Origin) ที่ตำแหน่ง Oc ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Focal Point ประกอบด้วยพิกัด Xc, Yc, Zc ตามลำดับ แกน Zc จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนออปติคอล ในการเปลี่ยนพิกัด

อ้างอิงจาก World Co-ordinate ไปเป็น Camera Co-ordinate จะใช้เมตริกซ์การแปลงเข้ามาใช้ โดยพิจารณาเรื่องการเคลื่อนย้าย (Translation) และการหมุน (Rotation)

- ICS หรือ Image Co-ordinate System มีแนวพิกัดอยู่ทิศทางเดียวกับ Camera Co-ordinate System ประกอบด้วยพิกัด Xi, Yi, Zi ตามลำดับ โดยแกน Xi, Yi อยู่บนระนาบภาพ
- Image Affine Co-ordinate System มีจุดกำเนิด (Origin) ที่ตำแหน่ง Oi ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับ Image Co-ordinate ประกอบด้วยพิกัด u, v, w ตามลำดับ โดย v และ w อยู่ในแนวเดียวกับแกน Yi, Zi แต่แกน u ไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเดียวกับแกน Xi เสมอไป

โดยปกติการจำลองโลกเสมือนจริง 3 มิติ หลักการเรขาคณิตของการฉายภาพทัศนมิติ จะกลับตำแหน่งระนาบภาพที่อยู่หลังจุดโฟกัสมาอยู่ด้านหน้าจุดโฟกัส (ใช้ทฤษฎีเรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยม) ซึ่งจุดโฟกัสนี้จะที่เป็นตำแหน่งของกล้องเสมือน และระนาบภาพคือตำแหน่งของคลิปปิ้งวินโดว์ (Clipping Window)



รูปที่ 2. 15 แสดงการฉายภาพโดยระนาบภาพอยู่หน้าจุดโฟกัส
(Focal Point หรือ Center Projection หรือ Camera Origin)

2.2.4.2 สมการของการฉายภาพทัศนมิติ

การเปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิงของจุดใดๆ (สมมุติเป็นจุด P) ที่มีตำแหน่งอ้างอิงกับ พิกัด WCS (World Co-ordinate System) ให้ไปอ้างอิงกับพิกัด CCS (Camera Co-ordinate System) แทน จะใช้การแปลงที่อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$P_c = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R\left(P_w - T\right) = R\left(\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} - T\right)$$

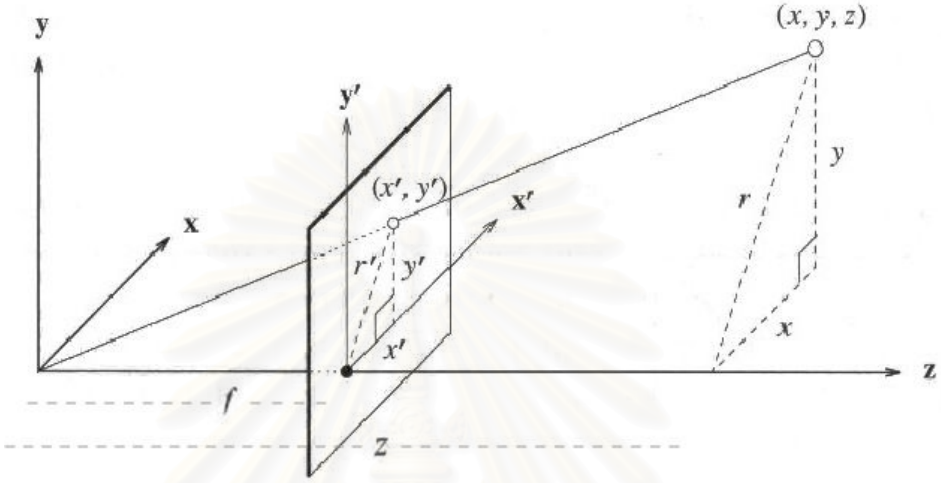
Pw คือ จุด P พิกัดอ้างอิงกับ WCS

Pc คือ จุด P พิกัดอ้างอิงกับ CCS

R คือ เมตริกซ์ของการหมุน

T คือ เมตริกซ์ของการเคลื่อนย้าย

การฉายภาพจุด P ลงบนระนาบรับภาพจะใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย ดังรูป



รูปที่ 2. 16 แสดงการใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้ายในการฉายภาพ

สมการการฉายภาพที่ได้คือ

$$x' = \frac{fx_c}{z_c}, y' = \frac{fy_c}{z_c}, z' = f$$

$$p = \begin{bmatrix} \frac{fx_c}{z_c} & \frac{fy_c}{z_c} & f \end{bmatrix}$$

x', y', z' คือ ตำแหน่งจุด p พิกัดอ้างอิงกับ CCS

x_c, y_c, z_c คือ ตำแหน่งจุด P พิกัดอ้างอิงกับ CCS

f คือระยะโฟกัส (Focal Length)

p คือ ตำแหน่งจุด P ที่ถูกฉายบนระนาบภาพ

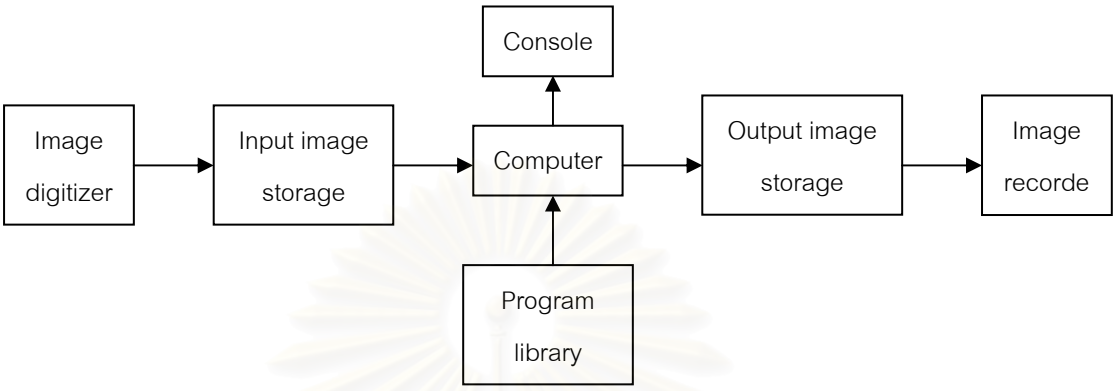
2.3 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานทางกระบวนการประมวลภาพดิจิตอล

2.3.1 กระบวนการประมวลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing)

กระบวนการประมวลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing) จะเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิตอล (Digital Format) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้จัดผ่านกระบวนการและอัลกอริทึมต่างๆ ด้วยดิจิตอลคอมพิวเตอร์ โดยมีลักษณะการประมวลผลที่แตกต่างกันออกไป

อิมเมจ อนาไลซ์ซิส (Image Analysis) เป็นวิธีการอธิบายและการจดจำข้อมูลภาพดิจิตอล ซึ่งอินพุตของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิตอล และเอาพุตจะเป็นตัวเลขหรือเครื่องหมายที่บ่ง

บอกลักษณะของภาพ เช่น การวัดระยะหรือหาขนาดของวัตถุจากภาพ เป็นต้น ในการวิเคราะห์ภาพมีอยู่หลายวิธีด้วยกันที่ได้นำมาจากการทำงานของตามนุษย์ (Human Vision) ซึ่งเป็นงานทางด้าน คอมพิวเตอร์วิชชั่น (Computer Vision) (มนตรี กาญจนะเดชะ, 2004: online)



รูปที่ 2. 17 แสดงกระบวนการอิมเมจดิจิตอล

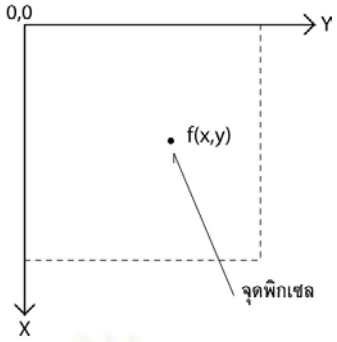
2.3.2 **คอมพิวเตอร์วิชชั่น** (Computer Vision)

คอมพิวเตอร์วิชชั่น (Computer Vision) เป็นการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับทฤษฎีและอัลกอริทึม เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถอธิบายและวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสามมิติได้เองอัตโนมัติโดยใช้ข้อมูลจากภาพสองมิติ เนื่องจากการรับรู้ทางการมองเห็นทำให้มนุษย์สังเกตและเข้าใจสภาพแวดล้อมรอบตัวได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์วิชชั่นจึงมีเป้าหมายในการเลียนแบบสภาวะการมองเห็นของมนุษย์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถตีความหมายภาพในเชิงสามมิติ แต่จะแตกต่างที่มนุษย์รับข้อมูลภาพเป็นสามมิติทันที ส่วนคอมพิวเตอร์รับข้อมูลเป็นเพียงภาพสองมิติ (Sonka, Hlavac and Boyle, 1999: 1)

2.3.3 **รูปร่างของภาพ** (Image Shape)

การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพจะนิยมให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Image Model) เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การแสดงภาพในรูปแบบดิจิตอลเป็นผลมาจากการสุ่มค่าในระบบพิกัดเชิงพื้นที่ (Spatial Coordinate) และทำการ ควอนไทซ์เซชั่น (Quantization) ของระดับความสว่างหรือความเข้ม โดยความกว้างและความสูงของภาพแสดงในแกน Y และ X ตามลำดับ ส่วนจุดใดๆ ในระนาบ XY เป็นฟังก์ชั่น f(x, y) เรียกว่า พิกเซล (Pixel) โดยแต่ละพิกเซลจะแสดงค่าระดับความเข้ม ได้ (ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล, 2547:152)



รูปที่ 2. 18 แสดงระบบพิกัดในการแสดงผลระดับพิกเซลของจอภาพ

การอ่านภาพและการเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำโดยการจองหน่วยความจำไว้ในรูปของตัวแปรอะเรย์ (Array) 2 มิติขนาด M*N (M = จำนวนแถวบนแกน X และ N = จำนวนคอลัมน์บนแกน Y) ซึ่งค่าในแต่ละช่องของอะเรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (Pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ ซึ่งค่า M และ N จะเป็นตัวบอกความละเอียดของภาพ สำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640x480, 800x600, 1024x768 จุด เป็นต้น

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & . & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & . & f(1,N-1) \\ . & . & . & . \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & . & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}_{M*N}$$

รูปที่ 2. 19 แสดงตัวแปรอะเรย์ที่ใช้เก็บข้อมูลภาพขนาด M*N

สำหรับเนื้อที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก M x N x g เมื่อ g เป็นจำนวนเต็มที่แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ เช่น ภาพขาวดำขนาด M*N ที่ g มีค่าเท่ากับ 8 บิต จะมีความแตกต่างของระดับสีได้สูงสุด 28 หรือเท่ากับ 256 ระดับ คือตั้งแต่ระดับ 0 (สีดำ) จนถึง 255 (สีขาว) เป็นต้น จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้นจะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น

1 บิต = 21=2 สี

2 บิต = 22=4 สี

4 บิต = 24=16 สี

8 บิต = 28=256 สี

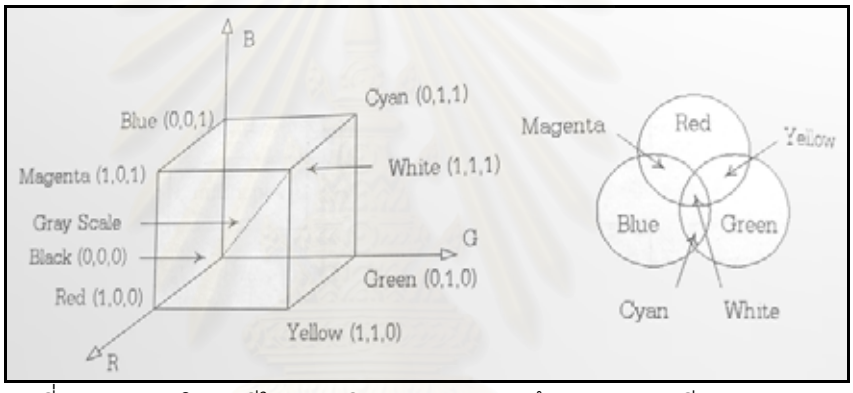
16 บิต = 216=65536 สี เป็นต้น

ตัวอย่างสำหรับระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ 800 x 600 และมีขนาด 16 บิตต่อพิกเซล จะสามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65536 ระดับและต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บเท่ากับ 800x600x16 บิต

2.3.4 **โมเดลสี** (Color Model)

แนวคิดของโมเดลสีคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติ และจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปสซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยมาตรฐานของโมเดลสีที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ ตัวอย่างเช่น ระบบ RGB (Red Green Blue), HSV (Hue Saturation Value), HLS (Hue Lightness Saturation), และ XYZ (เป็นระบบสีที่สมมุติตามอุดมคติ) เป็นต้น

ระบบ RGB เป็นระบบสีที่นิยมใช้ในอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และจอแสดงผลของคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยแม่สีของแหล่งกำเนิดแสงหลัก ได้แก่ แดง เขียว และน้ำเงิน ถ้านำทั้งสามสีมาสร้างพิกัดในระบบ 3 มิติ โดยแต่ละสีมีค่า 0 ถึง 1 (0 แสดงถึงความมืด และ 1 แสดงถึงความสว่าง) จะได้ภาพการผสมสีทางแสง (Additive Primary Color) เรียกว่า RGB Cube ดังรูป



รูปที่ 2. 20 แสดงโมเดลสีในระบบพิกัด RGB Cube (ซ้าย), การผสมสีทางแสง (ขวา)

(ที่มา: ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล, 2547:154)

ถ้าแต่ละแม่สีใช้ข้อมูลในการเก็บค่าสีขนาด 8 บิต ดังนั้นใน 1 พิกเซลจะใช้ข้อมูลในการเก็บค่าสีทั้งหมด 24 บิต เรียกว่า ภาพสีมีความลึกเท่ากับ 24 บิต ซึ่งจะสามารถสร้างสีใหม่ได้ถึง 256*256*256 เท่ากับ 16,777,216 สี ซึ่งในการเก็บข้อมูลภาพสีจะยังอยู่ในรูปแบบเมตริก 2 มิติ ขนาด M*N เหมือนเดิมแต่ค่า f(x,y) จะประกอบด้วยชุดอะเรย์ขนาด 3 อิลิเมนต์ ได้แก่ แดง (R), เขียว (G), น้ำเงิน (B) โดยแต่ละอิลิเมนต์มีระดับค่าสีอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 (สำหรับการเก็บข้อมูลขนาด8 บิต)

การแปลงโหมดสี RGB ให้เป็นขาว-เทา-ดำ Gray Scale จะใช้สมการ ดังนี้

$$\text{Gray Scale} = 0.299*R + 0.587*G + 0.144*B$$

หรือใช้สมการการหาค่าเฉลี่ย

$$\text{Gray Scale} = (R+G+B)/3$$

ค่า Gray Scale คือค่าที่อยู่ในช่วง (0,0,0) ถึง (1,1,1) ในระบบพิกัด RGB Cube

การแปลงค่าสีระหว่างระบบ RGB กับ XYZ สามารถทำได้โดยการใช้สมการเมตริก ดังนี้

แปลงจาก RGB ไป XYZ

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

แปลงจาก XYZ ไป RGB

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.240479 & -1.53715 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875991 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

2.3.5 การเทียบมาตรฐานกล้อง (Camera Calibration)

Camera Calibration เป็นการคำนวณหาพารามิเตอร์ของกล้องจากภาพ มีค่าเป็นตัวเลขที่บอกถึงลักษณะเฉพาะที่เป็นองค์ประกอบของกล้องนั้นๆ พารามิเตอร์กล้องแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. Intrinsic Camera Calibration เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกคุณลักษณะจำเพาะของกล้องนั้นๆ ประกอบด้วย
   - Focal length ความยาวโฟกัส คือระยะระหว่างเลนส์กับระนาบภาพ ประกอบด้วยตัวแปร 2 ตัวคือ f_x, f_y
   - Image Center ตำแหน่ง Image Center ในพิกัดพิกเซล ประกอบด้วยตัวแปร 2 ตัวคือ C_x, C_y เป็นค่าตำแหน่งในแกน X และแกน Y ตามลำดับ
   - ขนาดของพิกเซล ประกอบด้วยตัวแปร 2 ตัวคือ S_x, S_y ค่าความกว้างพิกเซลและค่าความสูงพิกเซล
   - Radial distortion coefficient ของเลนส์
2. Extrinsic Camera Calibration เป็นพารามิเตอร์แสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (พิกัด) ระหว่างระบบพิกัดกล้องและระบบพิกัดสากล ประกอบด้วย
   - เวคเตอร์การเคลื่อนย้าย (Translation Vector) ทั้ง 3 แกน ได้แก่ X, Y, Z
   - เมตริกซ์การหมุน (Rotation Matrix) เป็นการหมุนทั้ง 3 แกน ได้แก่ Roll, Pitch, Yaw ซึ่งคือการหมุนรอบแกน X, Y, Z ตามลำดับ

ในการฉายภาพทัศนมิติ ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง 3 มิติ และตำแหน่งการที่ถูกฉายภาพแสดงได้จากสูตรด้านล่าง

$$m = A\,[RT]\,M$$

เมื่อ M = เป็นตำแหน่ง 3 มิติ

m = ตำแหน่งที่ถูกฉายภาพ

A = พารามิเตอร์ Intrinsic

R = พารามิเตอร์ Extrinsic เป็นเมตริกซ์การหมุน

T = พารามิเตอร์ Extrinsic เป็นเวคเตอร์การเคลื่อนย้าย

$$A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$$

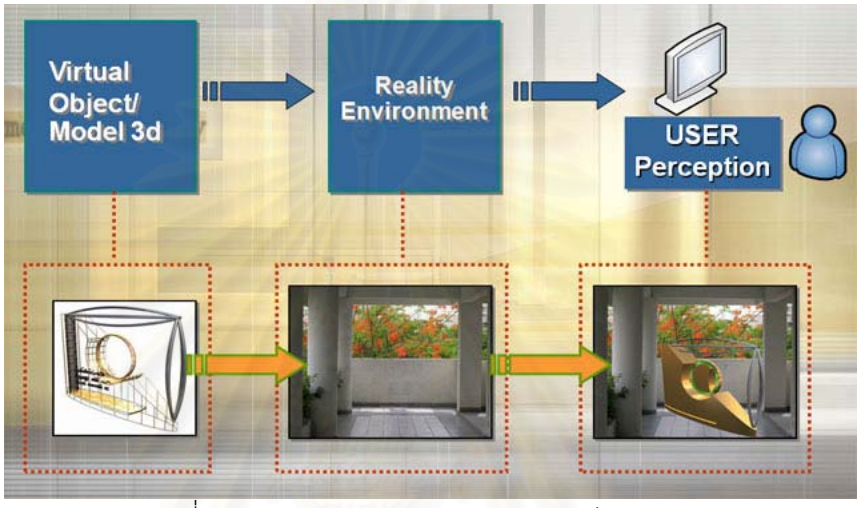
2.4 การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับความเป็นจริงเสริม

2.4.1 แนวคิดเกี่ยวกับความเป็นจริงเสริม

ความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality, AR) หรือเทคนิคเพิ่มความเสมือนจริง เป็นผลการพัฒนางานวิจัยทางด้านความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality) เนื่องจากสภาวะโลกแห่งความเป็นจริง มีข้อมูล องค์ประกอบทางสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่หลากหลายและยากต่อการจำลองลักษณะทางกายภาพเหล่านั้นด้วยคอมพิวเตอร์ให้ได้ครบถ้วนสมบูรณ์แบบ (Jim Vallino, 2003: online) ทำให้การจำลองแบบสามมิติที่เรียกกว่าความเป็นจริงเสมือนไม่สามารถทำได้เหมือนกับความจริงได้ และหากมีการทำให้ใกล้เคียงจะต้องอาศัยทรัพยากรและเทคโนโลยีชั้นสูงซึ่งจะตามมาด้วยงบประมาณที่สูงขึ้นด้วย

รูปแบบของความเป็นจริงเสริมจะเป็นการซ้อนทับวัตถุเสมือนและเนื้อหาสารสนเทศลงบนสภาพแวดล้อมจริง โดยผู้ใช้สามารถรับรู้ผ่านอุปกรณ์ป้อนตรงต่อประสาทสัมผัสด้านการเห็นเป็นหลัก เป็นที่สวมศีรษะที่มีจอป้อนภาพและรับภาพจากมุมมองสายตาปกติ เรียกว่า See-Through Head Mounted Displays และมีอุปกรณ์จับการเคลื่อนไหว (Tracking Motion, Tracking Devices) เป็นตัวช่วยปรับภาพเสมือนให้ตรงกับการเคลื่อนไหวและรับกับมุมมองที่เห็นจริง ทั้งนี้การตรวจจับการเคลื่อนไหวและแสดงผลเป็นลักษณะตามเวลาจริงที่เกิดขึ้นทันที (Real-Time) จึงต้องมีความแม่นยำเที่ยงตรงเป็นอย่างดี มิฉะนั้นอาจมีการแสดงผลที่ผิดพลาดไม่สัมพันธ์กับมุมมองภาพจริง ทำให้เกิดการบิดเบือนของวัตถุและข้อมูล กล่าวได้ว่าหลักการของเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม จะทำการผสานและซ้อนทับภาพหรือสิ่งที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ลงบนมุมมองภาพจริงจากสายตา เนื่องจากการตรวจจับการเคลื่อนไหวและแสดงผลเป็นลักษณะตามเวลาจริงที่

เกิดขึ้นทันที (Real-Time) โดยการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานและขยายความสามารถในการรับรู้องค์ประกอบทางกายภาพบน โดยเป้าหมายสูงสุดของการพัฒนาระบบความเป็นจริงเสริมคือการสร้างระบบดังกล่าวให้ผู้ใช้งานไม่สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างความจริงกับความเป็นจริงเสริม ระบบดังกล่าวจะทำให้ผู้ใช้งานเห็นทุกอย่างกลมกลืนไปกับสภาวะแวดล้อมจริง และส่งผลต่อระบบประสาทสัมผัสการรับรู้ส่วนต่างๆ นอกจากการมองเห็น โดยรายละเอียดเรื่องความจริงเสริมสามารถดูเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก

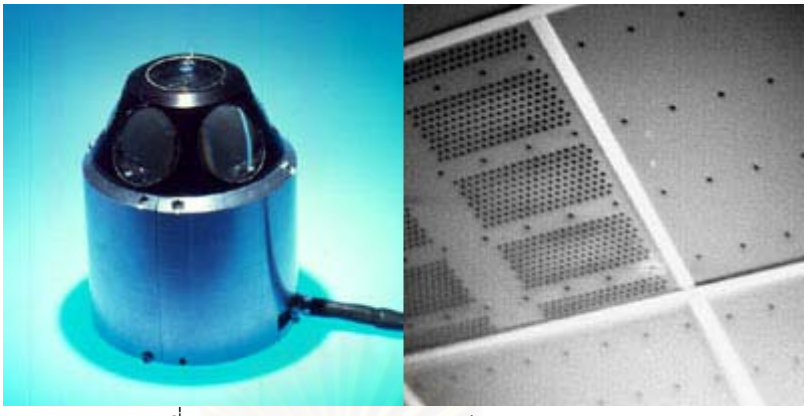


รูปที่ 2. 21 แสดงตัวอย่างของแนวคิดความเป็นจริงเสริม

2.4.2 **หลักการทำงานของความเป็นจริงเสริม**

ส่วนที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของโครงสร้างการทำงานความเป็นจริงเสริมคือ ระบบจดจำการนำร่อง ที่ส่งค่าตัวแปรให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณสภาพแวดล้อมเสมือนให้ตรงกับมุมมองในสภาพแวดล้อมจริง โดยมีเทคนิควิธีการอยู่ 2 รูปแบบได้แก่

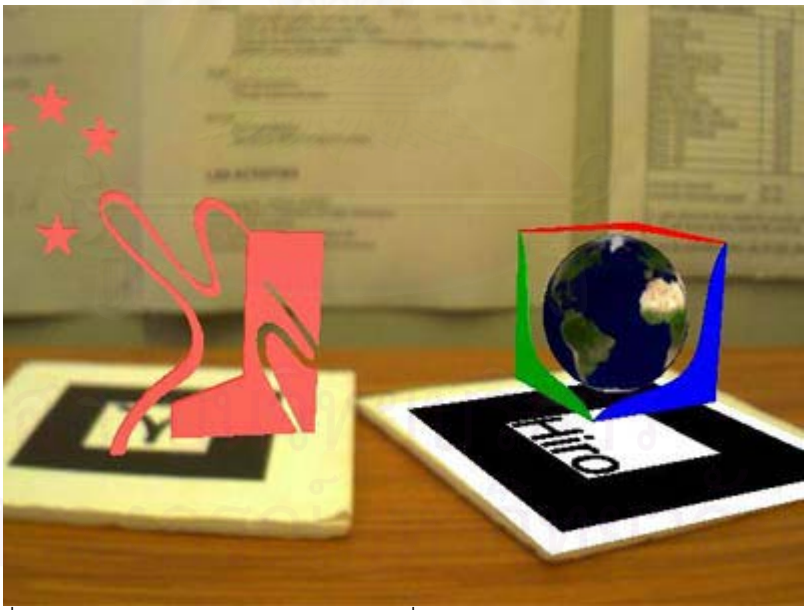
- Tracking Devices & Sensor Fusion เป็นการใช้อุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์เพื่อระบุตำแหน่งและทิศทางที่ถูกต้องของมุมมองภาพจากตัวผู้ใช้งาน แล้วส่งค่าตัวแปรให้คอมพิวเตอร์คำนวณการประสานภาพ



รูปที่ 2. 22 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ Tracking Devices

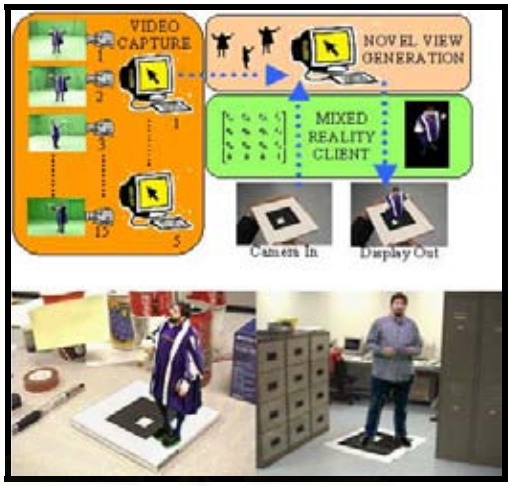
(ที่มา: http://www.howstuffworks.com/augmented-reality.htm)

- Image Processing & Marking เป็นวิธีการที่ใช้ความสามารถทางด้านซอฟแวร์ในการคำนวณภาพจริงที่ได้รับจากกล้องโดยอาศัยสื่อกลางที่เป็นเครื่องหมาย (Marking)ในการกำหนดทิศทางและตำแหน่งให้กับสภาพแวดล้อมเสมือน เทคนิคนี้มีการนำไปใช้กับสภาพแวดล้อมจริงทั้งแบบกล้องวิดีทัศน์ (VDO Camera) และแบบภาพนิ่ง (Capture-Image)



รูปที่ 2. 23 แสดงรูปแบบความเป็นจริงเสริมที่ใช้เทคนิค Image Processing & Marking

(ที่มา: http://www.computergraphica.com/)



รูปที่ 2. 24 แสดงวิธีการแบบ Image Processing & Marking
(ที่มา: http://mixedreality.nus.edu.sg/research.htm)

2.5 การศึกษาและวิเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากผลงานที่เกี่ยวของกับเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม เพิ่งเริ่มมีการตื่นตัวและพัฒนาอย่างจริงจังในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้กับสายงานสถาปัตยกรรม (ในสาขาต่างๆ รวมถึงสถาปัตยกรรมภายในด้วย) ดังนั้นผลงานส่วนใหญ่จะเป็นการพัฒนาต่อเนื่องกันมาเรื่อยๆ รวมถึงการนำมาใช้งานจริงในเชิงธุรกิจยังไม่เป็นที่หลากหลายถึงกับสามารถมีตัวเลือกในการเปรียบเทียบได้ เพราะฉะนั้นตัวอย่างกรณีศึกษาที่นำมาเสนอ ณ ที่นี้เพื่อให้เห็นการพัฒนาการและแนวทางขยายผลด้วยเทคนิคแนวทางต่างๆ ของเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม จึงไม่มีการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างกัน แต่จะเป็นการวิเคราะห์หาจุดเด่นและข้อจำกัดของแต่ละกรณีศึกษา โดยมีหัวข้อในการวิเคราะห์ตัวอย่างดังนี้

- วัตถุประสงค์ของการพัฒนาเพื่อการใช้งาน
- แนวคิดและหลักการของกรณีศึกษา
- ลักษณะการใช้งานและการแสดงผลของกรณีศึกษา
- จุดเด่นและจุดด้วยของกรณีศึกษา

ภายหลังจากการวิเคราะห์กรณีศึกษาแล้ว ผลของการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้เป็นข้อพิจารณา และประยุกต์สร้างแนวทาง พร้อมกับการกำหนดคุณลักษณะที่เหมาะสมของโปรแกรมในงานวิจัยต่อไป

2.5.1 กรณีศึกษาที่ 1

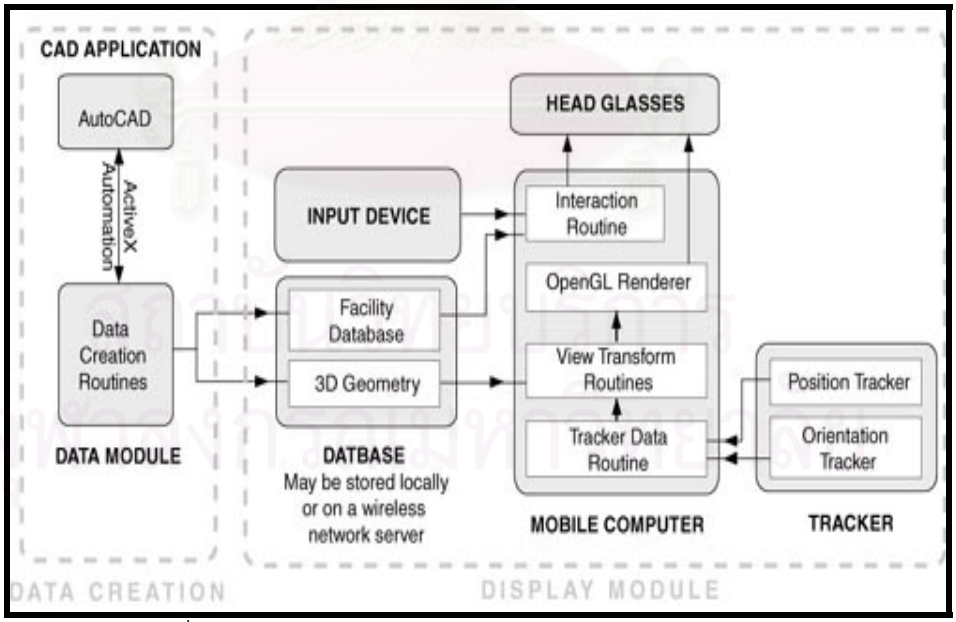
AUGMENTED REALITY: AN APPLICATION FOR ARCHITECTURE

พัฒนาโดย: Anish Tripathi, FACULTY OF THE SCHOOL OF ARCHITECTURE, SOUTHERN CALIFORNIA UNIVERSITY

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา: Visual Basic, Microsoft Access, VBA on AutoCAD

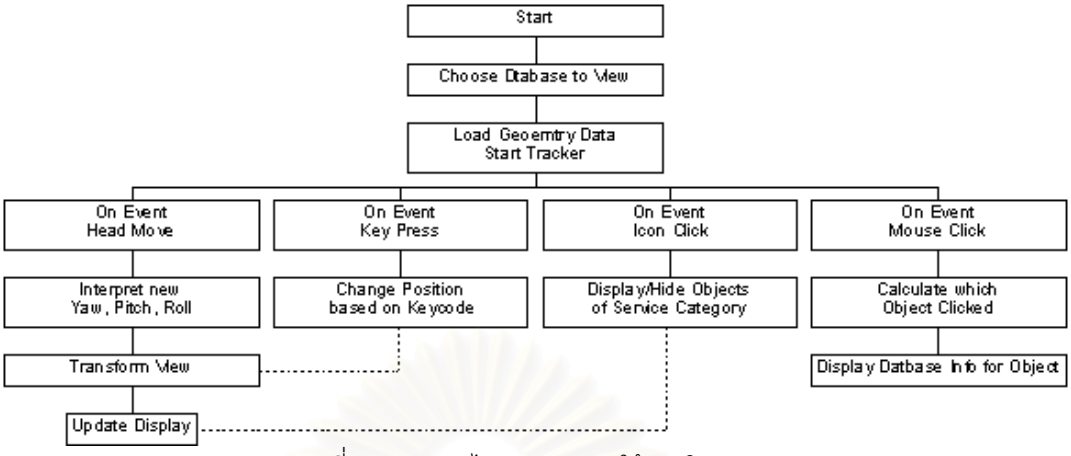
วัตถุประสงค์: งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบความเป็นจริงเสริมเพื่อใช้ภายในอาคารสำหรับงาน Facilities Management โดยเลือกกรณีตัวอย่างสำหรับการทดลองเป็นอาคาร Master of Building Science laboratory

แนวคิดและหลักการ: งานวิจัยชิ้นนี้เลือกเอาระบบ “Hardware Tracking” เข้ามาใช้ เพราะการทำงานของระบบจะต้องเชื่อมต่อกับทุกส่วนของอาคารทั้งหมดได้ (การใช้ Marker จะทำได้เฉพาะจุดที่รับภาพ Marker เท่านั้น) ฐานข้อมูลเพื่อใช้กับงาน Facilities Management ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นกราฟิค 3 มิติที่สร้างจากโปรแกรม Autocad เพื่อใช้แสดงองค์ประกอบของอาคาร อีกส่วนเป็นฐานข้อมูลของวัตถุที่เป็นงานระบบต่างๆ ของอาคาร (เป็นข้อมูลประเภท Text File) ได้แก่ ข้อมูลระบบไฟฟ้า, ระบบแสงสว่าง, ระบบทำความเย็น, ระบบท่อน้ำประปา, ระบบโครงสร้าง



รูปที่ 2. 25 ไดอะแกรมแสดงระบบการทำงานของโปรแกรมตัวอย่าง

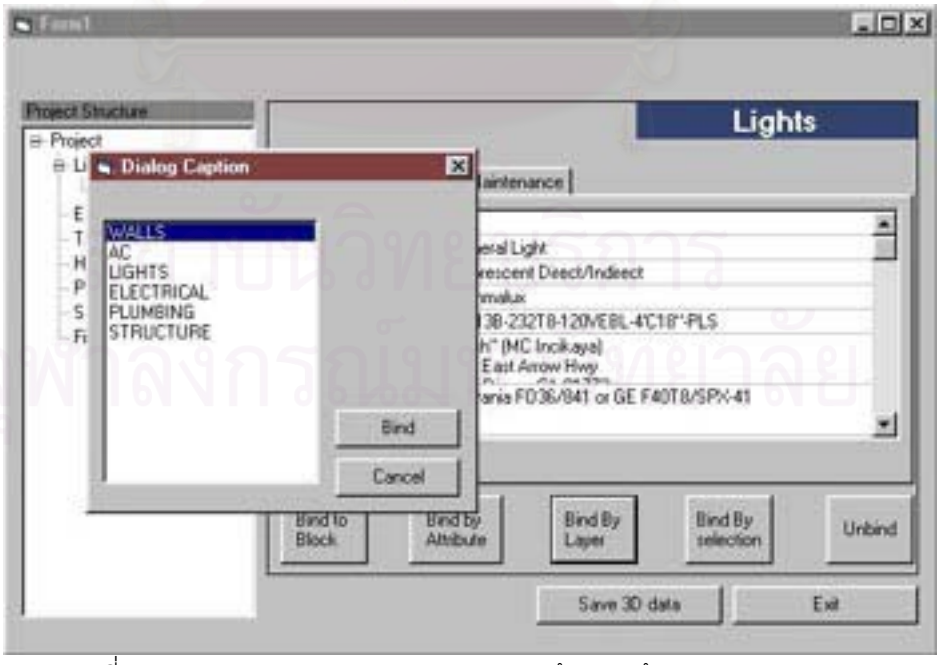
(ที่มา: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm)



รูปที่ 2. 26 แสดงไดอะแกรมการใช้งานโปรแกรม

(ที่มา: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm)

ลักษณะการใช้งานและการแสดงผล: การใช้งานนอกจากผู้ใช้งานจะต้องควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์แล้วยังต้องมีอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เฉพาะทางอีกคือ จอภาพสวมศีรษะ (Head Mounted Display, HMD) และอุปกรณ์จับตำแหน่งและทิศทาง (Tracking Device) โดยเมื่อผู้งานสวมอุปกรณ์ดังกล่าวแล้วอยู่ในตำแหน่งใดๆ ภายในห้องของอาคารที่ทำการทดลองและมองไปในมุมมองใดๆ โปรแกรมจะแจ้งข้อมูลของงานระบบอาคารของมุมมองที่ผู้ใช้เห็นในห้องนั้นๆ ให้ผู้ใช้งานทราบ โดยจะเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลงานระบบของอาคาร เช่น ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เมื่อผ๔ใช้งานมองไปในตำแหน่งที่มีการติดตั้งหลอดไฟ โรแกรมจะแสดงข้อมูลของหลอดไฟฟ้า ประเภทหลอดไฟ วันเวลาที่ติดตั้ง ขนาดของหลอดไฟ เป็นต้น โดยผู้ใช้งานสามารถแก้ไขฐานข้อมูลได้ทันที

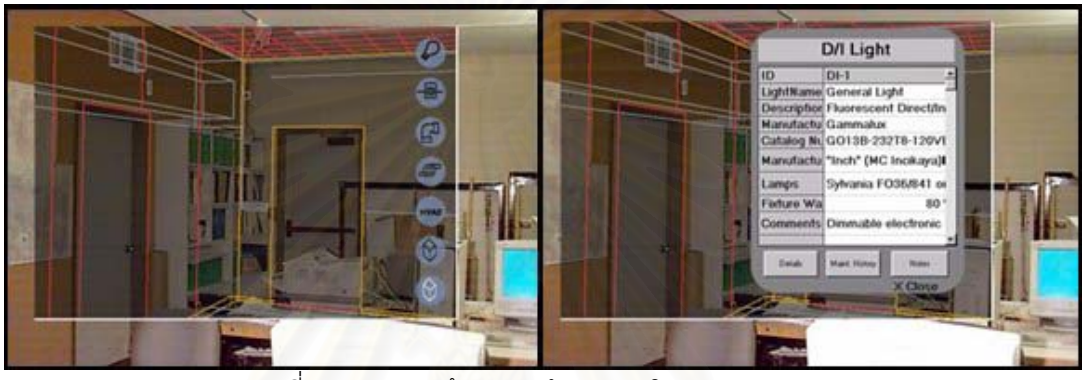


รูปที่ 2. 27 แสดงส่วนต่อประสานของการจัดการด้านฐานข้อมูลงานระบบอาคาร

(ที่มา: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm)

รูปที่ 2. 28 แสดงอุปกรณ์จอภาพสวมศีรษะ (HMD) และอุปกรณ์จับตำแหน่งและทิศทาง (Tracking Device)

(ที่มา: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm)



รูปที่ 2. 29 แสดงหน้าจอการทำงานของโปรแกรมตัวอย่าง

(ที่มา: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm)

ตารางที่ 2. 1 แสดงจุดเด่นและข้อจำกัดของกรณีศึกษาที่ 1

จุดเด่น	1. มีความแม่นยำในการแสดงผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์จับตำแหน่งและทิศทาง) 2. ขอบเขตการใช้งานค่อนข้างกว้าง ครอบคลุมได้ทั่วอาคาร 3. การใช้งานไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมของห้อง (ไม่มีข้อจำกัดด้านแสงสว่างในการมองเห็น) เพราะโปรแกรมไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากภาพที่จับด้วยกล้องมาใช้คำนวณ
ข้อจำกัด	1. โปรแกรมจะต้องใช้ทรัพยกรทางฮาร์ดแวร์ระดับสูง 2. ค่าใช้จ่ายของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้มีราคาสูงมาก 3. การใช้งานรวมถึงส่วนต่อประสาน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการใช้งาน 4. การแสดงผลข้อมูลค่อนข้างช้า การใช้ภาพเสมือนหากมีข้อมูลความละเอียดของภาพมากจะส่งผลต่อการแสดงผลที่ช้าหรือมีอาการกระตุกของภาพเกิดขึ้นได้

2.5.2 กรณีศึกษาที่ 2

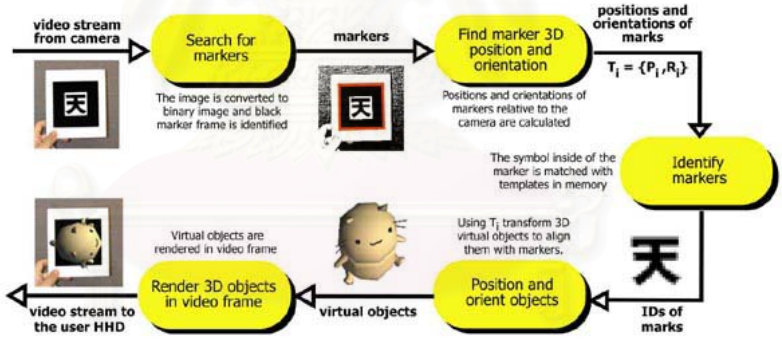
The BlackMagic Book

พัฒนาโดย: The Human Interface Technology Laboratory New Zealand. (HIT Lab NZ), using technology from Hiroshima City University.

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา: C++, ARToolKit – Marker Detector

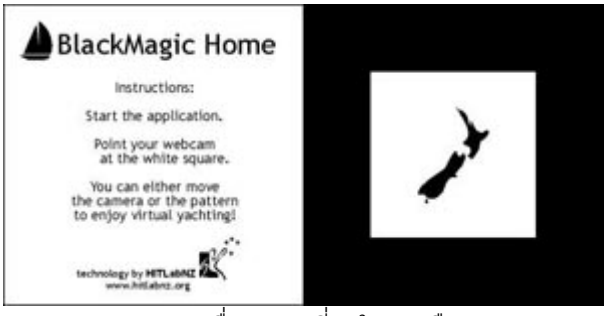
วัตถุประสงค์: งานชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาระบบความเป็นจริงเสริม ที่ใช้กระบวนการประมวลภาพดิจิตอลมาใช้ในการทำงาน เพื่อสร้างรูปแบบใหม่ของหนังสือ 3 มิติ ที่ผู้ใช้งานสามารถเห็นได้ทุกมุมมองเสมือนมีวัตถุจริงๆ ตั้งอยู่ตรงที่ผู้ใช้งานมองเห็น

แนวคิดและหลักการ: แนวคิดของโปรแกรมคือหนังสือเชิงสารานุกรมที่ให้ผู้ใช้ได้แชร์ประสบการณ์กับภาพ 3 มิติ ร่วมกันผ่านจอภาพสวมศีรษะ ซึ่งหลักการทำงานโปรแกรมจะต้องอาศัยเครื่องหมายสี่เหลี่ยมสีขาวขอบดำ ที่เป็นสัญลักษณ์เฉพาะที่ติดไว้บนหน้าหนังสือ โปรแกรมจะอ่านภาพแล้วตีความของตำแหน่ง ทิศทาง และรูปแบบเครื่องหมายตัวอักษรภายในเครื่องหมายที่จับได้จากกล้อง เพื่อนำไปใช้ดึงข้อมูลภาพเสมือน 3 มิติ มาแสดงในตำแหน่งและทิศทางของเครื่องหมาย ดังแสดงดังภาพ



รูปที่ 2. 30 แสดงหลักการทำงานของโปรแกรม BlackMagic Book
(ที่มา: http://www.hitlabnz.org/blackmagic/project.htm)

ลักษณะการใช้งานและการแสดงผล: ผู้ใช้งานเพียงแต่มีอุปกรณ์จอภาพสวมศีรษะแล้วมองไปยังหนังสือแบล็คเมจิก ที่มีเครื่องหมายกำกับอยู่ (หรือใช้กล้องดิจิตอลจับภาพแล้วมองที่มอนิเตอร์ก็ได้) ผู้ใช้งานจะเห็นภาพ 3 มิติ และเคลื่อนไหว อยู่ตรงหน้า ไม่ว่าจะมองในมุมไหนๆ หรือเคลื่อนย้าย หมุน หนังสือเล่มนั้น วัตถุที่จะหมุนหรือถูกเคลื่อนย้ายตามไปด้วย เสมือนว่าเป็นของจริงที่อยู่ตรงหน้า ให้ความรู้สึกว่าเหมือนว่าจะจับต้องได้



รูปที่ 2. 31 แสดงรูปแบบเครื่องหมายที่อยู่ในหนังสือ BlackMagic Book

(ที่มา: http://www.hitlabnz.org/blackmagic/project.htm)

รูปที่ 2. 32 แสดงการใช้งาน BlackMagic Book โดยใช้กล้องเวปแคม หรือใช้จอภาพสวมศีรษะ ตามลำดับ (ที่มา:

http://www.hitlabnz.org/blackmagic/project.htm)

รูปที่ 2. 33 แสดงผลการใช้งาน BlackMagic Book ในมุมมองของผู้ใช้งาน

(ที่มา: http://www.hitlabnz.org/blackmagic/project.htm)

ตารางที่ 2. 2 แสดงจุดเด่นและข้อจำกัดของกรณีศึกษาที่ 2

จุดเด่น	1. ซอฟแวร์ที่ใช้พัฒนาเป็นระบบเปิด (Open Source) บุคคลอื่นสามารถนำไปพัฒนาต่อได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย 2. เมื่อพัฒนาเป้นแอพพลิเคชั่นแล้วมีการใช้งานที่ง่าย 3. ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระดับสูง
ข้อจำกัด	1. ซอฟแวร์ที่ใช้พัฒนาสำหรับผู้เขียนโปรแกรม มีขั้นตอนในการติดตั้งและใช้งานค่อนข้างยาก 2. ซอฟแวร์ที่ใช้พัฒนาสำหรับผู้เขียนโปรแกรม มีข้อจำกัดเยอะและขาดความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งาน 3. ถ้าต้องการนำมาพัฒนาต่อ ต้องอาศัยซอฟแวร์อื่นๆ ในการติดตั้งทั้งในการเขียนโปรแกรมและการใช้งานแอพพลิเคชั่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

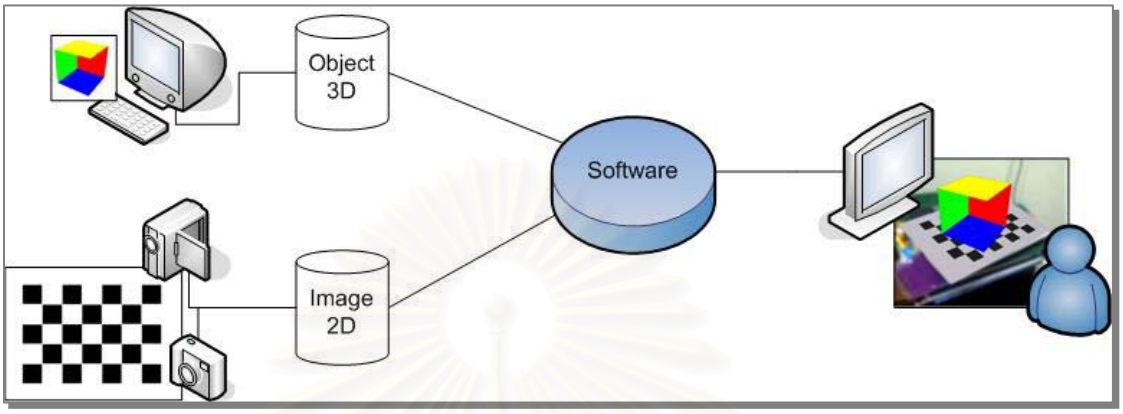
บทที่ 3
แนวความคิดและขั้นตอนในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม

3.1 แนวความคิดในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม

ในกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม ตั้งแต่ขั้นรวบรวมข้อมูลจนถึงการก่อสร้างและหลังการก่อสร้าง จะเห็นได้ว่าคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่เขามามีบทบาทต่อการศึกษาและประกอบวิชาชีพสาขานี้ ในระบบการออกแบบ ระบบเทคโนโลยีอาคารและการก่อสร้าง รวมถึงระบบการจัดการอาคาร ระบบความจริงเสริมเป็นเทคโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถเข้ามาช่วยเหลือในงานสถาปัตยกรรมได้ในหลายๆ ช่วงของกระบวนการ ถือว่าเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะเข้ามาช่วยเหลือสถาปนิกและนักออกแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบ ถึงแม้ว่าระบบความจริงเสริมจะเป็นเครื่องมือในการตอบสนองต่อมุมมองทางสายตาของมนุษย์ แต่อย่าลืมว่าในระบบการรับรู้เพื่อการเรียนรู้ของมนุษย์เราประสาทสัมผัสทางด้านการมองเห็นมีการใช้งานมากที่สุดเพื่อการับข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ หากพิจารณาในความเป็นสถาปัตยกรรมและกระบวนการทำงานของสถาปนิกเพื่อสร้างสรรค์งานออกแบบ รวมถึงการรับรู้ในที่ว่าง การสัมผัสทางการมองเห็นเป็นการรับรู้หลักที่สำคัญที่สุด เพราะฉะนั้นจะเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่งหาก สถาปนิกและนักออกแบบสามารถเพิ่มศักยภาพในการรับรู้และโต้ตอบในส่วนของการมองเห็นเพื่อทำความเข้าใจและอำนวยต่องานที่ทำอยู่

ดังนั้นจากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแนวความคิดในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพพิกัดจริงนั้น จะใช้องค์ประกอบหลักของข้อมูลนำเข้าอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นภาพเสมือน 3 มิติ ซึ่งถูกออกแบบและสร้างจากโปรแกรมสร้างภาพสามมิติ และส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมจริงที่ได้จากภาพถ่ายดิจิตอล โดยใช้แนวคิดของการใช้สื่อกลางที่เป็นเครื่องหมายรูปตารางหมากรุกสีขาวสลับดำ เป็นสัญลักษณ์แสดงไว้ในสภาพแวดล้อมในภาพถ่าย ในตำแหน่งที่ต้องการให้ภาพเสมือน 3 มิติแสดงผล จากนั้นใช้ทฤษฎีการหาตำแหน่งสำคัญของภาพ (Camera Calibration) เพื่อคำนวณหาพิกัด 3 มิติจากภาพถ่าย เพื่อให้โปรแกรมปรับพิกัดของภาพเสมือน 3 มิติให้มีมุมมองตรงกับภาพถ่าย และโปรแกรมสามารถแสดงภาพผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นแบบอัตโนมัติ โดยการแสดงผลจะรวมเอาองค์ประกอบหลักของข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมารวมในรูปเดียวกัน เสมือนมีภาพเสมือนสามมิติที่สร้างจากคอมพิวเตอร์นั้นแสดงอยู่จริงในภาพถ่ายที่เห็น

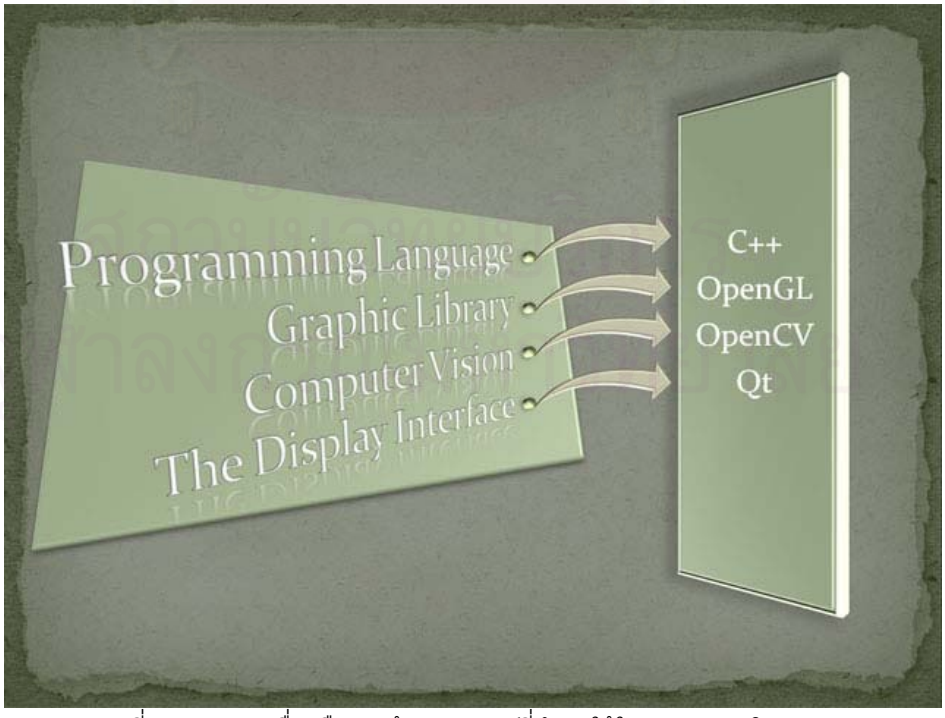
นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถรายงานค่าต่างๆ อาทิ ความยาวโฟกัส ของภาพถ่ายที่นำเข้ามา และแนวคิดการใช้ภาพถ่ายหลายๆ รูปที่ต่างมุมมองมาใช้ประมวลผลในโปรแกรมให้ได้ผลลัพธ์ในหลายๆ มุมมอง ทำให้เกิดความต่อเนื่องกัน



รูปที่ 3. 1 ไดอะแกรมแสดงแนวคิดในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม

3.2 การเลือกเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติและความสามารถในการนำมาพัฒนาโปรแกรมในสองส่วนหลัก คือ สนับสนุนการคำนวณและแสดงผลทางด้านกราฟฟิก 3 มิติได้ และมีความยืดหยุ่นในการใช้งานกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และระบบปฏิบัติการต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถสรุปเครื่องมือที่เลือกใช้ดังแสดงจากรูปข้างล่าง



รูปที่ 3. 2 แสดงเครื่องมือทางด้านซอฟแวร์ที่นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

โดยการพิจารณาเพื่อเลือกใช้เครื่องมือในงานวิจัยนี้จะแยกตามกระบวนการทำงานของโปรแกรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

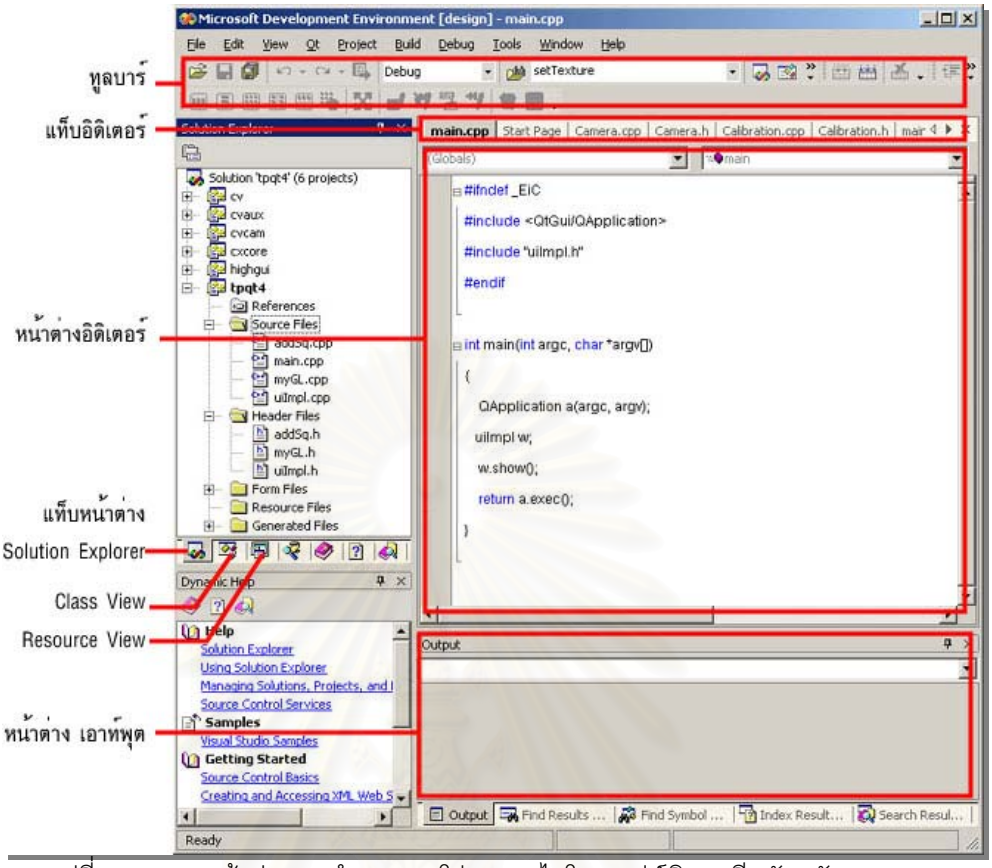
3.2.1 ภาษาในการเขียนโปรแกรม

ภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้ภาษา C++ เนื่องจาก

- ลักษณะของโปรแกรมมีตัวแปร และความซับซ้อนมาก เหมาะกับการใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูงที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ง่ายต่อการแก้ไข และ C++เป็นภาษาดังกล่าว
- C++ นั้นสามารถนำมาใช้เขียนโปรแกรมทั้งในแบบโครงสร้าง (Procedure Programming) แบบเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) และหรือแบบไม่สนใจชนิดข้อมูล (Generic Programming)
- มีเทมเพลต (template) เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมที่ไม่คำนึงถึงชนิดข้อมูล มีไลบรารีเทมเพลตมาตรฐาน (Standard Template Library : STL) และมีไลบรารีที่รองรับการทำงานด้านกราฟฟิก 3 มิติ ที่หลากหลายกว่า
- มีประสิทธิภาพในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ได้ดี และรวดเร็ว
- มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน รองรับกับระบบปฏิบัติการต่างๆ ได้
- เป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลกประมาณหนึ่งในสามของนักเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมด นั่นหมายความว่า ภาษา C++ จะยังคงมีบทบาทสำคัญไปอีก

สำหรับชุดพัฒนาหรือเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับภาษา C++ ได้เลือกใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ วิชวล ซีพลัสพลัส ดอทเนท (Microsoft Visual C++ .Net) เพราะ มีอิดิเตอร์ (Editor) สำหรับเขียนโค๊ดที่ใช้งานง่าย ตรวจสอบข้อผิดผลาดได้ดี และมีตัวแปลภาษามาให้พร้อม ดังแสดงจากรูปตัวอย่างหน้าต่างอิดิเตอร์ของไมโครซอฟท์ วิชวล ซีพลัสพลัส ดอทเนท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3. 3 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม ไมโครซอฟท์ วิชวล ซีพลัสพลัส ดอทเนท

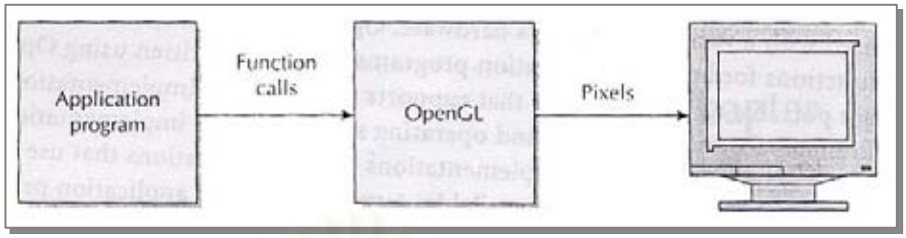
3.2.2 เครื่องมือสำหรับงานกราฟฟิก 3 มิติ

การพัฒนาโปรแกรมจะมีส่วนการจัดการกับวัตถุ 3 มิติ ที่นำเข้ามา (Input) เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนมุมมองของวัตถุ จึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่รองรับงานกราฟฟิก 3 มิติ และในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมและใช้สำหรับการจัดการงานด้านกราฟฟิก 3 มิติ อยู่มาก โดยมีรูปแบบลักษณะและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ได้เลือกใช้ ไลบรารี OpenGL (Open Graphic Library) ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท ซิลิกอนกราฟฟิก อิงค์ จำกัด (Silicon Graphics, Inc.) มาเป็นเครื่องมือหลักในการจัดการองค์ประกอบต่างๆ ทางด้าน 3 มิติ

3.2.2.1 ซอฟแวร์ไลบรารี OpenGL

ไลบรารี OpenGL เป็น แอพพลิเคชั่น โปรแกรมเมอร์ อินเตอร์เฟส (API, Application Programmer's Interface) ที่ใช้อินเตอร์เฟส กับฮาร์ดแวร์กราฟฟิก (จอภาพกับการ์ดจอแสดงผล) อินเตอร์เฟสจะประกอบด้วยโพรซีเจอร์และฟังก์ชั่นประมาณ 250 ชุด (ประมาณ 200 ชุด ใน Core OpenGL และอีกประมาณ 50 ชุดใน OpenGL Utility Library) ซึ่งอนุญาตให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำมาใช้ในการจัดการภาพกราฟฟิกทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ โดยมี 2 ประเด็นสำคัญที่ผู้เขียน

นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรม คือ OpenGL เป็นไลบรารีที่เข้าถึงฮาร์ดแวร์มากที่สุด ทำให้มีการประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพ และมีโครงสร้างการใช้งานที่ง่ายในการเรียนรู้และเรียกใช้งาน



รูปที่ 3. 4 แสดงแนวคิดของไลบรารี

(ที่มา: Angel, 2002: 3)

OpenGL เป็นเครื่องมือที่ดีเยี่ยมในการพัฒนาแอปพลิเคชั่น (Application) 2 มิติ และ 3 มิติ ตั้งแต่ที่ได้เริ่มเปิดตัว OpenGL ในปี พ.ศ.2534 OpenGL และกลายเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม และได้รับการยอมรับโดยทั่วไปในการสร้างกราฟฟิก 3 มิติ โดยเฉพาะงานด้านวิศวกรรม, งานด้านการแพทย์, และงานที่ต้องการคุณภาพกราฟฟิกระดับสูง

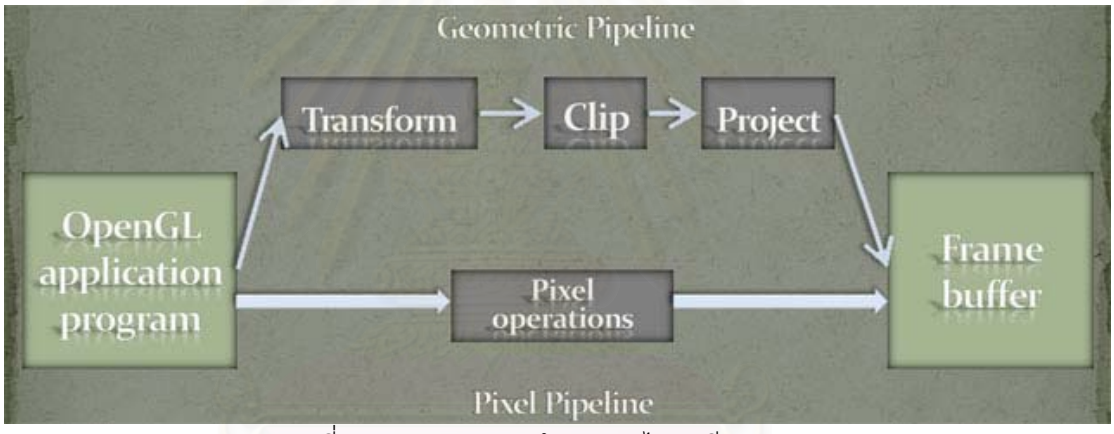
3.2.2.2 ลักษณะเด่นของ OpenGL

1. OpenGL เป็นระบบเปิดอย่างแท้จริง (มาตรฐานกราฟฟิกที่ทำงานได้หลายๆ แพลตฟอร์ม) ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถใช้ไลบราลี OpenGL ได้โดยไม่มีค่าลิขสิทธิ์
2. OpenGL ถูกออกแบบมาโดยไม่ยึดติดกับระบบ สามารถทำงานได้บนทุกๆ แพล็ตฟอร์ม (Portability) เพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายนี้ OpenGL จะไม่มีคำสั่งที่จัดการกับระบบปฏิบัติการเลย อีกทั้งยังไม่มี คำสั่งเพื่อรับอินพุทจากผู้ใช้อีกด้วย
3. OpenGL ไม่มีคำสั่งระดับสูงที่จะใช้วาดวัตถุสามมิติแบบซับซ้อน อย่างเช่น รถยนต์ อวัยวะ หรือโมเลกุล สิ่งที่ OpenGL เตรียมไว้ให้สำหรับสร้างรูปจำลองสามมิติคือรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน (Primitive Geometric) ได้แก่ จุด เส้น และรูปหลายเหลี่ยมซึ่งผู้ใช้งานจะต้องนำรูปทรงเหล่านี้มาประกอบกันเพื่อให้เกิดรูปทรงสามมิติที่ซับซ้อน
4. มีความง่ายต่อการใช้งาน OpenGL มีคำสั่งต่างๆ มากมายที่ได้ถูกจัดโครงสร้างเป็นอย่างดี และถูกหลักตรรกศาสตร์ทำให้มีความง่ายต่อการเข้าใจและการนำมาใช้งาน
5. OpenGL ถูกจัดการหรือบริหารโดยสมาคมอิสระซึ่งเป็น ARB (Architecture Review Board) โดยมีคณะกรรมการส่วนหนึ่งมาจาก SGI (Silicon Graphic

Inc.) และจากไมโครซอฟต์ (Microsoft) ซึ่ง ARB (Architecture Review Board) มีหน้าที่แนะนำรายละเอียด OpenGL ต่างๆ ด้วยการสนับสนุนของคณะกรรมการ OpenGL จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพ พิจารณาจากการใช้งานมานานกว่า 10 ปีแล้ว รายละเอียดของ OpenGL ถูกควบคุมโดยสมาคมอิสระและมีการปรับปรุงพัฒนาข้อมูลพร้อมทั้งการประกาศสู่สาธารณชนสำหรับนักพัฒนาซอฟ์ตแวร์ เพื่อรับทราบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงรายละเอียด

3.2.2.3 การทำงานของ OpenGL

หลักการและขั้นตอนของกระบวนการทำงานของไลบรารี OpenGL มีหลักการและขั้นตอนพื้นฐานที่เรียกว่า “Simplified OpenGL pipeline” แสดงดังรูปข้างล่าง



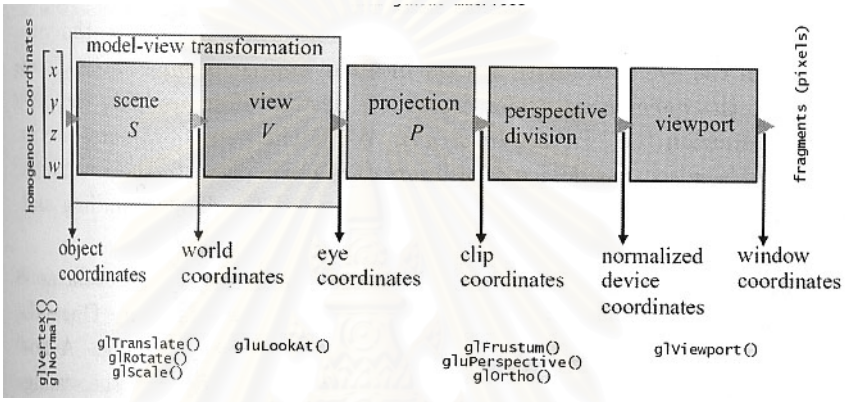
รูปที่ 3. 5 แสดงหลักการทำงานของไลบรารี OpenGL

(ที่มา: Angel, 2006: 51)

ไลบรารี OpenGL จะรองรับกับคลาสพื้นฐานหลัก 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่เกี่ยวกับรูปทรงเรขาคณิตปฐมภูมิ (Geometric Primitives) เป็นข้อมูลประเภทจุด เส้น โพลีกอน เส้นโค้ง และผิวสัมผัส (Geometric Data: Vertices, Lines, Polygon, Curves, and Surfaces) ทั้งในระบบสองมิติและสามมิติ และส่วนที่เกี่ยวกับภาพหรือแรสเตอร์ปฐมภูมิ (Image, or Raster Primitives) เป็นข้อมูลประเภทจุดพิกเซล รูปภาพ และบิทแมพ (Pixel Data: Pixels, Images, and Bitmaps) โดยในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลทั้ง 2 ส่วนจะแยกการคำนวณและดำเนินการในลักษณะคู่ขนาน และหลังจากผ่านตัวดำเนินการแล้วข้อมูลทั้ง 2 ส่วน จะนำมารวมกันอีกครั้งในเฟรมบัฟเฟอร์ (Frame Buffer) เพื่อการแสดงผลต่อไป

3.2.2.4 OpenGL กับการดำเนินการด้าน 3 มิติ

ในการจัดการทางด้าน 3 มิติ ของ OpenGL ที่เริ่มตั้งแต่รับข้อมูลวัตถุ 3 มิติเข้ามา จัดวางตำแหน่งวัตถุ การตั้งค่ามุมมอง และท้ายที่สุดเป็นการฉายภาพลงบนจอแสดงผล ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดเป็นกาคำนวณทางด้านเมตริกซ์ทั้งหมด โดยประกอบไปด้วยข้อมูลเวอร์เทก (Vertex) ซึ่งเป็นโคออดิเนท (x, y, z, w) และเมตริกการแปลง (Transformation Matrix) M ขนาด 4x4 การแปลงโคออดิเนทจะเขียนในรูปเมตริกได้คือ V'=Mv



รูปที่ 3. 6 แสดงกระบวนการของ OpenGL ในการแปลงโคออดิเนทสามมิติของวัตถุไปเป็นพิกเซลบนจอภาพ (ที่มา: Olive, 2005: 45)

จากรูปแสดงกระบวนการแปลงโคออดิเนท 3 มิติของวัตถุไปเป็นพิกเซลบนจอภาพ โดยแต่ละขั้นตอนสามารถเทียบได้กับขั้นตอนการถ่ายภาพ ขั้นตอนทั้ง 4 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- Model-view Transformation รวมสองขั้นตอนคือ Viewing Transformation เป็นการเปลี่ยนมุมมองซึ่งเทียบได้กับการจัดตำแหน่งกล้องและ Modeling Transformation ประกอบด้วยการเลื่อนตำแหน่ง, การหมุน, และการเปลี่ยนขนาด ซึ่งเทียบได้กับการจัดตำแหน่งวัตถุ การแปลงทั้งสองจะเปลี่ยน ออบเจ็คโคออดิเนท (Object Coordinate) เป็น อายโคออดิเนท (Eye Coordinates)
- Projection Transformation เป็นการกำหนดรูปร่างของปริมาตรการมองหรือ Viewing Volume เป็น Orthogonal หรือ Perspective และกำหนดขอบเขตของปริมาตรซึ่งมีผลทำให้บางส่วนของวัตถุถูกตัดออกจากฉาก เทียบได้กับการเลือกเลนส์กล้องและการปรับระยะวัตถุ ขั้นตอนนี้จะให้ Clip Coordinates
- Perspective Division จะทำการหารค่าของโคออดิเนท (x, y, z, w) ด้วยค่าของ w ทำให้ได้Normalized Device Coordinates

- Viewport Transformation เป็นการเปลี่ยนโคออดิเนทของวัตถุไปเป็นโคออดิเนทของจอภาพซึ่งสามารถทำให้ภาพขยาย ยืดหรือหดได้ เทียบได้กับการปรับขนาดของภาพในขั้นตอนการอัดรูป ขั้นตอนนี้จะให้ Window Coordinates

หลังจากการแปลงโคออดิเนทจนได้ Window Coordinates แล้ว การเรนเดอร์ภาพลงบนหน้าจอจะใช้ทั้งโคออดิเนท (x, y, z) โดย (x, y) กำหนดจุดพิกเซลบนจอที่จะวาด และ z เป็นตัวเก็บค่าความลึกของ vertexโดยวัดระยะจากจอภาพ ค่าความลึกนี้มีประโยชน์ในการตัดส่วนที่ไม่จำเป็นออก เช่นถ้ามี vertex สองจุดที่มีค่าพิกัด x และ y เดียวกันแต่มีค่า z ต่างกัน ค่า z จะถูกใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อตัดสินใจว่าพื้นผิวไหนถูกบังอยู่ และจะไม่วาดพื้นผิวส่วนนั้น โดยเรียกเทคนิคนี้ว่า “Hidden-Surface Removal”

3.2.3 **เครื่องมือสำหรับงานวิสัยทัศน์ทางคอมพิวเตอร์**

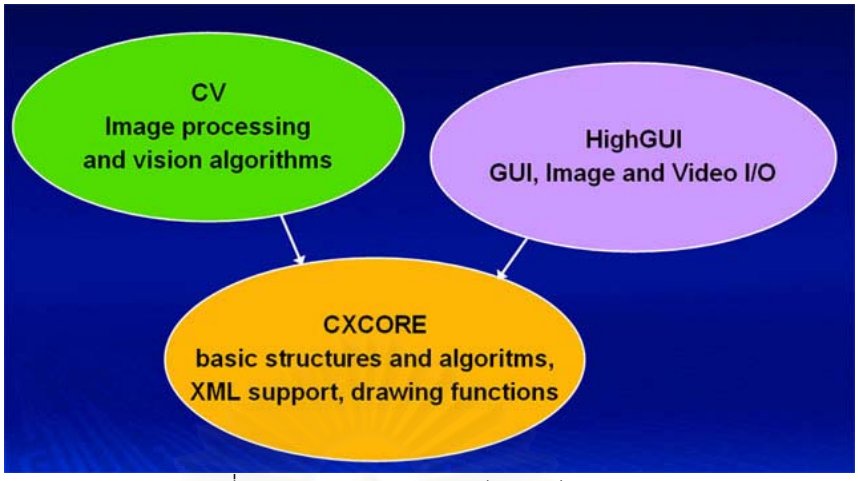
การพัฒนาโปรแกรมจะมีส่วนการคำนวณในด้านวิสัยทัศน์ทางคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) จะใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งสำหรับเครื่องมือที่รองรับกับงานทางด้านนี้และได้รับความนิยมสูง คือ ไลบรารี OpenCV (Open Source Computer Vision Library) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท อินเทล จำกัด ตั้งแต่ปี ค.ศ.1999 เป็นแอพพลิเคชั่นโปรแกรมเมอร์ อินเตอร์เฟส (API, Application Programmer’s Interface) ที่รองรับอัลกอริทึมทางด้านงานอิมเมจโปรเซสซิ่ง และ งานวิสัยทัศน์ทางคอมพิวเตอร์ (Image Processing and Computer Vision algorithms)

3.2.3.1 **ลักษณะเด่นของ** OpenCV

1. OpenCV เป็นระบบเปิดที่ไม่ยึดติดกับระบบ สามารถทำงานได้บนทุกๆ แพล็ตฟอร์ม สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้จากอินเตอร์เนท รวมทั้งคู่มือการใช้งานและตัวอย่างการใช้งาน โดยไม่มีค่าลิขสิทธิ์
2. OpenCV เขียนขึ้นจากภาษา C/C++ ที่ประกอบด้วยโพรซีเจอร์และฟังก์ชั่นมากกว่า 500 ชุด จึงสะดวกต่อการพัฒนาผ่านภาษา C++
3. OpenCV ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั้งเชิงพาณิชและในโครงการวิจัยทั่วโลก
4. มีศักยภาพในการเข้าถึงฮาร์ดแวร์ ที่สนับสนุนงานด้านงานอิมเมจโปรเซสซิ่ง และ งานวิสัยทัศน์ทางคอมพิวเตอร์ เพราะถูกพัฒนามาจากบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดแวร์ยักษ์ใหญ่อย่าง อินเทล

3.2.3.2 **โครงสร้างของ** OpenCV

ไลบรารี OpenCV มีโครงสร้างหลักแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ CV, CXCORE, HighGUI ดังแสดงดังรูป



รูปที่ 3. 7 แสดงโครงสร้างของไลบรารี OpenCV

CV: ประกอบด้วยโพรซีเจอร์และฟังก์ชั่นชั้นสูง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีอิมเมจโปรเซสซิ่ง และ วิสัยทัศน์ทางคอมพิวเตอร์

CXCORE: ประกอบด้วยโพรซีเจอร์และฟังก์ชั่นพื้นฐาน การดำเนินการกับโครงสร้างและอัลกอริทึมเบื้องต้น เช่น การกำหนดประเภทของข้อมูลหรือตัวแปร การประกาศประเภทโครงสร้างข้อมูล เป็นต้น และรวมถึงฟังก์ชั่นการวาดพื้นฐาน

HighGUI: ประกอบด้วยโพรซีเจอร์และฟังก์ชั่นที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อกับผู้ใช้งาน การติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์แวร์และ การจัดการด้านอินพุตและเอาท์พุตของข้อมูลภาพและวีดีโอ

3.2.4 **ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน** (GUI, Graphic User Interface)

การสร้างกราฟฟิกส่วนติดต่อระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้งาน นับว่าเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งของกระบวนการออกแบบโปรแกรมในปัจจุบัน เพราะเป็นตัวบ่งชี้อย่างหนึ่งว่าจะได้รับการตอบรับที่น่าพึงพอใจจากผู้ใช้งานหรือไม่ การเลือกใช้เครื่องมือพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานนั้นจึงพิจารณาจาก ความง่าย สะดวก รวดเร็ว และเข้าใจง่าย ทั้งผู้ที่พัฒนาโปรแกรมและผู้ใช้งานโปรแกรม ดังนั้นจึงเลือกใช้ Qt (Qt Toolkit) เวอร์ชั่น 4 เป็นตัวสร้างและพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน Qt ได้เปิดตัวในเชิงพาณิชตั้งแต่ ค.ศ.1995 และมีการพัฒนามาโดยตลอด ภายใต้ลิขสิทธิ์ของบริษัท โทรลเทค จำกัด (Trolltech Company)

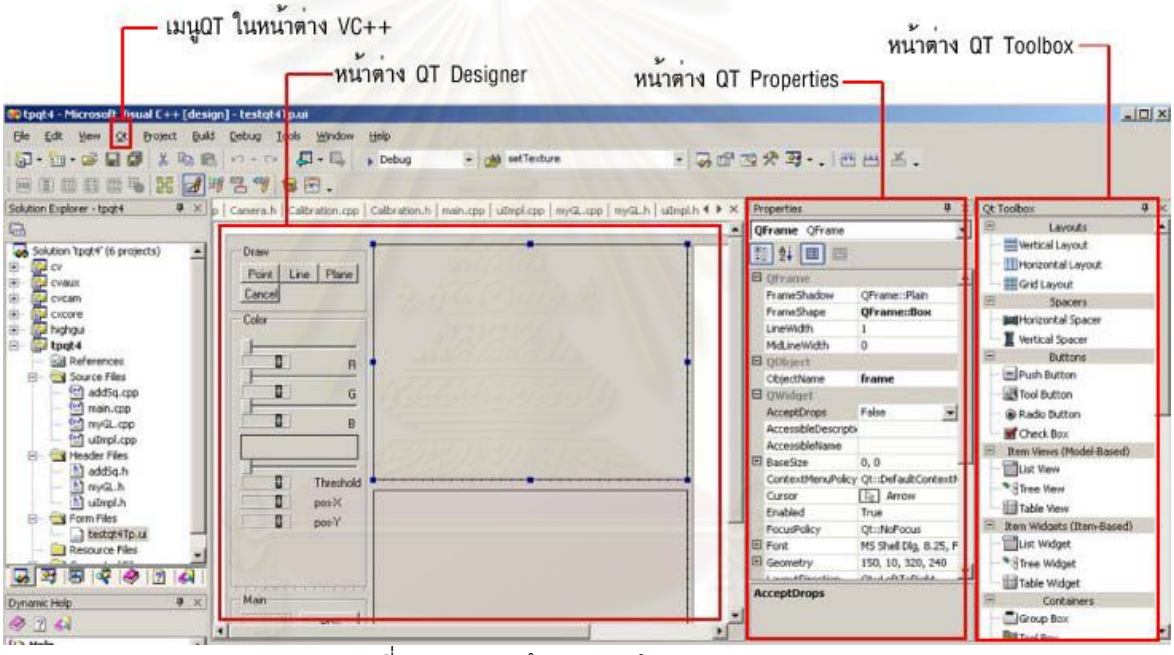
3.2.4.1 **ลักษณะเด่นของ** Qt

1. Qt ถูกออกแบบมาโดยไม่ยึดติดกับระบบ สามารถทำงานได้บนทุกๆ แพล็ตฟอร์ม (Portability)
2. Qt แม้จะเป็นเครื่องมือที่ออกจำหน่ายในเชิงพาณิช แต่มีเวอร์ชั่นระบบเปิดให้สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่คิดมูลค่า

3. Qt มีรูปแบบการใช้งานที่ง่าย สะดวก และรวดเร็วเหมาะสำหรับนักออกแบบโปรแกรมทั้งมือสมัครเล่นและมืออาชีพ
4. Qt เป็นเครื่องมือที่ถูกสร้างมาในรูปแบบเชิงวัตถุ จึงรองรับการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุได้เป็นอย่างดี อีกทั้งโปรแกรมที่มีกราฟฟิกอินเตอร์เฟซที่สร้างจาก Qt สามารถนำไปพัฒนาต่อได้สะดวก

3.2.4.2 การใช้งาน Qt

Qt ตั้งแต่เวอร์ชั่น 4 เป็นต้นมาสามารถทำงานรวมกับชุดพัฒนาโปรแกรมสำหรับภาษา C++ อย่างไมโครซอฟท์ วิชวล ซีพลัสพลัส ดอทเนท ได้เป็นอย่างดี ดูได้จากหน้าต่างการทำงานของ Qt ที่ถูกรวมอยู่ในไมโครซอฟท์ วิชวล ซีพลัสพลัส ดอทเนท ดังรูป



รูปที่ 3. 8 แสดงหน้าต่างการทำงานของ Qt

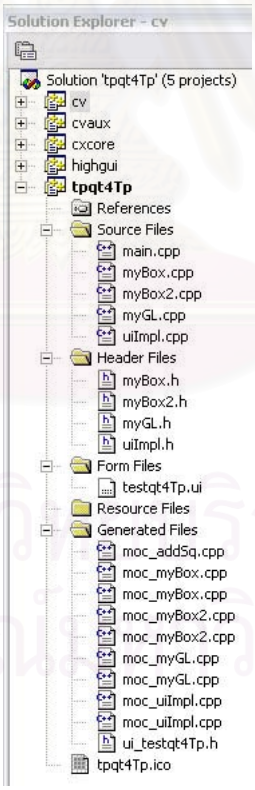
ภายในหน้าต่างของไมโครซอฟท์ วิชวล ซีพลัสพลัส ดอทเนท ส่วนประกอบหลักของการเรียกใช้งาน Qt จะประกอบด้วย

1. เมนูหลัก Qt รวมรวมคำสั่งสำคัญทั้งหมดรวมถึงการเรียกใช้หน้าต่างของเครื่องมือใน Qt
2. หน้าต่าง Qt Designer เป็นพื้นที่เปล่าสำหรับสร้างองค์ประกอบของแอพพลิเคชั่นโดยการนำวิดเกท (Widget: ปุ่มคำสั่งและเครื่องมือสำหรับใช้งานแอพพลิเคชั่น ถูกสร้างมาในเชิงวัตถุ) ต่างๆ มาใส่ หรืออีกนัยหนึ่งคือ พื้นที่ที่ใช้ในการสร้างหน้าตาของโปรแกรมเพื่อการติดต่อกับผู้ใช้

3. หน้าต่าง Qt Properties เป็นส่วนแสดงคุณสมบัติและใช้ปรับแต่งค่าคุณสมบัติของวิดเกท ที่ถูกเลือกอยู่
4. หน้าต่าง Qt Toolbox เป็นที่รวมวิดเกทต่างๆที่จะนำมาประกอบกันเป็นโปรแกรมหรือแอพพลิเคชั่น
5. เมนู Qt Toolbar เป็นชุดปุ่มคำสั่งต่างๆที่วางเรียงกันคล้ายแผงควบคุม มีหน้าที่คือ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้งานคำสั่งได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยการคลิกเมาส์ที่ปุ่มคำสั่งเท่านั้น

3.3 การวางระบบโครงสร้างการเขียนโปรแกรม

การวางระบบโครงสร้างของการเขียนโปรแกรม จะใช้รูปแบบการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) ซึ่งมีโครงสร้างไฟล์ที่จะประกอบด้วยกลุ่มของโปรเจ็ค (Project) ที่เรียกว่า โซลูชั่น (Solution) และในแต่ละโปรเจ็คจะประกอบด้วยไฟล์ต่างๆ ตามแผนภาพด้านล่าง



รูปที่ 3. 9 แสดงโครงสร้างไฟล์ของโปรแกรม

จากรูปโซลูชั่น (Solution) ในการเขียนโปรแกรม (ตั้งชื่อไว้ว่า tpqt4Tp) จะประกอบด้วยโปรเจ็คต่างๆ โดยโปรเจ็ค cv, cvaux, cxcore, highgui เป็นโปรเจ็คของไลบรารี OpenCV เพื่อใช้ในการอ้างอิงการเรียกใช้คำสั่งต่างๆ ในไลบรารีนี้ ส่วนโปรเจ็คหลักที่ใช้ในการเขียน

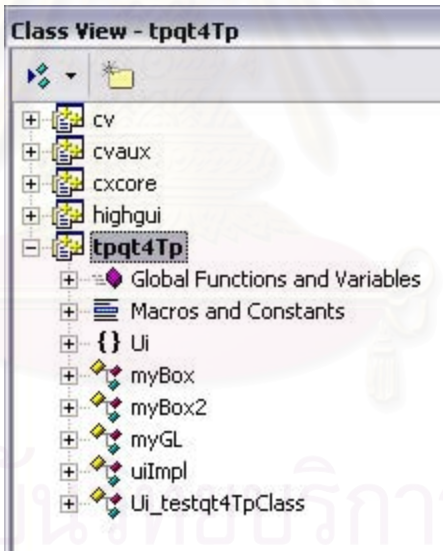
โปรแกรมจะมีเพียงโปรเจ็คเดียวที่ใช้ชื่อว่า tpqt4Tp ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของไฟล์ต่างๆ แบ่งออกเป็นดังนี้

1. เฮดเดอร์ไฟล์ (Header Files) คือกลุ่มไฟล์ที่มีนามสกุล .h จะใช้สำหรับประกาศฟังก์ชั่น และประกาศคลาส ซึ่งตัวแปรและฟังก์ชั่นต่างๆ จะถูกกำหนดรูปแบบไว้ที่นี่ แต่ส่วนรายละเอียดที่เป็นโค้ดจะถูกเขียนไว้อีกไฟล์
2. ซอร์สไฟล์ (Source Files) คือกลุ่มไฟล์ที่มีนามสกุล .cpp เป็นไฟล์อิมพลีเมนต์เตชั่น (Implementation) ที่บรรจุโค้ดรายละเอียดของฟังก์ชั่นต่างๆ รวมทั้งการเรียกใช้ตัวแปรที่ถูกประกาศไว้ในไฟล์เฮดเดอร์ โดยปกติแล้วการใช้งานไฟล์เฮดเดอร์และไฟล์ซอร์สจะถูกสร้างไว้คู่กัน โดยแยกออกเป็นกลุ่มไฟล์ต่างๆ ดังนี้
   - ไฟล์หลัก main.cpp เป็นไฟล์ที่ประกอบด้วยฟังก์ชั่น main ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นทางเข้าของโปรแกรมเมื่อโปรแกรมเริ่มต้นทำงาน และจะเรียกใช้ฟังก์ชั่นย่อยต่างๆ จากไฟล์อื่นๆ เพื่อใช้งาน และสุดท้ายเป็นทางออกของโปรแกรมเมื่อโปรแกรมสิ้นสุดการทำงาน ไฟล์ main.cpp เป็นไฟล์เดียวที่จะไม่มีไฟล์เฮดเดอร์
   - ไฟล์ myGL.cpp เป็นไฟล์ที่ใช้สร้างคลาสที่ใช้ในการจัดการกับภาพเสมือน 3 มิติ และเรียกใช้งานไลบรารี OpenGL
   - ไฟล์ uiImpl.cpp เป็นคลาสหลักที่ฟังก์ชั่น main จะเรียกใช้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนการเชื่อมต่อกับคลาสการติดต่อกับผู้ใช้งานผ่านไลบรารี Qt, ส่วนติดต่อกับการเรียกใช้ฟังก์ชั่นจากไลบรารี OpenCV, และส่วนติดต่อกับการเรียกใช้งานภาพเสมือน 3 มิติกับไลบรารี OpenGL
   - ไฟล์ myBox.cpp และ myBox.cpp เป็นไฟล์ที่ใช้สร้างและเก็บข้อมูลของคลาสวัตถุ ภาพเสมือน 3 มิติ ที่นำเข้ามาในรูปแบบโค้ดภาษา C++ ซึ่งได้กำหนดต้นแบบของภาพเสมือน 3 มิติไว้ 2 ชิ้นงาน จึงประกอบด้วยไฟล์ 2 ไฟล์ดังกล่าว
3. ฟอร์มไฟล์ (Form Files) เป็นส่วนของไฟล์ที่ใช้ในการสร้างกราฟฟิคส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) จากภาพจะประกอบด้วยไฟล์ .ui ซึ่งเป็นไฟล์ที่สร้างจากไลบรารี Qt

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. เจนเนอร์เรทไฟล์ (Generate Files) เป็นส่วนที่รวมไฟล์ที่ถูกสร้างจากไฟล์เฮดเดอร์โดยไลบรารี Qt เรียกว่ามอคไฟล์ (MOC, Meta-Object Compiler) เนื่องจาก Qt เป็นไลบรารีที่สนับสนุนการทำงานเชิงวัตถุ ซึ่งหากมีการใช้งาน Qt ในโปรเจ็คใดๆ Qt จะมีการสร้างมอคไฟล์โดยอัตโนมัติ

รายละเอียดโครงสร้างการเขียนโปรแกรมที่ได้กล่าวมา เป็นการวางรูปแบบไฟล์เพื่อรองรับการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) ด้วยคุณสมบัติเชิงวัตถุทำให้โปรแกรมมีกระบวนการทำงานเป็นกลุ่มมากขึ้น ลดความซ้ำซ้อนของการเขียนโปรแกรม ซึ่งการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุจะถูกนิยามและประกาศการใช้งานในรูปของคลาส (Class) ในแต่ละคลาสจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วนด้วยกันคือ คุณลักษณะ (Properties/Attribute) และวิธีหรือการกระทำ (Method) สำหรับภาษา C++ นั้นจะใช้ศัพท์เฉพาะเรียกองค์ประกอบทั้ง 2 ส่วนนี้ว่า ดาต้าเมมเบอร์ (Data Member) และเมมเบอร์ฟังก์ชั่น (Member Function) ซึ่งในการเขียนโปรแกรมนี้ได้มีการสร้างคลาสหลักๆ เพื่อใช้งานดังแสดงจากภาพ



รูปที่ 3. 10 แสดงรายละเอียดของคลาสในการเขียนโปรแกรม

1. คลาส myBox และ myBox2 เป็นคลาสของภาพเสมือน 3 มิติ ที่อยู่ในรูปแบบโค้ดภาษา C++ โดยข้อมูลของภาพเสมือน 3 มิตินั้นได้มาจากการแปลงไฟล์ภาพ 3 มิติที่สร้างจากโปรแกรมสร้างภาพ 3 มิติ แล้วนำมาแปลงเป็นไฟล์ข้อมูลภาษา C++ ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปตัวอื่น ก่อนจะนำเข้ามาในรูปแบบไฟล์นามสกุล .cpp

2. คลาส myGL เป็นคลาสที่จัดการกับภาพเสมือน 3 มิติโดยใช้ไลบรารีของ OpenGL และเรียกใช้งานภาพเสมือน 3 มิติจากคลาส myBox และ myBox2 โดยการสร้างเป็นออบเจ็คภายในคลาส myGL
3. คลาส Ui_testqt4TpClass เป็นคลาสที่ได้จากการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้จากไฟล์นามสกุล .ui โดยใช้ไลบรารี Qt การแก้ไขข้อมูลส่วนติดต่อกับผู้ใช้จะไม่สามารถแก้ไขจากโค้ดในคลาสนี้ได้ แต่ต้องกลับไปแก้ไขที่ไฟล์สกุล .ui เท่านั้น
4. คลาส uiImpl เป็นคลาสที่สืบทอดมาจากคลาส QMainWindow เป็นคลาสหลักที่เรียกใช้คลาสอื่นๆ โดยนำมาสร้างเป็นออบเจ็คไว้ในคลาสนี้ เพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพิ่มเติมผ่านการเขียนโค้ดโดยสร้างเป็นออบเจ็คจากคลาส Ui_testqt4TpClass นอกจากนี้ยังใช้ในการเชื่อมโยงคลาสอื่นๆ เพื่อเรียกใช้งาน และเป็นคลาสที่มีฟังก์ชั่นการคำนวณทางคณิตศาสตร์ผ่านการเรียกใช้ไลบรารี OpenCV

สรุป โครงสร้างและส่วนต่างๆ ของโปรแกรมนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างตรงไปตรงมา ไม่ได้มีความซับซ้อนมากมายเพราะเป็นโปรแกรมที่มีวัตถุประสงค์การใช้งานที่ชัดเจนและมุ่งใช้งานเฉพาะภาพในประเด็นที่กำหนดไว้จึงทำให้มีการแบ่งส่วนการทำงานได้ง่าย ออกเป็นชุดคำสั่งต่างๆ โดยการที่จะแบ่งเป็นไฟล์หลัก หรือย่อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับระดับความสัมพันธ์กันของชุดคำสั่งต่างๆ ไฟล์ใดมีความเป็นเอกเทศได้สูงและมีการใช้งานเฉพาะจะถูกแบ่งออกเป็นไฟล์ๆ หนึ่ง ส่วนชุดคำสั่งใดๆ ที่มีการทำงานเชื่อมโยงกันมากก็จะมีการรวมกันในลักษณะชุดคำสั่งย่อยๆ รวมกันเป็นไฟล์อีกไฟล์หนึ่งเลย ซึ่งทั้งหมดนี้เพื่อที่จะสามารถตรวจสอบหาข้อผิดพลาดได้ง่ายขึ้น และสามารถที่จะพัฒนาโปรแกรมต่อๆไปของส่วนการทำงานต่างๆได้ง่ายและสะดวกขึ้น

3.4 การวิเคราะห์และกำหนดตัวแปรเพื่อประกอบการทำงานของโปรแกรม

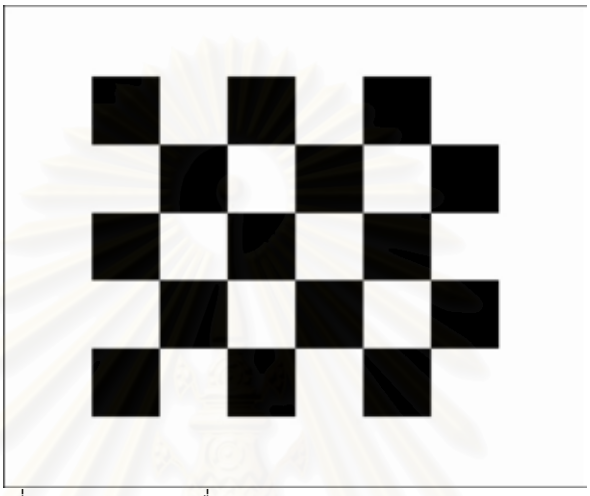
การกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อการประมวลผลของโปรแกรม จากแนวความคิดต้นแบบการสร้างและพัฒนาโปรแกรมนั้น ตัวแปรที่เป็นข้อมูลสำคัญแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

3.4.1 ภาพถ่ายสภาพแวดล้อมจริง

จัดให้เป็นตัวแปรหลัก ที่กำหนดให้เป็นไฟล์ข้อมูลรูปภาพสกุล .JPG ขนาด 640 x 480 โดยจำนวนภาพที่ต้องใช้อย่างต่ำ 3 รูป และต้องเป็นภาพที่ถ่ายจากกล้องตัวเดียวกัน ทั้งนี้กล้องที่ใช้อาจจะเป็นกล้องถ่ายภาพนิ่งที่ไม่มีเลนส์พิเศษติดตั้ง หรือเป็นกล้องถ่ายวีดีโอที่เป็นลักษณะของกล้องรูเข็ม แล้วนำมาแยกเฟรมหรือแคปเจอร์ (Capture) ออกเป็นภาพนิ่ง

3.4.2 เครื่องหมายในภาพ

ภาพถ่ายที่นำเข้าจะต้องมีเครื่องหมายสัญลักษณ์ที่กำหนดอยู่ภายในภาพด้วย โดยเครื่องหมายนี้กำหนดให้เป็นตารางหมากรูป สีขาวสลับดำ และมีขอบขาวล้อมรอบ โดยความหนาของขอบขาวมีระยะเท่ากับระยะของช่องย่อยในตารางหมากรุก ตำแหน่งของเครื่องหมายจะอยู่ในระนาบใดๆ ก็ได้ แต่ต้องไม่มีการบิดงอของเครื่องหมาย



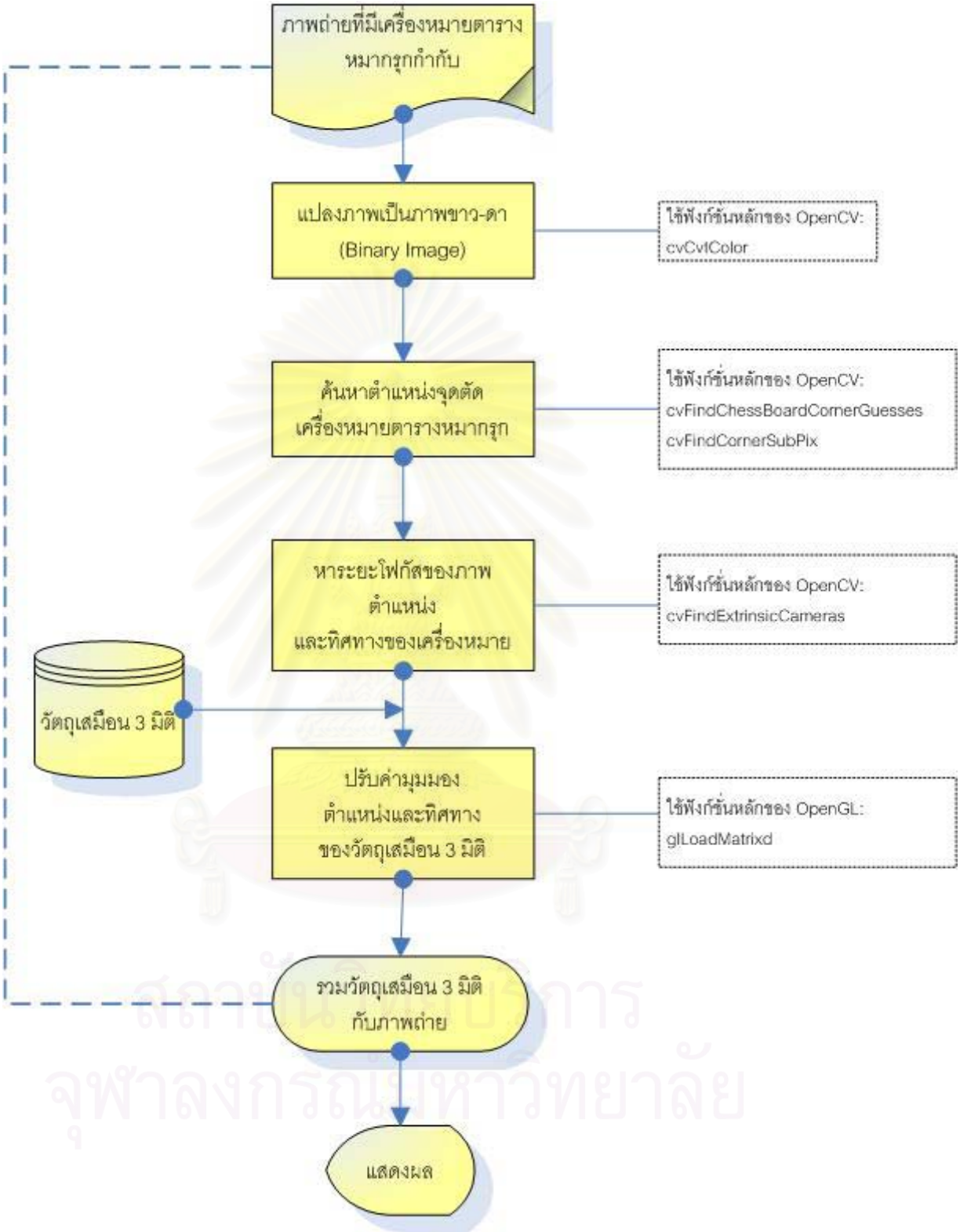
รูปที่ 3. 11 ตัวอย่างเครื่องหมายรูปตรารางหมกรุก ขนาด 5 X 6

3.4.3 วัตถุเสมือน 3 มิติ

เนื่องจากเป็นโปรแกรมต้นแบบ จึงกำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่ ที่สร้างขึ้นจาก 2 ส่วน คือ ส่วนที่สร้างจาก OpenGL ด้วยรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน และส่วนที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมสร้างงาน 3 มิติ อื่นๆ แล้วนำเข้ามาในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลภาษา C++ โดยทั้ง 2 ส่วนนี้จะเตรียมไว้ในโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว

3.5 การวิเคราะห์และวางระบบการคำนวณภายในโปรแกรม

กระบวนการคำนวณภายในโปรแกรมหลังจากได้รับข้อมูลตัวแปรทั้งหมดเข้ามาแล้ว สามารถแสดงได้ดังรูปในหน้าถัดไป โดยลำดับการดำเนินการจะเริ่มจากตัวแปรของภาพถ่ายที่นำเข้ามา โปรแกรมจะคำนวณและจัดการกับข้อมูลภาพถ่ายตามลำดับขั้นผ่านการเรียกใช้ฟังก์ชั่นจากไลบรารี OpenCV เพื่อหาค่าผลลัพธ์เป็นตำแหน่งและทิศทางของเครื่องหมายตารางหมากรุกในภาพ ซึ่งคืนค่าผลลัพธ์มาเป็นข้อมูลตัวเลขเมตริกซ์ หลังจากนั้นจึงนำค่าผลลัพธ์ส่งให้ไปคำนวณผ่านการเรียกใช้ฟังก์ชั่นจากไลบรารี OpenGL เพื่อปรับค่าตำแหน่งและมุมกล้องของภาพเสมือน 3 มิติ และสุดท้ายจึงนำข้อมูลภาพผลลัพธ์ของการปรับตำแหน่งและมุมมองของภาพเสมือน 3 มิติ มาซ้อนทับกับภาพถ่ายก่อนการแสดงผล ซึ่งรายละเอียดของลำดับการคำนวณแสดงได้ดังภาพ



รูปที่ 3. 12 ผังแสดงการคำนวณภายในโปรแกรม

3.6 **การพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน** (GUI, Graphic User Interface)

โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมได้ถูกสร้างขึ้นและพัฒนาขึ้นอย่างตรงไปตรงมาเพื่อตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย โดยพยายามลดทอนรายละเอียดของการป้อนข้อมูลแทนที่ด้วยการใช้ปุ่มหรือไอคอนเพื่อให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้งานมากที่สุด โดยการทำงานของโปรแกรมที่จะติดต่อกับผู้ใช้งานผ่านส่วนต่อประสาน (Interface) นั้น จะมีโครงสร้างการติดต่อระหว่างกัน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

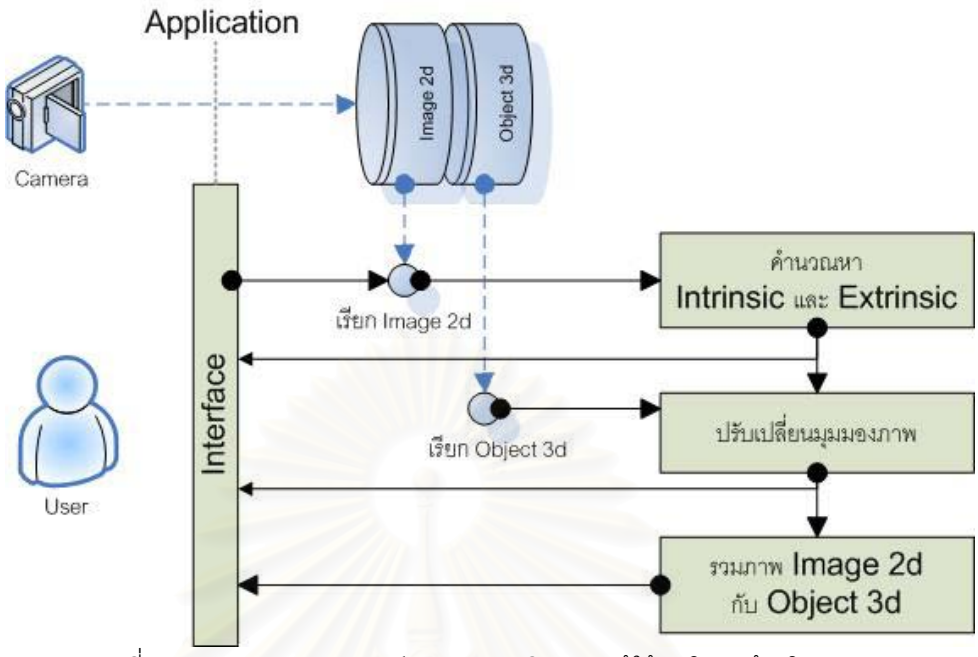
3.6.1 **ส่วนการนำเข้าข้อมูล**

ข้อมูลนำเข้ามี 2 ประเภทเท่านั้น คือข้อมูลภาพถ่าย และข้อมูลวัตถุเสมือน 3 มิติ ซึ่งข้อมูลด้านวัตถุเสมือน 3 มิติ เนื่องจากเป็นโปรแกรมต้นแบบจึงกำหนดให้เป็นข้อมูลตัวแปรคงที่ มีการสร้างเตรียมไว้สำเร็จแล้วภายในโปรแกรม ส่วนข้อมูลภาพถ่ายการป้อนข้อมูลจะใช้เม้าส์ในการสั่งงานเพื่อบอกตำแหน่งของภาพที่จะใช้งาน สำหรับข้อกำหนดของข้อมูลที่นำเข้าหากไม่ถูกต้องปุ่มหรือไอคอนการสั่งแสดงผลจะไม่ทำงานและฟ้องข้อผิดผลาดให้ผู้ใช้งานทราบโดยอัตโนมัติ

3.6.2 **ส่วนการแสดงผลข้อมูล**

เนื่องจากโปรแกรมมีกระบวนการทำงานแบบอัตโนมัติ ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรใดๆ ทั้งสิ้น การคำนวณทั้งหมดจะอยู่เบื้องหลัง โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเข้าไปเกี่ยวข้อง ดังนั้นการแสดงผลจะเป็นแบบทันที หลังจากนำข้อมูลเข้าอย่างถูกต้อง และสั่งให้แสดงผล โปรแกรมจะแสดงผลทางหน้าต่างหลักของโปรแกรม ซึ่งแบ่งผลลัพธ์ที่แสดงเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของข้อมูลภาพหลักจากการสร้างภาพขึ้นมาใหม่ โดยรวมภาพวัตถุเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพถ่ายจริง และส่วนข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของภาพถ่ายที่ได้จากการคำนวณ พิจารณาจากภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้กับโครงสร้างโปรแกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3. 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้กับโครงสร้างโปรแกรม

3.6.3 รูปแบบของส่วนต่อประสาน

จากการวิเคราะห์รูปแบบของโปรแกรมในการติดต่อกับผู้ใช้งาน จึงมีแนวคิดในการสร้างส่วนต่อประสานหรือหน้าตาของโปรแกรม แสดงดังรูป

รูปที่ 3. 14 แสดงรูปแบบส่วนต่อประสาน (Interface) ของโปรแกรม

จากรูป พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นส่วนของการแสดงผล เนื่องจากการใช้งานโปรแกรมจะเกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพทั้งการนำเข้าและการแสดงผลลัพธ์หลังการคำนวณ ซึ่งพื้นที่การแสดงภาพจะต้องไม่ต่ำกว่าขนาดภาพที่กำหนดไว้ในโปรแกรม คือ ไม่ต่ำกว่า 640 X 480 พิกเซล และพื้นที่แสดงผลนี้จะใช้แสดงผลข้อมูล 3 ประเภท คือ ข้อมูลภาพถ่ายที่นำเข้ามา, ข้อมูลภาพผลลัพธ์หลังการคำนวณ, ข้อมูลค่าตัวแปรทางเมตริกซ์เป็นผลลัพธ์หลังการคำนวณเช่นกัน

ส่วนประกอบที่ผู้ใช้และโปรแกรมใช้ติดต่อรวมกันจะจัดไว้รอบพื้นที่แสดงผล โดยพื้นที่ด้านล่างจะเป็นส่วนแสดงสถานะที่โปรแกรมจะใช้ติดต่อกับผู้ใช้งานเพื่อแจ้งผลการทำงานในขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้ได้มองเห็นและอ่านข้อความที่โปรแกรมรายงานในมุมมองขอบล่างที่อยู่ในแนวเดียวกับพื้นที่แสดงผล ซึ่งการอ่านข้อมูลที่เป็นตัวเลขหรือตัวอักษรใต้ภาพนั้นเพื่อความเหมาะสมต่อการรับรู้ทางสายตาของผู้ใช้งาน

ส่วนพื้นที่ด้านข้างจะเป็นกลุ่มเครื่องมือในการทำงานที่ผู้ใช้งานจะใช้ควบคุมและสั่งงาน เนื่องจากการใช้งานของกลุ่มเครื่องมือเหล่านี้ ผู้ใช้จะควบคุมผ่านเม้าส์ ซึ่งการใช้งานเม้าส์ส่วนใหญ่ผู้ใช้จะใช้มือขวาในการควบคุม ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานสอดคล้องกันระหว่างกลุ่มเครื่องมือในการควบคุมและตำแหน่งการใช้งานเม้าส์ควบคุมจึงจัดให้พื้นที่ของกลุ่มเครื่องมือนี้อยู่ทางด้านขวาของการแสดงผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

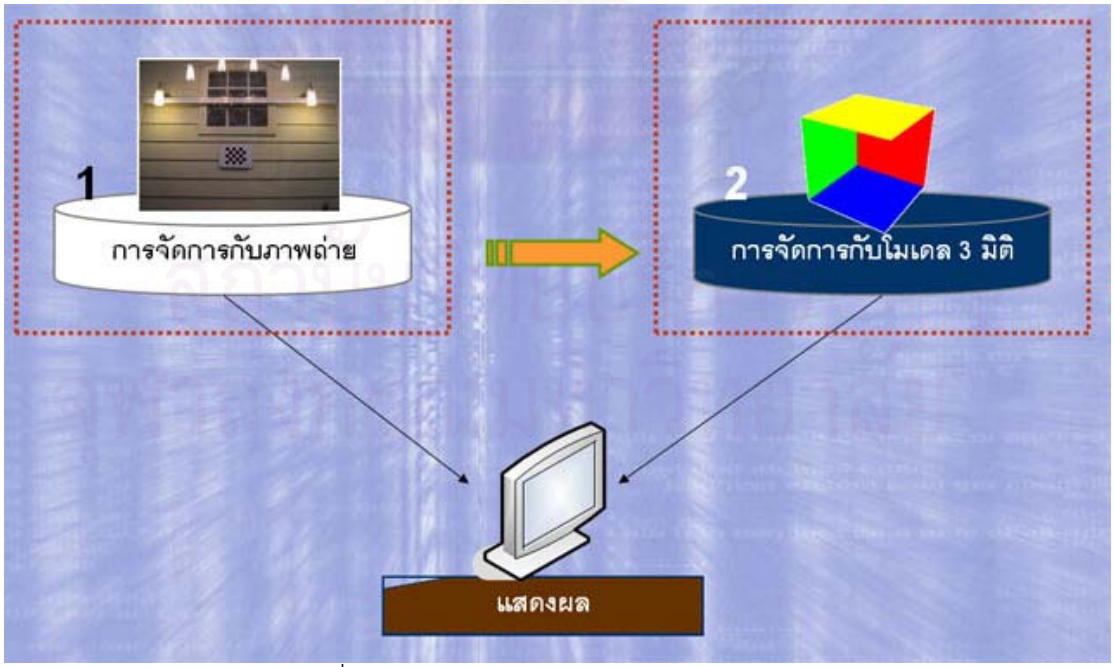
บทที่ 4
ผลการออกแบบโปรแกรม

จากการศึกษและวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพพิกัดจริงบนภาพจากกล้องวีดีโอ ผลที่ได้จากการออกแบบโปรแกรมสามารถแสดงรายละเอียดโดยแยกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1. ผังการทำงานของโปรแกรม
2. รายละเอียดองค์ประกอบของโปรแกรม
3. ขั้นตอนและวิธีการใช้งาน
4. การทดสอบและประเมินผลหลังการใช้โปรแกรม

4.1 ผังการทำงานของโปรแกรม

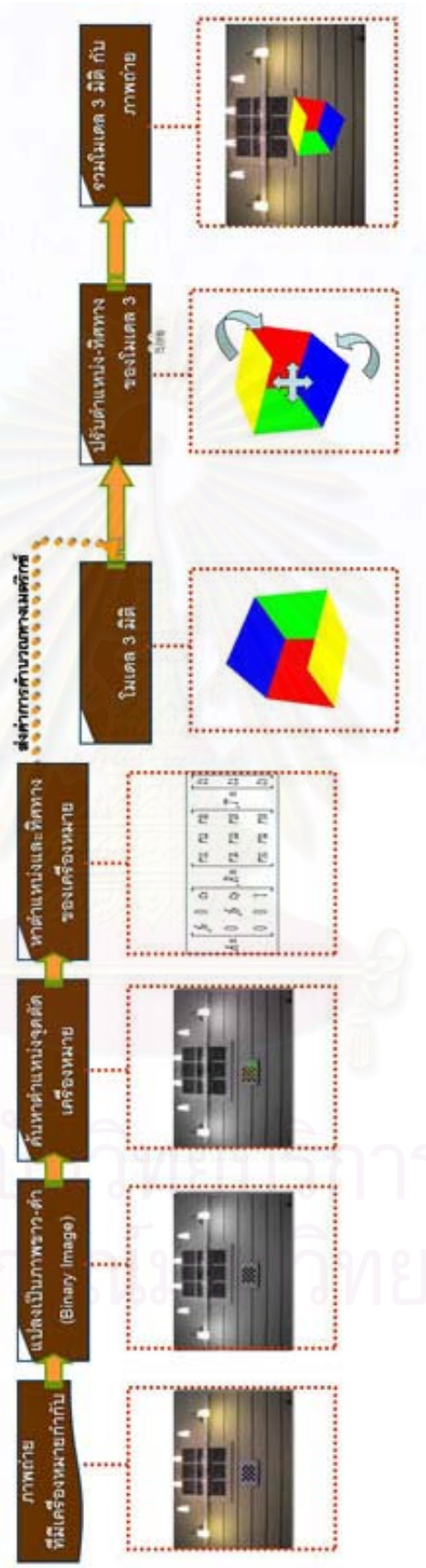
เมื่อพิจารณาภาพรวมของโปรแกรมตามแนวคิดและการออกแบบระบบโครงสร้างของโปรแกรม จะมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนการจัดการกับภาพถ่าย และส่วนการจัดการกับภาพเสมือน 3 มิติ (โมเดล 3 มิติ) แสดงดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 4. 1 แสดงภาพรวมผังการทำงานของโปรแกรม

โดยรายละเอียดการทำงานของโปรแกรมทั้ง 2 ส่วนหลักนั้น สามารถแยกขั้นตอนทำงานและลำดับการทำงานได้ดังนี้

- ขั้นตอนการนำเข้าภาพถ่าย ซึ่งต้องเป็นภาพถ่ายที่มีเครื่องหมายกำกับอยู่ในภาพ โดยโปรแกรมจะตรวจสอบขนาดของภาพที่นำเข้ามา ต้องเป็นภาพที่มีขนาด 640 X 480 พิกเซลเท่านั้น ถ้ามีขนาดของภาพไม่ตรงตามที่กำหนด โปรแกรมจะหยุดการทำงานและแจ้งเตือนกับผู้ใช้งาน
- ขั้นตอนการแปลงภาพเป็นขาว-ดำ โปรแกรมจะแปลงภาพที่นำเข้ามาทั้งหมดจากภาพสี เป็นภาพขาว-ดำ เพื่อการคำนวณหาตำแหน่งเครื่องหมายตารางหมากรุกในขั้นตอนต่อไป
- ขั้นตอนการหาจุดตัดของเครื่องหมายตารางหมากรุก โปรแกรมจะคำนวณหาจุดตัดของตารางหมากรุกผ่านไลบรารี OpenCV โดยถ้าโปรแกรมค้าหาจุดตัดได้ครบทุกจุด โปรแกรมจะดำเนินการในขั้นต่อไป แต่หากไม่สามารถค้นหาได้ทุกจุด โปรแกรมจะแจ้งเตือนกับผู้ใช้งานว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น หรือว่าขนาดของตารางหมากรุก (จำนวนตารางทั้งแนวตั้งและแนวนอน) จากภาพไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ ซึ่งขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนการตรวจเช็คเครื่องหมายจากภาพถ่ายด้วยว่าถูกต้องตามที่กำหนดไว้หรือไม่
- ขั้นตอนการหาตำแหน่งและทิศทางของเครื่องหมายตารางหมากรุก จากค่าตำแหน่งของจุดตัดตารางหมากรุกที่ได้จากการคำนวณ โปรแกรมจะนำมาใช้หาหาค่าตัวแปรทางเมตริกซ์ เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและทิศทางของภาพเสมือน 3 มิติ ในลำดับต่อไป
- ขั้นตอนส่วนของภาพเสมือน 3 มิติ หรือโมเดล 3 มิติ โดยโปรแกรมจะอ่านค่าข้อมูลของภาพเสมือน 3 มิติ ที่ผู้ใช้งานเลือกไว้จากฐานข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำ
- ขั้นตอนการปรับตำแหน่งและทิศทางของภาพเสมือน 3 มิติ ซึ่งโปรแกรมจะนำค่าตัวแปรทางเมตริกซ์ที่เก็บไว้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาดำเนินการกับภาพเสมือน 3 มิติ เพื่อปรับตำแหน่งและทิศทางให้อยู่ในมุมมองเดียวกับภาพถ่าย
- ขั้นตอนการรวมภาพเสมือน 3 มิติ เข้ากับภาพถ่าย เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนการแสดงผล โดยโปรแกรมจะรวมภาพเสมือน 3 มิติ ซ้อนเข้ากับภาพถ่ายแล้วแสดงผลออกทางจอมอนิเตอร์



รูปที่ 4. 2 แสดงรายละเอียดผังการทำงานของโปรแกรมพร้อมภาพประกอบ

4.2 รายละเอียดองค์ประกอบของโปรแกรม

รายละเอียดของโปรแกรมสามารถแยกเป็นองค์ประกอบต่างๆ โดยแต่ละองค์ประกอบมีหน้าที่และการใช้งานดังต่อไปนี้

4.2.1 ส่วนควบคุมและติดต่อกับโปรแกรม

เป็นส่วนที่ผู้ใช้จะใช้ควบคุมสั่งการโปรแกรม และเลือกดูการแสดงผลในโหมดต่างๆ จากการสั่งการจากไอคอนเครื่องมือในพื้นที่ส่วนนี้ ซึ่งจะประกอบด้วย

- ไอคอน SetUp ใช้แสดงไดอะลอกตั้งต้นเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้ตั้งค่าของเครื่องหมายรูปตารางหมากรุกก่อนการประมวลผล
- ไอคอน Original ใช้แสดงภาพถ่ายต้นแบบที่นำเข้ามาใช้ในโปรแกรม ก่อนการประมวลผล
- ไอคอน Calibration ใช้เช็คดูภาพถ่ายในแต่ละรูปว่าโปรแกรมสามารถค้นหาเครื่องหมายรูปตารางหมากรุกได้ถูกต้องหรือไม่ ก่อนนำไปคำนวณเพื่อหามุมมองที่ถูกต้อง
- ไอคอน SuperImpose ใช้แสดงผลลัพธ์ของภาพหลังจากการประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วนำภาพเสมือน 3 มิติ มาซ้อนทับกับภาพถ่าย
- ไอคอน C-Parameters ใช้แสดงข้อมูลค่าตัวเลขที่ได้จากการคำนวณทางเมตริกซ์ ในแต่ละภาพถ่ายที่เลือกไว้
- คอนโทรล Image Number เป็นการเลือกรูปที่จะแสดงผล จากรูปทั้งหมดที่นำเข้ามาใช้ในโปรแกรม
- คอนโทรล Run เป็นการสั่งให้โปรแกรมเริ่มทำการประมวลผล ตามลำดับการทำงานที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา
- คอนโทรล Quit เป็นการสั่งปิดการทำงาน เมื่อต้องออกจากโปรแกรมม เพื่อเคลียร์หน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผลภายในโปรแกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4. 3 แสดงไอคอนและคอนโทรลต่างๆ ในส่วนการควบคุมและติดต่อกับโปรแกรม

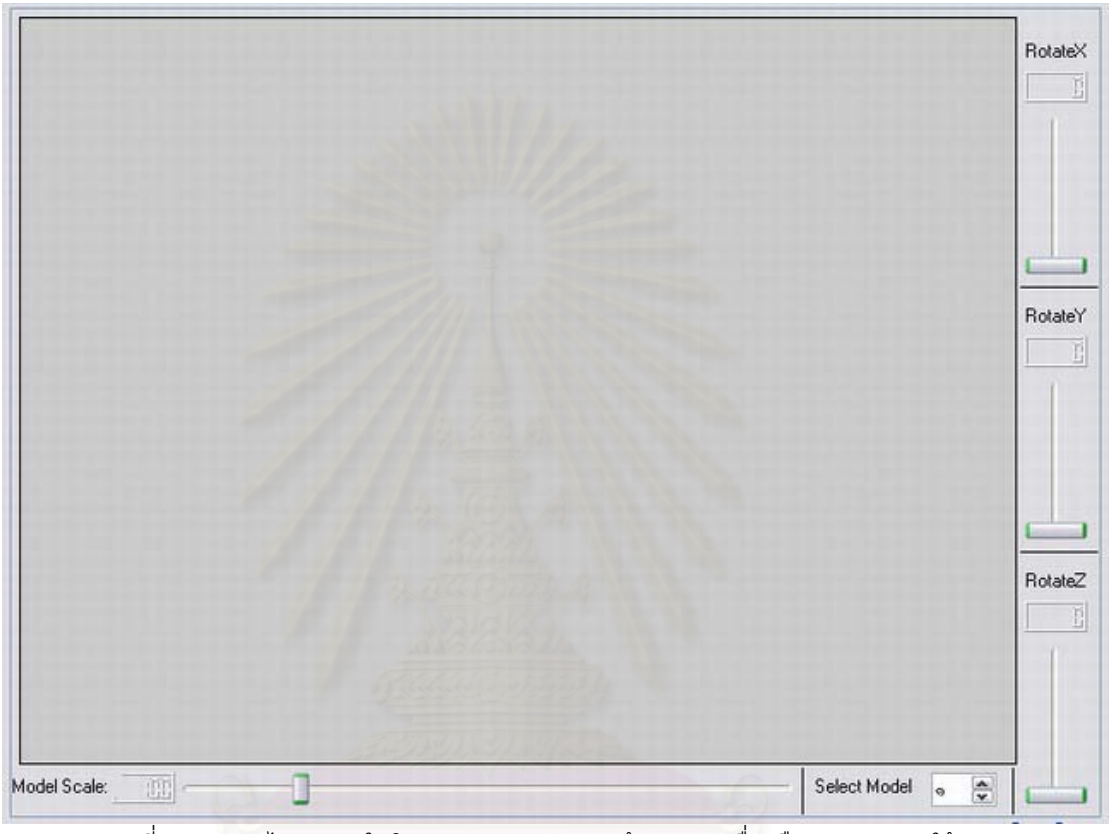
4.2.2 **ส่วนแสดงผล**

เป็นส่วนของไดอะลอก (Dialog) การแสดงผลต่างๆ ซึ่งสัมพันธ์กับการเลือกไอคอนในส่วนควบคุมและติดต่อกับโปรแกรม โดยประกอบไปด้วยโหมดต่างๆ ดังนี้

- ไดอะลอก Setup เป็นไดอะลอกแสดงการตั้งค่าคอนฟิกเอกเรชั่น ของเครื่องหมายตารางหมากรุกที่ใช้ในภาพถ่าย โดยผู้ใช้งานจะป้อนค่าขนาดของตารางหมากรุกเป้นจำนวนแถวกับจำนวนคอลัมภ์ และป้อนค่าขนาดความกว้างของช่องย่อยในตารางซึ่งต้องเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสเท่านั้น
- ไดอะลอก Original เป็นไดอะลอกแสดงภาพถ่ายที่นำเข้ามาใช้ในโปรแกรมก่อนการประมวลผล
- ไดอะลอก Calibration เป็นไดอะลอกแสดงผลการค้นหาจุดตัดของเครื่องหมายตารางหมากรุกจากภาพถ่าย
- ไดอะลอก Superimpose เป็นไดอะลอกแสดงผลลัพธ์การซ้อนทับระหว่างภาพถ่ายกับภาพเสมือน 3 มิติ การแสดงไดอะลอกในโหมดนี้จะมีแทบเครื่องมือในการปรับขนาดและมุมแกน X, Y, Z ของภาพเสมือน 3 มิติ เพื่อให้

ผู้ใช้ปรับละเอียดเพิ่มเติมหากผลลัพธ์ที่แสดงออกมายังมีความคลาดเคลื่อน รวมถึงมีแทบเครื่องมือการเลือกภาพเสมือน 3 มิติที่เตรียมไว้นำมาแสดง

- ไดอะลอก C-Parameters เป็นไดอะลอกแสดงค่าตัวเลขทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาตำแหน่งและทิศทางของเครื่องหมายในภาพถ่ายแต่ละภาพ



รูปที่ 4. 4 แสดงไดอะลอกในโหมด Superimpose พร้อมแทบเครื่องมือประกอบการใช้งาน

4.2.3 **ส่วนแสดงสถานะ**

เป็นส่วนที่โปรแกรมจะแจ้งการทำงานให้กับผู้ใช้ว่า ขั้นตอนการประมวลผลเสร็จสมบูรณ์ หรือมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น หากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นโปรแกรมจะแจ้งสาเหตุของการผิดพลาดให้ผู้ใช้งานทราบทันที

รูปที่ 4. 5 ส่วนแสดงสถานะของโปรแกรมให้ผู้ใช้งานทราบผลการประมวลผลในแต่ละขั้นตอน

4.2.4 **ส่วนฐานข้อมูลภาพเสมือน 3 มิติ**

ส่วนฐานข้อมูลภาพเสมือน 3 มิติ เป็นส่วนที่ได้จัดเตรียมไว้ในโปรแกรมแล้ว เนื่องจากเป็นส่วนที่ได้กำหนดไว้ให้เป็นข้อมูลทดลองที่ถูกสร้างและกำหนดไว้แต่แรก โดยการ

เรียกใช้นั้นผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้และเปลี่ยนภาพได้จากหน้าต่างหลักของโปรแกรม ซึ่งอยู่ในไดอะลอกโหมดของ Superimpose ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้ได้ทันที ในขณะที่แสดงผลอยู่

รูปที่ 4. 6 แสดงคอนโทรลในการเลือกฐานข้อมูลภาพเสมือน 3 มิติ

โดยรูปแบบของภาพเสมือน 3 มิติ ที่นำมาทดลองใช้กับโปรแกรมแสดงดังตาราง

ตารางที่ 4. 1 รูปแบบภาพเสมือน 3 มิติ ที่ใช้ในโปรแกรม

ภาพเสมือน 3 มิติ	รายละเอียด
	โมเดลบ้านพักอาศัยขนาดกลาง
	สร้างจากโปรแกรมอื่น, นำเข้าเป็นโค้ดภาษา C++
	โมเดลบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก
	สร้างจากโปรแกรมอื่น, นำเข้าเป็นโค้ดภาษา C++
	โมเดลบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก
	สร้างจากโปรแกรมอื่น, นำเข้าเป็นโค้ดภาษา C++
	โมเดลกล่อง 3 มิติ
	สร้างจากไลบรารี Opencv

4.3 ขั้นตอนและวิธีการใช้งาน

ในขั้นตอนและวิธีการใช้งานโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ

1. ขั้นตอนการเตรียมการก่อนใช้โปรแกรม
2. ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

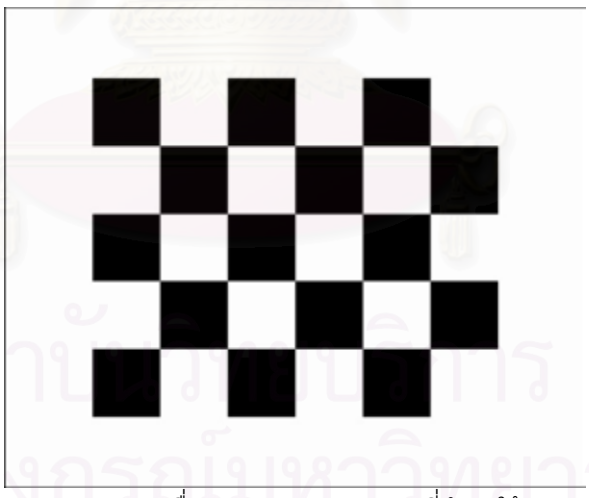
4.3.1 ขั้นตอนเตรียมการก่อนการใช้โปรแกรม

การเตรียมการก่อนใช้โปรแกรม แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยๆ ด้วยกันคือ

4.3.1.1 การเตรียมแผ่นเครื่องหมายตารางหมากรุก

เป็นขั้นตอนการเตรียมการก่อนการถ่ายภาพสถานที่แวดล้อมจริง แผ่นเครื่องหมายที่นำมาใช้จะต้องมีรูปแบบดังนี้

- จำนวนแถวและคอลัมภ์จะต้องไม่เท่ากัน โดยถ้าจำนวนแถวเป็นเลขคู่จำนวนคอลัมภ์ต้องเป็นเลขคี่ (หรือในทางกลับกันจำนวนคอลัมภ์เป็นเลขเป็นเลขคู่จำนวนแถวเป็นเลขคี่)
- จำนวนแถวหรือคอลัมภ์ที่มีจำนวนน้อยที่สุดจะต้องไม่น้อยกว่า 4 X 5 และต้องไม่เกิน 9 X 10
- ต้องมีขอบขาวรอบตาราง โดยมีขนาดความกว้างของขอบไม่น้อยกว่าความกว้างของขนาดช่องสี่เหลี่ยมในตาราง
- ช่องในตารางหมากรุกต้องเป็นสีขาวสลับดำ
- ช่องในตารางจะต้องรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส มีขนาดที่วัดได้เป็นหน่วยมิลลิเมตร



รูปที่ 4. 7 ตัวอย่างรูปแบบเครื่องหมายตารางหมากรุกที่นำมาใช้ทดสอบโปรแกรม

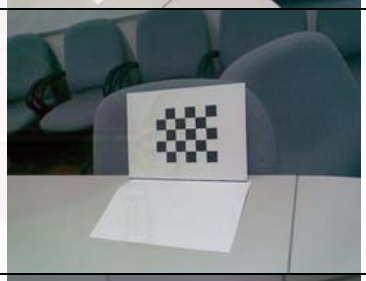
4.3.1.2 การนำภาพถ่ายมาใช้ในโปรแกรม

ในขั้นตอนการถ่ายภาพและนำภาพเข้ามาใช้ในโปรแกรม มีรูปแบบดังนี้

- ภาพที่ถ่ายจะต้องเป็นภาพจากกล้องดิจิตอลที่ใช้เลนส์ปกติหรือเลนส์แบบรูเข็ม ซึ่งใช้ได้ทั้งกล้องถ่ายภาพนิ่งหรือกล้องถ่ายภาพวีดีโอ (กล้องถ่ายภาพวีดีโอหรือกล้องเวปแคมจะต้องแคปเจอร์ออกมาเป็นภาพนิ่งอีกทีก่อน)

- ภาพถ่ายที่ได้จะต้องเป็นภาพดิจิตอลที่ใช้นามสกุล .JPG
- ภาพถ่ายจะต้องมีขนาด 640 X 480 พิกเซล
- จำนวนภาพถ่ายจะต้องไม่น้อยกว่า 3 ภาพ จากตัวอย่างทดลองใช้ภาพถ่าย 4 ภาพที่ต่อเนื่องกัน
- นำไฟล์ภาพถ่ายที่ใช้งานไปไว้ในโฟลเดอร์เดียวกันกับตัวโปรแกรมที่มีนามสกุล .exe แล้วเปลี่ยนชื่อไฟล์ภาพถ่ายเป็น “axx.jpg” (xx คือตัวเลขในการลำดับภาพถ่าย โดยเริ่มจาก 00 เป็นต้นไป) เช่น a00.jpg, a01.jpg, a02.jpg, a03.jpg เป็นต้น

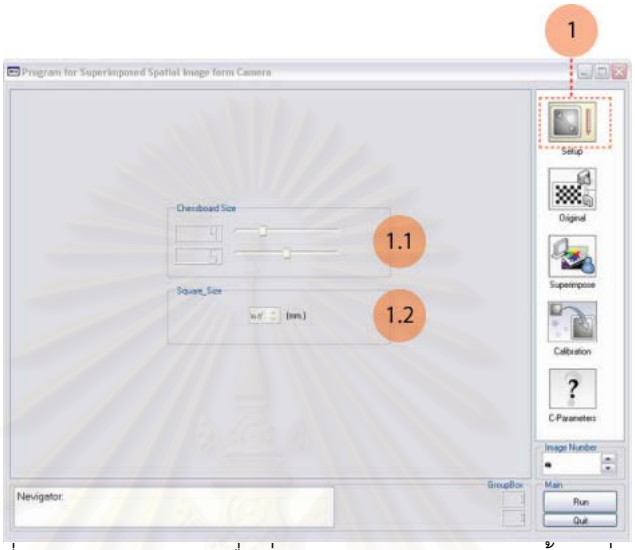
ตารางที่ 4. 2 ตัวอย่างภาพถ่ายที่นำมาใช้ในโปรแกรม

ลำดับ	ชื่อไฟล์ภาพถ่าย	ตัวอย่างภาพถ่าย
1	a00.jpg	
2	a01.jpg	
3	a02.jpg	
4	a03.jpg	

4.3.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

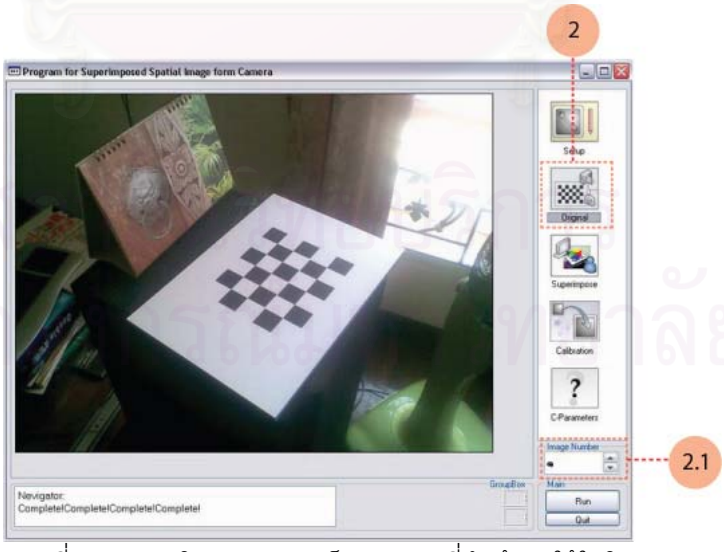
ในการเริ่มใช้งานโปรแกรม สามารถลำดับขั้นตอนการใช้งานได้ดังนี้

1. เข้าสู่โปรแกรมการใช้งาน หน้าหลักจะอยู่ในโหมดไดอะลอกของไอคอน Setup เพื่อกำหนดการตั้งค่าของขนาดและระยะของเครื่องหมายที่ใช้ในภาพถ่าย

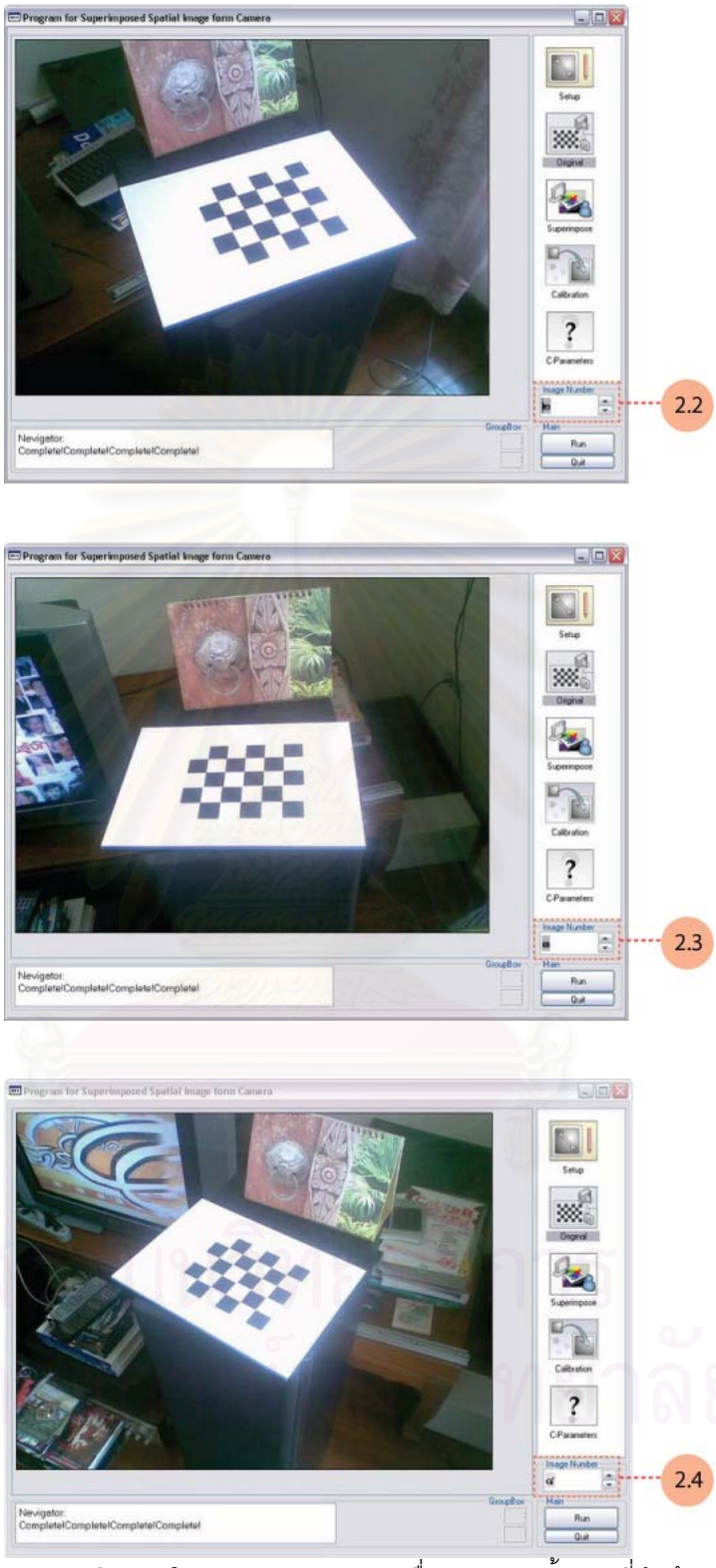


รูปที่ 4. 8 แสดงหน้าหลักเมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรม และการตั้งค่าเริ่มต้น

2. คลิกที่ไอคอน Original เพื่อตรวจสอบภาพถ่ายที่นำเข้ามาในโปรแกรม หน้าจอแสดงผลจะแสดงภาพถ่ายที่โปรแกรมค้นพบ การเช็คดูภาพถ่ายแต่ละภาพทำได้โดยคลิกที่คอนโทรล Image Number เพื่อเลือกดูภาพถ่ายแต่ละภาพ

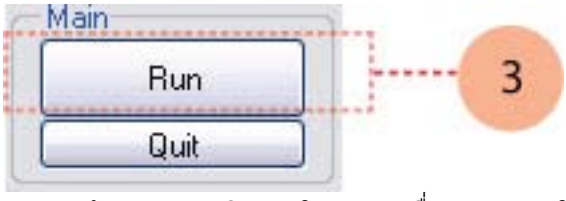


รูปที่ 4. 9 แสดงโหมดการตวจเช็คภาพถ่ายที่นำเข้ามาใช้ในโปรแกรม



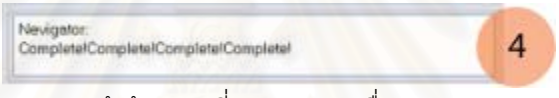
รูปที่ 4. 10 แสดงการคลิกคอนโทรล Image Number เพื่อดูภาพถ่ายทั้งหมดที่นำเข้ามาในโปรแกรม

3. เมื่อตรวจสอบภาพถ่ายที่นำเข้ามาเรียบร้อยแล้ว การประมวลผลโปรแกรมจะกระทำโดยคลิกที่คอนโทรล Run

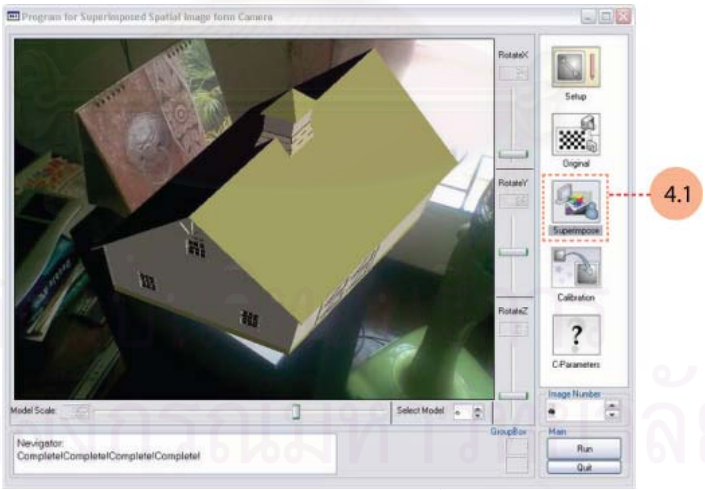


รูปที่ 4. 11 แสดงตำแหน่งการคลิกคอนโทรล Runเพื่อประมวลผลโปรแกรม

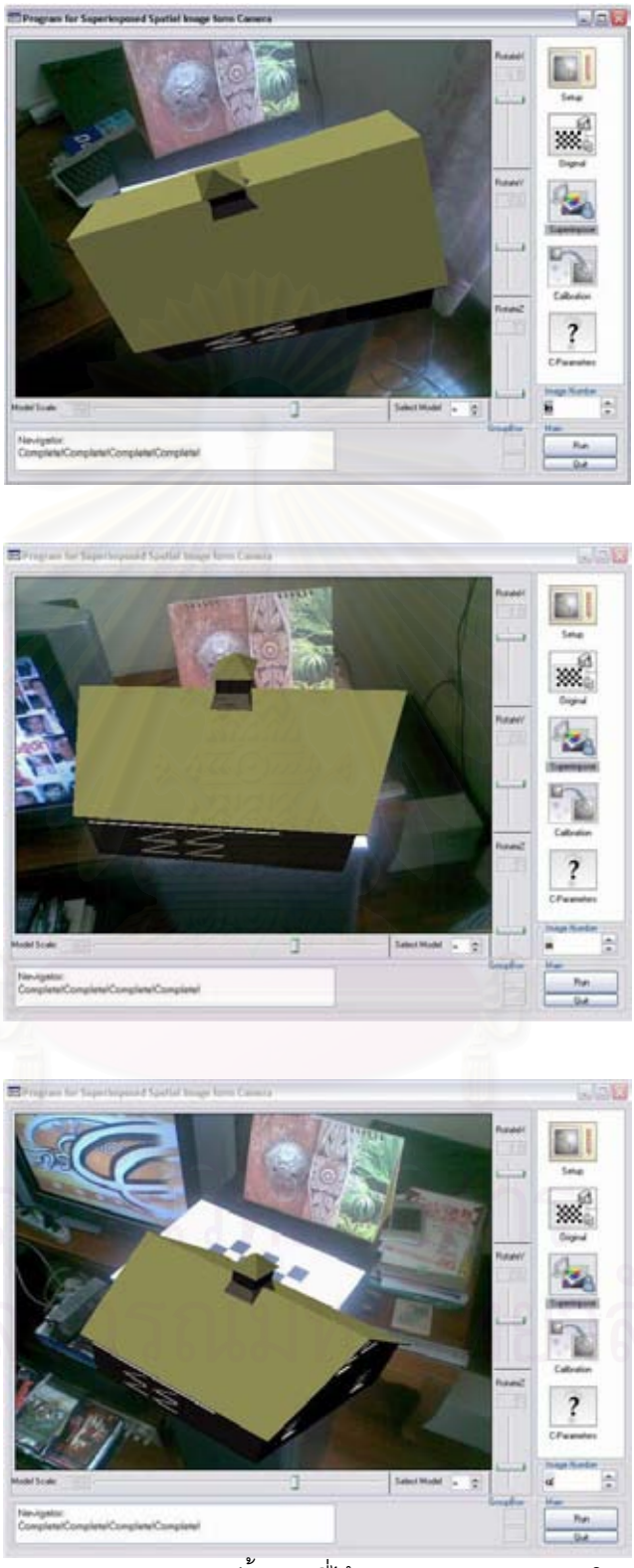
4. เมื่อแทบแสดงสถานะ (Navigator) ขึ้นข้อความ “Complete!” แสดงว่าการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อการคำนวณสามารถดำเนินการได้จนเสร็จสิ้น ให้คลิกที่ไอคอน Superimpose เพื่อดูผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งแสดงอยู่ในไดอะลอก (คลิกที่คอนโทรล Image Number เพื่อเลือกดูผลลัพธ์ของภาพถ่ายแต่ละภาพ)



รูปที่ 4. 12 แสดงการแจ้งข้อความที่แทบสถานะ เมื่อการประมวลผลเสร็จสมบูรณ์

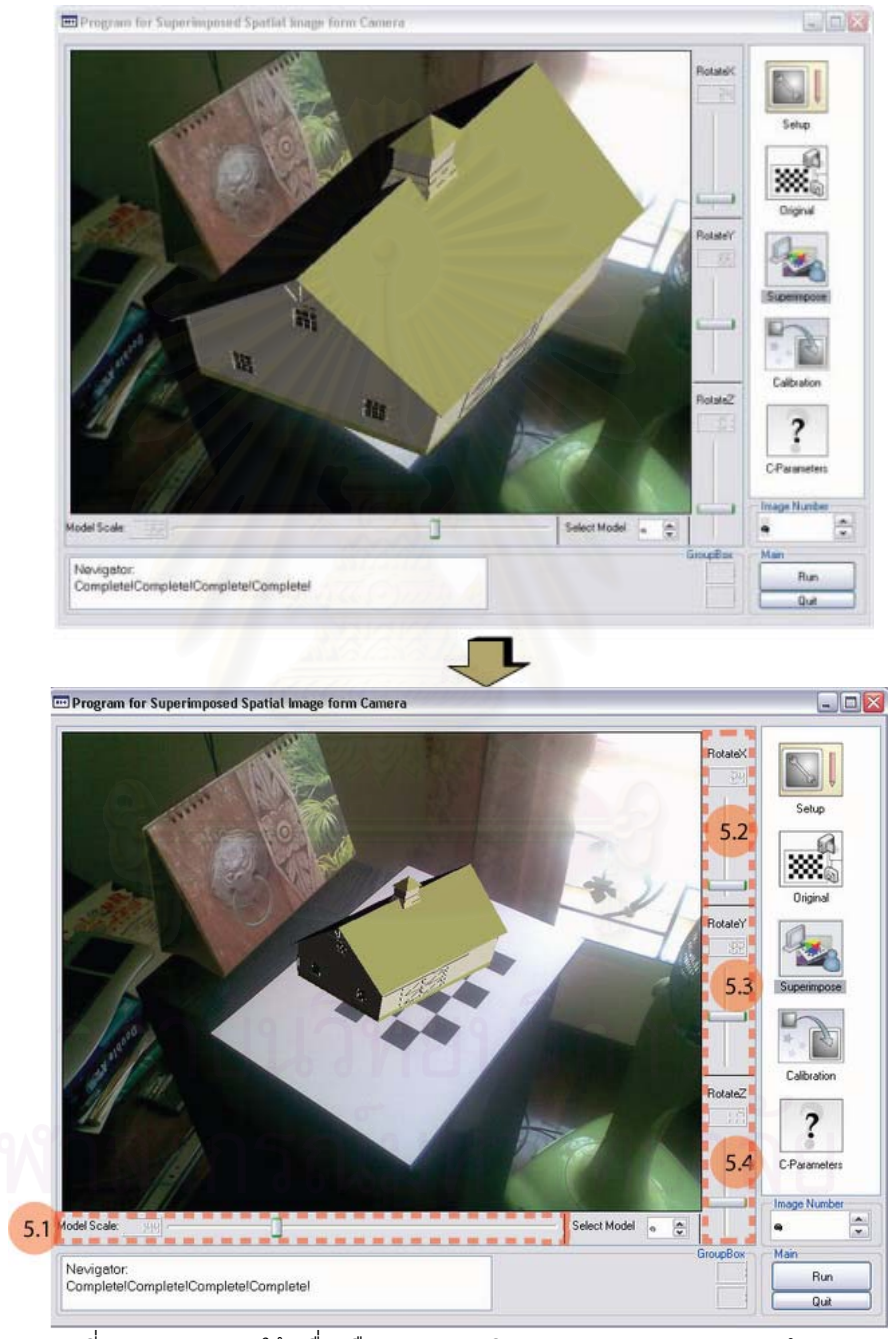


รูปที่ 4. 13 แสดงภาพผลลัพธ์จากการเลือกไอคอนเพื่อแสดงผลในโหมด Superimpose



รูปที่ 4. 14 แสดงภาพผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม

5. ถ้าหากผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ผู้ใช้สามารถใช้เครื่องมือใน ไดอะลอก ของ Superimpose เพื่อปรับขนาดและทิศทางทั้ง 3 แกน ของภาพเสมือน 3 มิติให้แม่นยำมากขึ้น

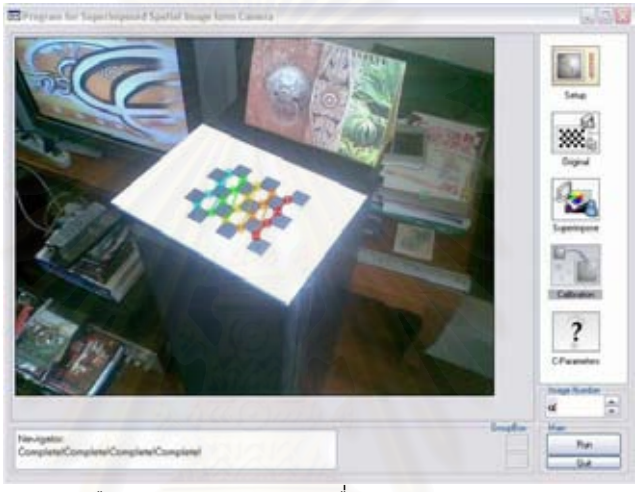


รูปที่ 4. 15 แสดงการใช้เครื่องมือปรับขนาด ทิศทางตามแกน X, Y, Z ตามลำดับ

6. การเลือกภาพเสมือน 3 มิติในการแสดงผลลัพธ์ สามารถเลือกได้จากโหมดในไดอะลอก Superimpose โดยคลิกที่คอนโทรล Select Model ดังแสดงในภาพ

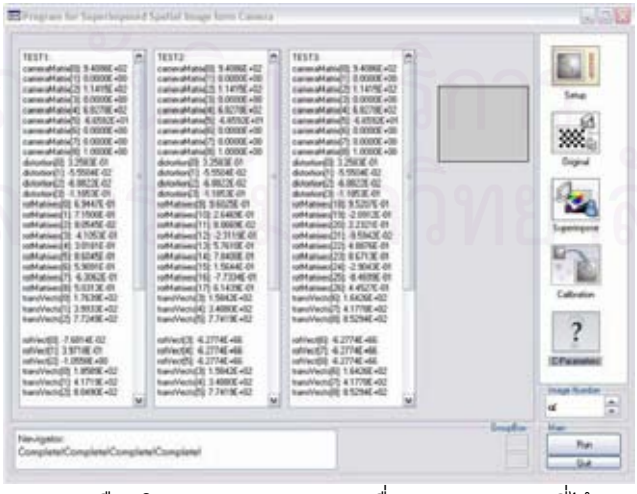
รูปที่ 4. 16 แสดงการเลือกภาพเสมือน 3 มิติ เพื่อแสดงผล

7. ถ้าหากเกิดข้อผิดพลาดในการประมวลผล โปรแกรมจะแจ้งให้ผู้ใช้ทราบที่แทบแสดงสถานะ ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความผิดพลาดของการคำนวณภาพถ่ายได้จากการคลิกดูที่ไอคอน Calibration หน้าจอส่วนแสดงผลจะแสดงไดอะลอกของภาพถ่ายที่โปรแกรมได้ตรวจเช็คหาจุดตัดของเครื่องหมายในภาพถ่ายและได้ทำสัญลักญณ์ ณ จุดตัดที่โปรแกรมค้นพบ (คลิกที่คอนโทรล Image Number เพื่อเลือกดูการค้นพบจุดตัดของภาพถ่ายแต่ละภาพ)



รูปที่ 4. 17 แสดงการเลือกโหมด Calibration เพื่อแสดงภาพการเช็คจุดตัดของเครื่องหมาย

8. ถ้าหากต้องการดูข้อมูลค่าตัวเลขที่ได้จากการคำนวณเพื่อนำไปควบคุมตำแหน่งและทิศทางของภาพเสมือน 3 มิติ โดยการคลิกที่ไอคอน C-Parameters



รูปที่ 4. 18 แสดงการเลือกโหมด C-Parameters เพื่อแสดงค่าตัวเลขที่ได้จากการคำนวณ

4.4 การทดสอบและประเมินผลหลังการใช้โปรแกรม

การทดสอบการใช้งานโปรแกรม เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโปรแกรม จึงกำหนดเกณฑ์การพิจารณาเปรียบเทียบใน 3 ลักษณะ ได้แก่

- ระยะเวลาในการประมวลผลเพื่อแสดงภาพผลลัพธ์ของภาพเสมือน 3 มิติ ที่มีสภาพแวดล้อมจากภาพถ่ายจริง
- ความผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจเช็คภาพถ่าย โดยพิจารณาจากการทดลองทั้งหมด แล้วดูว่าการทดลองใด โปรแกรมไม่สามารถค้นพบเครื่องหมายตารางหมากรุกจากภาพถ่ายได้
- ความแม่นยำในการแสดงผล ซึ่งได้จากการคำนวณ ของโปรแกรม โดยพิจารณาจากการรับรู้ด้วยการมองเห็น

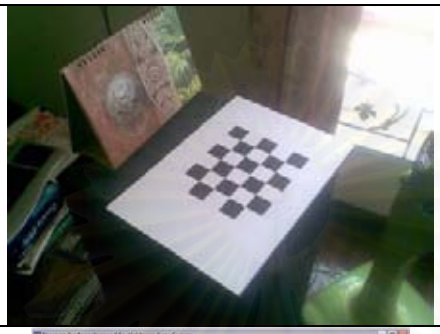
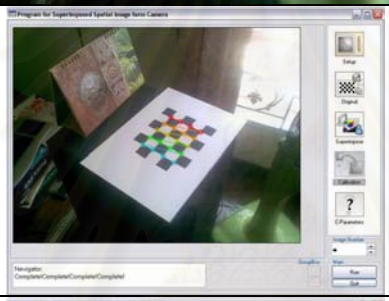
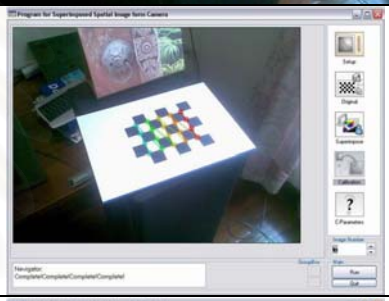
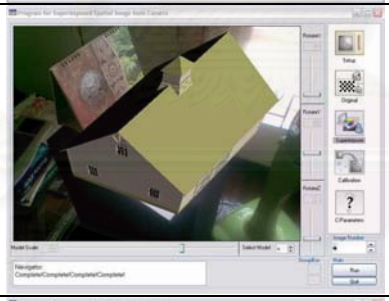
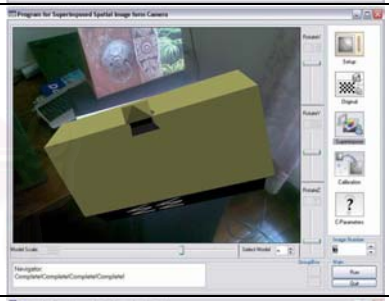
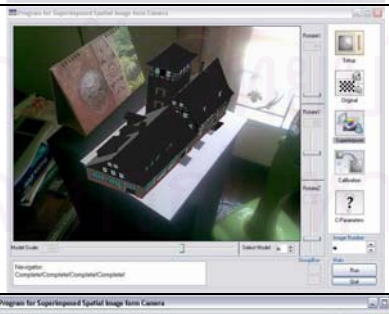
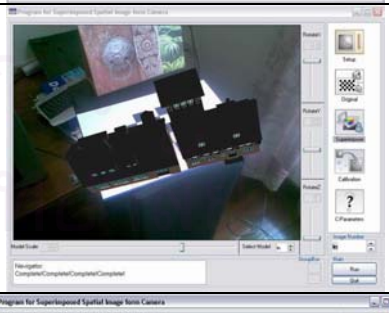
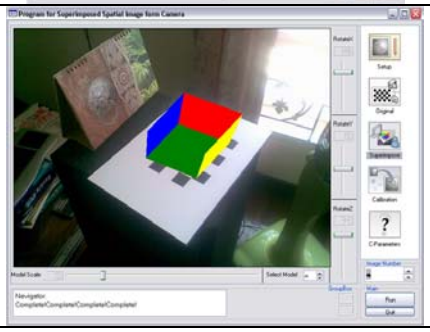
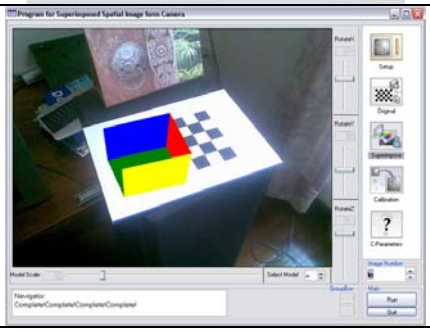
โดยการทดสอบ จะทำการทดลองกับภาพถ่ายสภาพแวดล้อมจริงจากตำแหน่งต่างๆ โดยใช้เครื่องหมายตารางหมากรุกขนาด 6 x 5 แถว-คอลัมภ์ และมีขนาดช่องของตารางหมากรุกเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ซึ่งมีผลการทดสอบโปรแกรมตามภาพถ่ายที่นำมาใช้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

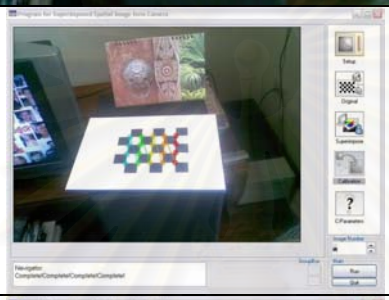
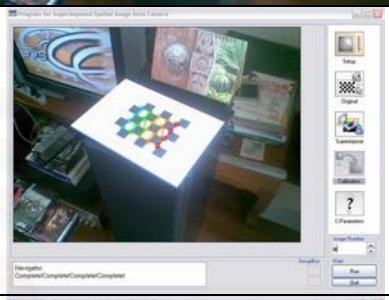
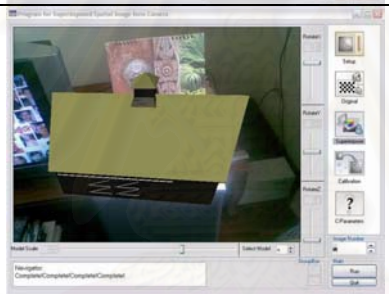
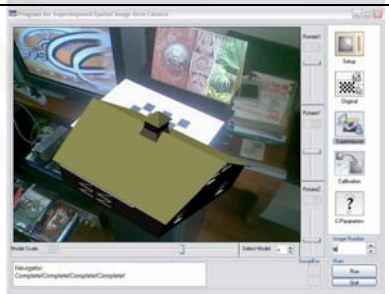
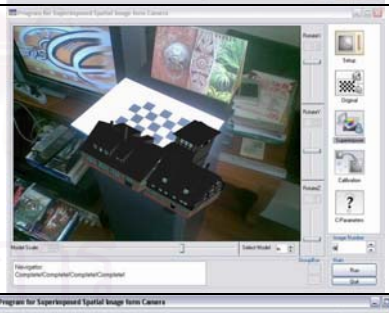
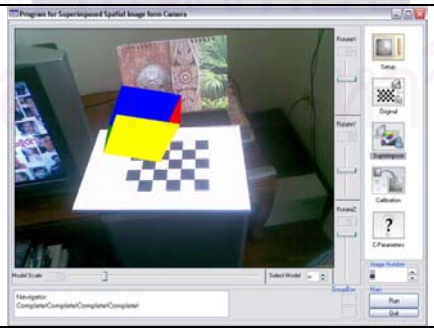
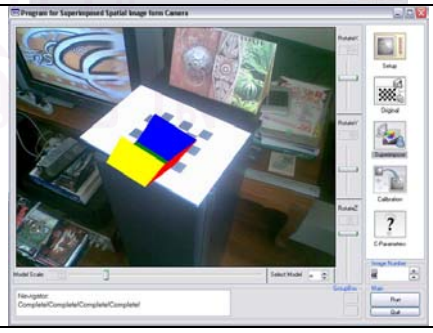
4.4.1 ตัวอย่างการทดลองที่ 1

ภาพถ่ายจากห้องที่มีปริมาณแสงธรรมชาติเข้ามาเป็นส่วนใหญ่ ถ่ายในเวลากลางวัน ถ่ายในระยะ 0.5-1.0 เมตร ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4. 3 ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่1 รูปที่ 1 และรูปที่ 2

	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2
ภาพถ่ายที่ใช้		
ภาพที่ได้จากการค้นหาเครื่องหมาย		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 1)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 2)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 3)		

ตารางที่ 4. 4 ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่1 รูปที่ 3 และรูปที่ 4

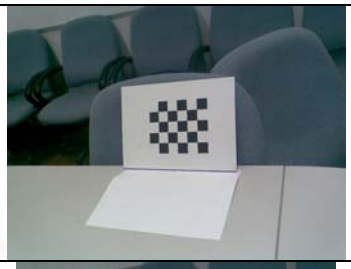
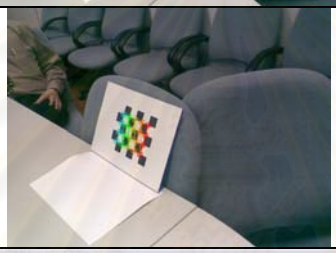
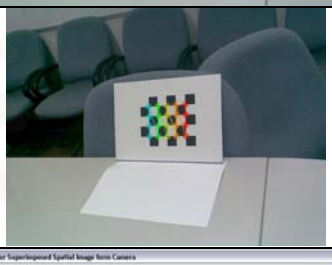
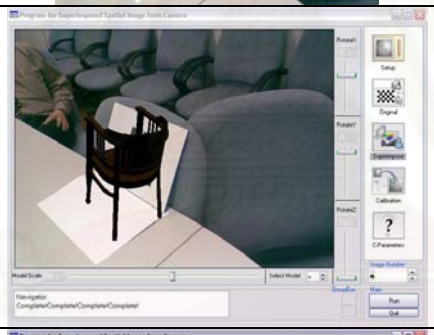
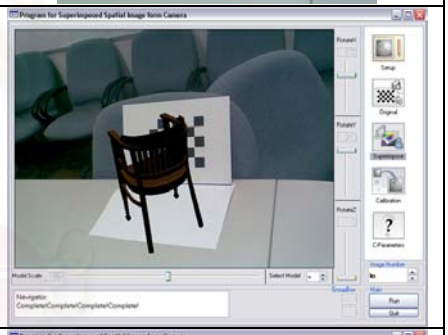
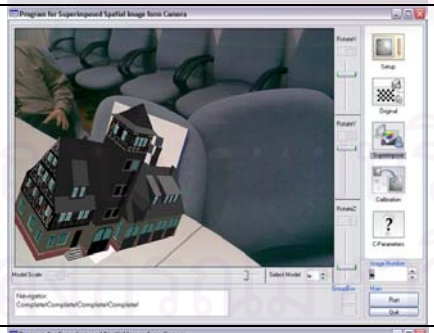
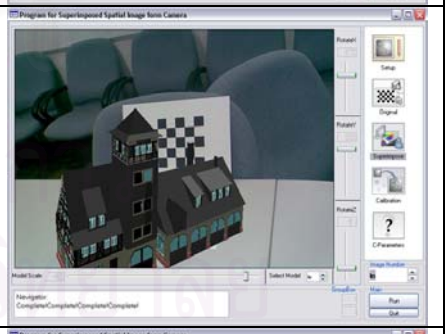
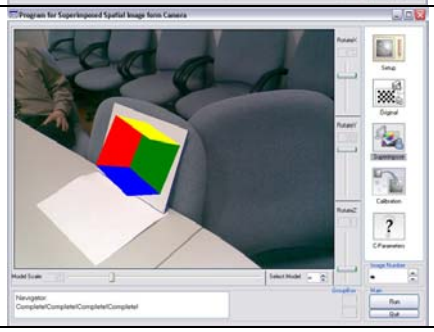
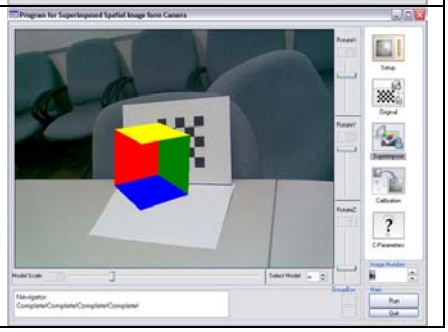
	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4
ภาพถ่ายที่ใช้		
ภาพที่ได้จากการค้นหาเครื่องหมาย		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 1)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 2)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 3)		

จากการทดสอบโปรแกรมสามารถประมวลผลได้ และการแสดงผลลัพธ์สามารถแสดงภาพเสมือน 3 มิติ ซ้อนทับกับภาพถ่ายได้ แต่บางภาพยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ซึ่งผู้ใช้จะต้องใช้เครื่องมือในการปรับขนาดและทิศทางเองเพิ่มเติม

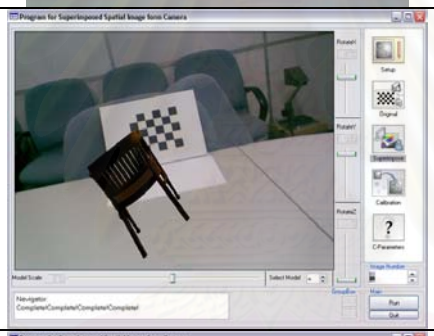
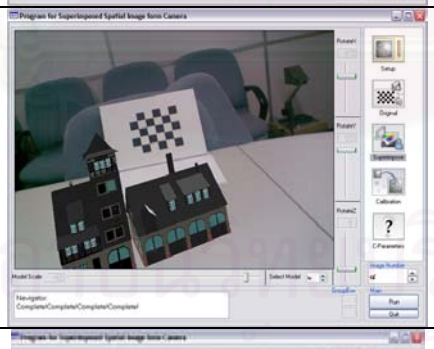
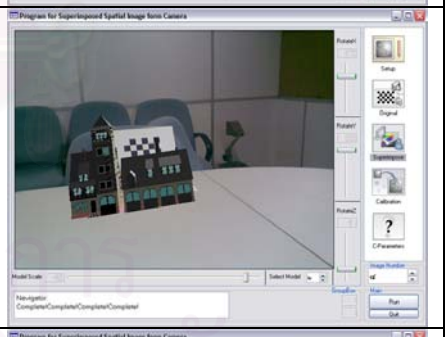
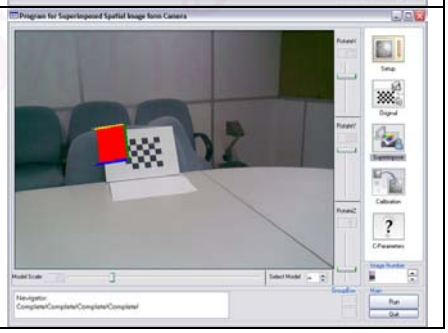
4.4.2 ตัวอย่างการทดลองที่ 2

ภาพถ่ายจากห้องที่ใช้แสงสว่างจากหลอดไฟในอาคารเป็นหลัก ถ่ายในเวลากลางวัน ถ่ายในระยะ1.0-1.5 เมตร ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4. 5 ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่2 รูปที่ 1 และรูปที่ 2

	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2
ภาพถ่ายที่ใช้		
ภาพที่ได้จากการค้นหาเครื่องหมาย		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 1)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 2)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 3)		

ตารางที่ 4. 6 ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่2 รูปที่ 3 และรูปที่ 4

	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4
ภาพถ่ายที่ใช้		
ภาพที่ได้จากการค้นหาเครื่องหมาย		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 1)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 2)		
ภาพผลลัพธ์ (โมเดล 3)		

จากการทดสอบโปรแกรมสามารถประมวลผลได้ และการแสดงผลลัพธ์สามารถแสดงภาพเสมือน 3 มิติ ซ้อนทับกับภาพถ่ายได้ แต่บางภาพยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

ซึ่งผู้ใช้จะต้องใช้เครื่องมือในการปรับขนาดและทิศทางเองเพิ่มเติมเช่นกัน

4.4.3 ตัวอย่างการทดลองที่ 3

ภาพถ่ายจากห้องที่ใช้แสงสว่างจากหลอดไฟในอาคารเป็นหลัก ถ่ายในเวลากลางคืน ถ่ายในระยะ1.5-2.0 เมตร ได้ผลดังนี้

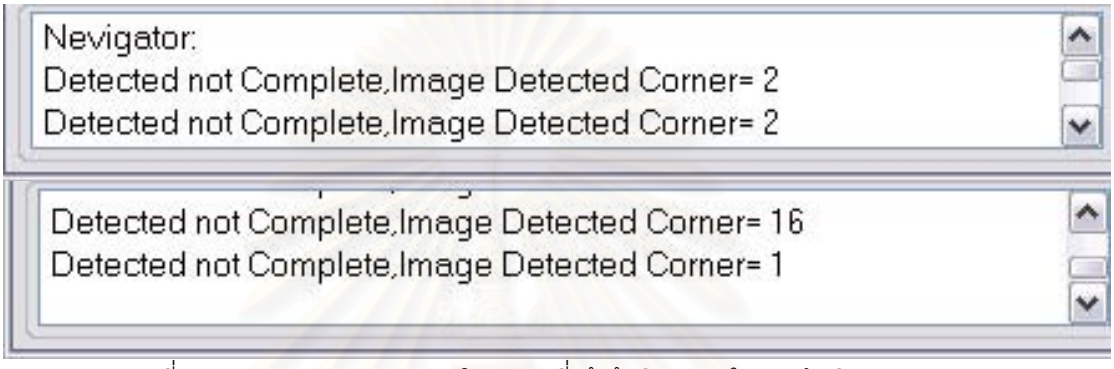
ตารางที่ 4. 7 ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่3 รูปที่ 1 และรูปที่ 2

	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2
ภาพถ่ายที่ใช้		
ภาพที่ได้จากการค้นหาเครื่องหมาย		
ภาพผลลัพธ์	-	-

ตารางที่ 4. 8 ผลการทดสอบจากตัวอย่างการทดลองที่3 รูปที่ 3 และรูปที่ 4

	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4
ภาพถ่ายที่ใช้		
ภาพที่ได้จากการค้นหาเครื่องหมาย		
ภาพผลลัพธ์	-	-

จากการทดสอบโปรแกรมไม่สามารถประมวลผลได้ เมื่อคลิกคอนโทรล Run เพื่อประมวลผลภาพ ปรากฏว่าโปรแกรมแจ้งข้อผิดพลาดดังภาพ เนื่องจากไม่สามารถค้นพบจุดตัดของเครื่องหมายได้ครบทุกจุดและในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยทั้ง 4 ภาพเกิดข้อผิดพลาดทั้งหมด มีการพบจุดตัดเพียง 2 จุด, 2 จุด, 16 จุด, 1 จุด ตามลำดับ (เนื่องจากการทดลองใช้เครื่องหมายตารางหมากรุก ขนาด 6 x 5 ดังนั้นจุดตัดที่ถูกต้องต้องมีจำนวนเท่ากับ 5 x 4 = 20 จุด)



รูปที่ 4. 19 แสดงแทบสถานะของโปรแกรมที่แจ้งข้อผิดพลาดในการดำเนินการกับภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเครื่องมือและวิธีการใช้งานในลักษณะที่แตกต่างไปจากเครื่องมือหรือวิธีการเดิมในการสร้างสภาพแวดล้อมประกอบงานจำลองแบบ 3 มิติ เพื่อแก้ไขปัญหาและข้อจำกัดตามที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 1 ซึ่งได้มีการศึกษา และพัฒนาจนได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นับว่าเป็นอีกเครื่องมือหรืออีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมหรือแก้ไขข้อจำกัดต่างๆ ที่กล่าวไว้ในตอนต้น โดยภายหลังจากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพพิกัดจริงบนภาพจากกล้องวีดีโอ และนำมาทดสอบการใช้งานแล้ว ได้ผลสรุปซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โปรแกรมเป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีแนวทางในการช่วยลดขั้นตอนการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนโดยคอมพิวเตอร์ ทำให้ลดระยะเวลาในการทำงาน ลดค่าใช้จ่าย และทรัพยากรในการสร้างสภาพแวดล้อมเลียนแบบธรรมชาติให้กับตัวงานที่ออกแบบ ทั้งนี้ทั้งนั้นการแสดงผลลัพธ์ออกมายังมีความคลาดคลื่อนอยู่บ้าง แต่ก็ยังเป็นแนวทางในการนำเสนอเพื่อต่อยอดในการพัฒนาต่อไปได้ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดไว้ในหัวข้อถัดไป
2. โปรแกรมช่วยหามุมมองของภาพถ่ายที่ถูกต้องและค้นหาตำแหน่งเครื่องหมายที่อยู่ในภาพถ่ายได้แม่นยำในระดับหนึ่ง และผลจากการคำนวณที่นำไปปรับเปลี่ยนมุมกล้องของภาพเสมือน 3 มิติได้โดยอัตโนมัติ และแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น แต่โปรแกรมยังมีระบบควบคุมด้วยผู้ใช้ในการปรับเปลี่ยนมุมมองและขนาดให้เหมาะสมตามต้องการ
3. โปรแกรมมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก ทั้งในส่วนการจัดการกับข้อมูลภาพที่นำเข้า และส่วนการแสดงภาพผลลัพธ์ที่ออกมา โดยซ่อนการคำนวณและข้อมูลทางตัวเลขไว้เบื้องหลัง ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเข้าไปเกี่ยวข้อง ซึ่งมีผลให้การใช้งานโปรแกรมนั้น นอกจากผู้ใช้งานโปรแกรมจะเป็นนักออกแบบหรือผู้ชำนาญการเฉพาะทางแล้ว บุคคลทั่วไปที่มีความรู้พื้นฐานทางคอมพิวเตอร์ก็สามารถนำไปใช้งานได้
4. โปรแกรมมีความสามารถในการแสดงผลได้ทันทีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมมองที่แตกต่างกันของภาพถ่ายแต่ละรูป ซึ่งสามารถดึงภาพออกมา

เรียงลำดับและแสดงผลให้ให้มีความต่อเนื่องกัน เป็นเหมือนภาพเคลื่อนไหวที่อาศัยหลักการของเฟรมภาพนิ่งที่นำมาต่อกันและแสดงผลออกมาด้วยความเร็วอย่างต่อเนื่อง ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นภาพผลลัพธ์ที่เคลื่อนไหวให้เห็นในหลายๆ มุมมอง ซึ่งนอกจากนักออกแบบแล้วบุคคลทั่วไปยังสามารถทำความเข้าใจและเห็นภาพตัวอย่างของผลงานการออกแบบกับสภาพแวดล้อมโดยรอบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น มีผลให้ผู้ใช้เครื่องมือนี้สามารถใช้ประกอบการทำงานและตัดสินใจได้เร็วขึ้น

จากผลสรุปข้างต้น จึงกล่าวได้ว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพพิกัดจริงบนภาพจากกล้องวีดีโอ นั้นเป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยแก้ปัญหาที่ได้กำหนดไว้ได้ในระดับหนึ่งภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดของการใช้งาน และควรจะมีการพัฒนาเครื่องมือนี้เพิ่มเติมเพื่อขยายความสามารถของเครื่องมือและนำไปใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพต่อไป

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากงานวิจัยนี้ การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม รวมถึงการทดสอบการใช้งาน ได้เกิดปัญหาและอุปสรรคต่างๆ รวมทั้งปัจจัยที่ทำให้โปรแกรมเกิดความคลาดเคลื่อนและมีผลกระทบต่อการพัฒนาโปรแกรม ทำให้การใช้งานโปรแกรมไม่มีประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ โดยสามารถสรุปเป็นหัวข้อหลักๆ ได้ดังนี้

1. การเตรียมแผ่นเครื่องหมายจะต้องมีสัดส่วนที่เท่ากันตามที่กำหนดไว้คือ ส่วนที่เป็นช่างตารางหมากรุกแต่ละช่องต้องเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสและมีขนาดที่เท่ากันทุกช่อง ระยะขอบรอบตารางจะต้องเว้นที่ว่างสีขาวให้ได้ขนาดความกว้างอย่างต่ำเท่ากับขนาดความกว้างของช่องตารางหมากรุก สีที่ใช้ต้องเป็นสีขาวสลับดำเท่านั้น นอกจากนี้แผ่นเครื่องหมายจะต้องเป็นแผ่นเรียบแข็ง ไม่มีการบิดงอใดทั้งสิ้น ซึ่งถ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในการทำแผ่นเครื่องหมายแล้วโปรแกรมจะไม่สามารถคำนวณออกมาได้ถูกต้องแม่นยำ
2. การติดตั้งแผ่นเครื่องหมายในสถานที่ถ่ายภาพ เนื่องจากแผ่นเครื่องหมายเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรม การติดตั้งแผ่นเครื่องหมายหรือการวางแผ่นเครื่องหมายไว้ในสถานที่ถ่ายภาพจะต้องอยู่ในเฟรมของภาพ

ทั้งหมด ห้ามหลุดเฟรมไม่ว่าจะส่วนหนึ่งส่วนใดของแผ่นเครื่องหมาย นอกจากนี้จะต้องวางในตำแหน่งที่มีแสงสว่างพอเพียงและกระจายความสว่างทั่วทั้งแผ่นเครื่องหมาย โดยไม่มีเงามืดหรือลำแสงที่สว่างมากกว่าปกติ พาดผ่านแผ่นเครื่องหมาย ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดของพื้นที่ในการวางตำแหน่งของแผ่นเครื่องหมาย

3. ความสามารถในการถ่ายภาพหรือคุณภาพของภาพถ่ายที่จะมีผลต่อการใช้งานโปรแกรม กล่าวคือ ความละเอียดในการเลือกใช้เพื่อการถ่ายภาพจะต้องมีความชัดเจนในระดับหนึ่ง ระยะโฟกัสต้องได้ โดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นส่วนแสดงแผ่นเครื่องหมาย จะต้องมีความคมชัด ไม่เบลอหรือพล่ามัว
4. ความพร้อมของห้องหรือสถานที่ที่เก็บภาพถ่าย เนื่องจากสภาพแวดล้อมของห้องหรือสถานที่มีผลกับภาพถ่าย คือ เรื่องของแสงสว่างของห้องหรือสถานที่นั้นๆ ซึ่งหากแสงสว่างมีน้อยไป ทำให้ภาพที่ถ่ายมีความมืดเกินไปจนโปรแกรมไม่สามารถค้นหาตำแหน่งของเครื่องหมาย ได้ หรือหากแสงมีความสว่างมากจนทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของสีของเครื่องหมาย ระหว่างสีดำกับสีขาว รวมทั้งความใกล้-ไกลของแผ่นเครื่องหมาย ที่ถ่ายออกมามีผลต่อการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งหากไกลเกินไปจนเห็นแผ่นเครื่องหมายมีขนาดเล็กมาก โปรแกรมจะไม่สามารถค้นพบและดำเนินการคำนวณต่อไปได้
5. ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการคำนวณภายในโปรแกรมในส่วนของการปรับทิศทาง ขนาด และมุมมอง ของภาพวัตถุ 3 มิติ โดยใช้ไลบรารี OpenGL และตัวภาพวัตถุ 3 มิติ ต้นฉบับที่นำเข้ามาทดสอบแต่ละรูปเป็นส่วนที่สร้างสำเร็จแล้วมากจากโปรแกรม 3 มิติอื่นๆ แล้วนำเข้ามาในรูปแบบของภาษาซีพลัสพลัส ซึ่งแต่ละวัตถุ 3 มิติ ที่นำเข้ามามีขนาดและทิศทางที่แตกต่างกัน เมื่อนำเข้ามาแล้วหลังจากการคำนวณหาค่าตัวแปรของภาพถ่ายการคำนวณเพื่อปรับภาพวัตถุ 3 มิติ จึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น จึงไม่สามารถแสดงผลอัตโนมัติได้อย่างแม่นยำ แต่ต้องมีการปรับทิศทางและขนาดของตัววัตถุ 3 มิติ โดยผู้ใช้งานอีกครั้ง
6. ข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม เนื่องจากมีการใช้เครื่องมือหลายชนิด คือ ไลบรารี OpenGL, ไลบรารี OpenCV, และ Qt toolkit แม้ว่าจะมีพื้นฐานการใช้งานอยู่บนภาษา C++ แต่โครงสร้างและการเรียกใช้งานมีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะ OpenCV เป็นไลบรารีทางคณิตศาสตร์ชั้นสูง

ประกอบกับระยะเวลาในการวิจัยที่จำกัด จึงมีข้อจำกัดในการเรียนรู้และเรียกใช้งาน และทำให้การนำมาใช้คำนวณมีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง นอกจากนี้ ในส่วนของ QT ที่เป็นเครื่องมือในการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน แม้เวอร์ชั่นที่ใช้จะสนับสนุนไลบรารี OpenGL ได้เป็นอย่างดี แต่กับ OpenCV แล้ว QT ยังไม่มีการรองรับการทำงานโดยตรง กระบวนการคำนวณภายในโปรแกรมจึงมีการคัดลอกตัวแปรกลับไปกลับมาระหว่างการใช้งานของแต่ละช่วงแต่ละไลบรารีที่เรียกใช้ ส่งผลให้การทำงานของโปรแกรมในบางครั้งไม่สามารถแสดงผลได้ทันที มีการหน่วงเวลาของการแสดงผลบ้างบางครั้ง

5.3 แนวทางการพัฒนาโปรแกรมและข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยนี้ได้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดของเวลา ดังนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประสานภาพพิกัดเสมือน 3 มิติเข้ากับภาพพิกัดจริงบนภาพจากกล้อง จึงสร้างและพัฒนาเพื่อเป็นแนวคิดและต้นแบบให้ผู้พัฒนาโปรแกรมนำไปพัฒนาประสิทธิภาพเพิ่มเติมเพื่อขยายความสามารถในการนำไปใช้งานจริงได้ในหลายๆ รูปแบบ เพื่อรองรับกับงานออกแบบทางสถาปัตยกรรม โดยแนวทางการพัฒนาโปรแกรมสามารถแบ่งเป็นประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. โครงสร้างของโปรแกรม แม้ว่าการพัฒนาโปรแกรมนี้ได้มีการวางโครงสร้างในลักษณะการเขียนแบบโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Program) แต่เป็นเฉพาะในหลักใหญ่ๆ ที่คิดว่าสามารถแยกส่วนออกไปได้ชัดเจนและมีคุณสมบัติและวิธีการต่างๆ ของวัตถุนั้นๆ เป็นแบบเฉพาะ โดยส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็นไฟล์ย่อยคือ ไฟล์ที่จัดการเกี่ยวกับตัววัตถุต่างๆ ในโปรแกรม แต่ชุดคำสั่งที่ใช้ในการทำงานต่างๆ นั้นมักจะถูกรวมกันในไฟล์หลักไม่ได้แยกออกไป ยกเว้นแต่ในเรื่องของชุดคำสั่งที่ใช้ในการจัดการไฟล์รูปภาพ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการทำงานของชุดคำสั่งย่อยๆ นั้นมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมากและซับซ้อนทำให้การที่จะแยกชุดคำสั่งต่างๆ ออกเป็นไฟล์ย่อยๆ นั้นจะทำให้ความสามารถในการทำงานมีความเร็วลดลง แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีการแยกออกมาจะทำให้การพัฒนาต่อยอดในส่วนย่อยต่างๆ มีความสะดวกขึ้น การพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ควรเพิ่มเติมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในเรื่องของการทำ ขยายเต็มจอภาพ (Full Screen) โดยเลือกแสดงให้เห็นเฉพาะส่วน

แสดงภาพ เพื่อให้เหมือนกับมองอยู่ในมุมมองจริงๆ นอกจากนี้ควรเพิ่มเติมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในเรื่องของการนำเข้าข้อมูลรูปถ่ายมาใช้ในโปรแกรม

2. การแก้ไขความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณและแสดงผล โปรแกรมนี้อยู่ในขอบเขตและระยะเวลาที่จำกัด ความคลาดเคลื่อนจึงเกิดขึ้นได้ ซึ่งหากมีผู้นำไปแก้ไขและพัฒนาให้มีความแม่นยำในการแสดลผลแล้ว จะช่วยให้สามารถพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงในหลายๆ ด้าน
3. การเพิ่มรูปแบบของแผ่นเครื่องหมาย เนื่องจากโปรแกรมนี้กำหนดรูปแบบของแผ่นเครื่องหมายแบบตายตัว จึงไม่มีความหลากหลายในการรับข้อมูลและแสดงผล ซึ่งหากเพิ่มความสามารถในการสร้างแผ่นเครื่องหมายที่ให้โปรแกรมสามารถรับรู้ได้หลายๆ รูปแบบ หรือมีเทคนิคการรู้จำเข้ามาใช้ด้วยแล้ว จะช่วยให้โปรแกรมสามารถเช็ครูปแบบของเครื่องหมายจากภาพถ่ายแล้วเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลภาพวัตถุ 3 มิติ มาแสดงผลได้โดยอัตโนมัติ
4. การเพิ่มความสามารถ ในการนำเข้าแบบที่เป็นวัตถุ 3 มิติจากโปรแกรมสร้างงาน 3 มิติอื่นๆ ได้ เช่น สามารถอิมพอร์ตไฟล์งานสามมิติจากโปรแกรม Sketch Up ได้ หรือจากโปรแกรม 3D Studio ได้ เป็นต้น ดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าโปรแกรมนี้เป้นโปรแกรมต้นแบบ จึงมีการกำหนดส่วนของวัตถุ 3 มิติแบบตายตัว ซึ่งสร้างสำเร็จแล้วจากโปรแกรมสร้างภาพงาน 3 มิติ แต่นำมาแปลงเป็นภาษาซีพลัสพลัสและทำเป็นฐานข้อมูฝังไว้ในตัวโปรแกรม จึงสามารถแสดงภาพวัตถุ 3 มิติ ได้เท่าที่ตัวโปรแกรมกำหนดไว้ ผู้ใช้งานยังไม่สามารถสร้างภาพวัตถุ 3 มิติ แล้วนำเข้ามาใช้เองได้
5. การเพิ่มความสามารถ ในการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม ทั้งข้อมูลภาพและข้อมูลตัวเลขต่างๆ เนื่องจากโปรแกรมนี้แสดงผลลัพธ์ออกทางมอนิเตอร์ แต่ยังไม่มีการบันทึกภาพเก็บไว้ได้โดยอัตโนมัติ ผู้ใช้งานจะต้องใช้โปรแกรมเสริมในการบันทึกภาพ เช่น ปริ้นซ์-กรีน ไปนำไปเพสท์ลงบนโปรแกรมจัดการภาพอื่นๆ ซึ่งหากโปรแกรมสามารถบันทึกภาพผลลัพธ์ที่ได้แบบอัตโนมัติจะช่วยอำนวยความสะดวกกับผู้ใช้เป็นอย่างมาก
6. การเพิ่มความสามารถ ในการนำไปใช้กับกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวได้จริง และแสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหวหรือภาพวีดีโอ เพื่อให้โปรแกรมทำงานในลักษณะทันที (Real Time) ได้อย่างแท้จริง เนื่องจากภายใต้ขอบเขตของการทำวิจัยที่กำหนดให้ข้อมูลของภาพถ่ายที่นำเข้ามาเป็นภาพจากกล้องถ่าย

ภาพนิ่ง หรือภาพนิ่งที่ถอดมาจากเฟรมของภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวีดีโอ ซึ่งผลการทดลองในระดับเฟรมภาพถ่าย โปรแกรมสามารถใช้งานได้ ซึ่งหากนำไปพัฒนาต่อให้โปรแกรมแสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหวได้แล้ว จะเป็นประโยชน์ต่อการใช้งานจริงอย่างเห็นได้ชัด

7. การเพิ่มความสามารถในการเช็คแสงเงาจากภาพถ่าย เพื่อไปตั้งค่าแสงเงาให้กับแบบที่เป็นวัตถุเสมือน เพื่อแสดงแสงเงาได้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายสภาพแวดล้อมจริง โปรแกรมนี้ไม่ได้พัฒนาในส่วนของการจัดการเรื่องแสงเงาของภาพและวัตถุ 3 มิติ ซึ่งหากนำไปพัฒนาต่อให้สามารถตรวจสอบแนวแสงจากภาพถ่ายแล้วไปปรับค่าแสงเงาให้กับวัตถุ 3 มิติ จะช่วยให้การแสดงภาพวัตถุ 3 มิติ บนภาพถ่าย มีความสมจริงและดูกลมกลืนไปกับภาพถ่าย

จากเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมา จึงคิดว่าน่าจะมีการนำงานวิจัยชิ้นนี้ไปพัฒนาโปรแกรมที่มีศักยภาพและความแม่นยำ รวมทั้งขยายขีดความสามารถของโปรแกรม ซึ่งจะนำไปสู่การใช้งานจริงต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ทรงลักษณ์ พิริยะไพโรจน์ และ สุมนา เกษมสวัสดิ์. เรียนลัด Data Structure ด้วย Visual Basic. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ด่านสุทธาการพิมพ์, 2544.

ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์. Design plus Digital: สถาปัตยกรรมกับการออกแบบสร้างสรรค์อย่างดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.

นิรุธ อำนวยศิลป์. การออกแบบชุดคำสั่ง และการประยุกต์ C++ Design and its applications. กรุงเทพมหานคร : จ.เจริญการพิมพ์, (ม.ป.ป.).

พรพล สาครินร์ และ กฤษฎา แก้วมณี. พื้นฐานการก้าวสู่โลก 3 มิติ. กรุงเทพมหานคร : ซัคเซสมีเดีย, (ม.ป.ป.).

ไพศาล โมลิสกุลมงคล. คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ใช้ OpenGL. กรุงเทพมหานคร: หจก.ไทยเจริญการพิมพ์, 2550.

มนตรี กาญจนะเดชะ. การประมวลผลภาพดิจิตอล [online]. แหล่งที่มา: http://fivedots.coe.psu.ac.th/%7Emontri/teaching/image/image.htm [มกราคม 2548]

ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล. เริ่มต้นการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ไทยเจริญการพิมพ์, 2547.

วิทยา สุคตบวร. คู่มือออกแบบและเขียนโปรแกรมโครงสร้างข้อมูลและอัลกอริทึม. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Angel, E. OpenGL: a primer. America : Addison-Wesley, 2002.

Angel, E. Interactive Computer Graphics. 4th ed. America : Addison-Wesley, 2006.

Anish Tripathi. AUGMENTED REALITY : AN APPLICATION FOR ARCHITECTURE. [online]. Available from: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm#ref2_6 [2003,December 1]

Barfield, W., and Caudell, T. Fundamentals of wearable computers and augmented reality. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, 2001.

Bimber, O., Raskar, R. Spatial Augmented Reality. America : A K Peters, 2005.

Blanchette, J., Summerfield, M. C++ Gui programming with Qt 3. 3rd ed. America : Pearson Education, 2004.

Bonsor Kevin. How Augmented Reality Will Work. [online]. Available from: http://www.howstuffworks.com/augmented-reality.htm [2004, March 2]

Harrington, S. Computer graphics. New York : McGraw-Hill, 1987.

Hearn, D., and Baker, M.P. Computer Graphics with OpenGL. 3rd ed. America : Prentice Prentice Hall, 2004.

Jim Vallino. Introduction to Augmented Reality. [online]. Available from: http://www.se.rit.edu/~jrv/research/ar/introduction.html [2003, November 20]

Kevin Bonsor. How Augmented Reality Will Work. [online]. Available from: http://computer.howstuffworks.com/augmented-reality.htm [2003, September 1]

Miguel Dias. Tangible Mixed Reality for Architectural Design Process. [online]. Available from: http://sst.tees.ac.uk/vr-net/main/resources/GenPresen/Miguel_Dias_VRNETLAUNCH.pdf [2004, January 5]

Shaun Lawson. Augmented Reality (AR) Virtual Environments. [online]. Available from: http://www.dcs.napier.ac.uk/~shaun/ve/lectures/Week08.pdf [2003, December 1]

Shreiner, D., Woo, M., Neider, J., and Davis, T. Open GL programming guide. 4th ed. Boston : Silicon Graphics, 2004.

Sonka, M., Hlavac, V., and Boyle, R. Image processing, Analysis, and Machine Vision. 2nd ed. Pacific Grove : Brooks/Cole Publishing Company, 1999.

Ted Panitz. A Definition of Collaborative vs Cooperative Learning. [online]. Available from: http://www.lgu.ac.uk/deliberations/collab.leaning/panitz2.html [2003, August 1]

The Human Interface Technology Laboratory New Zealand. BlackMagic Book. [online]. Available from: http://www.hitlabnz.org/blackmagic/project.htm [2004, March 2]

Tripathi Anish. Augmented Reality - An Application for Architecture. [online]. Available from: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm [2004, April 1]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิยามระบบความเป็นจริงเสริม

คำจำกัดความของระบบความเป็นจริงเสริม โดย Azuma ผู้เชี่ยวชาญในเรื่องระบบความเป็นจริงเสริมได้กล่าวไว้ว่า ระบบความเป็นจริงเสริมจะต้องประกอบไปด้วยคุณลักษณะสำคัญสามประการ ได้แก่

- ระบบผสานรวมระหว่างองค์ประกอบจริงและองค์ประกอบเสมือน
- ระบบจะต้องมีการโต้ตอบในลักษณะทันที
- องค์ประกอบจริงและองค์ประกอบเสมือนจะต้องตรงกันในมุมมองสามมิติ

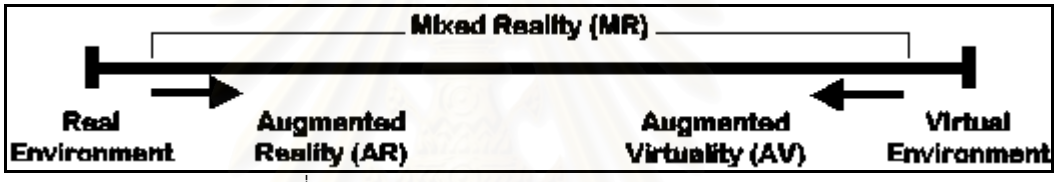
ทั้งนี้ไม่รวมถึงระบบฟิล์มภาพยนตร์ หรือการซ้อนทับกับงานสองมิติ เช่น ในภาพยนตร์ที่มีการทำเอฟเฟคต์ภาพใส่เข้าไปซึ่งมีลักษณะวัตถุเสมือนภาพจริงที่ทำให้กลมกลืนไปกับสภาพแวดล้อมจริง แต่ไม่มีลักษณะของสื่อที่โต้ตอบได้ รวมถึงการซ้อนทับภาพเสมือนสองมิติลงในภาพวีดีทัศน์โดยมีการทำงานเชิงโต้ตอบแต่ไม่ผสานสัมพันธ์กับลักษณะสามมิติในโลกจริง (Shaun Lawson, 2003:online)

ความแตกต่างระหว่างความเป็นจริงเสริมกับความเป็นจริงเสมือน

ความเป็นจริงเสมือนหรือ VR เป็นเทคโนโลยีต้นแบบที่พัฒนาไปสู่ความเป็นจริงเสริม ซึ่งมีลักษณะสำคัญที่เป็นกุญแจหลักของการให้นิยามสามประการคือ สภาพแวดล้อมเสมือนเป็นการใช้คอมพิวเตอร์สร้างรูปแบบสามมิติที่ต้องการคอมพิวเตอร์กราฟฟิคที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อจัดการให้ใกล้เคียงเสมือนกับระดับสภาพแวดล้อมจริง, ในโลกเสมือนสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ในเวลาแบบทันที (Real Time) และผู้ใช้งานจะเข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมเสมือนซึ่งจะรู้สึกต่างจากสภาพแวดล้อมจริงอย่างสิ้นเชิง (Jim Vallino, 2003:online) ดังนั้นความเป็นจริงเสมือนจึงเป็นการใช้คอมพิวเตอร์กราฟิกกับฮาร์ดแวร์พิเศษที่จะทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกเหมือนเข้าไปอยู่ในสิ่งแวดล้อม 3 มิติที่ถูกสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ให้ผู้ใช้ได้เห็นได้ยิน หรือรู้สึก ดังนั้นสิ่งที่ผู้ใช้รับรู้ผ่านอุปกรณ์ที่ป้อนต่อประสาทสัมผัส จึงเป็นความเป็นจริงเสมือน โดยปกติแล้ว จะมีฮาร์ดแวร์ที่ป้อนตรงต่อประสาทสัมผัสด้านการเห็น เป็นที่สวมศีรษะที่มีจอป้อนภาพ (Head Mounted audio-visual Displays - HMD) และเมื่อผู้ใช้เคลื่อนไหว ภาพจะถูกสร้างให้รับกับความเคลื่อนไหวนั้น บางกรณีก็จะมีหูฟังแบบสตอริโอให้ได้ยินเสียงรอบทิศทาง และอาจมีถุงมือรับข้อมูล (data glove) หรืออุปกรณ์อื่นที่จะทำให้ผู้ใช้โต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมจำลองที่ตนเข้าไปอยู่ ในงานสถาปัตยกรรมการนำความเป็นจริงเสมือนมาใช้จะมีสองแนวทางคือ เพื่อการนำเสนอผลงาน เช่น การทำภาพเคลื่อนไหวในลักษณะ Walk Through ให้เห็นบรรยากาศของอาคารในมุมมองสายตาคนปกติ เป็นต้น และเพื่อการจำลอง

สถานการณ์ ทำการทดลองในขั้นตอนการออกแบบในส่วนของเทคโนโลยีอาคารและโครงสร้างทางวิศวกรรม

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าความเป็นจริงเสมือนและความเป็นจริงเสริมมีรูปร่างหน้าตาที่ใกล้เคียงกัน แต่ความแตกต่างของเทคโนโลยีทั้งสองระบบนั้น ความเป็นจริงเสมือนจะสร้างสภาพแวดล้อมทุกอย่างให้กับผู้ใช้งาน ดังนั้นตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมทั้งหมดจะถูกสร้างและควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ความจริงเสริมเป็นการเพิ่มหรือขยายการรับรู้จากสภาพแวดล้อมของโลกจริง ด้วยการซ้อนทับภาพเสมือนลงบนภาพจริงและทำการสร้างภาพลงบนจอภาพแสดงผล Paul Milgram หัวหน้าทีมงานวิจัยความเป็นจริงเสมือน ETC-Lab แห่งมหาวิทยาลัย Toronto ได้อธิบายถึงการแบ่งแยกความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นจริงเสมือนและความเป็นจริงเสริมด้วยแผนภาพแสดงภาวะต่อเนื่องของ Milgram ดังรูป (Milgram and Kishino, 1994)

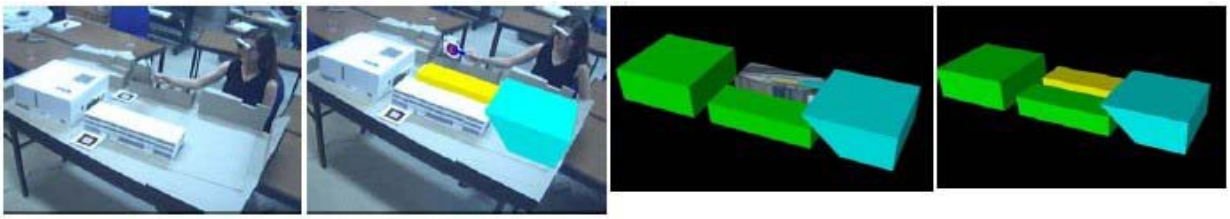


รูปที่ ก- 1 แผนภาพของ Milgram's Reality-Virtuality

(ที่มา: http://www.tinmith.net/wayne/thesis/piekarski-ch2-background.htm)

Mixed Reality (MR) เ ป็นพื้นที่ตรงกลางระหว่างปลายสเปกตรัมที่ตรงกันข้ามกัน ซึ่งแสดงถึงช่วงของการผสมผสานกันระหว่างสภาพแวดล้อมจริงและสภาพแวดล้อมเสมือน โดยในช่วงของเสปกตรัมแบ่งได้สองภาคได้แก่

- ภาคความเสมือนเสริม (Augmented Virtuality) เป็นระบบที่มีสภาพแวดล้อมสร้างขึ้นมาโดยองค์ประกอบต่างๆ เช่น ลักษณะพื้นผิวที่ทำให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด
- ภาคความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality) จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ที่สามารถโต้ตอบและจับต้องได้รวมเข้ากับข้อมูลที่สร้างจากคอมพิวเตอร์



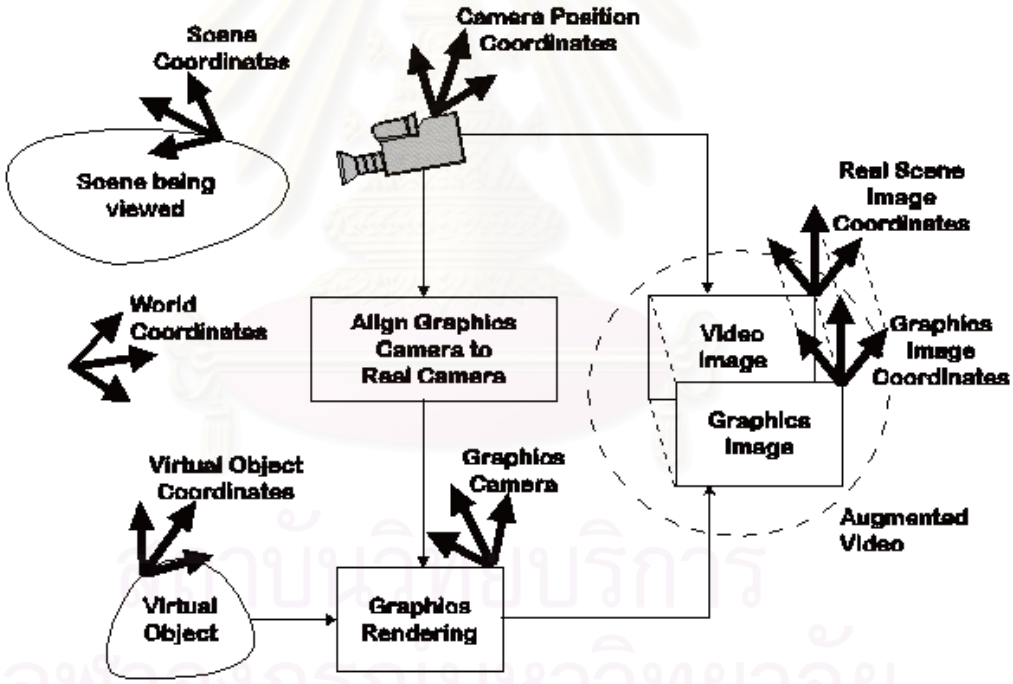
รูปที่ ก- 2 ภาพตัวอย่างรูปแบบการต่อประสานระหว่างโลกจริงและโลกเสมือน

Real Environment, Augmented Reality, Augmented Virtuality, Virtual Environment (นับจากซ้ายไปขวา)

ขอบเขตการประยุกต์ใช้งานความเป็นจริงเสริม

Ivan Sutherland นักคอมพิวเตอร์กราฟิคของบริษัทไพโอเนียร์ (Pioneer) เป็นผู้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการจำลองสภาวะแวดล้อมเสมือน และได้สร้างอุปกรณ์ต้นแบบจอภาพสวมศีรษะขึ้นในช่วงปี ค.ศ.1960 ซึ่งในตอนนั้นอุปกรณ์ดังกล่าวใช้ชื่อว่า “อาวุธเหนือศีรษะ” (Sword of Damocles) เพราะน้ำหนักและขนาดที่ใหญ่ ต้องใช้การแขวนลงมาจากเพดานเพื่อลดน้ำหนักต่อผู้สวมใส่ หลังจากนั้นเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมได้มีการตื่นตัวและศึกษาพัฒนากันอย่างจริงจังในช่วงปี ค.ศ.1990 เป็นต้นมา (Anish Tripathi, 2003:online) มีการพัฒนาภายใต้งานวิจัยในศาสตร์สาขาต่างๆเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น การแพทย์และเวชกรรม, การฝึกทางการทหาร, การออกแบบทางวิศวกรรม, การควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกล, การออกแบบผลิตภัณฑ์, ความบันเทิงและการกีฬา เป็นต้น

แผนภาพโครงสร้างระบบความเป็นจริงเสริม



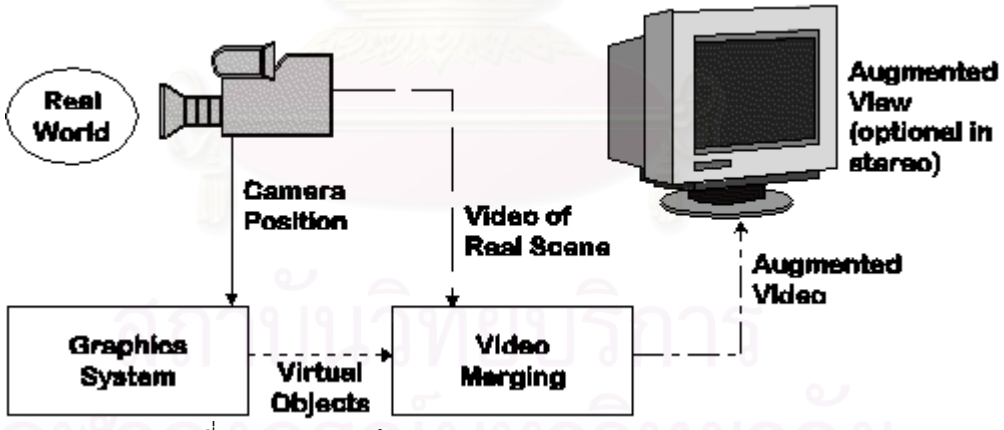
เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความเป็นจริงเสริม

องค์ประกอบทางด้านอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบความเป็นจริงเสริม โดยหลักแล้วประกอบไปด้วย 4 ส่วนได้แก่

1. **จอภาพสวมศีรษะ** (Head Mounted Display, HMD)

มนุษย์รับรู้สิ่งต่างๆ โดยใช้ประสาทสัมผัสในการมองเห็นมากกว่าประสาทสัมผัสส่วนอื่นๆ (Anish Tripathi, 2003:online) ด้วยเหตุนี้การใช้เครื่องมือช่วยในการแสดงผลทางจอภาพจึงได้รับความสำคัญในการพัฒนา ในกระบวนการรวมกันระหว่างภาพเสมือนและภาพจริงเพื่อให้แสดงผลออกมาเป็นภาพเดียวกัน มีหลักการทำงานที่แบ่งได้เป็น 3 ระบบด้วยกัน ได้แก่

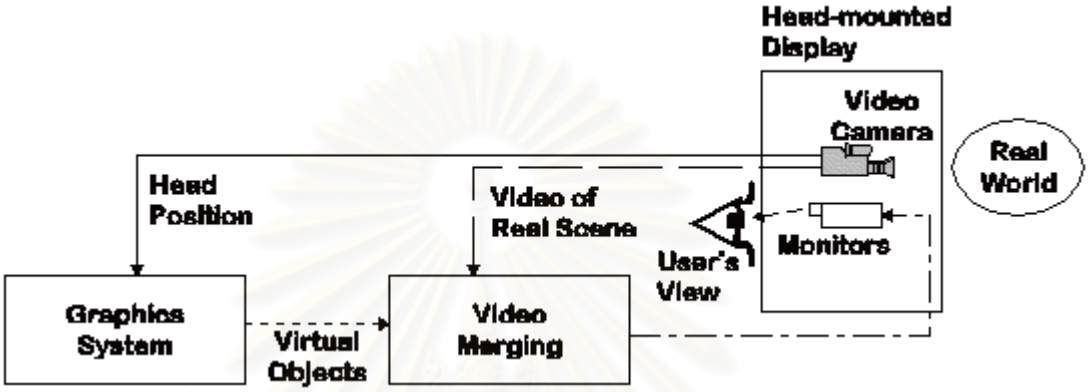
- Monitor Based Augmented Reality ระบบนี้เป็นหลักการพื้นฐานของการแสดงผลทางจอภาพเพื่อใช้ในความเป็นจริงเสริม และเป็นต้นแบบในการพัฒนาไปสู่ระบบการแสดงผลทางจอภาพแบบอื่นๆ จากรูปแสดงผังการทำงานข้างล่าง การรับภาพจริงจะใช้กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวส่งตัวแปรสำคัญ 2 ส่วนคือ ภาพถ่ายวีดีโอเพื่อส่งไปให้คอมพิวเตอร์ทำการผสานร่วมกับภาพเสมือน และค่าที่แสดงตำแหน่งและทิศทางของตัวกล้องเพื่อปรับภาพเสมือนในทิศทางมุมมองที่สัมพันธ์กับภาพจริง การแสดงผลความเป็นจริงเสมือนจะใช้จอมอนิเตอร์เป็นอุปกรณ์เอ้าพุต มุมมองที่ได้จะไม่ใกล้เคียงกับมุมมองทางสายตา แต่จะเหมือนกับการมองภาพผ่านจอแสดงผลโดยทั่วไป จึงเปรียบเหมือกับการมองภาพจากกรอบหน้าต่างหรือที่เรียกว่า “Window on the World” (Jim Vallino, 2003:online)



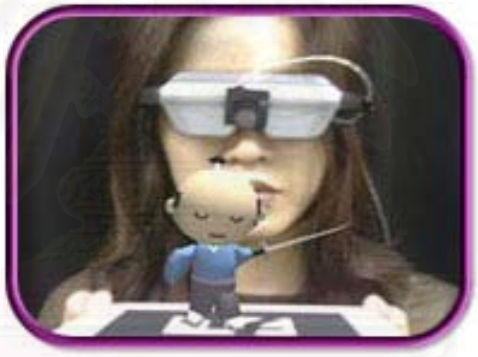
รูปที่ ก- 3 แสดงการทำงานของระบบ Monitor Based Augmented

- Video see-through Augmented Reality Display ระบบนี้มีกลไกที่เหมือนกับระบบ Monitor Based Augmented Reality ความแตกต่างจะอยู่ที่มีลักษณะของจอภาพที่เป็นแบบสวมใส่กับศีรษะหรือที่เรียกว่า Head Mounted Displays (HMD) เพื่อให้ผู้ใช้งานตอบสนองกับภาพความเป็นจริงเสริมได้เหมือนกับมุมมองสายตาปกติ โดยตัวกล้องและจอภาพจะติดตั้งอยู่

ตำแหน่งเดียวกัน ตัวกล้องจะต้องเป็นกล้องขนาดเล็กหันออกในแนวสายตา ส่วนจอภาพจะหันเข้าข้างในเพื่อแสดงภาพกลับมาให้ผู้ใช้งาน ข้อเสียของระบบนี้คือเกิดข้อผิดพลาดในการส่งภาพและประมวลผลเนื่องด้วยตัวกล้องที่มีขนาดเล็กและการส่งภาพจริงเข้าไปประมวลผลก่อนแล้วนำมาแสดงใหม่ทำให้การทำงานไม่สนองตอบแบบทันที

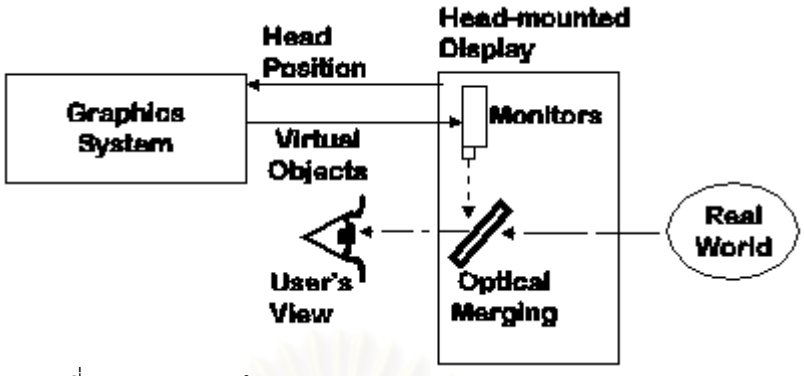


รูปที่ ก- 4 แสดงการทำงานของระบบ Video see-through Augmented Reality



รูปที่ ก- 5 ตัวอย่างตัวแสดงผลระบบ Video see-through Augmented Reality
(ที่มา: http://www.tinmith.net/wayne/thesis/piekarski-ch2-background.htm)

- Optical See-through Augmented Reality Display ระบบนี้จะคล้ายกับระบบ Video see-through Augmented Reality Display แต่การแสดงผลจะรับภาพจริงจากสายตาปกติแล้วรวมเอาภาพเสมือนเข้ามาซ้อนทับไว้ตรงหน้าโดยไม่ต้องนำภาพจริงไปผสานรวมกันในคอมพิวเตอร์ก่อนแล้วค่อยแสดงผลออกมา ระบบนี้จึงไม่มีปัญหาในเรื่องข้อผิดพลาดในการตอบสนองแบบหน่วงเวลา บริษัทโซนี่เป็นผู้บุกเบิกระบบนี้เพื่อการค้าและเรียกใหม่ว่า Glasstron แต่ข้อเสียสำคัญคือราคาค่อนข้างสูงกว่าระบบอื่นๆ



รูปที่ ก- 6 แสดงการทำงานของระบบ Optical See-through Augmented

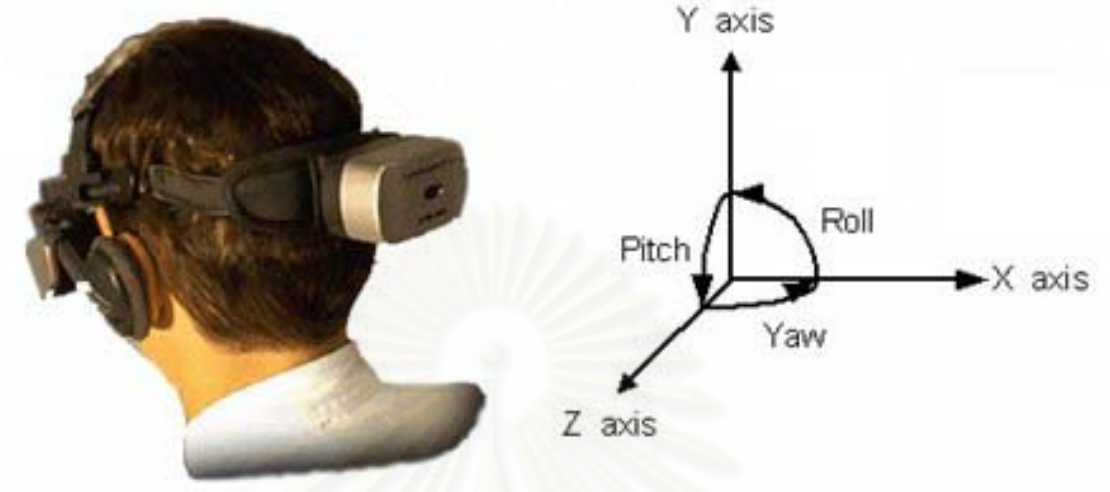
รูปที่ ก- 7 ตัวอย่างตัวแสดงผลระบบ Optical See-through Augmented Reality
(ที่มา: http://www.howstuffworks.com/augmented-reality.htm)

2. The Tracking Device

Motion Tracking เป็นเครื่องวัดและรายงานตำแหน่งของวัตถุรวมทั้งทิศทางในขณะที่เคลื่อนไหว การใช้เม้าส์เพื่อนเคลื่อนย้ายเคอร์เซอร์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ถือเป็นพื้นฐานของการชักลากการเคลื่อนไหว (tracking motion) เทคโนโลยี tracking motion 3 มิติ ที่ใช้รวมกับระบบเสมือน เช่น เครื่อง motion tracking ของบริษัทอินเตอร์เซนต์ (Intersense) ซึ่งจะให้ค่าระยะของแกน X, Y, Z, yaw, pitch, roll ทั้งหมด 6 ตัวแปรด้วยกัน (6 degrees of freedom, 6DOF)

Motion tracking เป็นเครื่องมือช่วยอำนวยความสะดวกในการเชิงโต้ตอบ (interactive) ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะว่ามุมมองจากภาพเสมือนที่สร้างจากคอมพิวเตอร์จะต้องมีความถูกต้องแม่นยำตรงกับมุมมองจากโลกจริง ดังเช่น ถ้าศีรษะของผู้ใช้งานหรือตัวกล้องมีการเคลื่อนย้าย หรือหัน หรือเอียง แล้วสภาพแวดล้อมที่ถูกสร้างจากคอมพิวเตอร์ใน

โลกเสมือนจะต้องมีการเปลี่ยนไปให้สัมพันธ์กับมุมมองของโลกจริง ซึ่งลักษณะการทำงานที่เกิดขึ้นจะต้องสัมพันธ์กับเวลาด้วยไม่มีการล้าช้าของการประมวลผล หรือการสั่นไหว หรือบิดเบือนเกิดขึ้น



รูป Motion Tracking และค่าตัวแปร X, Y, Z, yaw, pitch, roll

(ที่มา: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm)

3. The Computing Device

อุปกรณ์ประมวลผลเป็นหัวใจสำคัญในระบบความเป็นจริงเสริม ซึ่งมีการพัฒนารูปแบบตามลักษณะการใช้งาน โดยมีประสิทธิภาพในการประมวลผลสูง สนองตอบต่อความเร็วทางด้านกราฟฟิค แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ แบบใช้ในพื้นที่ ซึ่งเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และแบบใช้นอกสถานที่ จะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก สามารถพกพาติดตัว หรือสวมใส่ไปกับร่างกายได้ เรียกว่า Wearable Computer ซึ่งในรูปแบบที่สอง จะมีการใช้อุปกรณ์เสริมเข้ามาช่วยในการใช้งานตามจุดประสงค์ของการใช้งาน อาทิ เครื่องคอมพิวเตอร์มือถือ (PDA), ระบบจีพีเอส (GPS), ระบบการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communications) เป็นต้น

4. Input Device

อุปกรณ์สำหรับการนำเข้าข้อมูลเป็นส่วนสำคัญมากในระบบความเป็นจริงเสริม เพราะเป็นเครื่องมือในการโต้ตอบกับระบบ ที่สำคัญและใช้กันเป็นส่วนมากได้แก่

- คีบอร์ด (Keyboard) เป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการนำเข้าข้อมูลที่ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ทั่วไป
- ทัชแพด (Touchpad) เป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่ใช้มือเพียงข้างเดียวในการควบคุม ลักษณะการใช้งานคล้ายกับการใช้เม้าส์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป
- สปีช (Speech) เป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลโดยใช้เสียงเป็นการควบคุม ซึ่งเป็นประโยชน์ในการใช้งาน เนื่องด้วยมีอิสระในการเคลื่อนไหว และไม่ต้องใช้มือ

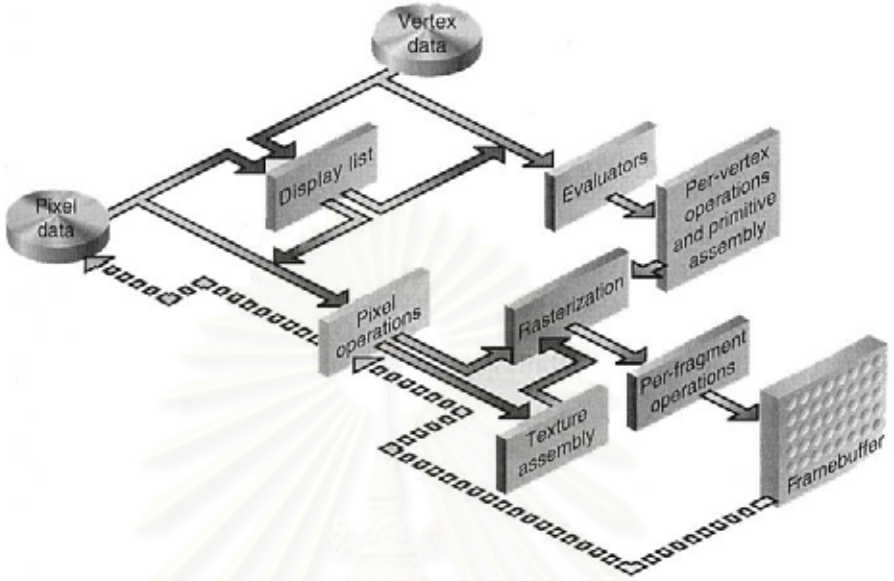
- ทั้งในการควบคุมอุปกรณ์ในการนำเข้าข้อมูล แต่มีข้อผิดพลาดสูงและมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก
- ดาต้าโกรว (Data Glove) เป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกับ ทัชเพด แต่จะมีลักษณะเป็นถุงมือที่ควบคุมการเคลื่อนไหว และสั่งการ รวมทั้งนำเข้าข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักการทำงานของไลบรารี OpenGL



รูปที่ ข- 1 แสดงหลักการทำงานของไลบรารี OpenGL

(ที่มา: Shreiner et al., 2004: 11)

จากรูปเริ่มต้นจากข้อมูลที่ OpenGL สร้างขึ้นหรือนำมาใช้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือข้อมูลด้านพิกเซล เป็นข้อมูลประเภทจุดพิกเซล รูปภาพ และบิทแมพ (Pixel Data: Pixels, Images, and Bitmaps) และข้อมูลด้านเรขาคณิต เป็นข้อมูลประเภทจุด เส้น และโพลีกอน (Geometric Data: Vertices, Lines, and Polygon) โดยข้อมูลส่วนใหญ่จะถูกเก็บไว้ใน “Display list” เพื่อทำตามกระบวนการของ OpenGL ในภายหลัง

ขั้นตอน “Evaluator” เป็นขั้นตอนวิธีการที่มีการใช้ฟังก์ชั่น โพลิโนเมียน (Polynomial Function) เพื่อช่วยในเรื่องการประมาณ เส้นโค้ง, พื้นผิวเรขาคณิต และจัดการในส่วนของ เวอร์เทค , นอร์มอล, พิกัดเทกเจอร์, และสี

ขั้นตอน “Per-Vertex Operations Primitive Assembly” เป็นขั้นตอนการทำรูปทรง Primitive เรขาคณิต (เช่นรูปทรงสี่เหลี่ยมสองมิติ) ซึ่งถูกวาดด้วยจุดยอดต่างๆ หรือเวอร์เทค (Vertices) เช่น จุด, ส่วนของเส้น (Line segment) และรูปทรงหลายเหลี่ยม (Polygon) ในขั้นตอนนี้จุดยอดต่างๆ จะถูกแปลงและถูกให้แสง และรูปทรง Primitive ต่างๆ จะถูกรวมเพื่อให้เห็นเป็นรูปทรงปริมาตร ซึ่งจะเตรียมการไว้สำหรับขั้นตอนต่อไป

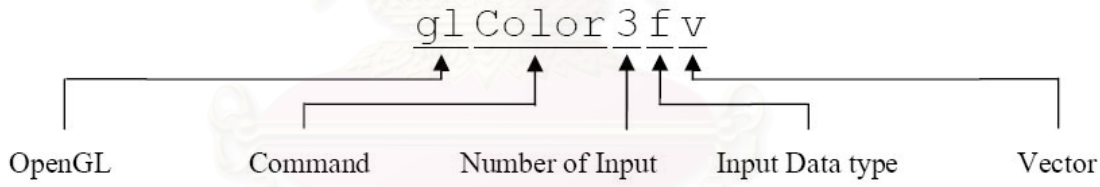
ขั้นตอน “Pixel Operations” เป็นกระบวนการที่ดำเนินการคู่ขนานไปกับขั้นตอน “Evaluator” แต่จะเป็นขั้นตอนที่จัดการกับข้อมูลของจุดพิกเซล ผลลัพธ์ที่ได้จะส่งต่อไปยังขั้นตอน “Rasterization” หรือขั้นตอน “Texture assembly”

ขั้นตอน “Texture assembly” เป็นขั้นตอนการสร้างและจัดการกับเทกเจอร์ ซึ่งการสร้างผิวเทกเจอร์ให้กับรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ จะสร้างจากข้อมูลภาพพิกเซล

ขั้นตอน “Rasterizer” เป็นขั้นตอนการรวมข้อมูลทั้งสองส่วนระหว่างข้อมูลพิกเซลกับข้อมูลด้านเรขาคณิต เช่น การจัดการเรื่องพื้นผิวเทกเจอร์เข้ากับรูปทรงเรขาคณิต เป็นต้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพิกเซลที่จะแสดงผลในพิกัดของหน้าจอแสดงผล

ขั้นตอน “Fragment Operations” เป็นขั้นตอนการกระทำระดับพิกเซล ซึ่งถือว่าเป็นผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายที่จะเขียนลงบน เฟรมบัฟเฟอร์ (Frame Buffer) โดยประกอบไปด้วย การตรวจพิกเซล, การทดสอบพิกเซลในระหว่างพื้นที่ใดๆ, การทดสอบค่าความโปร่งใสของแต่ละพิกเซล , การสร้างบัฟเฟอร์เพื่อคัดลอกพิกเซลสำหรับการทำเอฟเฟกกำหนดขอบเขตของพิกเซลที่จะแสดง, การทดสอบแต่ละพิกเซลกับเดปบัฟเฟอร์ซึ่งเก็บค่าความลึกของแต่ละพิกเซล, การผสมระหว่างพิกเซล โดยใช้ค่าสีหรือความโปร่งใสเป็นตัวคำนวน

คำสั่งและชนิดของข้อมูลของ OpenGL



รูปที่ ข- 2 แสดงรูปแบบคำสั่งของ OpenGL

การใช้งานคำสั่ง OpenGL จะต้อง include ไฟล์ header ชื่อ gl.h คำสั่งของ OpenGL จะขึ้นต้นด้วย gl อย่างเช่น glClearColor() ค่าคงที่จะขึ้นต้นด้วย GL_ เช่น GL_COLOR_BUFFER_BIT สำหรับตัวลงท้าย หรือ suffix ของบางคำสั่งจะประกอบด้วยตัวเลขและตัวอักษรเช่น glColor3f ซึ่งเลข 3 บ่งบอกถึงจำนวน ตัวแปรอินพุทคือสี RGB หากเป็น glColor4f จะหมายถึง RGBA ส่วน f หมายถึงอินพุทจะต้องเป็นข้อมูลชนิดเลขทศนิยม บางคำสั่งอาจรับข้อมูลอินพุทที่แตกต่างกันได้ถึง 8 ชนิด ตารางด้านล่าง แสดง suffix ที่ใช้กำหนดชนิดของข้อมูลเทียบกับ ANSI C และ OpenGL Type Definition (ไพศาล โมลิสกุลมงคล, 2550: 71)

Suffix **ของคำสั่ง และชนิดของข้อมูลใน** OpenGL

Suffix	Data Type	ANSI C Type Def.	OpenGL Type Def.
b	8-bit integer	signed char	GLbyte
s	16-bit integer	short	GLshort
i	32-bit integer	long	Glint, GLsizei
f	32-bit floating-point	float	GLfloat, GLclampf
d	64-bit floating-point	double	GLdouble, GLclampd
ub	8-bit unsigned integer	unsigned char	GLubyte, GLboolean
us	16- bit unsigned integer	unsigned short	GLushort
ui	32- bit unsigned integer	unsigned long	GLuint, GLenum
-	-	void	GLvoid

ดังนั้นคำสั่ง glVertex2i(1, 3) และ glVertex2f(1.0, 3.0) จึงทำหน้าที่เหมือนกัน ต่างกันที่คำสั่งแรกจะต้องกำหนดข้อมูลอินพุทเป็นเลขจำนวนเต็มและคำสั่งหลังกำหนดเป็นเลขทศนิยม

คำสั่งบางคำสั่งใน OpenGL มี suffix ตัวสุดท้ายเป็น v ซึ่งหมายความว่าคำสั่งนั้นรับข้อมูลอินพุทเป็นพอยน์เตอร์ที่ชี้ไปยังอาร์เรย์ของค่าแทนที่จะเป็นตัวเลข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล นายพฤฒิพร ลพเกิด

วัน เดือน ปีเกิด 2 มีนาคม พ.ศ. 2521

ที่อยู่ 326 ม.วรางกูลคลอง2 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลประชาธิปัตย์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ.2542 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปี พ.ศ.2546 เข้าศึกษาในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต กลุ่มวิชาคอมพิวเตอร์ในการออกแบบสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์การทำงาน

ปี พ.ศ.2542 กระทรวงสาธารณสุข ตำแหน่ง สถาปนิกฝึกงาน

ปี พ.ศ.2543-2544 สถาบันวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตำแหน่ง สถาปนิก

ปี พ.ศ.2544-2545 บริษัท พิแซพอินเตอร์ จำกัด ตำแหน่ง สถาปนิก

ปี พ.ศ.2545 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตำแหน่ง สถาปนิกประสานงานโครงการ

ปี พ.ศ.2545-2546 บริษัท เจ.อาร์.อาคิเทค จำกัด ตำแหน่ง สถาปนิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย