

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ โดยใช้ DLT

3D FROM 2D RECONSTRUCTION IMAGING SYSTEM BY USING DLT



T117090



ศุภกาญจน์ ชินวราพัฒน์  
SUPHAKARN CHINWARAPHAT

ฉพ.  
ค 676 จ  
2053

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 117090  
วันเดือนปี..... 23 ส.ย. 2554

b..... 12332392  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL 2010-EN-M-045-141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 3D FROM 2D RECONSTRUCTION IMAGING SYSTEM BY USING DLT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN BIOMEDICAL ELECTRONICS  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2010  
KMITL 2010-EN-M-045-141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2010**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ โดยใช้ DLT
นักศึกษา	นางสาวศุภกานญาณ์ ชินวราพัฒน์
รหัสนักศึกษา	51061401
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันการสร้างภาพเคลื่อนไหวที่แสดงให้เห็นในรูปของภาพแอนิเมชัน 3 มิติ นั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน รวมถึงทางด้านการแพทย์ ซึ่งได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ เอกสารนี้จะกล่าวถึงระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ ที่ใช้ผลิตแบบจำลองต่างๆ ระบบดังกล่าวประกอบด้วยกล้องดิจิทัลหลายๆ ตัววางที่ตำแหน่งใดก็ได้รอบวัตถุ ตรงข้อต่อของวัตถุจะถูกติดด้วย Marker แล้วกล้องจะทำการบันทึกภาพของวัตถุที่ถูกติดด้วย Marker และวิเคราะห์เพื่อหาค่าพิกัด 3 มิติของ Marker โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) ระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ โดยใช้ DLT สามารถกระทำกับวัตถุได้หลากหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	3D from 2D Reconstruction Imaging System by using DLT
<b>Student</b>	Miss.Suphakarn Chinwaraphat
<b>Student ID.</b>	51061401
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Biomedical Electronics
<b>Year</b>	2010
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworasil

### ABSTRACT

Currently, Computer Technology develops very fast, especially in 3D animation. One of the application of 3D animation in medicine includes gait analysis. This thesis describes 3D from 2D Reconstruction Imaging System to generate a skeleton model. The system consists of a number of digital cameras placed at arbitrary position around the subject. The subject's joints to be measured are attached with illuminated landmarks using the Direct Linear Transform (DLT) technique. The 3D from 2D Reconstruction Imaging System by using DLT has been performed to visualize various subjects.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สมาชิกใน BIOSIS laboratory ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศุภกาญจน์ ชินวราพัฒน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และระบบโอเอพีเอ็ม.....	4
2.1 การเก็บภาพ.....	4
2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing).....	6
2.2.1 วิธีประมวลผลทีละจุดใน 1 ภาพ (Point by Point).....	7
2.2.2 วิธีการประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกัน (Corresponding Points).....	7
2.2.3 วิธีประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพ (Regional Points).....	8
2.3 การแสดงข้อมูลภาพ.....	9
2.3.1 เฟรมบัพเฟอร์.....	9
2.3.2 ตัวควบคุมการแสดงผล.....	11
2.3.3 วิธีการแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่เหมาะสมในเฟรมบัพเฟอร์.....	11
2.4 กราฟิก 2 มิติ.....	12
2.4.1 จุด.....	12
2.4.2 เส้นตรง.....	12
2.4.3 รูปหลายเหลี่ยม.....	13
2.4.4 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 กราฟิก 3 มิติ.....	13
2.5.1 จุด และระนาบ.....	14
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น.....	16
3.1 การแปลงเรขาคณิตของวัตถุใน 3 มิติ (Geometric Transformation in 3D).....	16
3.1.1 การเคลื่อนย้ายวัตถุ (Translation).....	16
3.1.2 การย่อ และการขยาย (Scaling).....	16
3.1.3 การหมุนภาพ (Rotation).....	17
3.2 เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ (Geometric for 3D Vision).....	18
3.2.1 พื้นฐานของการ โปรเจ็คชันแบบเพอสเปกทีฟของกล้อง.....	18
3.2.2 การแปลงจากหน่วยความยาวเป็นพิกเซล.....	20
3.2.3 กรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง.....	21
3.3 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration).....	24
3.4 การหาพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT).....	28
3.5 Boundary detection.....	31
3.5.1 Edge linking โดยใช้ Matrix.....	31
บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรม.....	34
4.1 โครงสร้างโปรแกรมระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ.....	34
4.2 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (*.avi) เป็นไฟล์ (*.bmp).....	35
4.3 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (*.bmp) เป็นไฟล์ (*.avi).....	36
4.4 โครงสร้างโปรแกรมการปรับเทียบกล้อง.....	37
4.5 โครงสร้างโปรแกรมการสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ.....	38
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	39
5.1 อุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	39
5.2 ขั้นตอนการทดลอง และผลการทดลอง.....	42
5.2.1 การปรับเทียบกล้อง.....	42
5.2.2 การหาพิกัด (U, V) ของแบบจำลอง.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

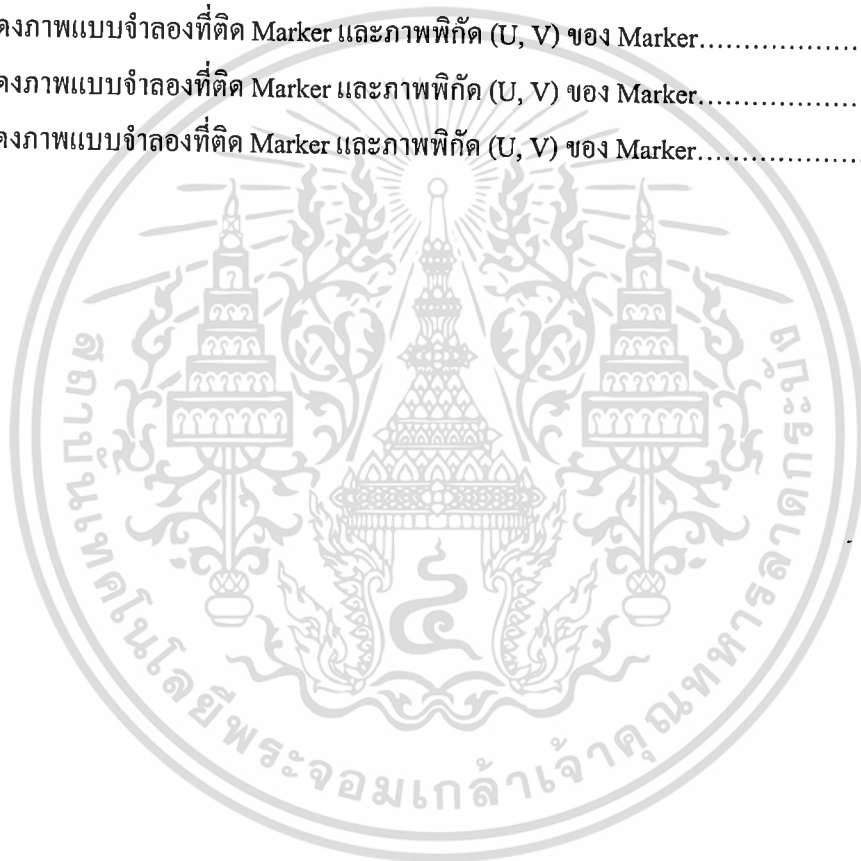
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.3 การหาพิกัด 3 มิติของแบบจำลอง.....	58
บทที่ 6 บทสรุป.....	68
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	68
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก. โปรแกรม VideoOCX.....	73
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงลักษณะของเมตริกต่างๆ.....	32
5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ภายในและพารามิเตอร์ภายนอกของกล้องทั้ง 3 ตัว.....	48
5.2 ตารางแสดงค่าพิกัดของกล้อง.....	50
5.3 ผลการทดลองประสิทธิภาพการหาปริมาตรของวัตถุ.....	50
5.4 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker.....	52
5.5 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker.....	53
5.6 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker.....	54
5.7 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker.....	55



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (a) แสดงรูปคลื่นสัญญาณอนาล็อกเมื่อถูกสุ่มตัวอย่างในกระบวนการดิจิตัล (b) แสดงการจัดระดับสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแปลงเป็นรหัสดิจิตอล 4 บิต.....	5
2.2 แสดงการประมวลผลภาพแบบไบนารี.....	7
2.3 แสดงการประมวลผลภาพในการกำจัดสัญญาณรบกวน.....	8
2.4 แสดงส่วนประกอบในหน่วยแสดงภาพ.....	9
2.5 แสดงความสัมพันธ์ของเฟรมบัพเฟอร์กับจอภาพ.....	10
2.6 แสดงระบบพิกัดของจอภาพ.....	10
2.7 แสดงเฟรมบัพเฟอร์ที่ใช้ 3 บิตต่อ 1 จุดภาพ.....	11
2.8 จุดในระบบกราฟิก 2 มิติ.....	12
2.9 เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ.....	12
2.10 รูปแสดงตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ.....	14
3.1 แกนพิกัด 3 มิติ และการหมุนจุดรอบแกนพิกัด มุมของการหมุนวัดตามเข็มนาฬิกา เมื่อมองจากแกนสู่จุดกำเนิด.....	17
3.2 แบบจำลองของระบบสร้างภาพ.....	18
3.3 แสดงพิกัดของภาพ.....	20
3.4 เรขาคณิตของการเกิดภาพกรณีพิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง.....	22
3.5 ภาพของตารางหมากรุกที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกล้อง.....	27
3.6 การประมวลผลการปรับเทียบกล้อง.....	27
3.7 การหาพิกัด 3 มิติโดยใช้กล้อง 3 ตัว.....	31
3.8 แสดงลักษณะของอัลกอริทึมของกระบวนการ Boundary detection.....	33
4.1 โครงสร้างโปรแกรมระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ.....	34
4.2 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (*.avi) เป็นไฟล์ (*.bmp).....	35
4.3 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (*.bmp) เป็นไฟล์ (*.avi).....	36
4.4 โครงสร้างโปรแกรมการปรับเทียบกล้อง.....	37
4.5 โครงสร้างโปรแกรมการสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ.....	38
5.1 แสดงตำแหน่งของแบบจำลอง และกล้องทั้ง 3 ที่ใช้ในงานวิจัย.....	39
5.2 หน้าต่างโปรแกรมการสร้างภาพคืน 3 มิติจากภาพ 2 มิติ.....	40
5.3 หน้าต่างโปรแกรมแปลงไฟล์ภาพ.....	41

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ภาพตารางหมากกรุกที่ใช้ในการเปรียบเทียบกล้องของกล้องที่ 1.....	42
5.5 ภาพตารางหมากกรุกที่ใช้ในการเปรียบเทียบกล้องของกล้องที่ 2.....	42
5.6 ภาพตารางหมากกรุกที่ใช้ในการเปรียบเทียบกล้องของกล้องที่ 3.....	43
5.7 กระบวนการ reprojection แสดงจุดอ้างอิงของกล้องที่ 1.....	43
5.8 กระบวนการ reprojection แสดง Reprojected ภาพของจุดอ้างอิงของกล้องที่ 1.....	44
5.9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องที่ 1.....	44
5.10 กระบวนการ reprojection แสดงจุดอ้างอิงของกล้องที่ 2.....	45
5.11 กระบวนการ reprojection แสดง Reprojected ภาพของจุดอ้างอิงของกล้องที่ 2.....	45
5.12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องที่ 2.....	46
5.13 กระบวนการ reprojection แสดงจุดอ้างอิงของกล้องที่ 3.....	46
5.14 กระบวนการ reprojection แสดง Reprojected ภาพของจุดอ้างอิงของกล้องที่ 3.....	47
5.15 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องที่ 3.....	47
5.16 ผลการ Reprojection (+: จุดอ้างอิง, o: Reprojected ภาพจุดอ้างอิง) ของกล้องที่ 1.....	49
5.17 ผลการ Reprojection (+: จุดอ้างอิง, o: Reprojected ภาพจุดอ้างอิง) ของกล้องที่ 2.....	49
5.18 ผลการ Reprojection (+: จุดอ้างอิง, o: Reprojected ภาพจุดอ้างอิง) ของกล้องที่ 3.....	50
5.19 แสดงพิกัด (U, V) ของตารางหมากกรุกทั้ง 3 กล้อง.....	51
5.20 แสดงพิกัด (U, V) ของแบบจำลองทั้ง 3 กล้อง.....	56
5.21 แสดงพิกัด (U, V) ของแบบจำลองทั้ง 3 กล้อง.....	57
5.22 พิกัด 3 มิติของกล้อง.....	58
5.23 พิกัด 3 มิติของตารางหมากกรุก.....	59
5.24 พิกัด 3 มิติของตารางหมากกรุก.....	60
5.25 พิกัด 3 มิติของแก้วกรวยกระดาษ.....	61
5.26 พิกัด 3 มิติของมือ.....	63
5.27 พิกัด 3 มิติของมือ.....	64
5.28 พิกัด 3 มิติของแบบจำลอง.....	66
5.29 พิกัด 3 มิติของแบบจำลอง.....	67

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้เราได้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงหลายๆ อย่าง รวมไปถึงการพัฒนาทางด้านคอมพิวเตอร์ในเรื่องที่เกี่ยวกับงานด้าน 3 มิติ ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างภาพกราฟิก แอนิเมชันต่างๆ ที่มีให้เห็นกันอย่างแพร่หลาย โดยที่ภาพวัตถุเคลื่อนไหวที่มีให้เห็นตามภาพยนตร์ หรือเกมส์นั้นต้องผ่านกระบวนการทำหลายขั้นตอน ซึ่งพื้นฐานในการทำจะมาจากการวิเคราะห์ภาพระบบ 3 มิติ แล้วนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของสิ่งต่างๆ โดยขึ้นอยู่กับกรเขียนโปรแกรม และองค์ประกอบต่างๆ เพื่อให้ได้ภาพที่มีความสมจริง และสมบูรณ์มากที่สุด โดยระบบพิกัด 3 มิติ ได้นำมาใช้ในด้านอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ทางด้านการกีฬาเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวระดับสูงในวิทยาศาสตร์การกีฬา และการใช้อุปกรณ์กีฬาบางประเภท ทางด้านกลศาสตร์ชีวภาพจะเป็นการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยกลศาสตร์ชีวภาพด้านการกีฬา และด้านการแพทย์ ทางด้านศัลยกรรมกระดูกจะเป็นการวิเคราะห์คุณภาพโดยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ทางด้านการบำบัดผู้ป่วยโดยใช้การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจากข้อมูลภาพวิดีโอที่สามารถเปรียบเทียบ วัด และบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวได้ในหลายๆ วิธี ทางด้านอุตสาหกรรมใช้สังเกตการณ์เคลื่อนไหวที่สมบูรณ์ของเครื่องจักร

เทคนิคการหาพิกัด 3 มิติหลายวิธี เช่น เทคนิคเรดาร์ [1], Stereo Disparity [2], Laser Range-Finder [3], เทคนิค linear ultrasonic array [4], เทคนิคการถ่ายภาพสเตอริโอ [5] ซึ่งจะมีความยุ่งยากในการเก็บภาพโดยเฉพาะการต้องใช้กล้อง 2 ตัวที่มีคุณสมบัติและการวางตัวที่เหมือนกัน แต่เทคนิค Direct Linear Transform (DLT) กล้องที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน การวางตัวของกล้องเป็นไปอย่างอิสระ ข้อเสียของเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) คือจำเป็นต้องมีการปรับเทียบกล้องทุกครั้งที่มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งกล้อง

จากงานวิจัยนี้ได้แสดงถึงกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างภาพการเคลื่อนไหว 3 มิติ โดยเริ่มจากการหาพิกัด 3 มิติ โดยจะเปลี่ยนพิกัดที่เป็น 2 มิติ ซึ่งอาศัยทฤษฎีเรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ การปรับเทียบกล้อง การหาพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) [6-9] เพื่อเปลี่ยนเป็นพิกัดแบบ 3 มิติ เมื่อได้ค่าพิกัดภาพที่เป็น 3 มิติ แล้วก็จะนำค่าพิกัด 3 มิติที่ได้มาสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษาการใช้งาน และนำไปประยุกต์ใช้โปรแกรม C++ Builder Development Environment และโปรแกรม VideoOCX
- 2) เพื่อศึกษาการรับภาพจากกล้องโดยใช้ไลบรารี OpenCV [10]
- 3) เพื่อศึกษาถึงทฤษฎีที่ช่วยในการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ และทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดภาพ การหาค่าพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT)
- 4) เพื่อศึกษาหลักการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้ไลบรารี OpenGL [11]

## 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ แสดงถึงการสร้างภาพแบบจำลอง 3 มิติ โดยการแคปเจอร์ภาพจากกล้อง 3 ตัว ที่วางในตำแหน่ง และมุมมองที่ต่างกัน ซึ่งภาพที่แคปเจอร์ได้จะมีพิกัด 2 มิติ ดังนั้นภาพที่ได้จะต้องนำไปประมวลผลเพื่อให้ได้พิกัดเป็น 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบมาใช้ในการปรับเทียบกล้อง และช่วยคำนวณเพื่อหาค่าพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) เมื่อได้ค่าพิกัดภาพที่เป็น 3 มิติ แล้วก็จะนำค่าพิกัด 3 มิติที่ได้มาสร้างเป็นภาพแบบจำลอง 3 มิติ

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ขอบเขตของการปรับเทียบกล้อง  
เป็นการเขียน โปรแกรมในเชิงวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ให้คำนวณพารามิเตอร์การปรับเทียบกล้อง
- 2) ขอบเขตการหาพิกัด 3 มิติ  
เป็นการนำภาพที่ได้บันทึกมาหาค่าพิกัด (U, V) ของภาพ และพิกัดโลก (X, Y, Z) มาใส่ matrix calibration และเมื่อแก้สมการออกมา จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการหาค่าพิกัด 3 มิติ
- 3) ขอบเขตการสร้างภาพ 3 มิติ  
เป็นการนำค่าพิกัด 3 มิติ ที่ได้มาสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ โดยใช้

โปรแกรม OpenGL มาช่วยในการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ สามารถนำโปรแกรมไปประยุกต์ใช้งานในการสร้างภาพ 2 มิติ เป็น 3 มิติ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ อีกมากมาย เช่น

- ทางด้านการกีฬา เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวระดับสูงในวิทยาศาสตร์การกีฬา และการใช้อุปกรณ์กีฬาบางประเภท ศึกษาการเคลื่อนไหวในการออกกำลังกายที่ถูกต้อง เพื่อลดอาการบาดเจ็บขณะออกกำลังกาย
- ทางด้านกลศาสตร์ชีวภาพ เป็นการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยกลศาสตร์ชีวภาพด้านการกีฬา และด้านการแพทย์
- ทางด้านศัลยกรรมกระดูก เป็นการวิเคราะห์คุณภาพโดยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ
- ทางด้านการบำบัดผู้ป่วย โดยใช้การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจากข้อมูลภาพวีดีโอที่สามารถเปรียบเทียบ วัด และบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวได้ในหลายๆ วิธี
- ทางด้านทหาร เป็นการฝึกทางทหาร โดยจำลองสถานการณ์เป็นเกมส์
- ทางด้านอุตสาหกรรมใช้สังเกตการณ์เคลื่อนไหวที่สมบูรณ์ของเครื่องจักร

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานของการเก็บภาพ การประมวลผลภาพ การแสดงข้อมูลภาพ กราฟิก 2 มิติ และกราฟิก 3 มิติ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย การแปลงเรขาคณิตของวัตถุ 3 มิติ เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ การปรับเทียบกล้อง การหาพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค

Direct Linear Transform (DLT) และ Boundary detection

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

บทที่ 5 เป็นการทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ความรู้พื้นฐาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการเก็บภาพ การประมวลผลภาพ การแสดงข้อมูลภาพ กราฟิก 2 มิติ และกราฟิก 3 มิติ

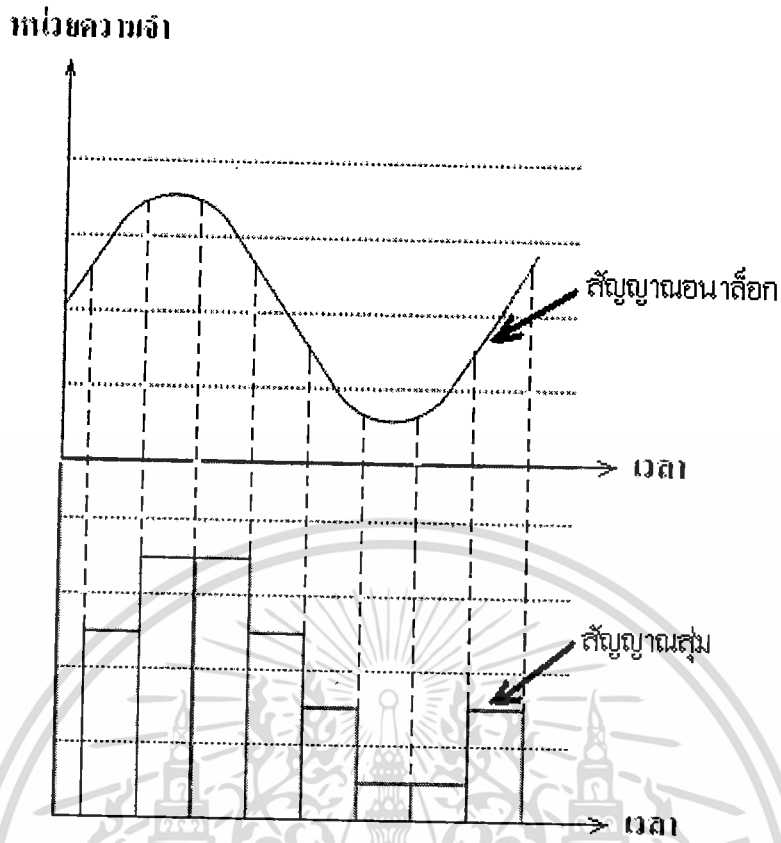
### 2.1 การเก็บภาพ

ในการเก็บภาพของวัตถุหนึ่งๆ จะต้องอาศัยอุปกรณ์สำหรับภาพ ได้แก่ กล้องวิดีโอ เพื่อทำการแปลงระดับความสว่างในแต่ละตำแหน่งของภาพให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอนาล็อก จากนั้นจะมีอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณภาพดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัล หรือ A/D เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และจะมีการจัดเรียงสัญญาณดิจิทัลนี้ลงสู่หน่วยความจำภาพ (Video Memory) ซึ่งจะแทนค่าความสว่างของภาพในแต่ละจุดให้เกิดเป็นภาพเรียกว่า ภาพดิจิทัล (Digital Image)

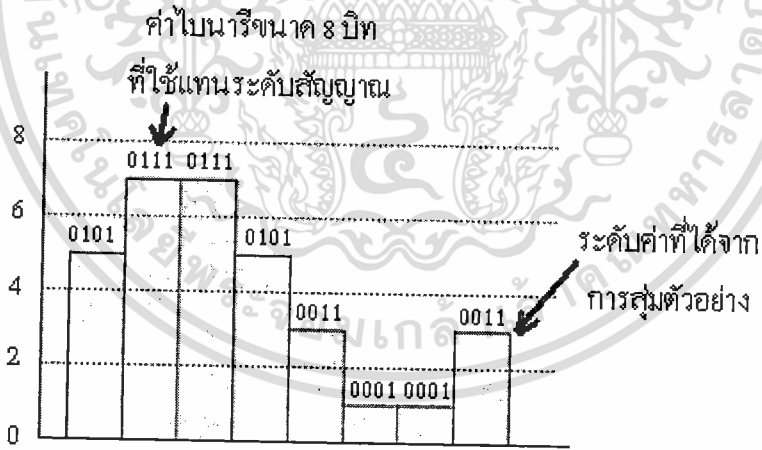
ในภาพหนึ่งๆ จะถูกแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ จำนวนมากเรียกว่า ส่วนประกอบภาพ (Picture Elements) หรือจุดภาพ (Pixel) จำนวนของจุดภาพยิ่งมากจะยิ่งทำให้ภาพมีความละเอียดคมชัดมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงแทนภาพของแต่ละจุดภาพด้วยสัญญาณดิจิทัล หรือแทนด้วยสถานะลอจิก “0” และ “1” การใช้สัญญาณดิจิทัลมีข้อดีคือ การนำข้อมูล ไปประยุกต์ใช้สามารถทำได้ง่าย สิ่งที่สำคัญในการเก็บภาพคือ กระบวนการดิจิทัลเซชัน และหน่วยความจำภาพ

กระบวนการดิจิทัลเซชัน (Digitization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณภาพจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นข้อมูลทางดิจิทัลแล้วนำไปจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ การเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital หรือ A/D) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอนาล็อก (Sampling) และการจัดระดับของสัญญาณที่สุ่มมา (Quantizing) แต่ละระดับแทนด้วยรหัสดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งจะใช้รหัสดิจิทัลขนาด 8 บิต แทนระดับสัญญาณ ได้ 256 ระดับ ซึ่งพอเพียงสำหรับรายละเอียดภาพ

สัญญาณภาพประกอบด้วยสัญญาณหลายชนิดปะปนกันมา ในการแปลงสัญญาณจะทำการแปลงส่วนข้อมูลภาพจริงๆ เท่านั้น ในส่วนของสัญญาณอื่นๆ เช่น สัญญาณแบล็กกิ้งไม่ได้ถูกแปลงด้วย แต่จะใช้การควบคุมการแปลงสัญญาณ และการเขียนข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้ว



(a)



(b)

รูปที่ 2.1 (a) แสดงรูปคลื่นสัญญาณอนาล็อกเมื่อถูกสุ่มตัวอย่างในกระบวนการดิจิทัลไคเซชั่น  
 (b) แสดงการจัดระดับสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแปลงเป็นรหัสดิจิทัล 4 บิต

เนื่องจากสัญญาณภาพมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วมาก การจะเก็บรายละเอียดของสัญญาณภาพให้ครบ A/D ต้องทำงานที่ความถี่สูงๆ และต้องใช้รหัสดิจิทัลขนาด 8 บิตเป็นอย่างน้อย โดยส่วนมาก A/D ที่ใช้เป็นประเภทแฟลช A/D นี้สามารถเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นค่าดิจิทัลได้ภายใน 1 คาบสัญญาณนาฬิกา

สำหรับภาพขาวดำ สัญญาณ Y หรือลูมิแนนซ์เท่านั้นที่ถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพราะเป็นส่วนของข้อมูลภาพ สำหรับภาพสีใช้แค่สัญญาณ Y เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายความหมายของสีได้จึงจำเป็นต้องใช้ 3 สัญญาณ Y, R-Y, B-Y มาทำการแปลงสัญญาณจะทำให้ต้องใช้ A/D และหน่วยความจำเพิ่มถึง 3 ชุด ถ้าไม่ใช้สัญญาณดังกล่าวสามารถใช้สัญญาณสี RGB ก็ได้โดยการนำสัญญาณภาพไปเข้าวงจรถอดรหัส (Decoder) เพื่อแยกเอาสัญญาณสี RGB ออกมาจากสัญญาณภาพแล้วจึงนำไปแปลงสัญญาณต่อไป

สัญญาณภาพอนาล็อกสามารถแสดงความละเอียด และจำนวนสีของภาพอาจเรียกได้ว่าไม่จำกัด เนื่องจากความต่อเนื่องของสัญญาณ แต่เมื่อสัญญาณภาพอนาล็อกถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ความละเอียดและจำนวนสีของภาพถูกจำกัดด้วยความเร็วของ A/D จำนวนบิตที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ และขนาดของหน่วยความจำในภาพระดับเกรย์สเกลแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ 256 ระดับนั่นคือ 1 จุดภาพจะต้องสร้างจากข้อมูลจำนวน 8 บิต แต่หากเป็นภาพสี 1 จุดภาพจะประกอบด้วยสัญญาณสี RGB ดังนั้นในแต่ละจุดภาพจึงต้องใช้จำนวนบิตเท่ากับ 24 บิต เพื่อให้สามารถเห็นระดับความแตกต่างของสีได้อย่างพอเพียง ซึ่งสามารถแสดงสีที่แตกต่างกันได้ 16,777,216 สี

หน่วยความจำภาพ (Video Memory) สัญญาณภาพอนาล็อกเมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจะทำให้เกิดข้อมูลเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราวก่อนที่จะนำไปใช้งาน หน่วยความจำที่ใช้ประเภทอ่านและเขียนข้อมูลใหม่ได้ หรือเรียกว่า RAM (Random Access Memory) บางครั้งหน่วยความจำภาพที่สำคัญคือ ต้องใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) ที่ต่ำมากๆ นั่นคือ ความเร็วในการเขียนและอ่านข้อมูลต้องมากเพียงพอ ขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ขึ้นขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการจัดเก็บ ส่วนข้อมูลจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพ

## 2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

ข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในการเก็บภาพในกระบวนการดิจิทัลเซชันคือ ไม่สามารถแยกแยะ หรือกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นกับภาพนั้นได้ ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลภาพบางตำแหน่งยังปกปิดข้อมูลที่เราสนใจ ซึ่งหากมองด้วยตาแล้วไม่สามารถมองเห็นได้ จึงได้มีการนำภาพดังกล่าวนั้นไปดำเนินการด้วยวิธีที่เรียกว่า “การประมวลผลภาพ” ซึ่งจะทำการสร้างภาพใหม่ขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลตัวเลขคือ ในบริเวณที่เราสนใจจะถูกกระทำการปรับปรุงรายละเอียดภาพ (Enhancement) และยังเป็นผลให้สัญญาณรบกวนลดลง หรือถูกกำจัดทิ้งไป ตัวอย่างของการประมวลผลภาพทางดิจิทัล (Digital Image Processing) ที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ การกำจัดสัญญาณรบกวน การหาขอบภาพ (Edge Enhancement) การฟิลเตอร์ (Filtering) และการปรับปรุงระดับเกรย์สเกล [12] เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 วิธีประมวลผลทีละจุดใน 1 ภาพ (Point by Point)

โดยแต่ละจุดในภาพของภาพต้นแบบ (Original Image) จะถูกแปลงไปเป็นภาพใหม่ ซึ่งค่าของแต่ละจุดภาพในภาพใหม่นี้จะสัมพันธ์กับค่าของจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันกับภาพต้นแบบ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนภาพไบนารี (Binary Image) จุดภาพที่มีระดับเป็น “0” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นระดับ “1” ในภาพใหม่ และจุดภาพที่มีระดับ “1” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็น “0” ในภาพใหม่ ดังรูปที่ 2.2



### 2.2.2 วิธีการประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกัน (Corresponding Points)

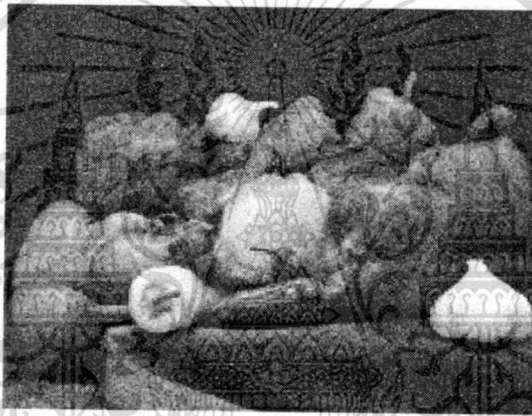
เป็นวิธีการประมวลผลโดยใช้ภาพที่สอดคล้องกันจากภาพตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป วิธีนี้จะสร้างภาพใหม่โดยใช้การเทียบเคียง (Correlation) ของแต่ละภาพ เพื่อหาค่าของจุดภาพที่เหมือนกัน หรือสอดคล้องกันจากภาพ 2 ภาพ หรือตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป

ค่าของจุดภาพดังกล่าวสามารถนำมารวมกันด้วยวิธีต่างๆ เช่น ค่าของจุดภาพ 2 ภาพของเมืองๆ หนึ่ง ซึ่งเก็บมาที่เวลาต่างกันสามารถนำมาคำนวณหาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้รวมข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจวัด (Sensor) ต่างๆ จำนวนหนึ่ง เพื่อแปลงเป็นข้อมูลภาพที่มีความสมบูรณ์ หรือมีรายละเอียดของภาพที่สามารถแสดงให้เห็นเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งตัวตรวจวัดอาจจะเป็นกล้องถ่ายภาพดาวเทียม โดยเก็บภาพของย่านไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปคตรัมต่างๆ กัน เช่น รังสีอินฟราเรด รังสีอุลตราไวโอเลต และรังสีที่สามารถมองเห็นได้ เป็นต้น

### 2.2.3 วิธีประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพ (Regional Points)

ในการคำนวณจะใช้ค่าของจุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดภาพหลักนำมาสร้างภาพใหม่ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเฉลี่ยข้อมูลจากจุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดภาพหลัก ซึ่งจะช่วยลดข้อมูลที่มีความผิดพลาดให้ลดลง ดังนั้นค่าของจุดภาพใหม่นี้จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของจุดภาพ 9 จุดติดกัน (จุดภาพ 1 จุด และรอบๆ จุดภาพหลักอีก 8 จุด) ดังรูปที่ 2.3 (a) แสดงภาพต้นแบบจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นบนภาพ แต่เมื่อนำมาประมวลผลโดยการเฉลี่ยแล้วจะได้ดังรูปที่ 2.3 (b) จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนลดลงมาก



(a) ภาพก่อนกำจัดสัญญาณรบกวน



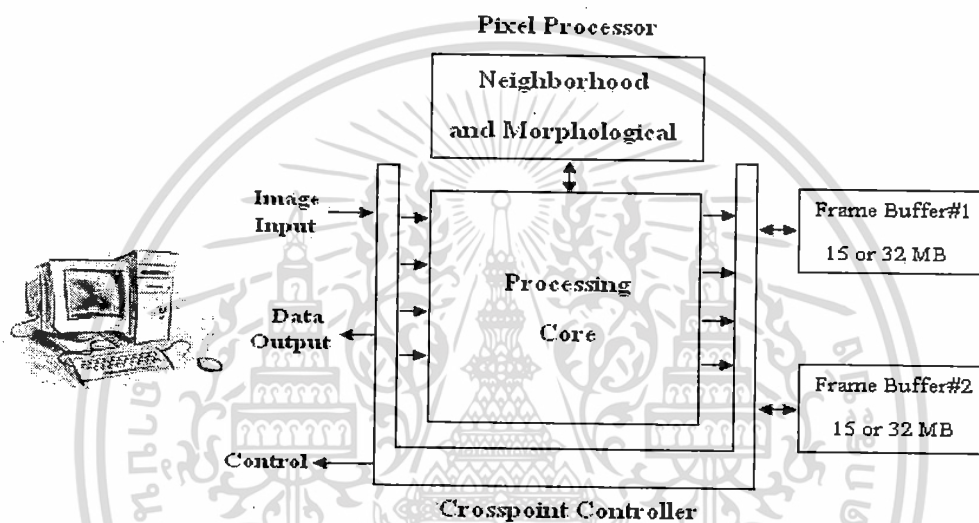
(b) ภาพหลังกำจัดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 2.3 แสดงการประมวลผลภาพในการกำจัดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การแสดงข้อมูลภาพ

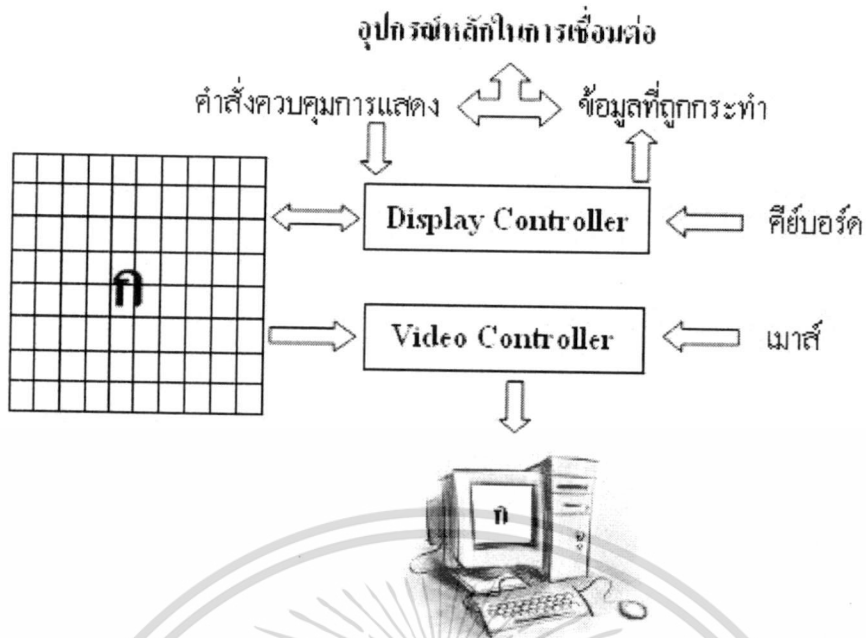
การแสดงข้อมูลภาพจะนำข้อมูลดิจิทัลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพอนาล็อก (D/A Conversion) แล้วส่งไปยังภาพต่อไป ในการแสดงภาพหนึ่งภาพจะต้องมีจุดภาพบางจุดที่ต้องสว่าง และบางจุดต้องมีมืด การจะจัดการให้เกิดภาพตามที่ต้องการได้นั้นมีส่วนประกอบ 3 ส่วนที่จะใช้ในการจัดการนี้คือ เฟรมบัฟเฟอร์ (Frame Buffer) ตัวควบคุมการแสดงผลภาพ (Display Controller) และวิธีการแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่เหมาะสมในเฟรมบัฟเฟอร์ (Scan Conversion Algorithms) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบในหน่วยแสดงผลภาพ

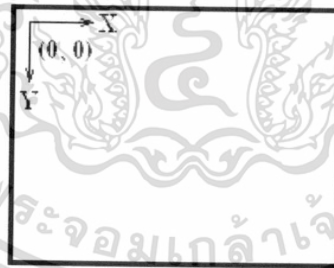
### 2.3.1 เฟรมบัฟเฟอร์

จุดแต่ละจุดที่ปรากฏอยู่บนจอภาพจะสอดคล้องกับค่าบิตที่อยู่ในหน่วยความจำส่วนหนึ่ง ซึ่งเราเรียกหน่วยความจำส่วนนี้ว่า เฟรมบัฟเฟอร์ หรือบิตแมป (Bit Map) บิตเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในลักษณะตารางหน่วยความจำที่ใช้เป็นบัฟเฟอร์ ในปัจจุบันมักจะแยกออกจากหน่วยความจำหลักของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะทำให้สามารถแสดงผลภาพออกทางจอภาพได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น จำนวนแถวและหลักของบัฟเฟอร์จะเท่ากับจำนวนของจุดภาพที่จอภาพแสดงได้ การบอกขนาดของหน่วยความจำที่ใช้เป็นเฟรมบัฟเฟอร์ อาจบอกในรูปของจำนวนจุดภาพที่สามารถแสดงบนจอภาพ หรืออาจจะบอกในรูปของจำนวนจุดภาพในหลักการคูณจำนวนจุดภาพในแถวก็ได้ ตัวอย่างเช่น 640x350 สำหรับจอภาพแบบ EGAHi และสำหรับจอภาพแบบ VGAHi จะเป็น 640x480 เป็นต้น เมื่อมีการใส่บิต 1 ลงในเฟรมบัฟเฟอร์ตรงตำแหน่งใดก็ตาม จะเกิดเป็นจุดสว่างบนจอภาพตรงตำแหน่งที่สอดคล้องกับเฟรมบัฟเฟอร์ เช่น ถ้าให้แถวที่ 2 หลักที่ 3 ของเฟรมบัฟเฟอร์มีค่าเป็นบิต 1 จอที่ตำแหน่งแถวที่ 2 หลักที่ 3 ก็จะเกิดเป็นจุดสว่าง เป็นต้น ส่วนตำแหน่งที่มีค่าเป็นบิต 0 ก็จะไม่มีความสว่าง ดังรูปที่ 2.5 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของเฟรมบัฟเฟอร์กับจอภาพ

แต่ละตำแหน่งจุดภาพบนจอภาพ และตำแหน่งในหน่วยความจำที่สอดคล้องกันในเฟรมบัฟเฟอร์จะถูกอ้างอิงโดยใช้คู่ลำดับ  $(x, y)$  โดยที่  $x$  จะแทนในตำแหน่งของหลัก ส่วน  $y$  แทนในตำแหน่งของแถว จุด  $(0, 0)$  ของระบบพิกัดนี้จะอยู่ที่มุมบนซ้ายของจอภาพ ดังรูปที่ 2.6

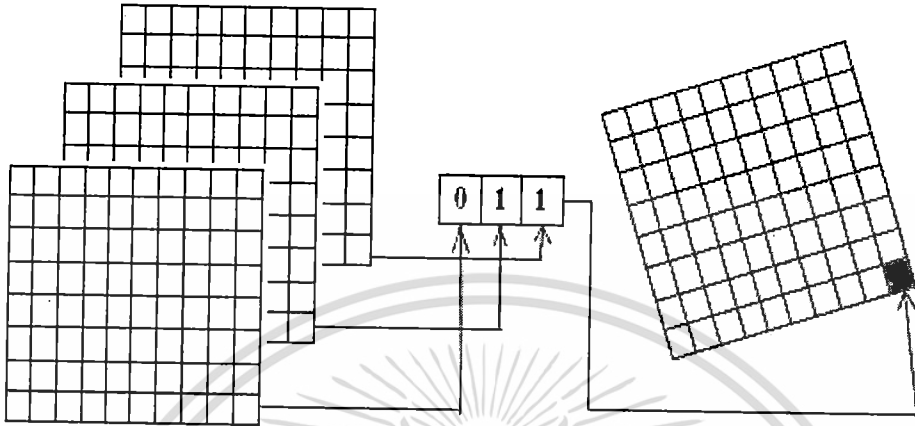


รูปที่ 2.6 แสดงระบบพิกัดของจอภาพ

ข้อมูลในเฟรมบัฟเฟอร์ซึ่งใช้แทนจุดภาพแต่ละจุดนั้นจะประกอบด้วยบิตจำนวนหนึ่ง สำหรับจอภาพขาวดำซึ่งมีความเข้มเพียง 2 ระดับ ข้อมูลในเฟรมบัฟเฟอร์จะมีเพียง 1 บิต (1-Bit Plane Frame Buffer) ซึ่งต่างกับจอภาพขาวดำที่มีความเข้มแสงหลายระดับ ข้อมูลสำหรับ 1 จุดภาพจะต้องมีมากกว่า 1 บิต ในรูปที่ 2.7 แสดงเฟรมบัฟเฟอร์ที่ใช้ 3 บิตนั่นคือ ใน 1 จุดภาพจะมีค่าใช้แทนจุดภาพนี้ได้ 8 ค่า ( $2^3$ ) ซึ่งแต่ละค่าจะแทนความเข้ม 1 ระดับ รวมทั้งหมดจะแทนได้ 8 ระดับจากระดับ 0 ถึงระดับ  $2^3-1=7$  สำหรับจอภาพขาวดำถ้าใช้ข้อมูล 8 บิตสำหรับ 1 จุดภาพก็จะ

สามารถแสดงระดับความเข้มได้ถึง  $2^8$  หรือ 256 ระดับ สำหรับระบบจอภาพที่ต้องการข้อมูล 24 บิต (24-Bit Plane Frame Buffer) โดยที่จะใช้ 8 บิตสำหรับแต่ละแม่สีคือ แดง เขียว และน้ำเงินไปใช้

ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะสร้างได้ถึง  $2^{24}$  เท่ากับ 16,777,216 สี สำหรับจอภาพที่มีความละเอียด  $512 \times 512 \times 24 = 6,291,456$  บิต ซึ่งหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ราคาต่ำไม่สามารถมีหน่วยความจำขนาดนี้ได้ ดังนั้นข้อมูลต่อ 1 จุดภาพจึงมีแค่เพียง 1-4 บิตเท่านั้น



รูปที่ 2.7 แสดงเฟรมบัฟเฟอร์ที่ใช้ 3 บิตต่อ 1 จุดภาพ

### 2.3.2 ตัวควบคุมการแสดงผลภาพ

ฮาร์ดแวร์ส่วนนี้จะอ่านค่าที่อยู่ในเฟรมบัฟเฟอร์ไปไว้ในวิดีโอบัฟเฟอร์ (Video Buffer) ซึ่งจะเปลี่ยนค่าบิตเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งใช้สำหรับควบคุมการแสดงผลภาพบนจอด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าตัวควบคุมการแสดงผลภาพพบค่าบิต 1 ในเฟรมบัฟเฟอร์ที่มีข้อมูล 1 บิตต่อจุดภาพ ก็ จะเกิดการส่งสัญญาณแรงดันสูงไปให้ CRT ซึ่งจะจัดการให้เกิดจุดสว่างบนจอภาพในตำแหน่งที่ สอดคล้องกับข้อมูลที่มีในเฟรมบัฟเฟอร์นั่นเอง

### 2.3.3 วิธีการแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่เหมาะสมในเฟรมบัฟเฟอร์

ส่วนนี้เป็นกระบวนการที่ใช้การเปลี่ยนคำสั่ง หรือสมการให้เป็นค่าที่เหมาะสม ซึ่ง สามารถใช้แทนภาพที่ได้จากสมการ หรือคำสั่งนั้นได้แล้วเก็บลงบัฟเฟอร์ เช่น สมการเส้นตรง  $x+y=5$  หรือคำสั่ง Line (a, b) จะต้องผ่านกระบวนการอันหนึ่งเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม แล้วเก็บใน เฟรมบัฟเฟอร์สำหรับจอภาพที่มีคุณภาพสูงๆ จะมีตัวประมวลผล (Processor) จัดการการแสดงผล ภาพโดยเฉพาะเพื่อทำกระบวนการข้างต้น รวมทั้งการจัดการอื่นๆ เกี่ยวกับจอภาพ เช่น การลบ จอภาพ เป็นต้น ส่วนจอภาพที่ราคาไม่แพงนัก จะใช้ CPU ของเครื่องกับโปรแกรมสำหรับจัดการ งานดังกล่าว ซึ่งทำให้การทำงานทำได้ช้ากว่ามาก ยิ่งถ้าใช้ในระบบกราฟิกยากที่จะทำให้ระบบ กราฟิกเป็นแบบอินเตอร์แอคทีฟได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภาพไปเพียงเล็กน้อยจะต้องมีการ คำนวณมากมายตามมาเสมอ

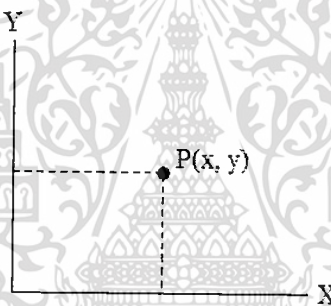
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 กราฟิก 2 มิติ

ระบบที่เป็นพื้นฐานของระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกคือ ระบบกราฟิก 2 มิติ เพราะภาพที่ได้จากระบบกราฟิก 2 มิติ นี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น รูปภาพต่างๆ ในระบบกราฟิก 2 มิติ นี้ ตำแหน่งของข้อมูลต่างๆ จะถูกแทนที่โดยตัวแปร 2 ตัว คือ  $(x, y)$  เมื่อ  $x$  คือ ระยะทางในแนวนอนจากจุดกำเนิด (origin) ใดๆ และ  $y$  คือ ระยะทางในแนวตั้งจากจุดกำเนิดเดียวกัน สิ่งสำคัญในระบบกราฟิก 2 มิติ คือ จุด (point), เส้นตรง (line) และรูปหลายเหลี่ยม (polygon) เนื่องจากสามารถนำสิ่งเหล่านี้ไปประกอบเพื่อให้เกิดเป็นภาพขึ้นตามความต้องการ

### 2.4.1 จุด

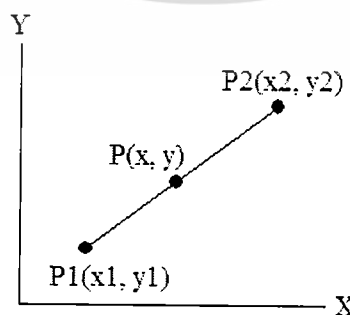
จุดในระบบกราฟิก 2 มิติ จะถูกแสดงโดยพิกัด (coordinate) โดยค่า 2 ค่าด้วยกันคือ  $P(x, y)$  ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 จุดในระบบกราฟิก 2 มิติ

### 2.4.2 เส้นตรง

เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ นั้นเกิดจากระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของเส้นตรงสามารถอธิบายได้ดังนี้ ถ้าจุด  $P(x, y)$  เป็นจุดใดๆ บนเส้นตรงที่เกิดจากจุด  $P_1(x_1, y_1)$  และ  $P_2(x_2, y_2)$  ใดๆ แล้ว สมการของเส้นตรงคือ

$$y = mx + b \quad (2.1)$$

โดยที่ 
$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$b = y_1 - mx_1$$

สมการที่ 2.1 เรียกว่าสมการเส้นตรงแบบ Slope-intercept เมื่อ  $m$  เป็นความชัน (Slope)

$b$  เป็นจุดตัดแกน  $y$  ของสมการเส้นตรง ณ ตำแหน่งที่  $x$  มีค่าเป็นศูนย์  $(0, b)$

### 2.4.3 รูปหลายเหลี่ยม

รูปหลายเหลี่ยมคือ รูปที่เกิดจากการรวมของจุด และเส้นตรงที่เชื่อมติดกันที่บริเวณปลายทั้ง 2 ข้าง รูปหลายเหลี่ยมที่เกิดขึ้นนั้นจะมีลักษณะเป็นภาพปิด (close figure) เรียกด้านที่ประกอปกั้นของรูปหลายเหลี่ยมว่าด้าน (side) หรือขอบ (edge) ของรูป ส่วนจุดปลายสุดของแต่ละด้านของรูปหลายเหลี่ยมจะเรียกว่าจุดรวม (vertices)

### 2.4.4 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง

ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นในบางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น หรือเพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน โดยไม่ต้องสร้างภาพขึ้นมาใหม่ เช่น การขยายภาพ การลดขนาดของภาพ หรือการเปลี่ยนทิศทางของภาพเดิม แต่จะนำสมการทางคณิตศาสตร์บางอย่างมาช่วยในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพจำลอง

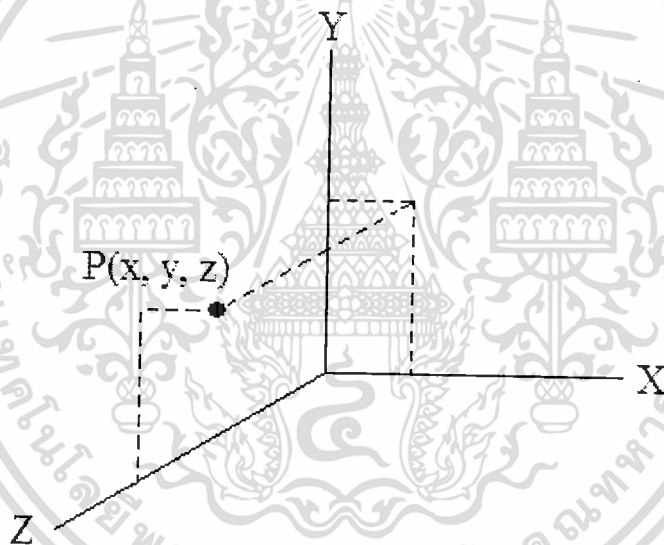
## 2.5 กราฟิก 3 มิติ

ภาพกราฟิกบางชนิดจำเป็นต้องใช้ระบบ 2 มิติ เพื่อการแสดงผล เช่น ภาพของกราฟต่างๆ แผนที่ หรือแม้กระทั่งภาพที่ถูกสร้างจากจิตรกรต่างๆ ก็เป็นภาพกราฟิกในระบบ 2 มิติ แต่ในงานบางอย่างก็จำเป็นต้องใช้ภาพในระบบ 3 มิติ ในการแสดงผล เพื่อให้เกิดความง่ายที่จะทำให้เข้าใจในภาพนั้น เช่น ภาพของโครงสร้างต่างๆ ซึ่งถ้าเป็นภาพจำลองที่สร้างขึ้นในระบบ

3 มิติ จะสามารถทำให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมในจุดมอง (viewpoint) ที่ต่างๆ กัน ไม่ว่าจะเป็นจุดไหนก็ตาม

### 2.5.1 จุด และระนาบ

สิ่งที่ยากที่สุดในการที่จะนำมาใช้ในการอธิบายระบบ 3 มิติ คือ จุด เนื่องจากในระบบ 2 มิติ ได้อธิบายจุดโดยที่บอกตำแหน่งของจุดโดยอาศัยค่า 2 ค่า แต่ในระบบ 3 มิติ นี้ จะต้องเพิ่มแกนอีก 1 แกน เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้บอกตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ ซึ่งจะทำให้ตัวเลขที่ใช้ในการบอกตำแหน่งของจุดมี 3 ค่าด้วยกันคือ ค่าแรกจะแทนค่าความสูง (height) ของจุด ส่วนค่าที่ 2 และ 3 จะแทนค่าความกว้าง (width) และความลึก (depth) ตามลำดับ โดยที่ทั้ง 3 แกนที่ให้ในการอธิบายตำแหน่งในระบบ 3 มิติ จะมีทิศทางที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ในระบบ 2 มิติ นั้นใช้ค่าในแนวแกน X และแกน Y แทนค่าตำแหน่งในด้านความกว้าง และความยาว ส่วนในระบบ 3 มิติ นั้นจะใช้แนวแกน Z แทนค่าของตำแหน่งในด้านความลึก ส่วนในแนวแกน X และแกน Y นั้นเหมือนกับในระบบ 2 มิติทุกประการ ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ จะสามารถกำหนดได้โดยตัวแปร 3 ตัว คือ  $P(x, y, z)$  ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแสดงตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ

และสมการเส้นตรงในระบบ 3 มิติ คือ

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{z - z_1}{x - x_1} = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสมการของระนาบในระบบ 3 มิติ คือ

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (2.3)$$

เมื่อ A, B, C และ D คือ ค่าคงที่ หรือ

$$x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \quad (2.4)$$

โดยที่  $B_1 = \frac{B}{A}$

$$C_1 = \frac{C}{A}$$

และ  $D_1 = \frac{D}{A}$

และระยะทางระหว่างจุด  $(x, y, z)$  ใดๆ กับระนาบถูกกำหนดโดย

$$L = \left| A_2x + B_2y + C_2z + D_2 \right| \quad (2.5)$$

โดยที่  $A_2 = \frac{A}{d}$

$$B_2 = \frac{B}{d}$$

$$C_2 = \frac{C}{d}$$

และ  $D_2 = \frac{D}{d}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของการแปลงเรขาคณิตของวัตถุ 3 มิติ เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ การปรับเทียบ กล้อง [13-14] การหาพิกัด 3 มิติโดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) และ Boundary detection [15-16] ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาเพื่อใช้ในการงานวิจัยนี้

### 3.1 การแปลงเรขาคณิตของวัตถุใน 3 มิติ (Geometric Transformation in 3D)

หมายถึงการแปลงเรขาคณิตสำหรับวัตถุใน 3 มิติ ซึ่งมีพิกัดอยู่ในรูป  $(x, y, z)$

#### 3.1.1 การเคลื่อนย้ายวัตถุ (Translation)

การย้ายจุดที่มีพิกัด  $(x, y, z)$  ไปยังจุดใหม่ที่มีระยะเคลื่อนที่  $(t_x, t_y, t_z)$  ดังสมการ

$$\begin{aligned} U &= x + t_x \\ V &= y + t_y \\ W &= z + t_z \end{aligned} \tag{3.1}$$

สามารถเขียนในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสได้เป็น

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.2}$$

#### 3.1.2 การย่อ และการขยาย (Scaling)

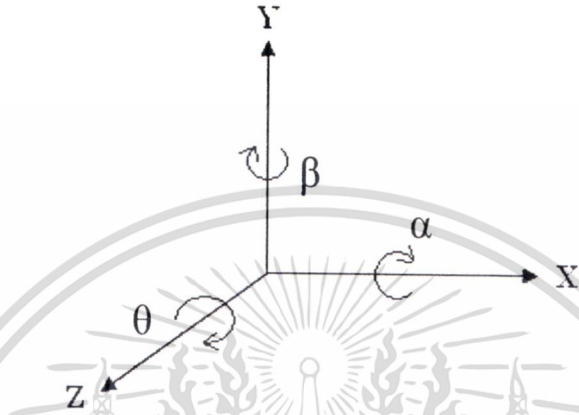
การย่อ และการขยายใน 3 มิติ ที่มีพารามิเตอร์  $S_x, S_y$  และ  $S_z$  ตามแนวแกน  $x$ , แกน  $y$  และ แกน  $z$  เขียนในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 & t_x \\ 0 & S_y & 0 & t_y \\ 0 & 0 & S_z & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลข้างต้นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การหมุนภาพ (Rotation)

การหมุนใน 3 มิติ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด นั่นคือหมุนรอบแกน x, แกน y และแกน z การหมุนรอบวัตถุใดๆ เราต้องทำการย้ายจัดนั้นมาที่จุดกำเนิดก่อน จากนั้นทำการหมุน และย้ายกลับไปที่ได้เดิม



รูปที่ 3.1 แกนพิกัด 3 มิติ และการหมุนจุดรอบแกนพิกัดมุมของการหมุนวัดตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากแกนสู่จุดกำเนิด

การหมุนรอบแกน Z ด้วยมุม  $\theta$

$$R_{\theta} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.4}$$

การหมุนรอบแกน X ด้วยมุม  $\alpha$

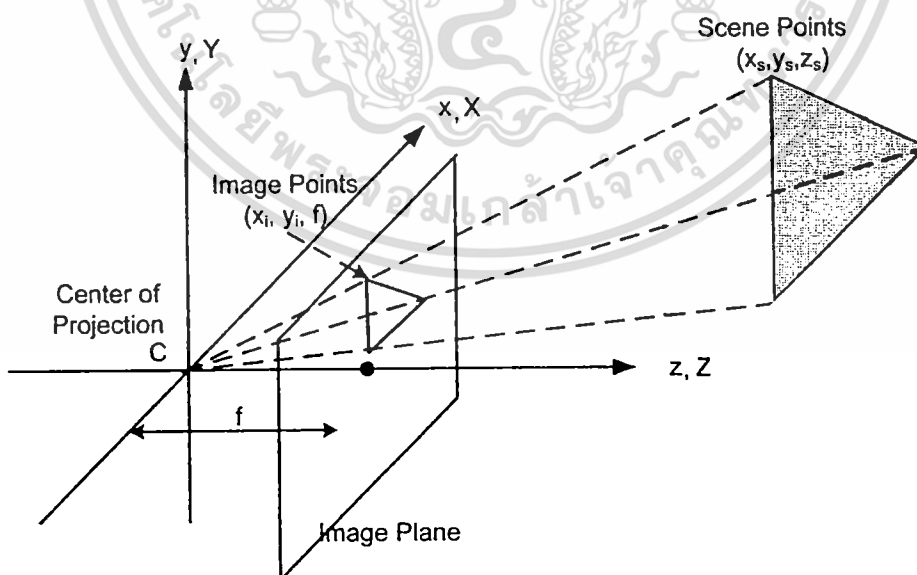
$$R_{\alpha} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.5}$$

$$R_\beta = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 1 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

### 3.2 เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ (Geometric for 3D Vision)

#### 3.2.1 พื้นฐานของการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟของกล้อง (Basic of Perspective Camera)

ภาพ 2 มิติส่วนใหญ่ได้มาจากการมองวัตถุ 3 มิติผ่านเลนส์ของตา หรือเลนส์ของกล้อง ขบวนการเกิดภาพสามารถถูกจำลองได้โดยการใช้การแปลงแบบเพอสเปกทีฟ (Perspective Transformation) [17] ดังรูปที่ 3.2 เราแทนแกนพิกัดโลก (World Coordinate System) ด้วยอักษรตัวใหญ่ (X, Y, Z) และแทนแกนของระบบพิกัดของกล้องด้วยตัวอักษรตัวเล็ก (x, y, z) เราสมมติว่าพิกัดของโลกซ้อนทับกับระบบพิกัดของกล้อง แสงจากวัตถุใน 3 มิติส่องผ่านศูนย์กลางของการโปรเจกชันแล้วโปรเจกต์ลงบนภาพให้จุด  $(x_i, y_i, z_i)$  แทนจุดพิกัดของวัตถุ 3 มิติ ให้  $(x_i, y_i)$  แทนจุดพิกัดของวัตถุในระนาบของภาพ เราสมมติว่าระนาบของภาพอยู่ห่างไปทางขวาของจุดกำเนิดของพิกัดกล้องเป็นระยะเท่ากับ  $f$  โดยที่  $f$  คือความยาวโฟกัสของเลนส์ โดยการใช้สามเหลี่ยมคล้ายจะได้



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของระบบสร้างภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_i = \frac{fx_s}{z_s}$$

$$y_i = \frac{fy_s}{z_s} \quad (3.7)$$

ให้

$$v = \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

เป็นเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยจุดพิกัดของวัตถุ เวกเตอร์ในระบบโฮโมจีเนียส  $\tilde{v}$  ของ  $v$  คือ

$$\tilde{v} = \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

เป็นเวกเตอร์ในระบบพิกัด Cartesian  $v$  สามารถหาได้จากเวกเตอร์ในระบบโฮโมจีเนียสได้ โดยการหารสามสมาชิกแรกด้วยสมาชิกที่สี่

พิจารณาเมทริกซ์ของ Perspective Transformation

$$P = \begin{pmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

ทำการคูณเวกเตอร์

$$\tilde{w} = P\tilde{v} \quad (3.11)$$

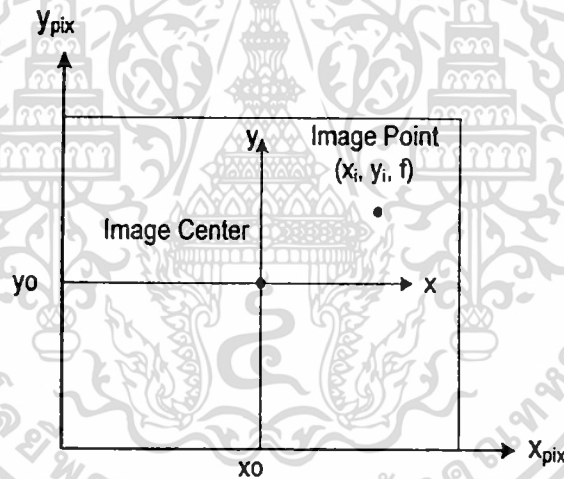
ได้เป็น

$$\tilde{w} = \begin{pmatrix} fx_s \\ fy_s \\ z_s \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

$$w = \begin{pmatrix} \frac{fx_s}{z_s} \\ z_s \\ \frac{fy_s}{z_s} \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

### 3.2.2 การแปลงจากหน่วยความยาวเป็นพิกเซล

การหาพิกัดของจุดที่ถูกโปรเจกชัน  $(x_s, y_s, f)$  ในหน่วยของพิกเซล กำหนดให้พิกัดของภาพมีจุดกำเนิดอยู่ที่มุมล่างซ้ายของภาพดังแสดงในรูปที่ 3.3 การแปลงจากความยาวเป็นพิกเซลเราจำเป็นต้องรู้ค่าการปรับสเกล (Aspect Ratio) ของแต่ละแกนของระบบพิกัดภาพ ค่าการปรับสเกลเป็นค่าที่ระบุจำนวนพิกเซลต่อหนึ่งหน่วยความยาว ในระบบภาพบางระบบพิกเซลในแนวตั้งไปอาจมีการเอียงกัน จำเป็นต้องรู้ค่าที่เรียกว่าพารามิเตอร์ของการเอียง (Skew parameter) นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องรู้จุดหลัก (Principal Point)  $U_0 = (x_0, y_0)$  หรือบางครั้งเรียกว่าจุดกึ่งกลางของภาพ [18]



รูปที่ 3.3 แสดงพิกัดของภาพ

ดังนั้นพิกัดของจุดในหน่วยพิกเซล  $(x_{pix}, y_{pix}, f)$  สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$x_{pix} = k_x x_i + s y_i + x_0$$

$$x_{pix} = k_x f \frac{x_s}{z_s} + s f \frac{y_s}{z_s} + x_0 \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_{pix} = k_y f \frac{y_s}{z_s} + y_o \quad (3.15)$$

โดยที่  $k_x$  คือค่าการปรับสเกลในทิศทาง x,  $k_y$  คือค่าการปรับสเกลในทิศทาง y และ  $s$  แทนพารามิเตอร์ของการเอียง

เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_x & s & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

โดยที่  $\alpha_x = kf$  ซึ่งเป็นค่าความยาวโฟกัสในทิศ x ในหน่วยของพิกเซล และ  $\alpha_y = kf$  ซึ่งเป็นค่าความยาวโฟกัสในทิศ y ในหน่วยของพิกเซล เราสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{pmatrix} \alpha_x & s & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_x & s & 0 \\ 0 & \alpha_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = K[I_3 | O_3] \quad (3.17)$$

เมทริกซ์  $K$  มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมข้างบน (Upper Triangle) ขนาด 3x3 มีชื่อว่า เมทริกซ์การปรับเทียบ (Calibration Matrix) เป็นเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ภายใน (Intrinsic Parameter) ที่สำคัญของกล้อง

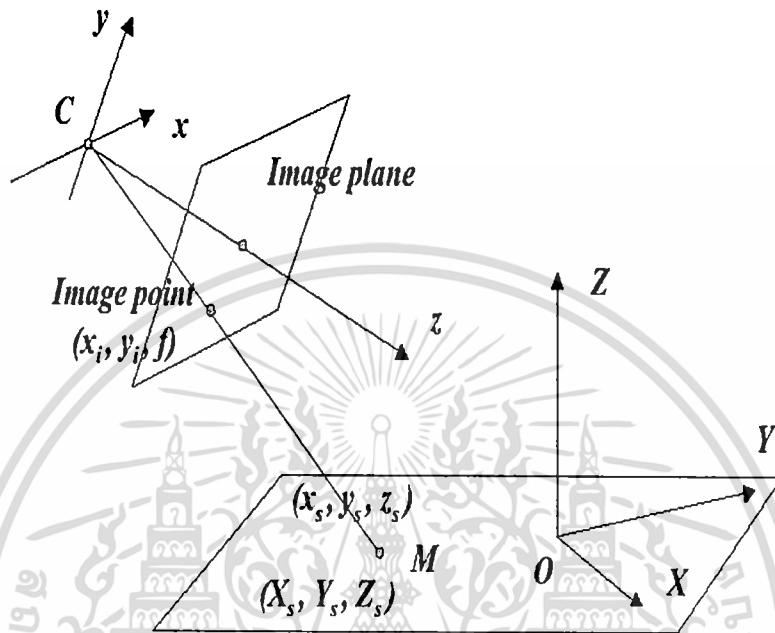
### 3.2.3 กรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง

การหาพิกัดภาพที่เกิดกรณีที่จุดกึ่งกลางของการโปรเจกชันของกล้องถูกวางไว้ที่จุดกึ่งกลางของระบบพิกัดอ้างอิงของโลก ไม่มีการส่ายหรือเอียงทำมุมกับแกนอ้างอิง จุดกึ่งกลางของหัวขีดยึดกล้องและระนาบภาพอยู่ที่เดียวกัน แบบจำลองการเกิดภาพ (Imaging Model) ในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสคือ

$$\tilde{w} = M \tilde{v} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $\tilde{v}$  คือเวกเตอร์ของจุดบนวัตถุในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส  $\tilde{w}$  คือเวกเตอร์ของจุดบนระนาบภาพในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส และ  $M$  คือเมทริกซ์ของ Perspective Transformation ในกรณีนี้แบบจำลองการเกิดภาพจากกล้องสามารถหาได้ง่ายโดยการเปลี่ยนแปลง (Modify) สมการ (3.18)



รูปที่ 3.4 การเกิดภาพกรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง

รูปที่ 3.4 แสดงขบวนการเกิดภาพกรณีที่จุดกึ่งกลางของการโปรเจกชันของกล้องไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับจุดกึ่งกลางของระบบพิกัดอ้างอิงของโลก ระบบพิกัดของโลกสามารถหมุนสาย (Pan) ทำมุม  $\beta$  กับแนวนอน (Horizontal) และเอียง (Tilt) ทำมุม  $\alpha$  กับแนวตั้ง จุดกึ่งกลางของพิกัดโลกและจุดกึ่งกลางของการโปรเจกชันของระนาบภาพอยู่ห่างกันด้วยระยะ  $(X_0, Y_0, Z_0)$  เราได้แบบจำลองใหม่คือ

$$\tilde{w} = MT_C \tilde{v} \quad (3.19)$$

โดยที่

$$T_C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_0 \\ 0 & 1 & 0 & -Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาเอกสารนี้ในลักษณะใดๆ ทั้งสิ้น เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่ายหรือเอียง (Pan or Tilt) สามารถถูกจำลองโดยใช้คูณด้วยเมทริกซ์การหมุน

$$\tilde{w} = MRT_C \tilde{v} \quad (3.21)$$

โดยที่  $R = R_\beta R_\alpha$

$$R_\beta = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.22)$$

และ

$$R_\alpha = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

ดังนั้นแบบจำลองของการเกิดภาพจากกล้องคือ

$$\tilde{w} = MRT_C \tilde{v} \quad (3.24)$$

โดยที่สมการ (3.24) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = K[I_3 | O_3] \begin{bmatrix} R & -T \\ O_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

โดยที่  $R$  แทนเมทริกซ์ที่เป็นผลรวมของการหมุนระบบพิกัด (ขนาด 3x3) และ  $T$  แทนเวกเตอร์

ที่เป็นผลรวมของการย้ายระบบพิกัด (ขนาด 3x1) เรากล่าวว่าเมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} R & -T \\ O_3^T & 1 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

สมการ (3.26) เป็นเมทริกซ์ที่รวมเอาพารามิเตอร์ภายนอก (Extrinsic Parameter) ของ ขบวนการปรับเทียบกล้อง

เราสามารถเขียนสมการ (3.25) ในรูปแบบที่ง่ายได้เป็น

$$x = MX \quad (3.27)$$

โดยที่  $M = [KR \mid -KRT]$  (3.28)

และ  $M$  มีขนาด  $3 \times 4$

### 3.3 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)

การปรับเทียบกล้องเป็นการประมาณหาค่าเมทริกซ์  $M$  จากจุดในฉาก 3 มิติที่รู้ตำแหน่ง และภาพที่เกิดขึ้นของจุด จากนั้นทำการหาพารามิเตอร์ภายใน และพารามิเตอร์ภายนอกของกล้อง พิจารณาการปรับเทียบโดยใช้กล้องตัวเดียว

ในการหาเมทริกซ์  $M$  [19] เราทำการหาจุดในฉากที่เราทราบพิกัด  $X = [x, y, z]^T$  และจุด ในฉาก 3 มิติที่สอดคล้องกัน  $[u, v]^T$  ซึ่งจะได้สมการที่อยู่ในรูปสมการ (3.27) ดังนี้

$$\begin{pmatrix} \alpha_u \\ \alpha_v \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.29)$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_u \\ \alpha_v \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \\ m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \\ m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34} \end{pmatrix} \quad (3.30)$$

ทำการนอร์มอลไลซ์ให้สมาชิกตัวที่สามเป็น 1 เราจะได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยที่

$$M = [KR \mid -KRT] \quad (3.35)$$

หรือ

$$M = K[I_3 \mid O_3] \begin{bmatrix} R & -T \\ O_3^T & 1 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

เมตริกซ์  $K$  ในสมการ (3.36) เป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ภายในที่สำคัญของกล้อง

$$K = \begin{bmatrix} fa & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & fb & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

เมื่อ  $f$  คือ ความยาวโฟกัสของ projection

$(u_0, v_0)$  คือ จุดหลักของ projection

เมื่อได้เมตริกซ์  $M$  แล้วขั้นตอนต่อไปทำการแยกพารามิเตอร์ภายใน (Intrinsic Parameter)

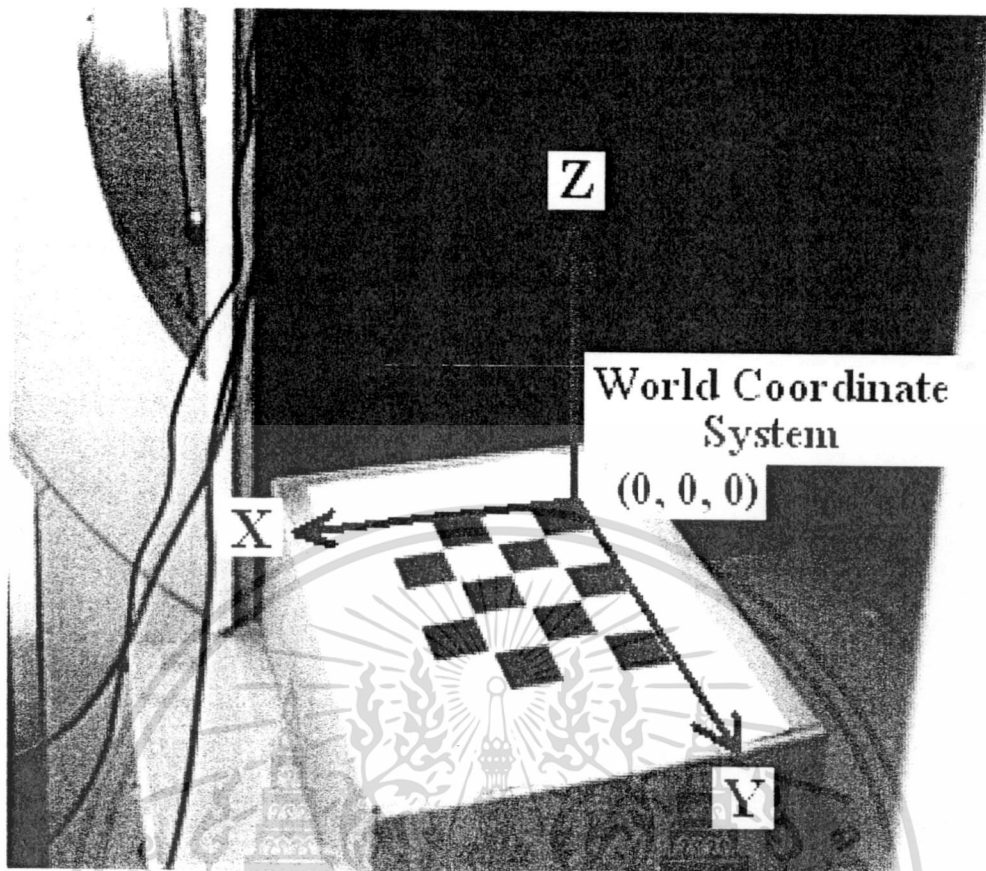
เนื่องจาก

$$M = [KR \mid -KRT] = [A \mid B] \quad (3.38)$$

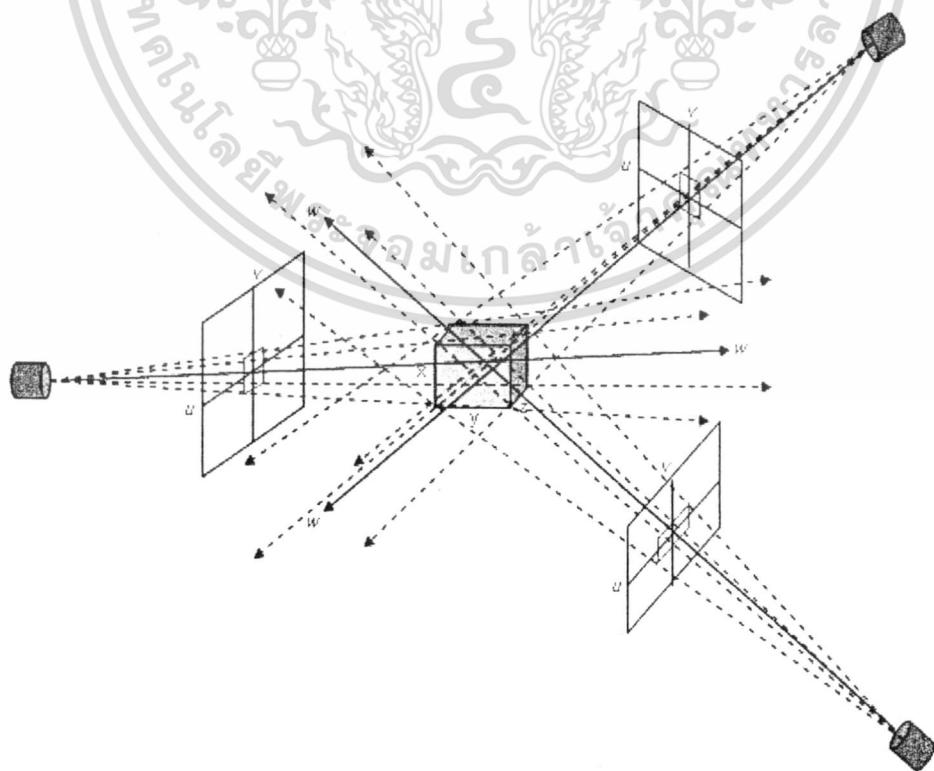
ดังนั้นเมตริกซ์ย่อย  $3 \times 3$  แทนด้วย  $A$  เวกเตอร์คอลัมน์ทางขวามือสุดแทนด้วย  $b$  เวกเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ระยะเคลื่อนที่สามารถแยกออกมาได้ง่ายโดย  $t = -A^{-1}b$  เวกเตอร์  $t$  ให้ข้อมูลที่บอกถึงตำแหน่งกึ่งกลางของระนาบภาพ (Image Plane)

จากนั้นพิจารณา  $A=KR$  โดยที่  $K$  เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมบน (Upper Triangle) และเมตริกซ์  $R$  เป็นเมตริกซ์ออร์โธกอนอล (orthogonal matrix) การหาเมตริกซ์  $R$  นั้นเราหาได้จากการแยกเมตริกซ์  $A$  ออกเป็นเมตริกซ์  $K$  และ  $R$  โดยใช้เทคนิค QR decomposition [22] เป็นอีกวิธีหนึ่งในการแยก matrix ออกเป็น orthogonal matrix และ upper triangular matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ภาพของตารางหมากรุกที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกล้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3.6 การประมวลผลภาพการปรับเทียบกล้องเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การหาพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT)

ในหัวข้อนี้เราพิจารณาการหาพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) โดยที่กล้องทั้ง 2 ตัวผ่านกระบวนการปรับเทียบกล้องแล้ว ในกระบวนการปรับเทียบกล้อง เราให้กล้องทั้งสองถ่ายภาพวัตถุในฉาก 3 มิติที่เราทราบพิกัด ซึ่งอาจเป็นตารางหมากรุกที่เราทราบขนาดของแต่ละตารางดังที่แสดงในรูปที่ 3.5 จากนั้นทำการหาพิกัดของจุดตัดของตารางในกล้องทั้งสอง ใช้สมการที่ (3.32) ทำการคำนวณเมทริกซ์ของ Perspective Transformation  $M$  สำหรับกล้องแต่ละตัวต่อไปทำการวางวัตถุที่เราต้องการหาพิกัด 3 มิติในฉาก ทำการหาจุดสอดคล้องของจุดในฉาก 3 มิติของกล้องทั้งสองตัว กำหนดให้เมทริกซ์ของ Perspective Transformation  $M$  ของกล้องตัวที่ 1 และ 2 เป็น  $M$  และ  $M'$  ตามลำดับ เราแทนแต่ละแถวของเมทริกซ์  $M$  ด้วย  $m_1^T, m_2^T, m_3^T$  ทำนองเดียวกันสำหรับกล้องตัวที่สองเราแทนแต่ละแถวของเมทริกซ์  $M'$  ด้วย  $m_1'^T, m_2'^T, m_3'^T$

สำหรับกล้องตัวที่ 1 เราจะได้

$$u = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = MX = \begin{bmatrix} m_1^T \\ m_2^T \\ m_3^T \end{bmatrix} x \quad (3.39)$$

ทำนองเดียวกันสำหรับกล้องตัวที่ 2 เราจะได้

$$u' = \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = M' X = \begin{bmatrix} m_1'^T \\ m_2'^T \\ m_3'^T \end{bmatrix} x \quad (3.40)$$

โดยที่  $u$  และ  $u'$  แทนพิกัดในภาพของวัตถุในกล้องตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ในการกำจัดค่าสเกลที่ไม่ทราบค่า เราทำการหาสัดส่วนระหว่างสามแถวในเมทริกซ์ Perspective Transformation  $M$

$$\begin{aligned} u : v : w &= m_1^T X : m_2^T X : m_3^T X \\ u' : v' : w' &= m_1'^T X : m_2'^T X : m_3'^T X \end{aligned} \quad (3.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราได้สมการสำหรับกล่องตัวที่ 1 และกล่องตัวที่ 2

$$\begin{aligned}um_2^T X &= vm_1^T X \\um_3^T X &= wm_1^T X \\vm_3^T X &= wm_2^T X\end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned}u'm_2^T X &= v'm_1^T X \\u'm_3^T X &= w'm_1^T X \\v'm_3^T X &= w'm_2^T X\end{aligned}\tag{3.42}$$

สมการที่ (3.42) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{bmatrix}um_2^T - vm_1^T \\um_3^T - wm_1^T \\vm_3^T - wm_2^T\end{bmatrix} X = 0\tag{3.43}$$

และ

$$\begin{bmatrix}u'm_2^T - v'm_1^T \\u'm_3^T - w'm_1^T \\v'm_3^T - w'm_2^T\end{bmatrix} X = 0\tag{3.44}$$

ทำการคูณแถวแรกของสมการที่ (3.43) ด้วย  $w$  แล้วคูณแถวที่สองด้วย  $-v$  แล้วทำการบวกจะ  
ได้

$$(uwm_2^T - vwm_1^T - uvm_3^T + vwm_1^T)X = (uwm_2^T - uvm_3^T)X = 0\tag{3.45}$$

จะเห็นว่าสมการ (3.45) มีคุณสมบัติ Linearly Dependent กับแถวที่สามของสมการ (3.43)  
ดังนั้นแต่ละกล่องเราใช้ได้เพียง 2 สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} um_3^T - wm_1^T \\ vm_3^T - wm_2^T \end{bmatrix} X = 0 \quad (3.46)$$

และ

$$\begin{bmatrix} u'm_3^T - w'm_1^T \\ v'm_3^T - w'm_2^T \end{bmatrix} X = 0 \quad (3.47)$$

เขียนสมการ (3.46) และ (3.47) ใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} um_3^T - wm_1^T \\ vm_3^T - wm_2^T \\ u'm_3^T - w'm_1^T \\ v'm_3^T - w'm_2^T \end{bmatrix} X = AX = 0 \quad (3.48)$$

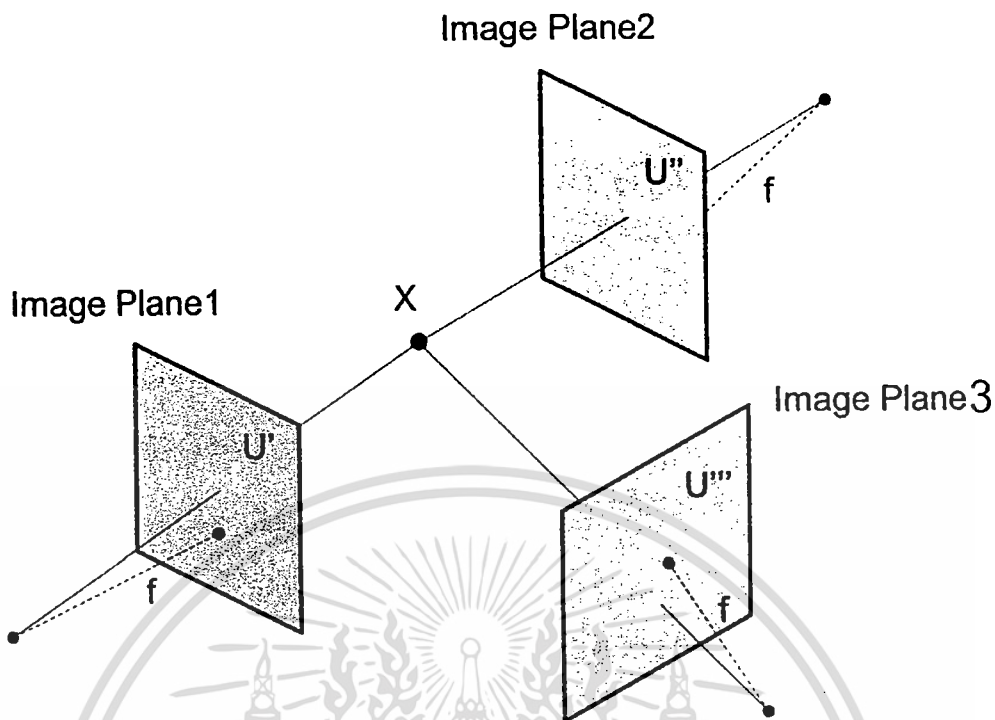
ทำการแก้สมการ โฮโมจีเนียส (3.48) สำหรับพิกัด 3 มิติ หา  $X$  โดยเราสนใจเฉพาะคำตอบประเภท Non-Trivial หรือกรณี  $\det(A) = 0$

สำหรับกรณีของการใช้กล้อง 3 ตัวหรือมากกว่า เราได้สมการในลักษณะเดียวกัน เช่น ถ้าใช้กล้อง 3 ตัวดังแสดงในรูป 3.7 เราได้สมการ

$$\begin{bmatrix} u'm_3^T - w'm_1^T \\ v'm_3^T - w'm_2^T \\ u''m_3^T - w''m_1^T \\ v''m_3^T - w''m_2^T \\ u'''m_3^T - w'''m_1^T \\ u''''m_3^T - w''''m_1^T \end{bmatrix} X = AX = 0 \quad (3.49)$$

ค่าพิกัด 3D ในเมทริกซ์  $X$  หาได้โดยการทำ Singular Value Decomposition (SVD) ของเมทริกซ์  $X$  คือแถวสุดท้ายของ  $V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การหาพิกัด 3 มิติโดยใช้กล้อง 3 ตัว

### 3.5 Boundary detection

การทำกร Segmentation จะทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี Boundary detection

Boundary detection เป็นวิธีการทำ Segmentation ภาพออกเป็นกลุ่มต่างๆ (Region) โดยการค้นหาขอบของวัตถุของแต่ละกลุ่ม การหาขอบสามารถหาได้โดยการใช้ Edge detection แต่สำหรับบางกรณีที่มีข้อมูลภาพมีสิ่งรบกวน หรือความแตกต่างของความเข้มระหว่างกลุ่มมีน้อยมาก ทำให้ไม่สามารถหาขอบของวัตถุได้ ดังนั้นวิธีหาขอบด้วยการเชื่อมขอบ (Edge linking techniques) เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้

#### 3.5.1 Edge linking โดยใช้ Matrix

การทำกร Segmentation โดยวิธีนี้จะทำการหาขอบของวัตถุที่สนใจก่อน โดยการหาขอบนี้จะทำได้โดยการกำหนดเมตริกซ์มาใช้ในการพิจารณาหาขอบซึ่งมีขนาดเป็น  $2 \times 2$  ดังแสดงในตารางที่ 3.1

อัลกอริทึมของวิธีการนี้ก็คือ จะทำการสแกนไปตามพิกเซลของภาพตั้งแต่ต้นภาพไปยังท้ายภาพในทางแนวแถว และแนวหลักตามลำดับ โดยในระหว่างการสแกนก็ให้นำพิกเซลรอบข้าง 4 พิกเซลไปทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเมตริกซ์ที่กำหนดไว้ ถ้าไม่มีตรงกับเมตริกซ์ใดเลยก็  
 เอกสาร  
 ไม่ว่าให้สแกนไปยังพิกเซลถัดไปแต่ถ้าตรงกับเมตริกซ์ใดๆ ก็ให้ทำการเลื่อนตำแหน่งปัจจุบันไปตามใช้

เนื่องจากตำแหน่งนี้ก็คือ ตำแหน่งของขอบของวัตถุนั่นเอง) และให้ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ โดยจะหยุดก็ต่อเมื่อพบว่า ได้เวียนกลับมายังที่เดิมแล้ว (จุดเริ่มต้นของขอบได้แก่จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางตามการเลื่อนของเมตริกครั้งแรก)

การเวียนกลับมายังที่เดิมแสดงว่าตอนนี้จะได้ขอบของวัตถุแล้วก็ให้ทำการนำข้อมูลส่วนนี้ไปเก็บไว้ยังหน่วยความจำส่วนอื่นๆ และทำการลบข้อมูลของวัตถุนี้จากหน่วยความจำภาพ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้มีการนำข้อมูลของวัตถุที่หาพบแล้วมารบกวนการหาวัตถุชิ้นต่อไปภายในภาพอีก

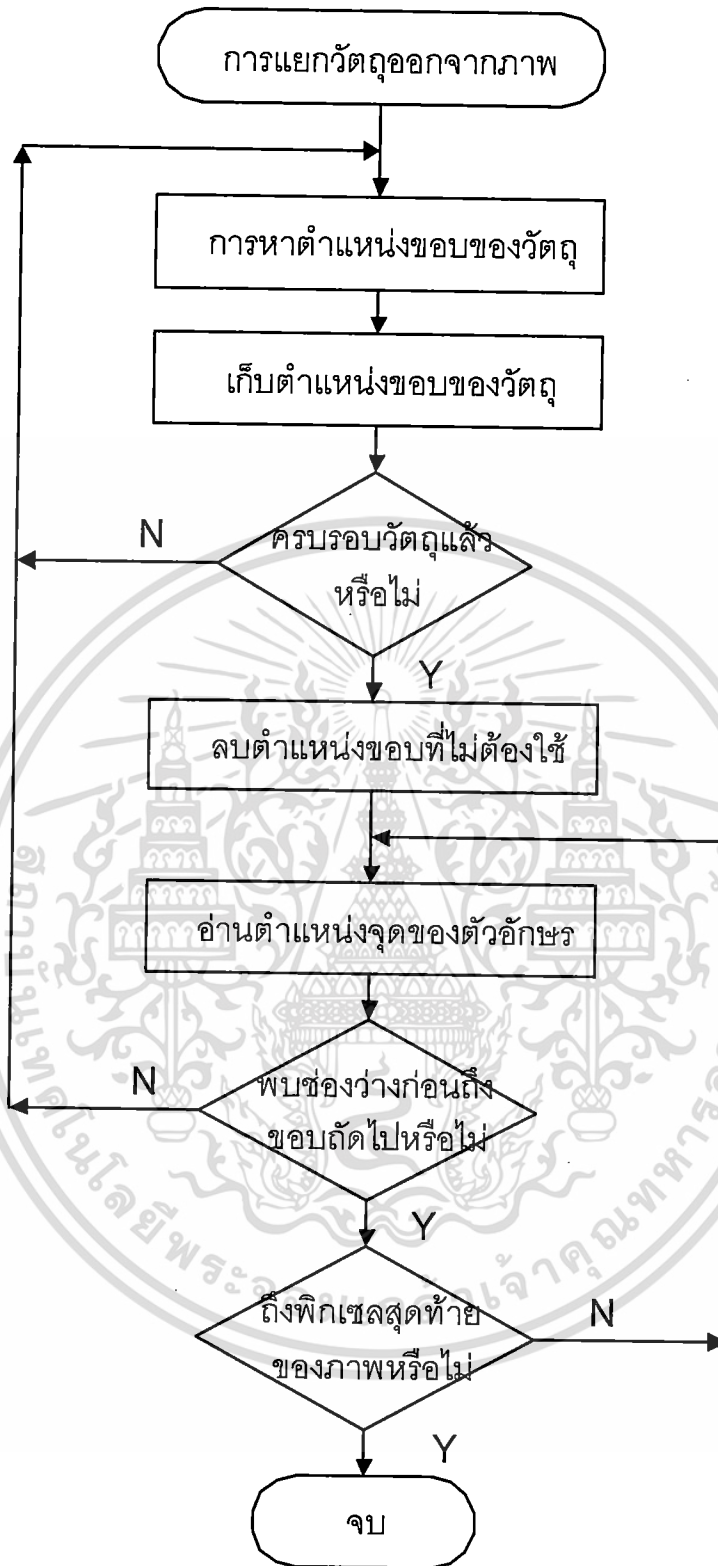
ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะของเมตริกต่างๆ

ลักษณะจุดในเมตริกซ์	ทิศทาง การเลื่อนของเมตริกซ์	ตำแหน่งขอบของวัตถุ
<pre> o o o o </pre>	-	(สภาวะตั้งต้น)
<pre> •• •• </pre>	-	-
<pre> •• o o </pre>	→	<pre> •• o E </pre>
<pre> o o •• </pre>	←	<pre> E o •• </pre>
<pre> o o •• </pre>	↓	<pre> o• E• </pre>
<pre> •• o o </pre>	↑	<pre> •E •o </pre>
<pre> •• •• </pre>	↑	<pre> •E •• </pre>
<pre> o o •• </pre>	←	<pre> E• •• </pre>
<pre> •• •• </pre>	↓	<pre> E• •• </pre>
<pre> •• •• </pre>	→	<pre> •• •E </pre>
<pre> o o o o </pre>	→	-
<pre> •• o o </pre>	↑	-
<pre> o o •• </pre>	↓	-
<pre> o o •• </pre>	←	-
<pre> •• o o </pre>	↑ after ←	<pre> •o E• </pre>
<pre> •• o o </pre>	↓ after →	<pre> •E o• </pre>
<pre> o• •• </pre>	→ after ↑	<pre> o• •E </pre>
<pre> o• •• </pre>	← after ↓	<pre> E• •o </pre>

หมายเหตุ      o แทนจุดขาว

• แทนจุดดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของอัลกอริทึมของกระบวนการ Boundary detection

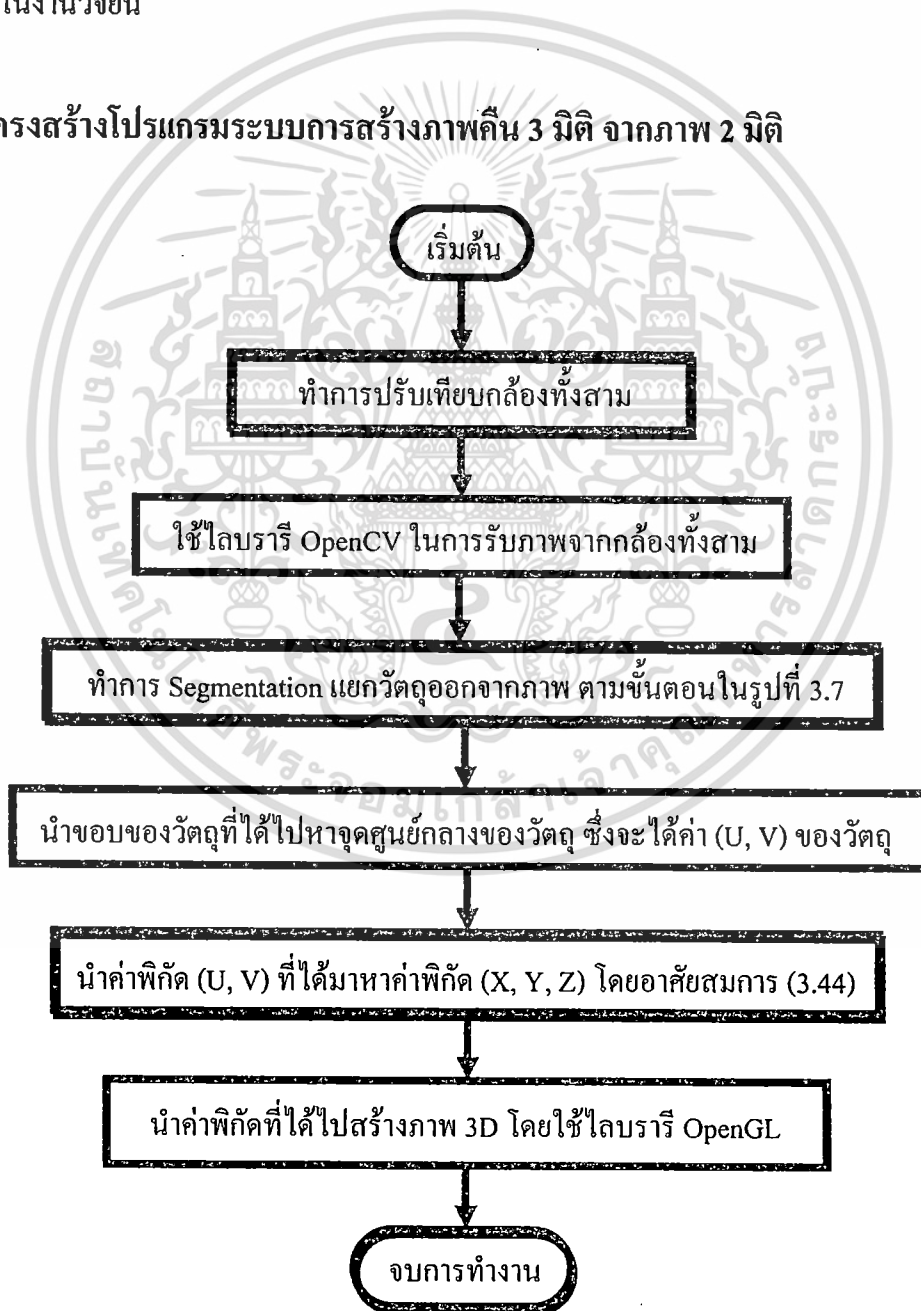
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบโปรแกรม

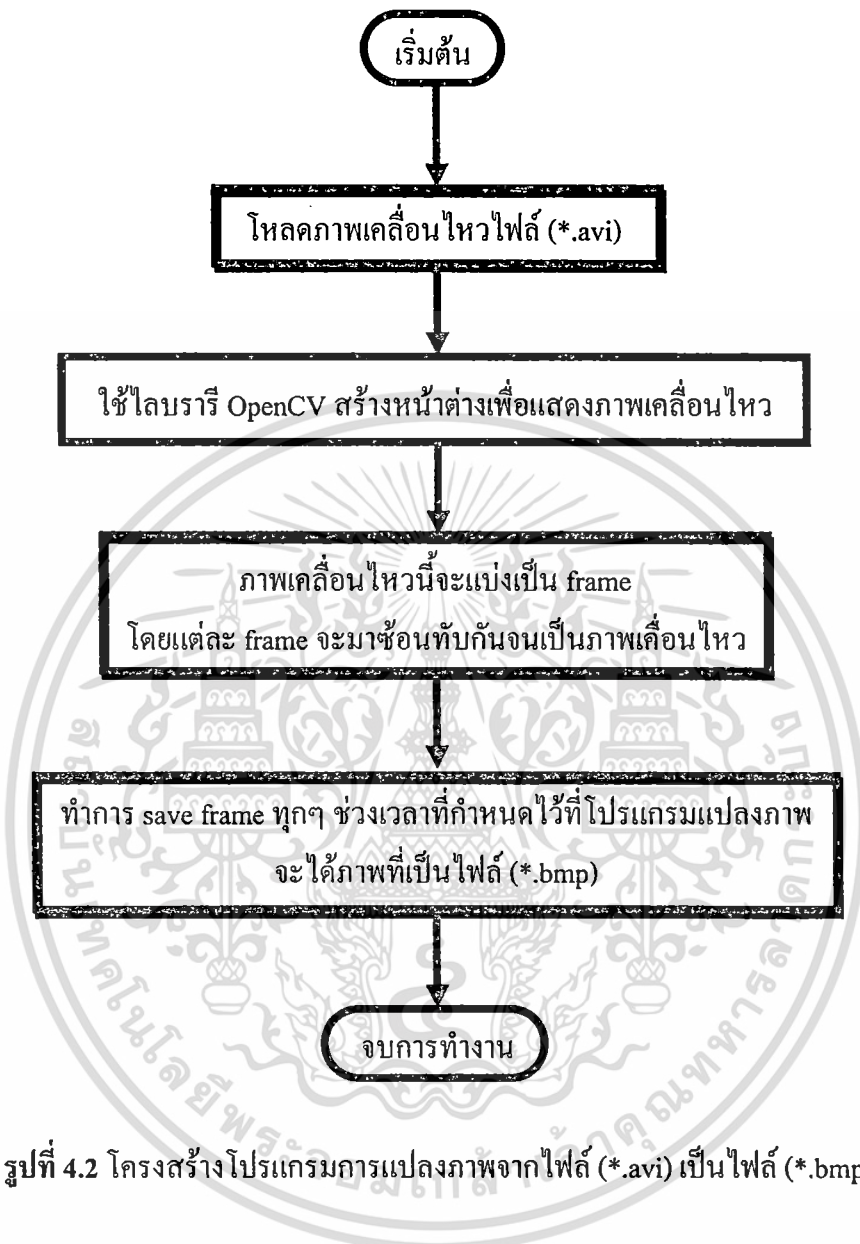
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างโปรแกรม และขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เช่น โครงสร้างโปรแกรมระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพ โครงสร้างโปรแกรมการปรับเทียบกล้อง (Calibration) ขั้นตอนกระบวนการปรับเทียบกล้อง และโครงสร้างโปรแกรมการสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ ซึ่งทั้งหมดเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้

#### 4.1 โครงสร้างโปรแกรมระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ



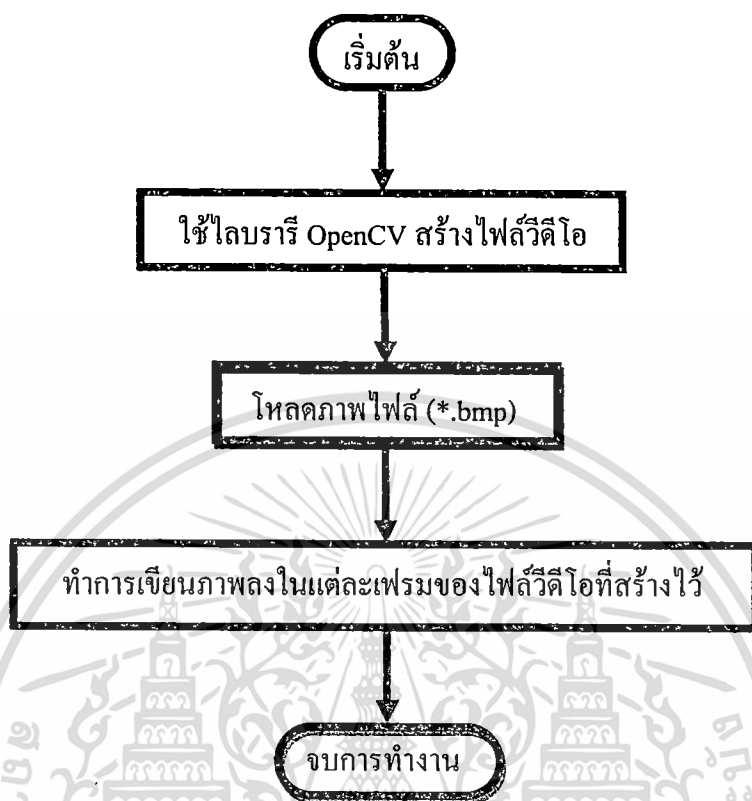
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.1 โครงสร้างโปรแกรมระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (\*.avi) เป็นไฟล์ (\*.bmp)



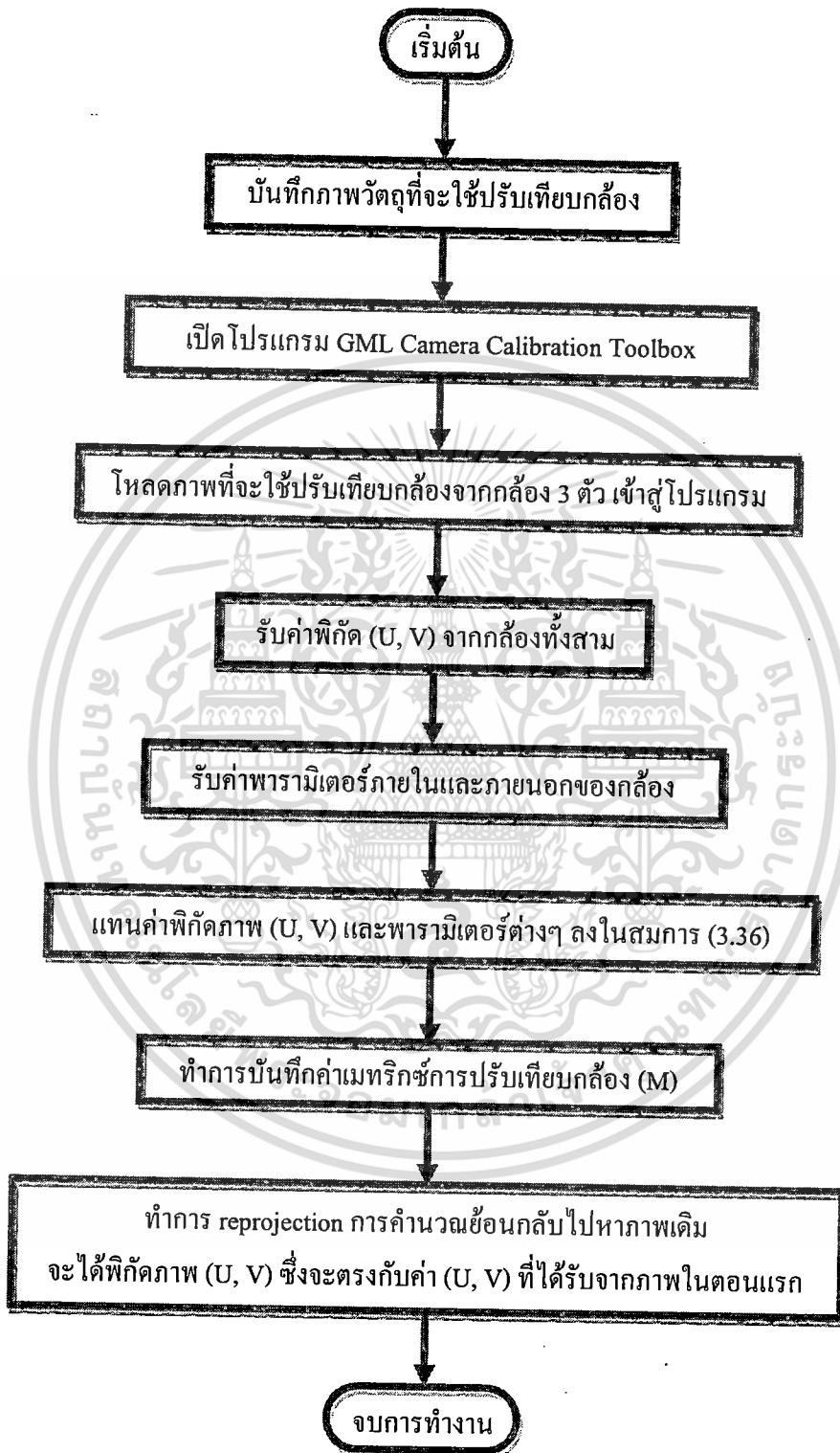
รูปที่ 4.2 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (\*.avi) เป็นไฟล์ (\*.bmp)

### 4.3 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (\*.bmp) เป็นไฟล์ (\*.avi)



รูปที่ 4.3 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (\*.bmp) เป็นไฟล์ (\*.avi)

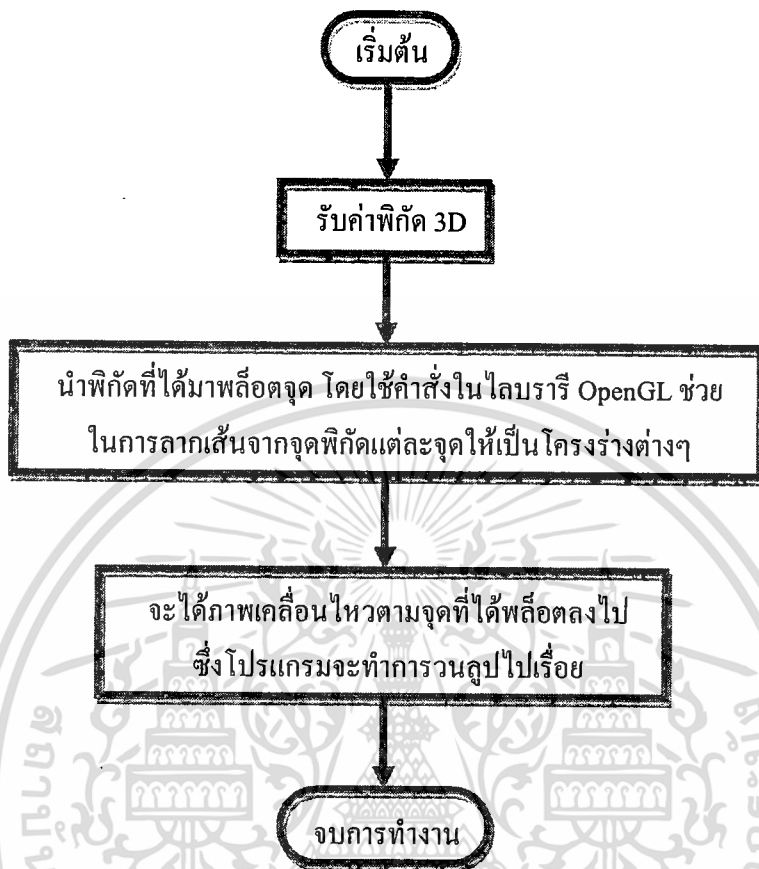
#### 4.4 โครงสร้างโปรแกรมการปรับเทียบกล้อง



รูปที่ 4.4 โครงสร้างโปรแกรมการปรับเทียบกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 โครงสร้างโปรแกรมการสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ



รูปที่ 4.5 โครงสร้างโปรแกรมการสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ

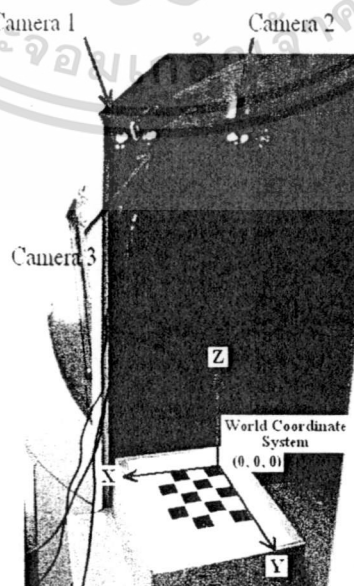
## บทที่ 5

### การทดลอง และผลการทดลอง

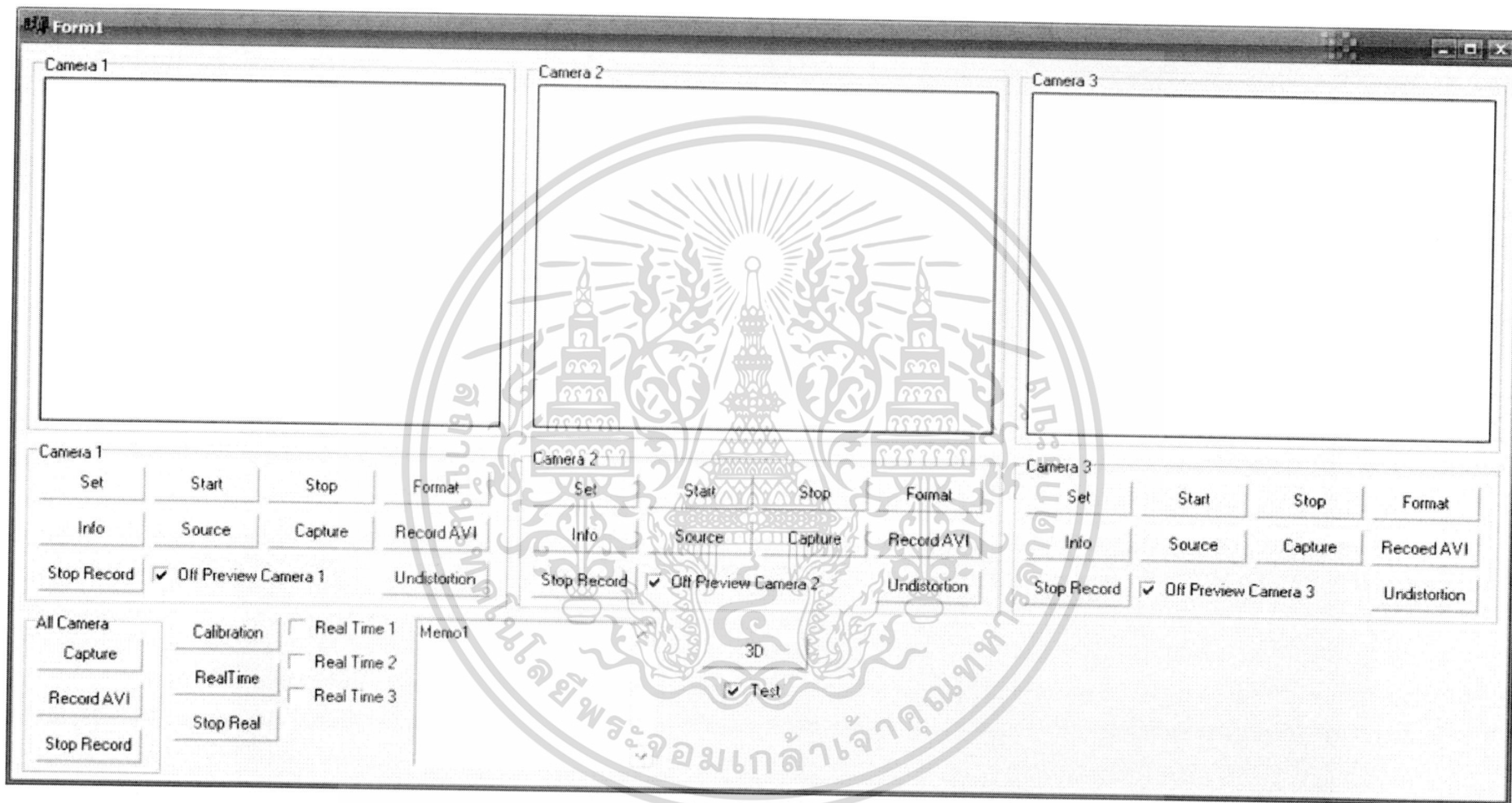
ในบทที่ 5 นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การทดลอง และผลการทดลองในงานวิจัยนี้ เช่น การปรับเทียบกล้อง การหาพิกัด (U, V) ของแบบจำลอง และการหาพิกัด 3 มิติของแบบจำลอง

#### 5.1 อุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

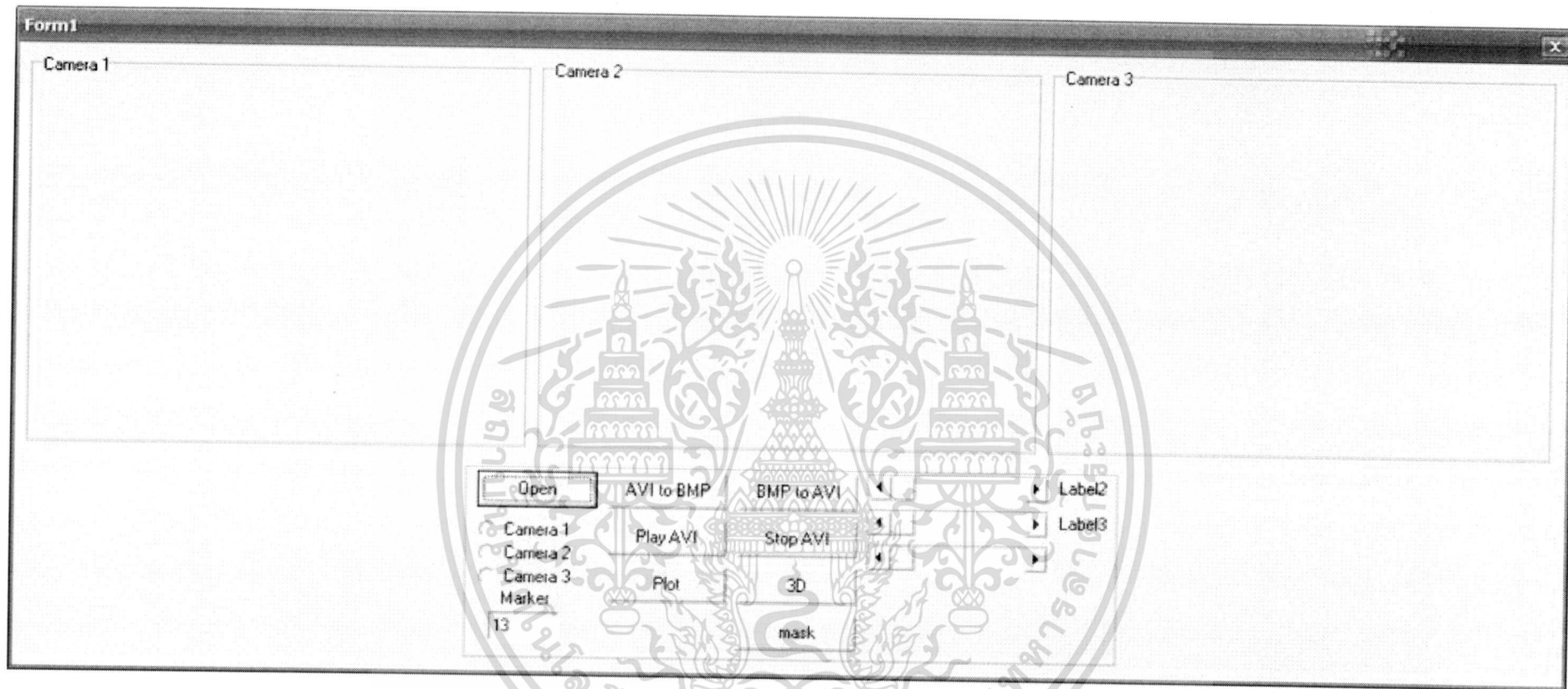
1. Personal Computer ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ Intel® Core™ 2 Quad CPU Q6600 @ 2.4GHz, RAM of 1.5GB, Windows XP® Service Pack 3 operating system และ wide screen LCD ACER® monitors P193W[23]
2. กล้อง USB PC Camera 3 ตัว รุ่น Vimicro USB PC Camera (ZC0301PL)
3. โปรแกรม C++ Builder Development Environment
4. โปรแกรม Matlab version 2007a
4. โปรแกรม VideoOCX
5. โปรแกรม GML Camera Calibration Toolbox [24]
6. ไลบรารี OpenCV เป็น Open Source Computer Vision Library ของ Intel®
7. ไลบรารี OpenGL (Open Graphics Library)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งของแบบจำลอง และกล้องทั้ง 3 ที่ใช้ในงานวิจัยที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 หน้าต่างโปรแกรมการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ



รูปที่ 5.3 หน้าต่างโปรแกรมแปลงไฟล์ภาพ

## 5.2 ขั้นตอนการทดลอง และผลการทดลอง

### 5.2.1 การปรับเทียบกล้อง

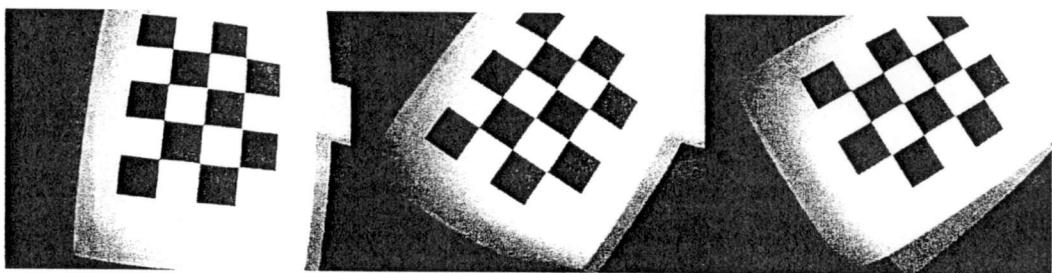
การปรับเทียบกล้องใช้ในการวิเคราะห์ และประมวลผลภาพ 3 มิติของวัตถุ ในส่วนของการวิเคราะห์ภาพวัตถุจะทำการบันทึกภาพโดยใช้กล้อง 3 ตัว ที่วางรอบๆ วัตถุ กล้องแต่ละตัวจะใช้สมการ Calibration (3.36) ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายของวัตถุ ซึ่งเราจะได้ค่าพารามิเตอร์ภายในและพารามิเตอร์ภายนอก เพื่อนำมาพิจารณาการปรับเทียบโดยใช้กล้องหลายตัว โดยค่าที่ได้ในการปรับเทียบกล้องประกอบด้วยค่าเมทริกซ์  $M$  ซึ่งเป็นการคำนวณ projection matrix โดยค่า  $M$  นี้สามารถแยกออกได้เป็นดังนี้

1. เมทริกซ์  $K$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงพารามิเตอร์ที่อยู่ภายในกล้องแต่ละตัว
2. เมทริกซ์  $R$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงข้อมูลในการหมุนของวัตถุในแนวแกน  $X, Y$  และ  $Z$
3. เวกเตอร์  $T$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงข้อมูลในการเลื่อนของวัตถุในแนวแกน  $X, Y$  และ  $Z$

เมื่อเราทำการคำนวณ projection matrix  $M$  แล้วก็จะทำการ reprojection การคำนวณย้อนกลับไปหาภาพเดิม จะได้พิกัดภาพ  $(U, V)$  ซึ่งจะตรงกับค่า  $(U, V)$  ที่ได้รับจากภาพในตอนแรก

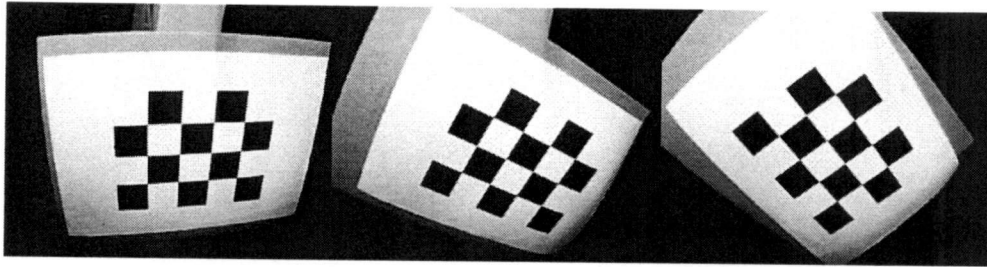


รูปที่ 5.4 ภาพตารางหมากรุกที่ใช้ในการปรับเทียบกล้องของกล้องที่ 1

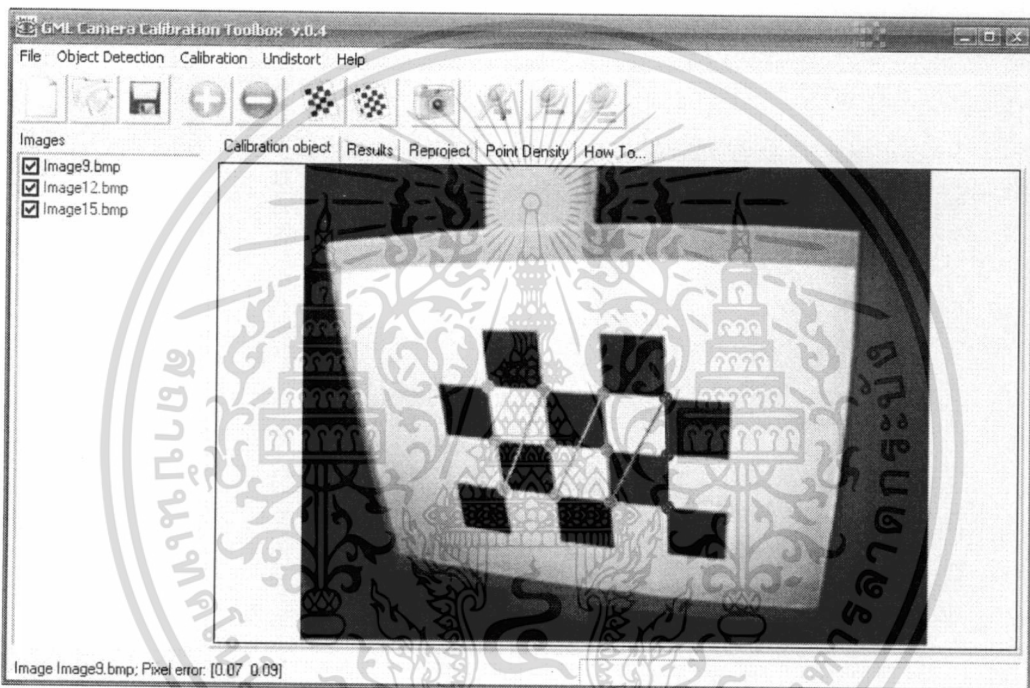


รูปที่ 5.5 ภาพตารางหมากรุกที่ใช้ในการปรับเทียบกล้องของกล้องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

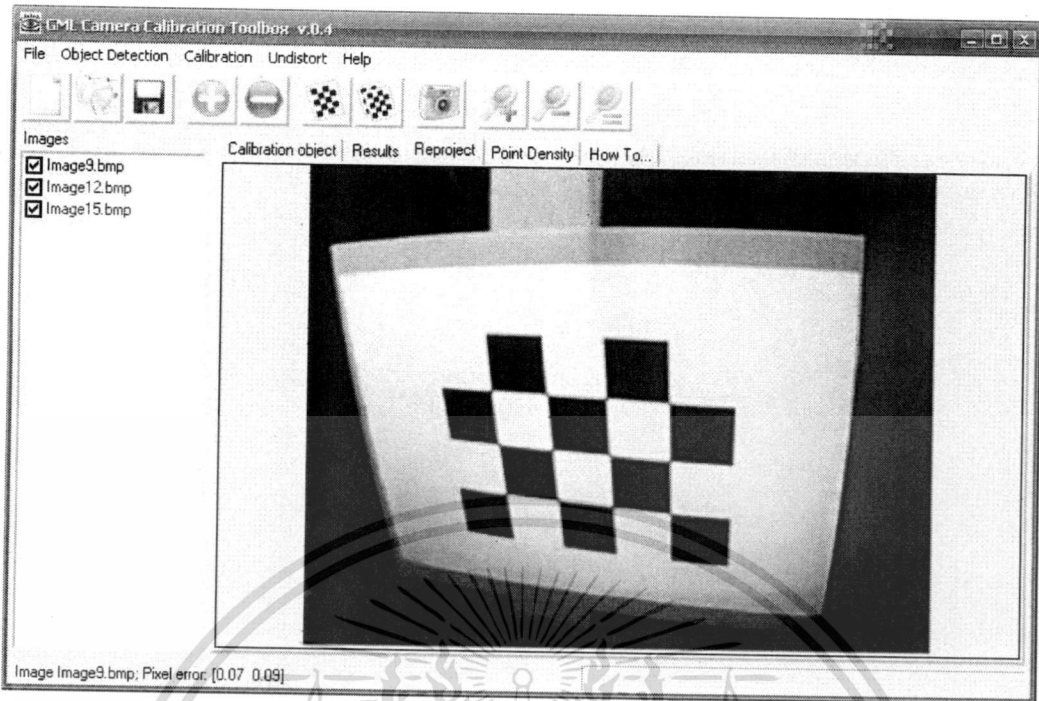


รูปที่ 5.6 ภาพตารางหมากรุกที่ใช้ในการปรับเทียบกล้องของกล้องที่ 3

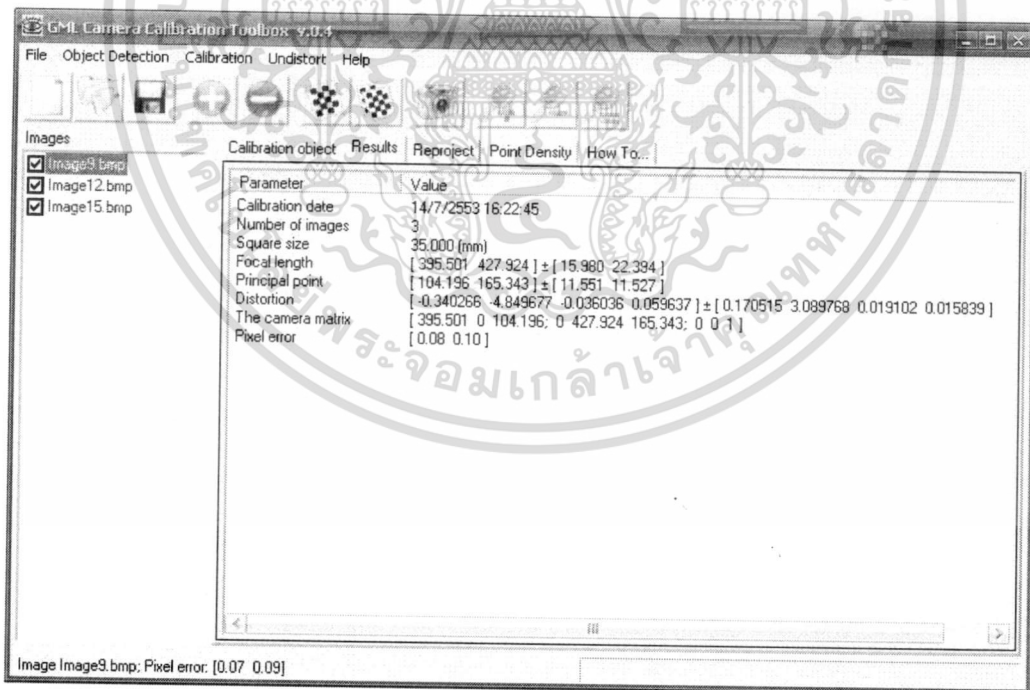


รูปที่ 5.7 กระบวนการ reprojection แสดงจุดอ้างอิงของกล้องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

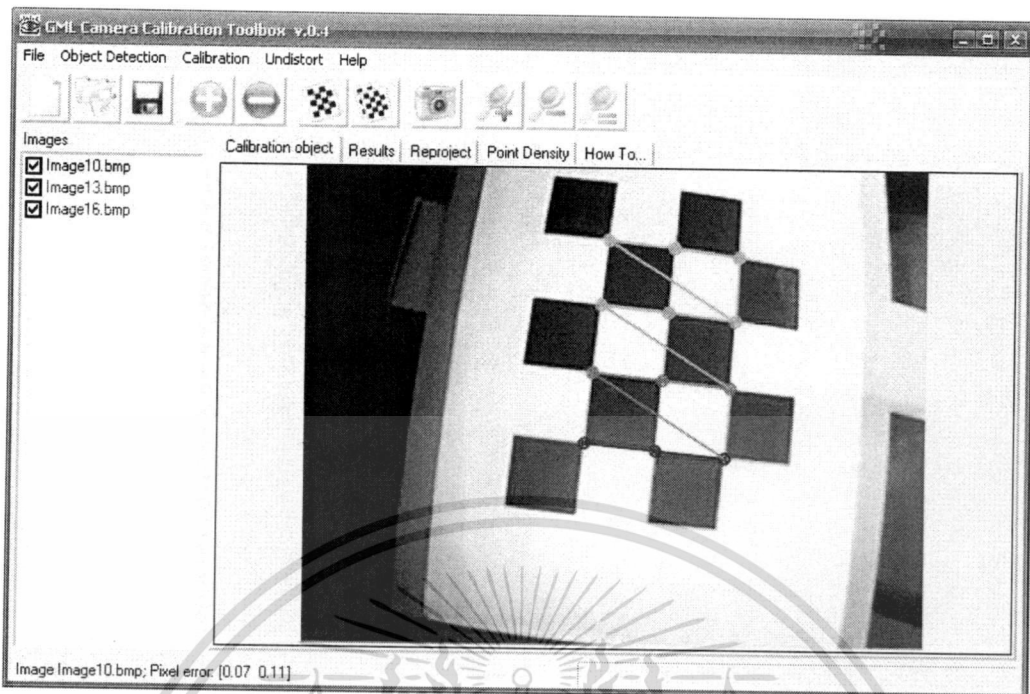


รูปที่ 5.8 กระบวนการ reprojection แสดง Reprojected ภาพของจุดอ้างอิงของกล้องที่ 1

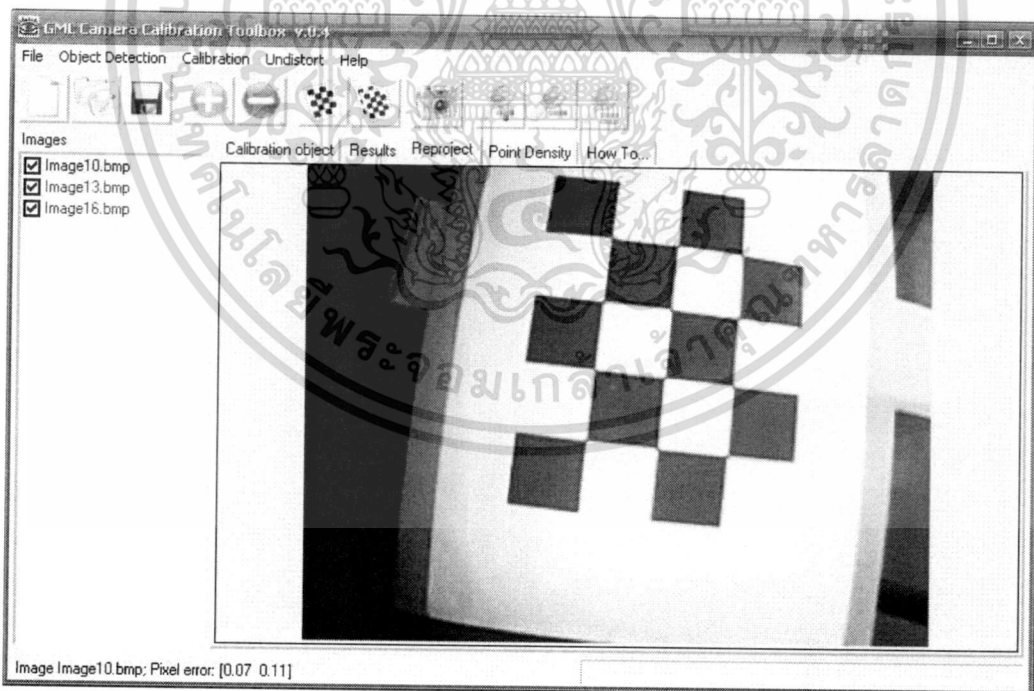


รูปที่ 5.9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

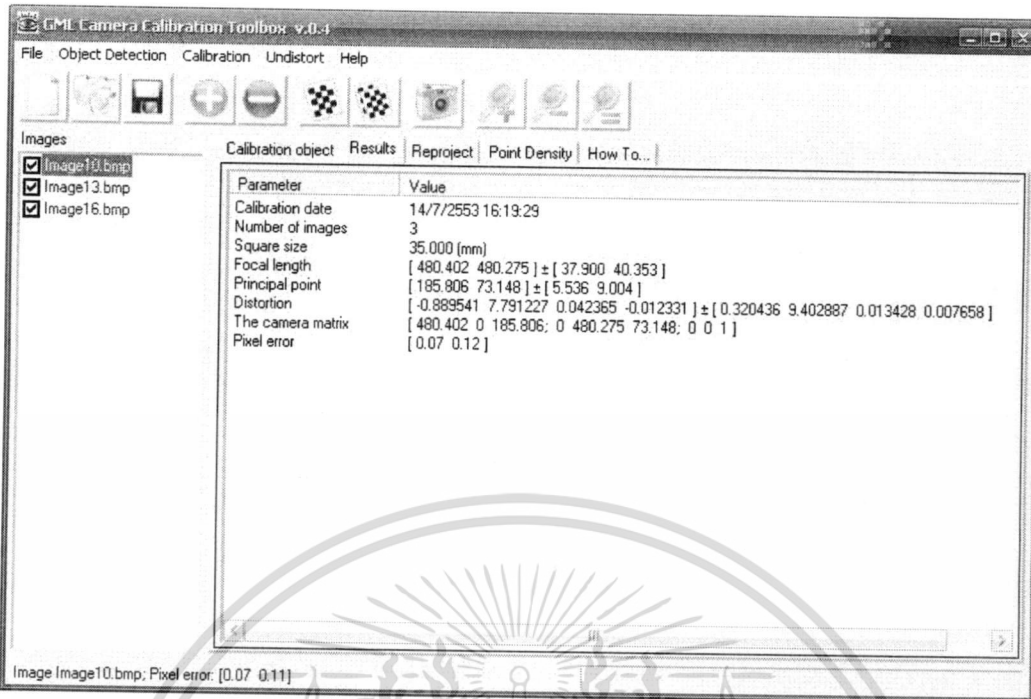


รูปที่ 5.10 กระบวนการ reprojection แสดงจุดอ้างอิงของกล้องที่ 2

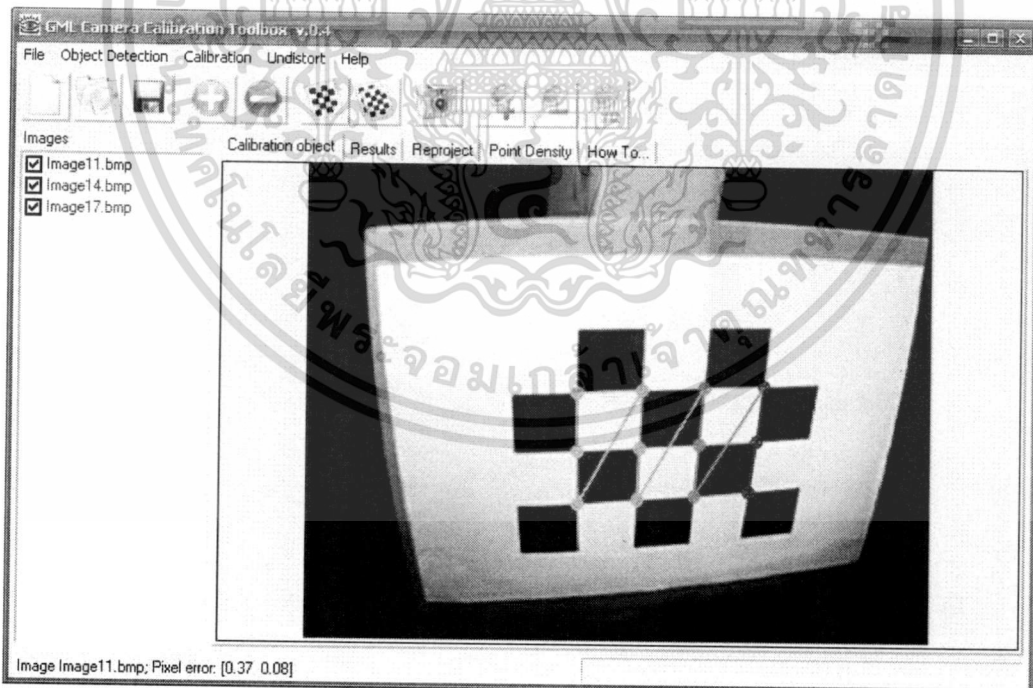


รูปที่ 5.11 กระบวนการ reprojection แสดง Reprojected ภาพของจุดอ้างอิงของกล้องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

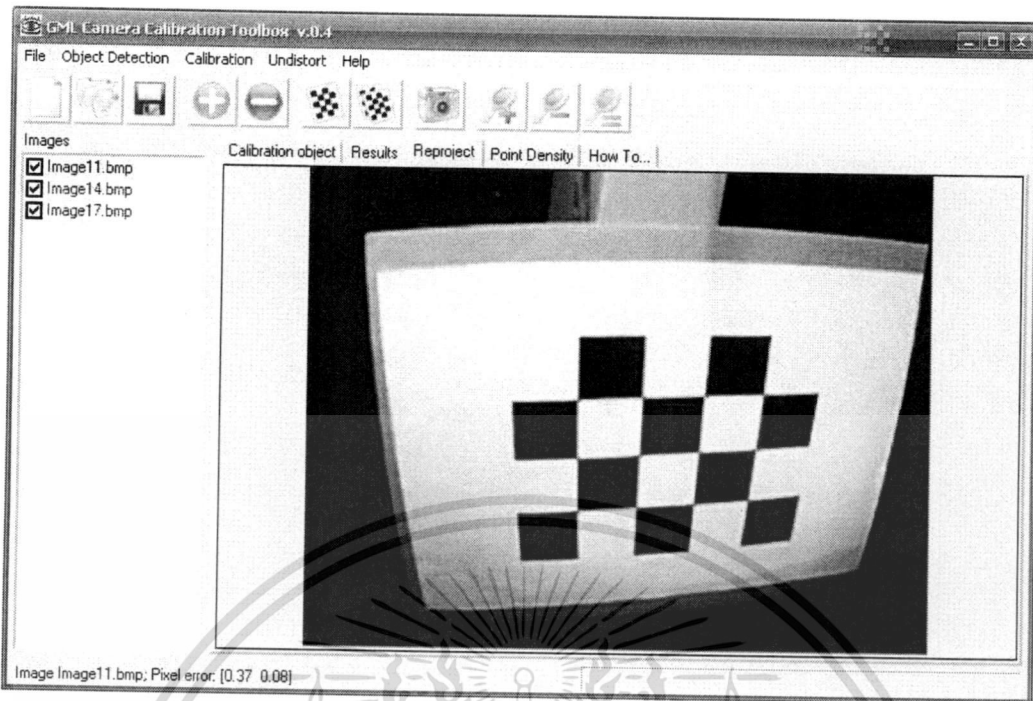


รูปที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องที่ 2

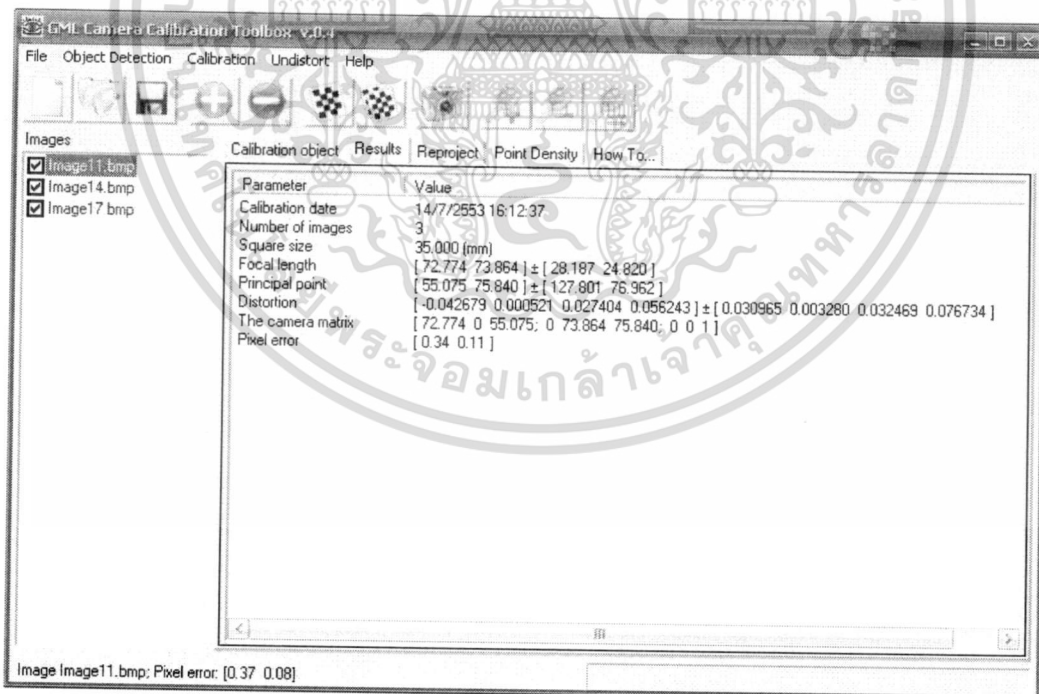


รูปที่ 5.13 กระบวนการ reprojection แสดงจุดอ้างอิงของกล้องที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 กระบวนการ reprojection แสดง Reprojected ภาพของจุดอ้างอิงของกล้องที่ 3



รูปที่ 5.15 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล็อง ที่	K			R			T
1	395.5007	0	104.1962	-0.9271	-0.0973	0.3619	-79.2115
	0	427.9239	165.3431	-0.1503	-0.7882	-0.5969	298.3944
	0	0	1	0.3433	-0.6077	0.7161	-362.9242
2	480.4020	0	185.8058	0.0855	-0.9556	0.2820	-67.4056
	0	480.2749	73.1475	0.9908	0.1113	0.0769	-2.6641
	0	0	1	-0.1049	0.2728	0.9563	-458.5288
3	72.77	0	55.08	-0.9948	0.0898	-0.0485	192.3972
	0	73.86	75.84	-0.0829	-0.9880	-0.1304	127.0037
	0	0	1	-0.0596	-0.1257	0.9903	-75.9774

นำค่าพารามิเตอร์ในตารางไปแทนค่าในสมการ (3.36) จะได้เมทริกซ์  $M$  ดังนี้

$$M_1 = \begin{bmatrix} -330.9002 & -101.8182 & 217.7514 & -69143.5225 \\ -7.5293 & -437.7537 & -137.0119 & 67683.0909 \\ 0.3433 & -0.6077 & 0.7161 & -362.9242 \end{bmatrix}$$

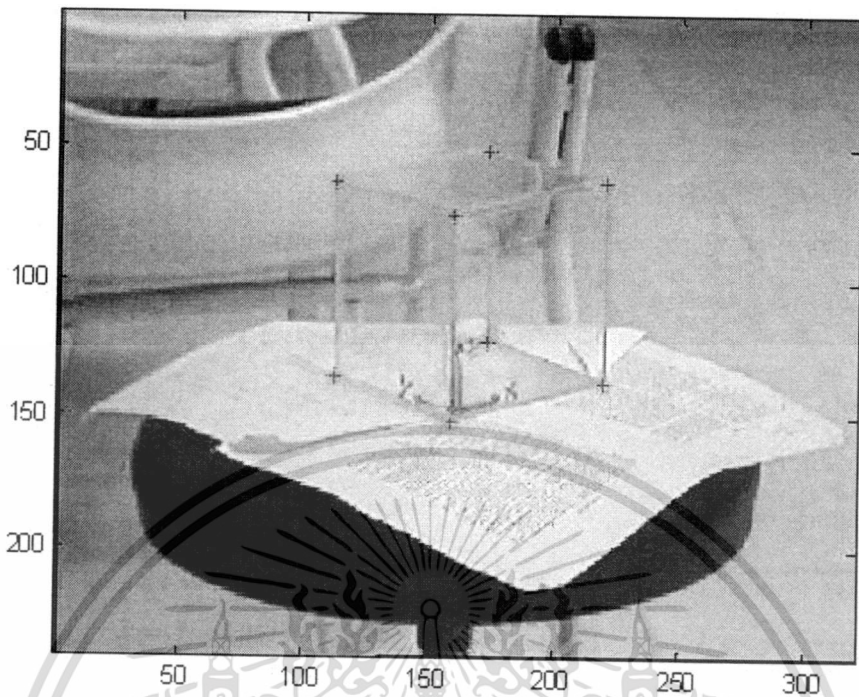
$$M_2 = \begin{bmatrix} 21.5744 & -408.3678 & 313.1772 & -117579.142 \\ 468.1800 & 73.4384 & 106.9059 & -34819.7501 \\ -0.1049 & 0.2728 & 0.9563 & -458.5288 \end{bmatrix}$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} -75.6732 & -0.3860 & 51.0166 & 9815.9105 \\ -10.6420 & -82.5064 & 65.4709 & 3618.3670 \\ -0.0596 & -0.1257 & 0.9903 & -75.9774 \end{bmatrix}$$

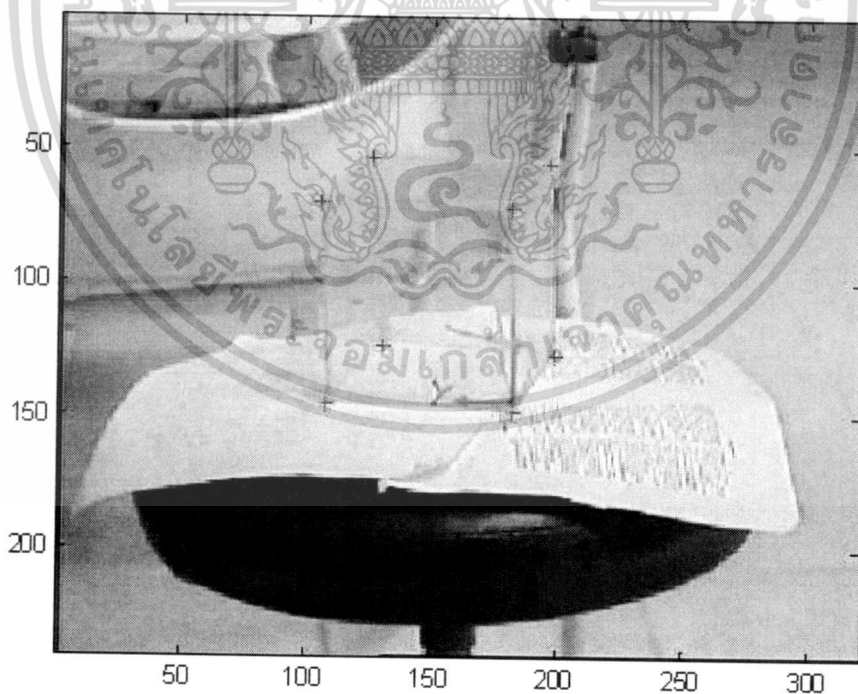
## 5.2.2 การหาพิกัด (U, V) ของแบบจำลอง

การหาพิกัด (U, V) ของแบบจำลอง โดยใช้ไลบรารี OpenCV ในการเชื่อมต่อกับกล้อง เพื่อบันทึกภาพแบบจำลองเป็นไฟล์ (\*.bmp) หรือ (\*.avi) ซึ่งส่วนของแบบจำลองหรือข้อต่อของวัตถุจะถูกติดด้วย Marker ทำการโหลดภาพเข้าสู่โปรแกรม แล้วทำการหาพิกัด (U, V) ของ Marker ในแบบจำลอง

ส่วนโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (\*.avi) เป็นไฟล์ (\*.bmp) โครงสร้างโปรแกรมการแปลงภาพจากไฟล์ (\*.bmp) เป็นไฟล์ (\*.avi) นั้นเราเพิ่มเข้ามาเพื่อความสะดวกในการทำงานอื่นๆ

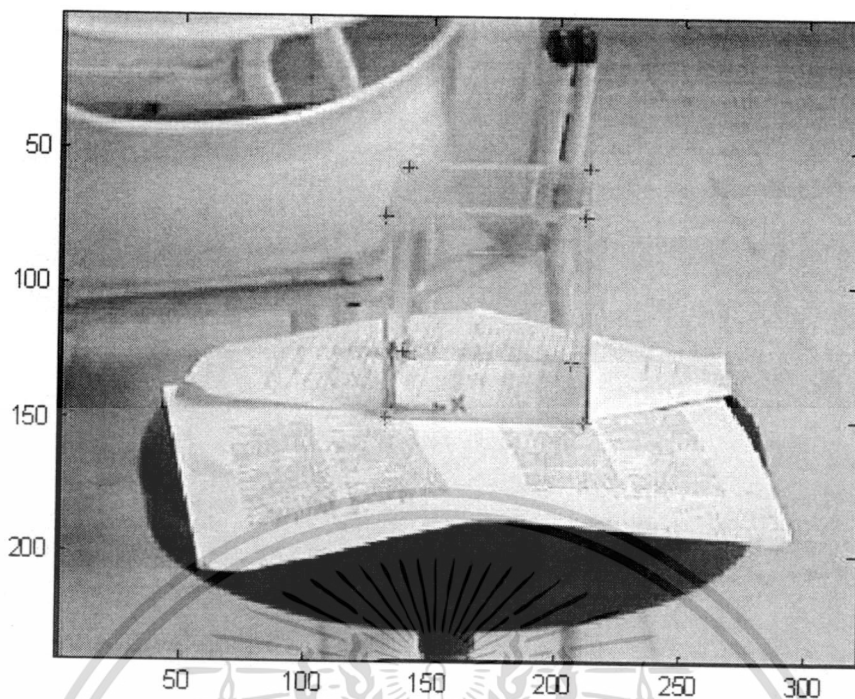


รูปที่ 5.16 ผลการ Reprojection (+: จุดอ้างอิง, o: Reprojected ภาพจุดอ้างอิง) ของกล้องที่ 1



รูปที่ 5.17 ผลการ Reprojection (+: จุดอ้างอิง, o: Reprojected ภาพจุดอ้างอิง) ของกล้องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ผลการ Reprojection (+: จุดอ้างอิง, o: Reprojected ภาพจุดอ้างอิง) ของกล้องที่ 3

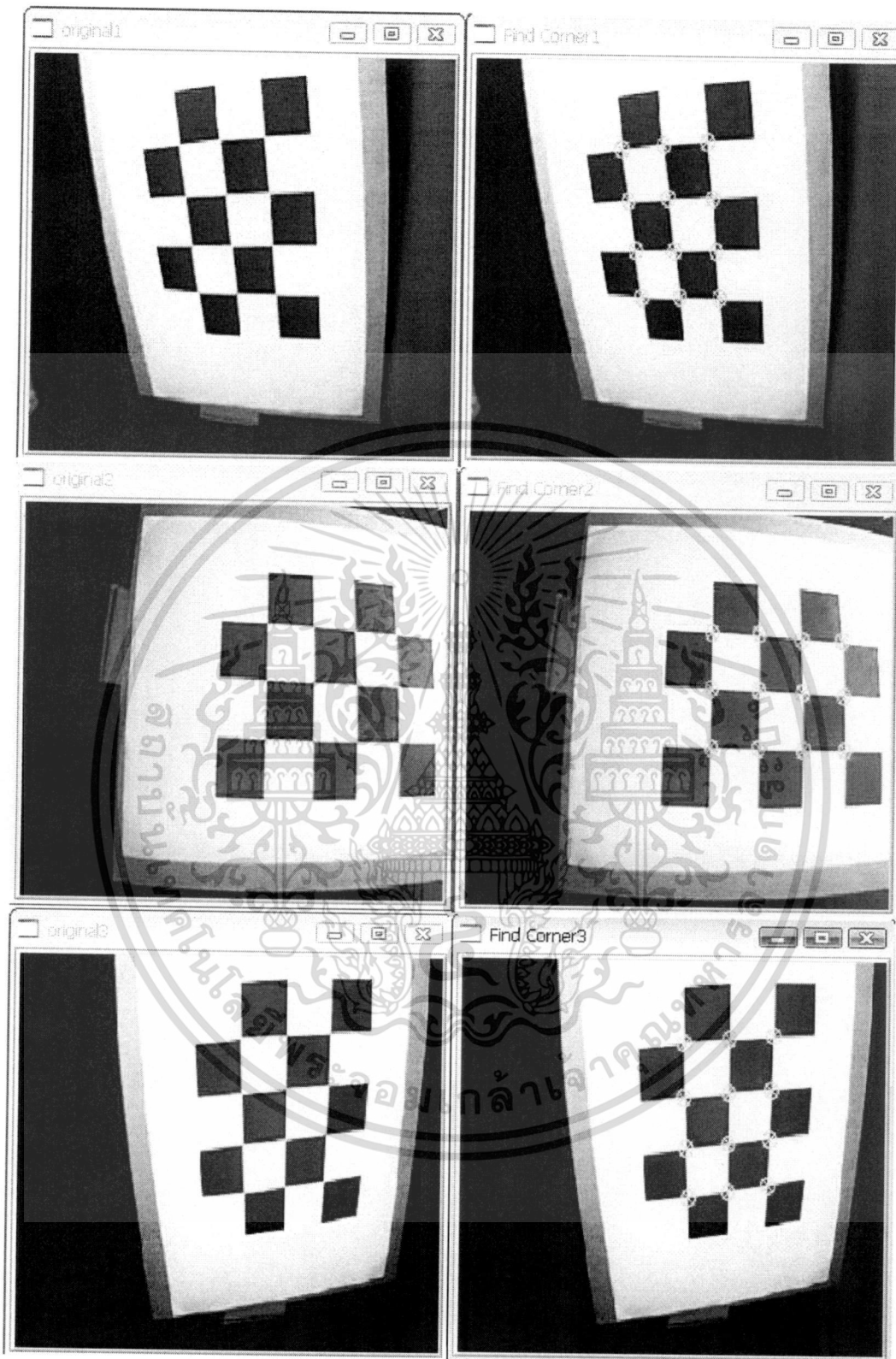
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าพิกัดของกล้อง

UV1		UV2		UV3		XYZ		
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Z
158.6567	152.4298	182.2512	148.9211	132.1129	149.6228	0.0069	0.0249	-0.0282
219.1175	137.693	198.4724	127.8684	211.0069	151.0263	10.7329	0.1707	-0.0451
172.6659	122.2544	130.6382	123.6579	205.8456	128.5702	10.2678	10.1735	0.0384
112.2051	135.5877	107.7811	145.4123	138.7488	124.3596	-0.0208	10.6104	0.0428
159.394	75.2368	181.5138	72.4298	131.3756	74.5351	-0.0728	-0.1626	10.5259
219.8548	63.307	196.2604	55.5877	211.0069	74.5351	10.3426	-0.0251	10.5316
172.6659	51.3772	125.477	53.4825	212.4816	56.2895	10.6638	10.6853	10.4797
112.2051	63.307	105.5691	70.3246	140.2235	56.2895	0.0832	10.5309	10.46

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองประสิทธิภาพการหาปริมาตรของวัตถุ

ค่าจริง	ค่าจากการทดลอง	% ความผิดพลาด
1175.625 cm <sup>3</sup>	1180.79636 cm <sup>3</sup>	2.002

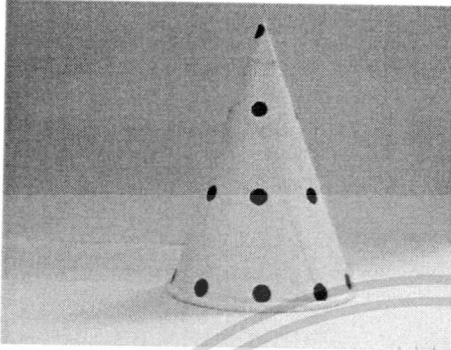
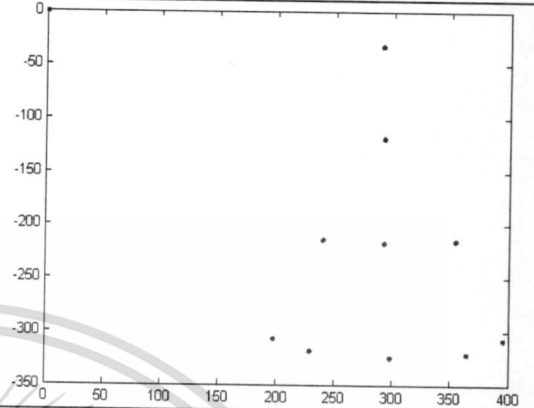
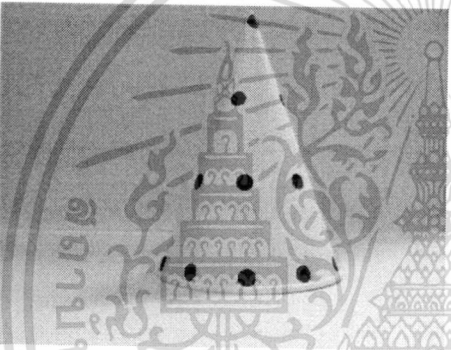
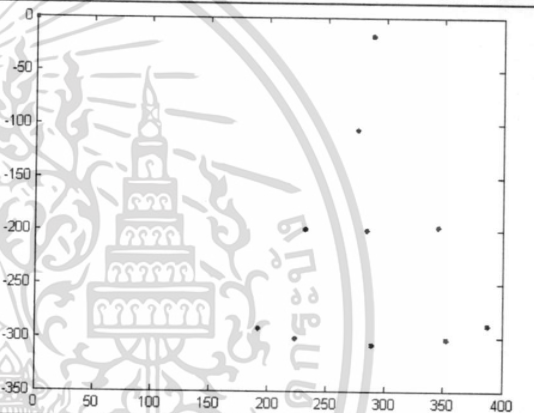

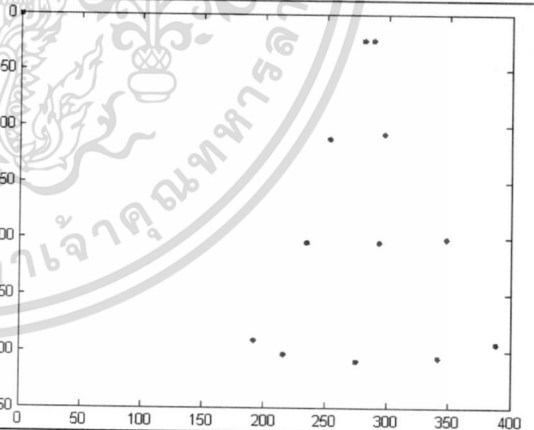
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 แสดงพิกัด (U, V) ของตารางหมากรุกทั้ง 3 กล้อง


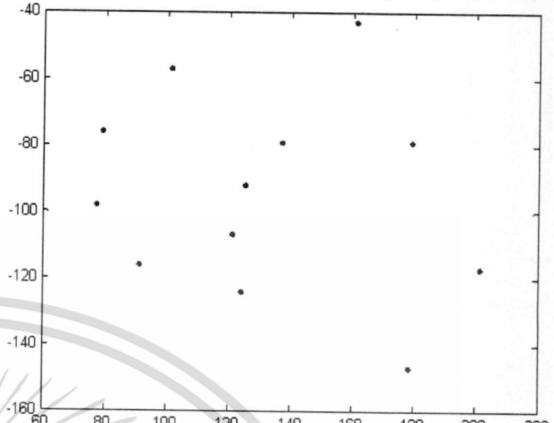

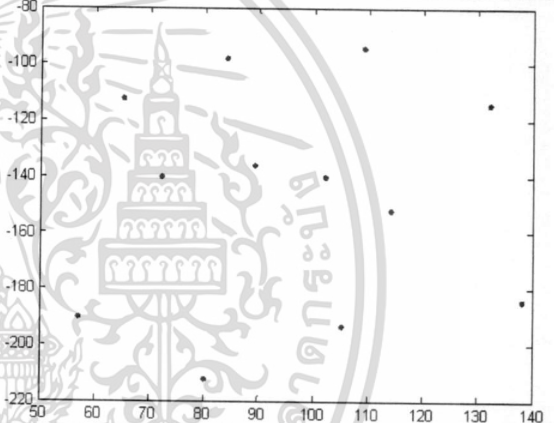
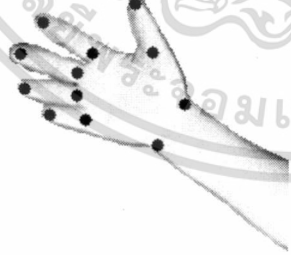
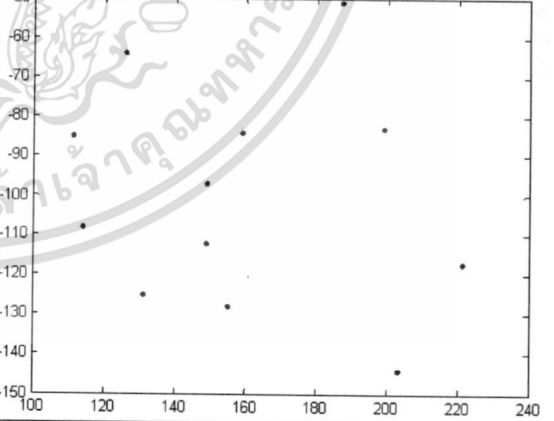
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker

กลิ้ง ที่	ภาพแบบจำลองที่ติด Marker	ภาพพิกัด (U, V) ของ Marker
1		
2		
3		


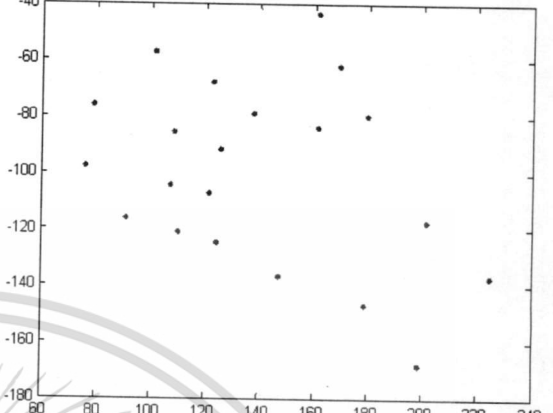

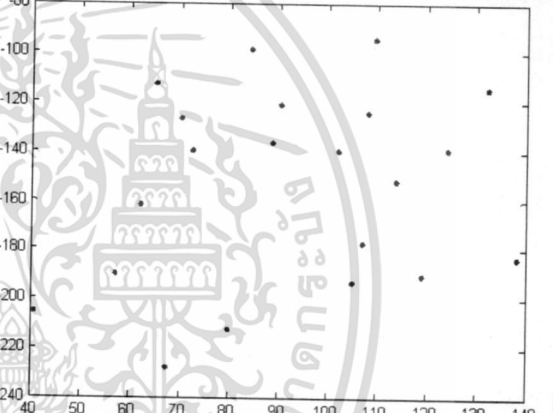
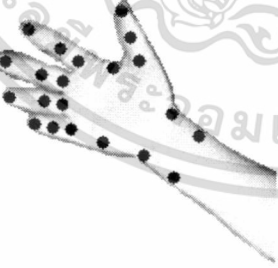
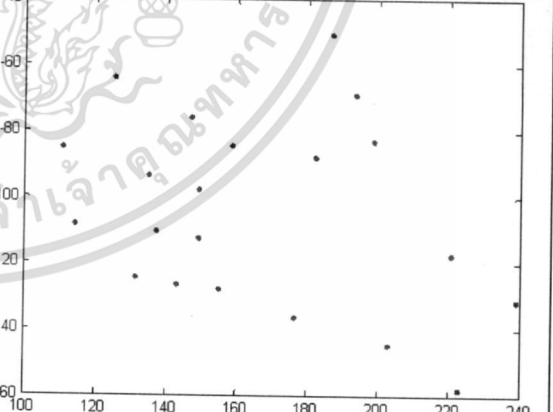
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker

กลิ้ง ที่	ภาพแบบจำลองที่ติด Marker	ภาพพิกัด (U, V) ของ Marker
1	 <p>camera 1</p>	
2	 <p>camera 2</p>	
3	 <p>camera 3</p>	

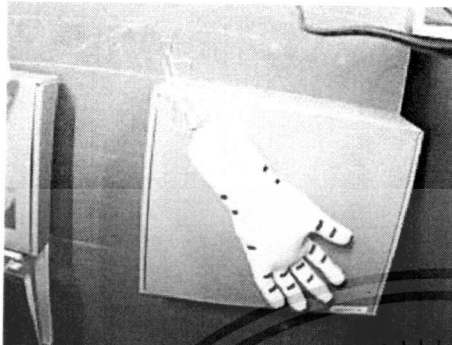
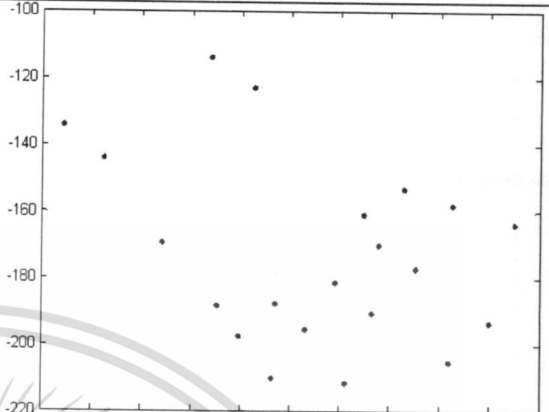

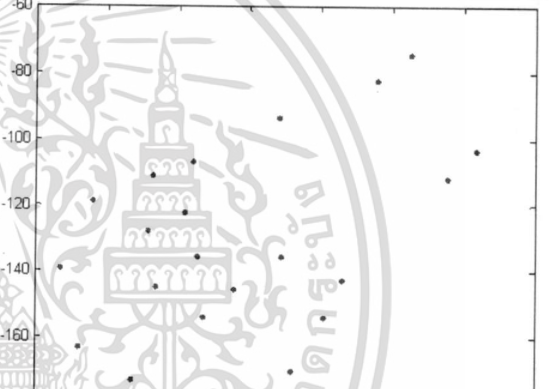
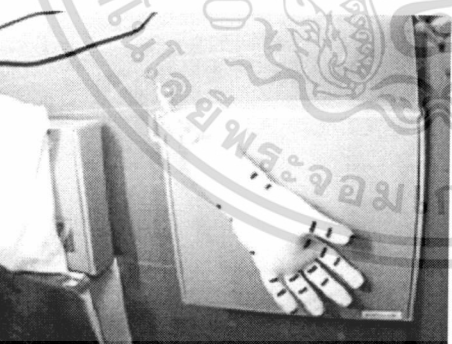
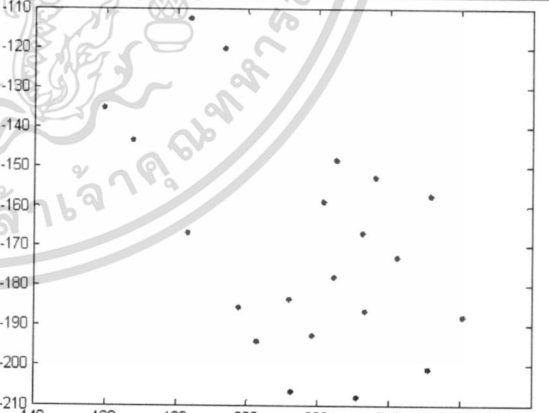
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker

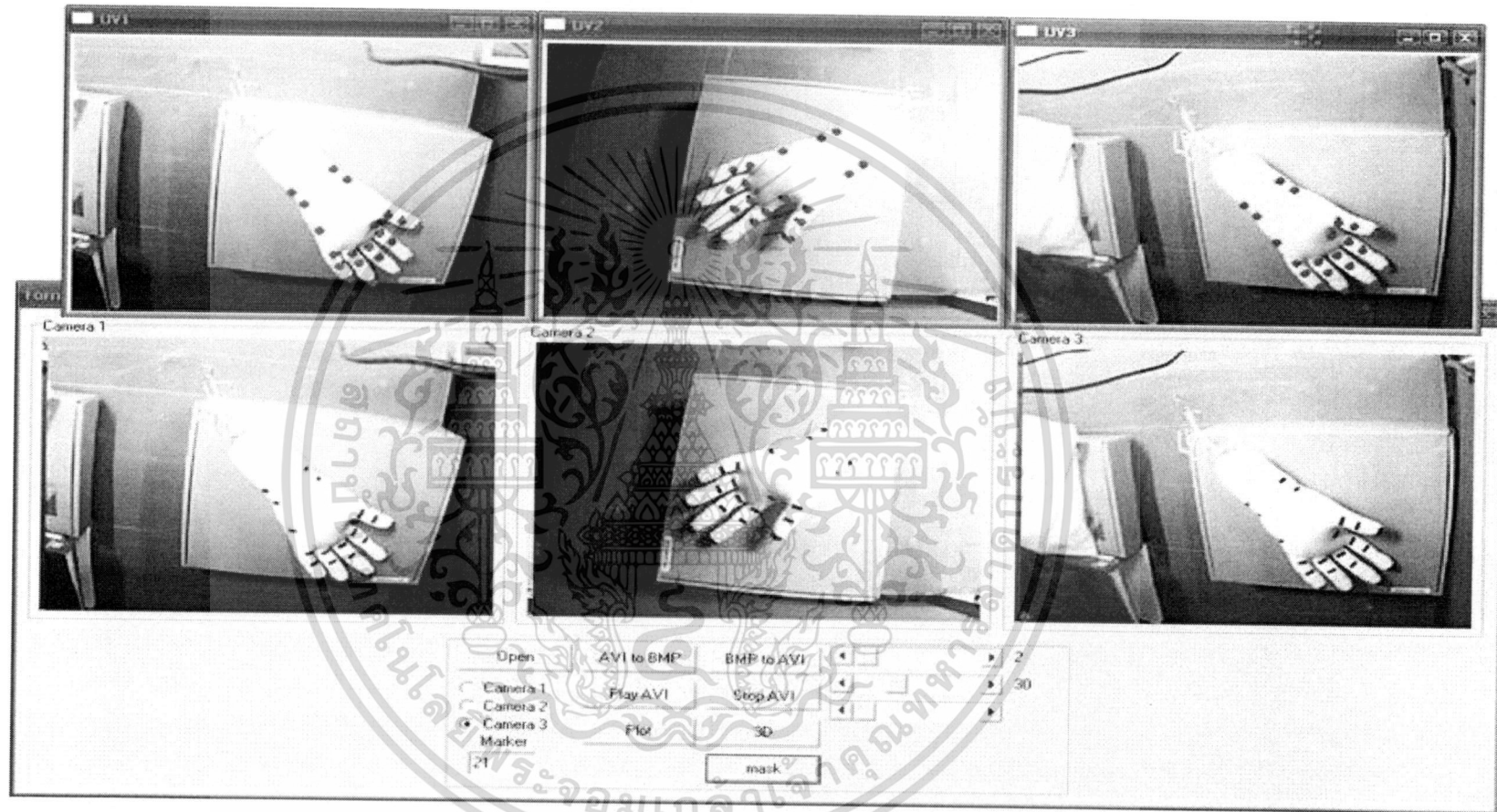
กลอง ที่	ภาพแบบจำลองที่ติด Marker	ภาพพิกัด (U, V) ของ Marker
1	 <p>camera 1</p>	
2	 <p>camera 2</p>	
3	 <p>camera 3</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

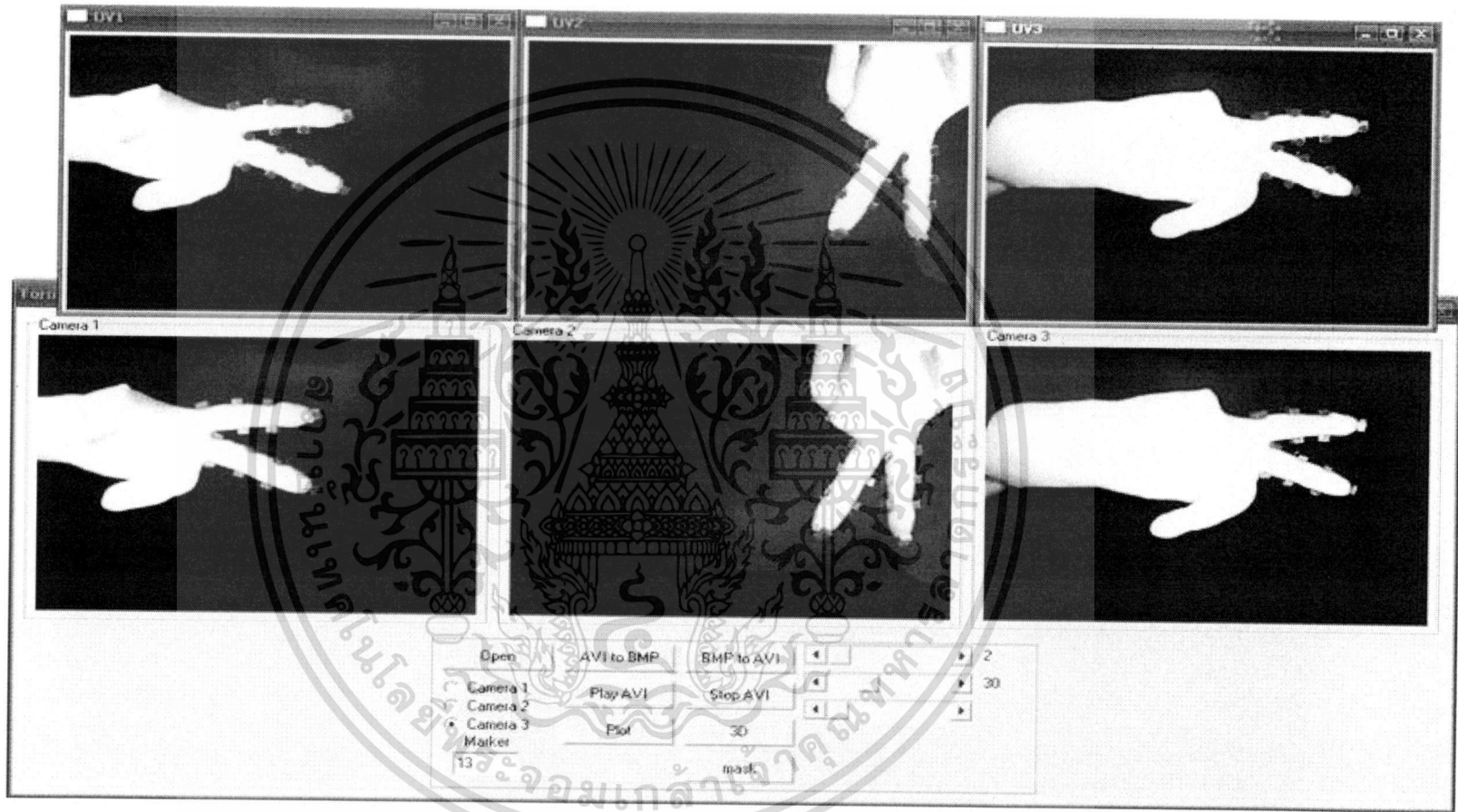
ตารางที่ 5.7 แสดงภาพแบบจำลองที่ติด Marker และภาพพิกัด (U, V) ของ Marker

กลิ้ง ที่	ภาพแบบจำลองที่ติด Marker	ภาพพิกัด (U, V) ของ Marker
1		
2		
3		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



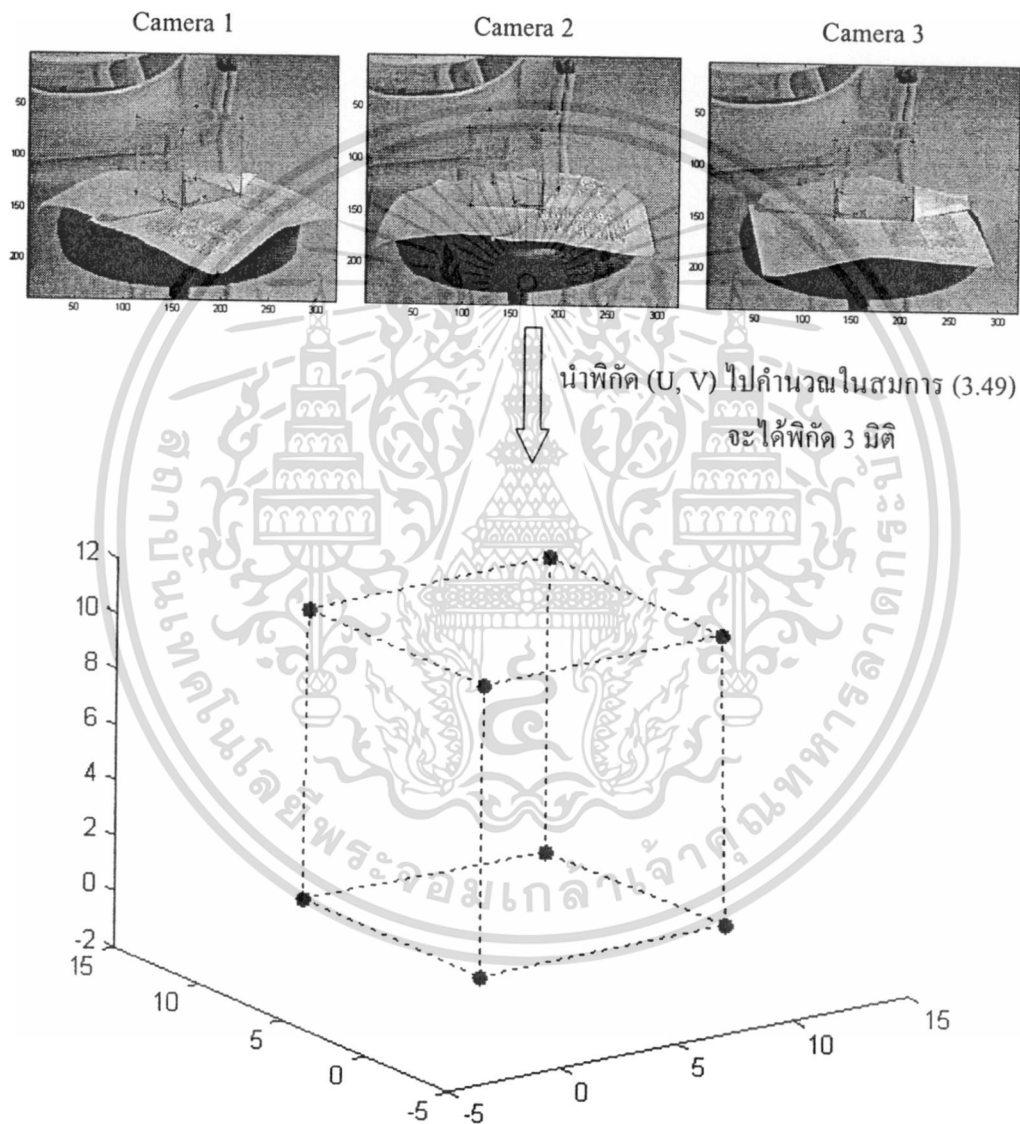
รูปที่ 5.20 แสดงพิกัด (U, V) ของแบบจำลองทั้ง 3 กล้อง



รูปที่ 5.21 แสดงพิกัด (U, V) ของแบบจำลองทั้ง 3 กล้อง

### 5.2.3 การหาพิกัด 3 มิติของแบบจำลอง

การหาพิกัด 3 มิติของแบบจำลอง โดยใช้กล้อง 3 ตัวในการบันทึกวีดีโอของวัตถุ ส่วนต่างๆ ของวัตถุที่ติดด้วย Marker คำนวณหาพิกัด 3 มิติของ Marker โดยใช้เทคนิค Direct Linear Transform (DLT) โดยนำเมทริกซ์  $M$  และพิกัด  $(U, V)$  จากการทดลองก่อนหน้านี้ไปคำนวณในสมการ (3.49) จะได้พิกัด 3 มิติของ Marker ที่ติดบนวัตถุ แล้วใช้ไลบรารี OpenGL ช่วยในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากพิกัด 3 มิติ ที่ได้จากการคำนวณ



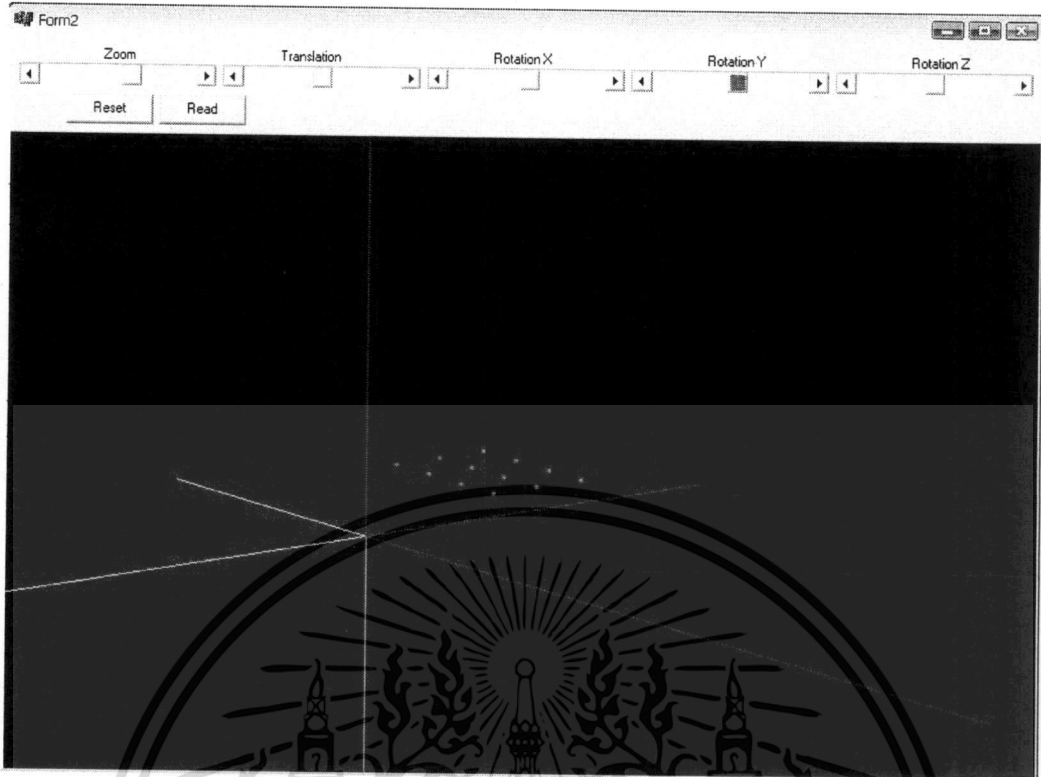
รูปที่ 5.22 พิกัด 3 มิติของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

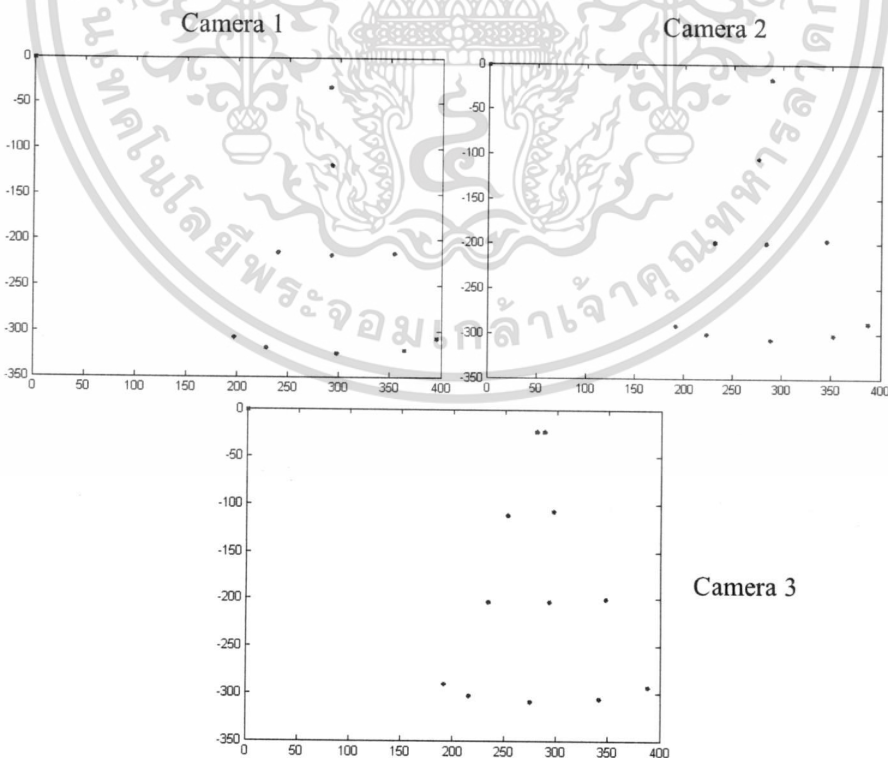


รูปที่ 5.23 พิกัด 3 มิติของตารางหมากรุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

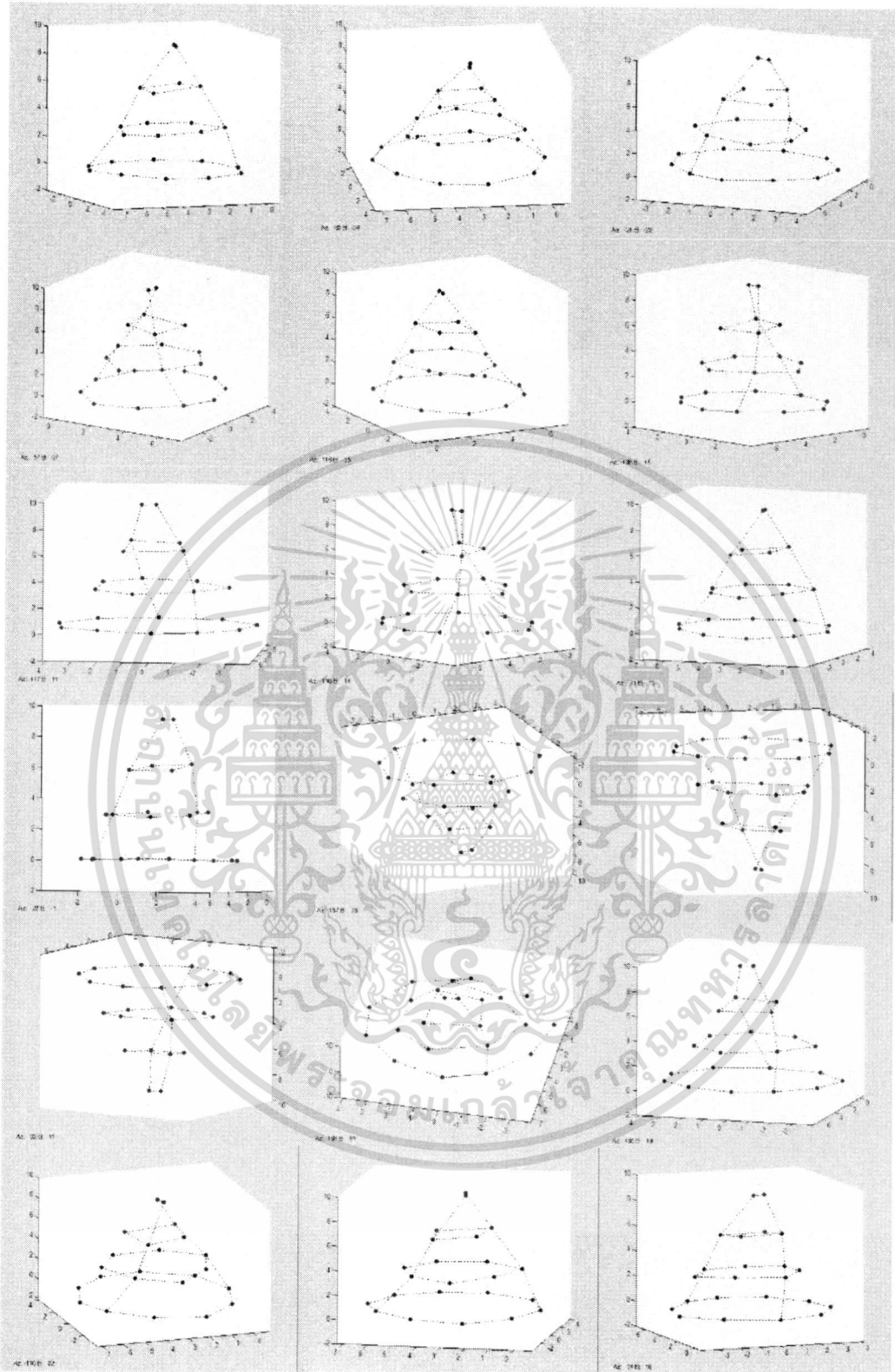


รูปที่ 5.24 พิกัด 3 มิติของดาวทรงกลมกรก



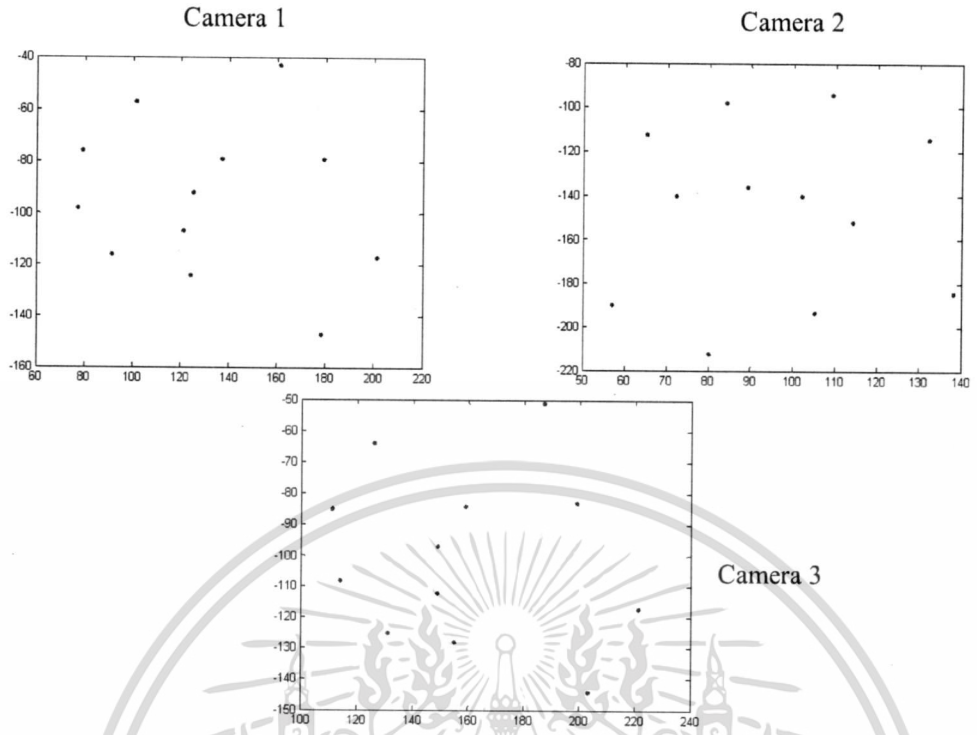
นำพิกัด (U, V) ไปคำนวณในสมการ (3.49)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่จะได้พิกัด 3 มิติ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

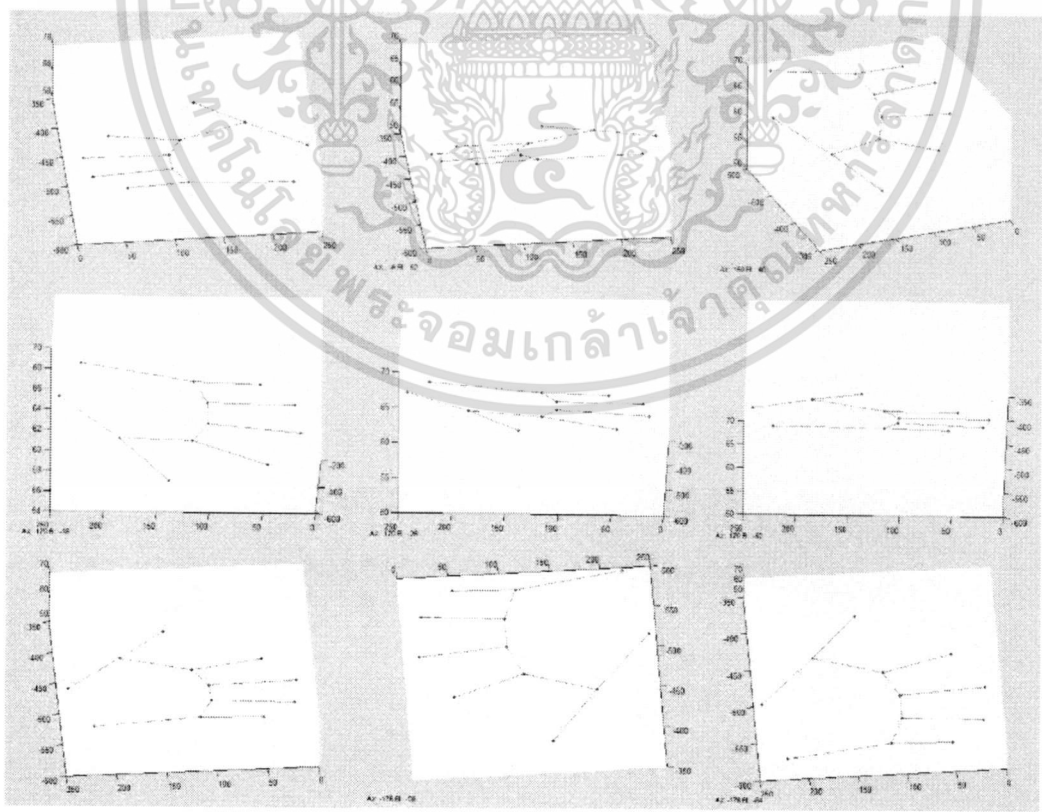


รูปที่ 5.25 พิกัด 3 มิติของแก้วกรวยกระดาษ

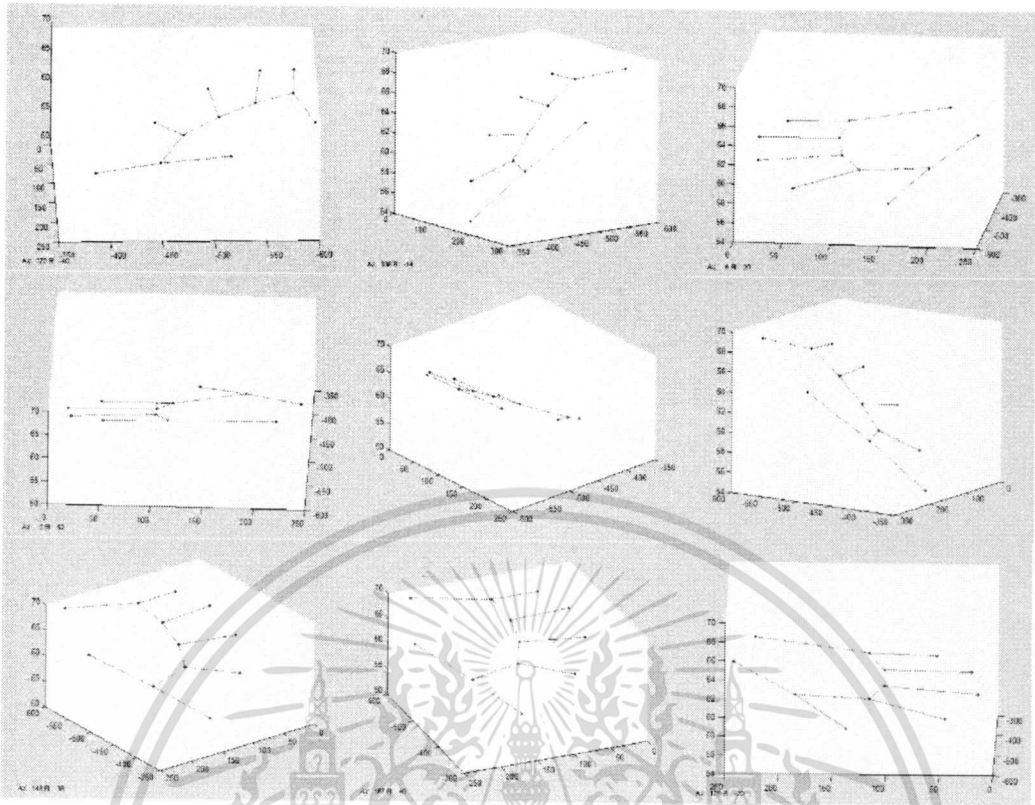
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นำพิกัด (U, V) ไปคำนวณในสมการ (3.49)  
จะได้พิกัด 3 มิติ



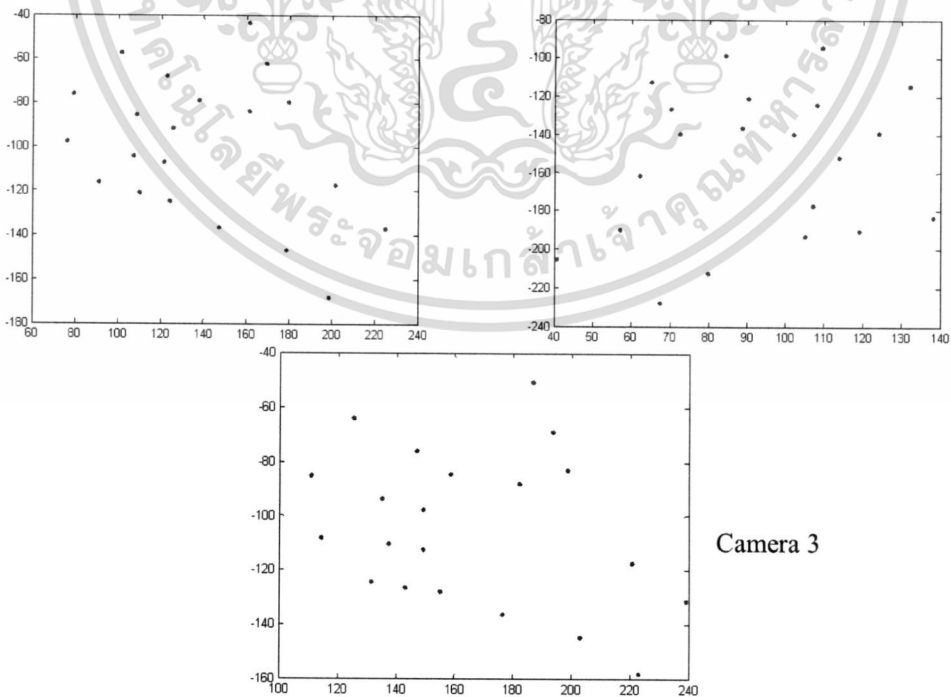
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 พิกัด 3 มิติของมือ

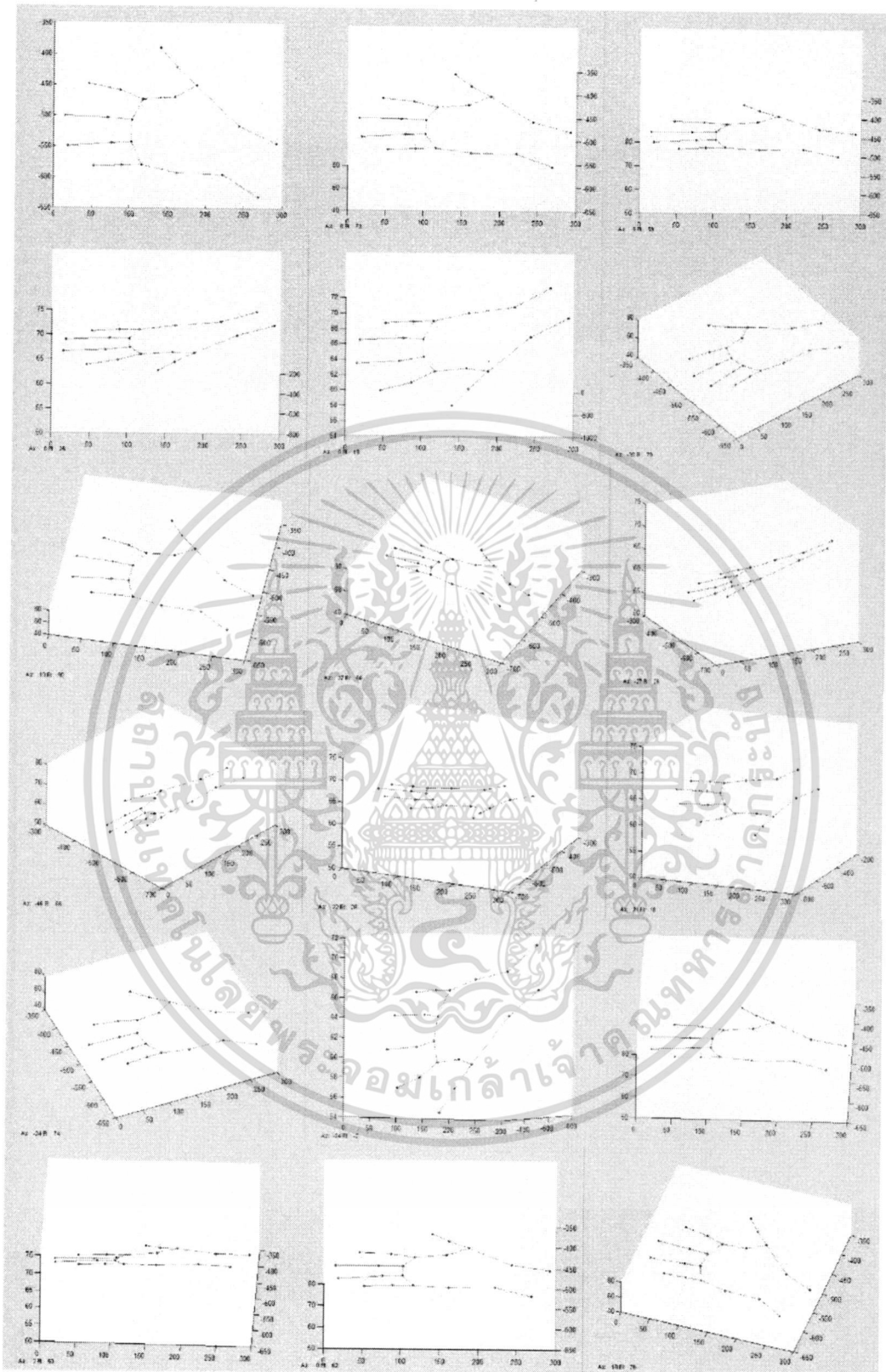
Camera 1

Camera 2



นำพิกัด (U, V) ไปคำนวณในสมการ (3.49)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ได้พิกัด 3 มิติ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

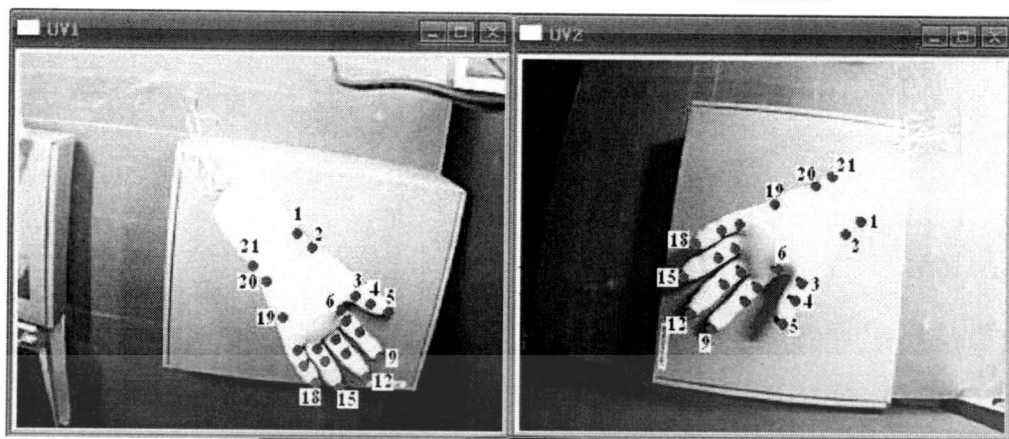


รูปที่ 5.27 พิกัด 3 มิติของมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Camera 1

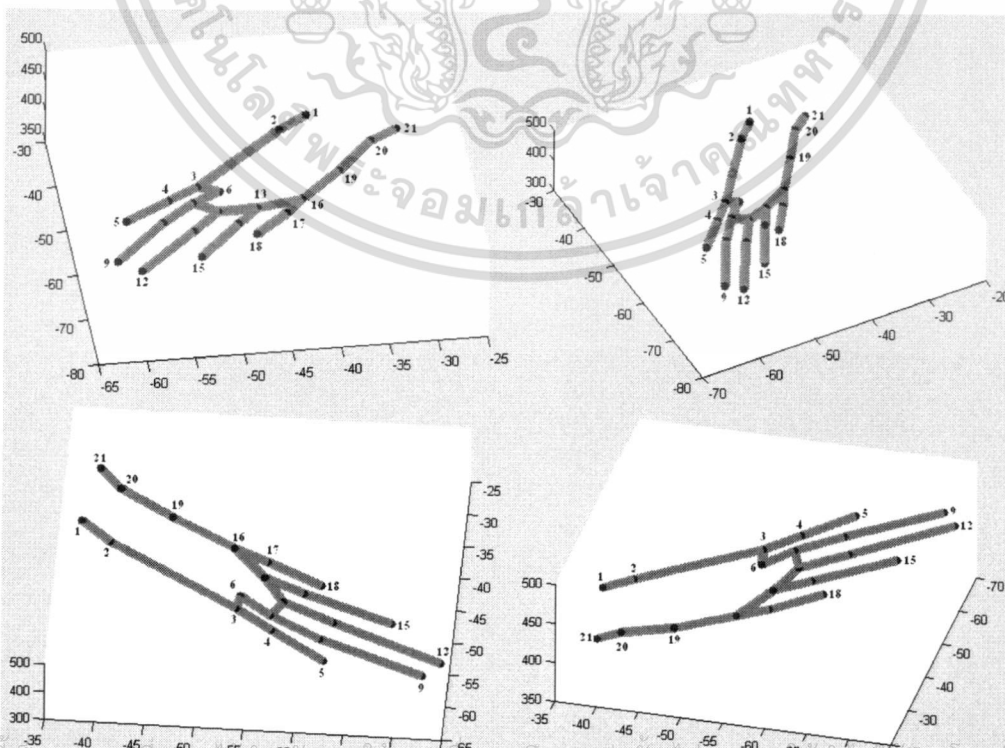
Camera 2



Camera 3

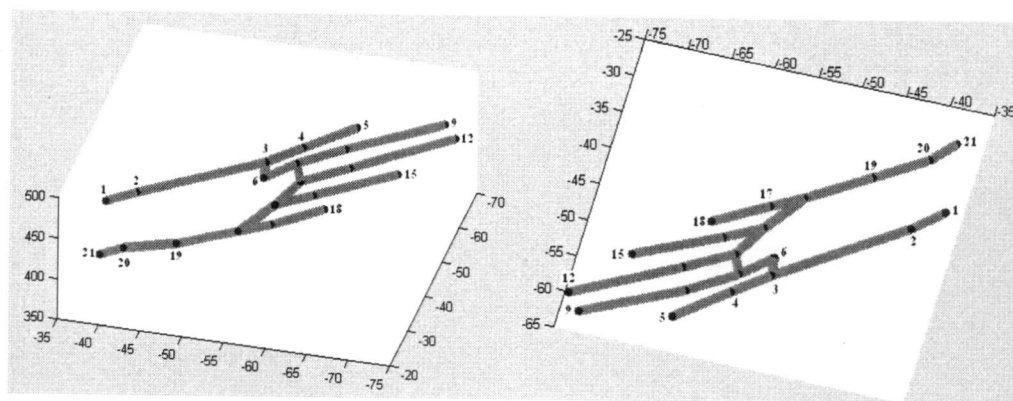
นำพิกัด (U, V) ไปคำนวณในสมการ (3.49)

จะได้พิกัด 3 มิติ

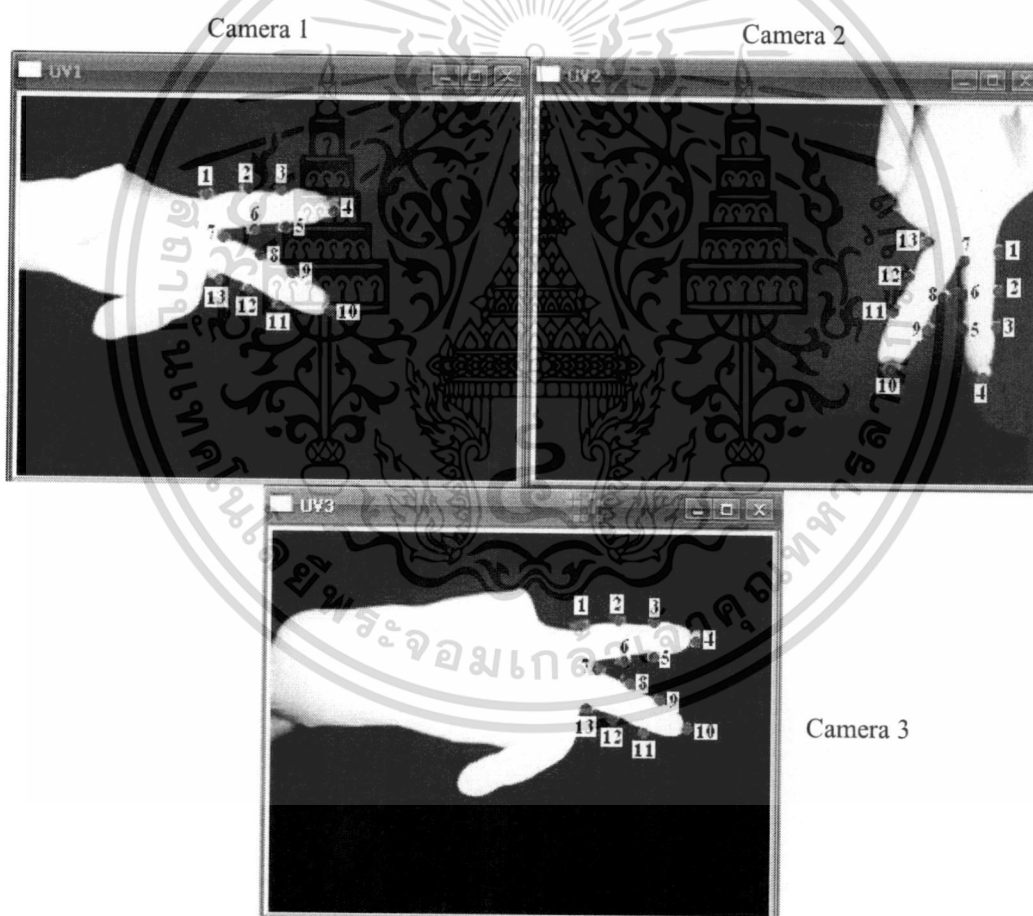


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

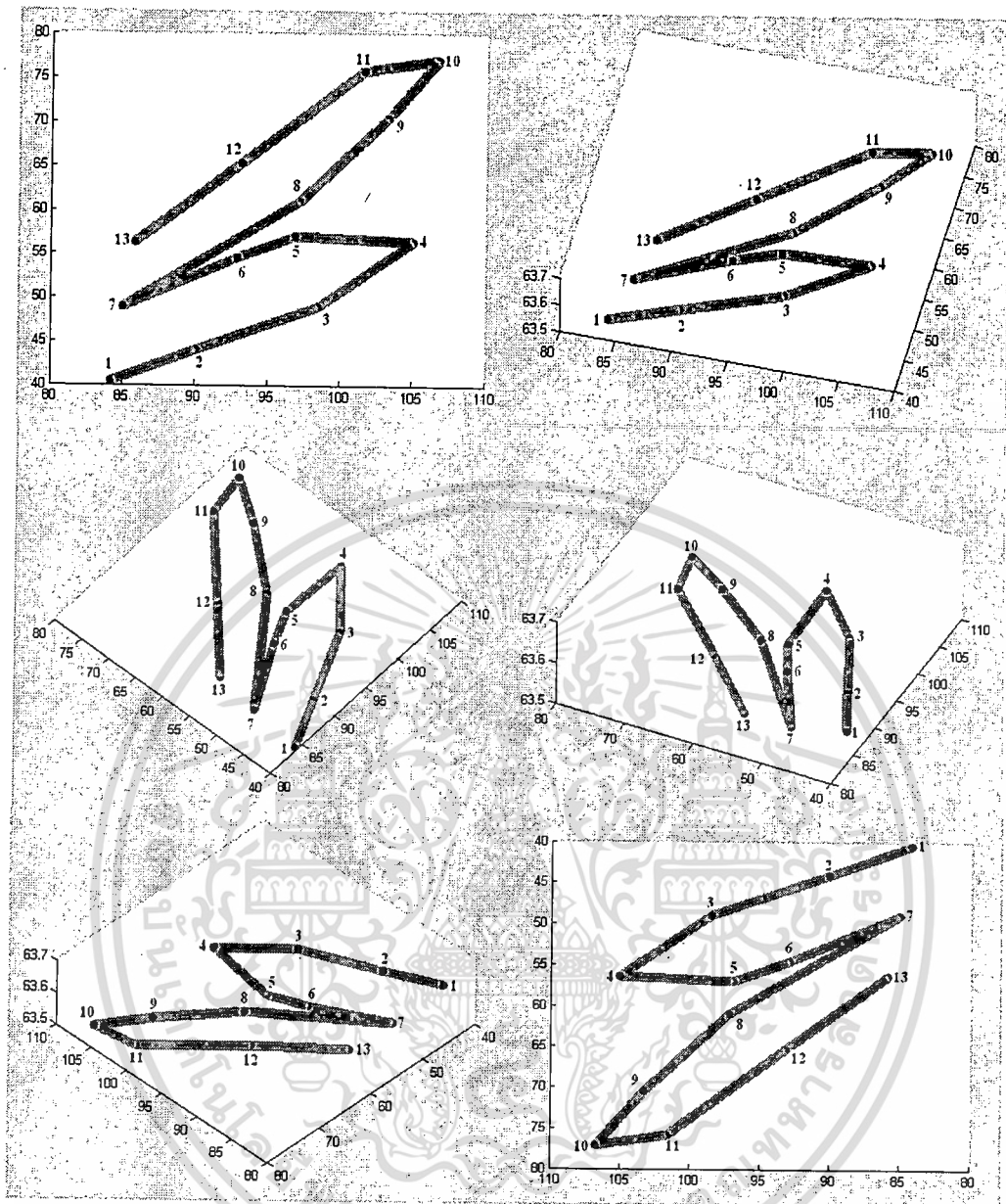


รูปที่ 5.28 พิกัด 3 มิติของแบบจำลอง



นำพิกัด (U, V) ไปคำนวณในสมการ (3.49)  
จะได้พิกัด 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 พิกัด 3 มิติของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะของโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการปรับเทียบกล้องเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ภายใน และพารามิเตอร์ภายนอกของกล้องแต่ละตัว แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าของ Projection Matrix  $M$  โดยใช้สมการ Calibration (3.36) ก็จะได้ค่า Projection Matrix  $M$  ซึ่งค่าเมทริกซ์  $M$  ที่ได้มานี้สามารถตรวจสอบค่าความผิดพลาดได้ 2.02% ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ได้ถือว่ามีค่าน้อยมาก

จากการทดลองการหาพิกัด (U, V) ของแบบจำลอง เราใช้กล้อง 3 ตัว โดยกล้องทั้ง 3 ตัวนี้ ได้ผ่านกระบวนการปรับเทียบกล้อง การหาพิกัด (U, V) ของแบบจำลอง โดยใช้ไลบรารี OpenCV ในการเชื่อมต่อกับกล้องเพื่อบันทึกภาพแบบจำลองเป็นไฟล์ (\*.bmp) หรือ (\*.avi) ซึ่งส่วนของแบบจำลองหรือข้อต่อของวัตถุจะถูกติดด้วย Marker ทำการโหลดภาพเข้าสู่โปรแกรม แล้วทำการหาพิกัด (U, V) ของ Marker ในแบบจำลอง จะได้พิกัด (U, V) ของแบบจำลองของกล้องทั้ง 3 ตัว

จากการทดลองการหาพิกัด 3 มิติของแบบจำลอง นำค่าพิกัด (U, V) ของแบบจำลองของกล้องทั้ง 3 ตัว ไปคำนวณหาพิกัด 3 มิติของ Marker โดยใช้เทคนิค Direct Linear Transform (DLT) แล้วใช้ไลบรารี OpenGL ช่วยในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากพิกัด 3 มิติ ที่ได้จากการคำนวณ ก็จะได้แบบจำลอง 3 มิติ ความเร็วในการประมวลผลโปรแกรมระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ โดยใช้ DLT อยู่ที่ประมาณ 3 วินาที

สรุประบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ โดยใช้ DLT นี้ต้องการกล้อง 3 ตัววางรอบวัตถุ แล้วทำการปรับเทียบกล้องทั้งสาม จากนั้นทำการบันทึกภาพของวัตถุที่ถูกติด Marker โดยทำการหาพิกัดของ Marker ที่ติดรอบวัตถุ แล้วนำพิกัดของ Marker ที่ได้มาหาพิกัด 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) จากนั้นนำพิกัด 3 มิติที่ได้ไปสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งกับวัตถุที่เคลื่อนที่และวัตถุที่หยุดนิ่ง ทั้งยังสามารถใช้งานได้กับวัตถุหลากหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

เทคนิคการหาพิกัด 3 มิติมีหลายวิธี เช่น เทคนิคการถ่ายภาพสเตอริโอ ซึ่งจะมีความยุ่งยากในการเก็บภาพโดยเฉพาะการต้องใช้กล้อง 2 ตัวที่มีคุณสมบัติและการวางตัวที่เหมือนกัน แต่เทคนิค DLT กล้องที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน การวางตัวของกล้องเป็นไปอย่างอิสระ ข้อเสียของเทคนิค DLT คือจำเป็นต้องมีการปรับเทียบกล้องทุกครั้งที่มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งกล้อง

Marker ที่ใช้ในงานวิจัยจะต้องมองเห็นด้วยกล้องที่ใช้ทั้งหมด และจะต้องไม่เห็น Marker เล็กเกินไป เพราะจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการหาพิกัด (U, V) ของ Marker

ในขณะที่โปรแกรมทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหว วัตถุจะต้องทำการเคลื่อนไหวอย่างช้าๆ เนื่องจากกล้องที่ใช้จับภาพไม่ทันทำให้ภาพที่ได้ไม่ต่อเนื่องเกิดจากกระโดดของภาพ ทำให้ภาพที่ได้เห็น Marker ไม่ชัด เป็นผลให้หาพิกัด (U, V) ของ Marker ไม่พบ

ระบบการสร้างภาพลึ้น 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ โดยใช้ DLT ถือได้ว่าเป็นงานวิจัยอย่างหนึ่ง ผู้ที่สนใจศึกษาในเรื่องของการหาพิกัด 3 มิติ ที่อาศัยเทคนิค DLT สามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง และนำเอาหลักการไปเป็นแนวทางในการพัฒนา Application ต่างๆ ต่อไปได้ ผู้พัฒนาจึงมีข้อเสนอแนะว่าเวลาในการพัฒนาโปรแกรมควรมากขึ้นเพื่อที่จะสามารถพัฒนาโปรแกรมให้ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

## บรรณานุกรม

- [1] Geisheimer, J.L.; Marshall, W.S.; Greneker, E., "A **continuous-wave (CW) radar for gait analysis**", Conference Record of the Thirty-Fifth Asilomar on Signals, Systems and Computers, 2001. Volume 1, pp.:834 – 838, 4-7 Nov. 2001.
- [2] Okada, N., Kondo, E., Zha, H., Morooka, K. and Nagata, T., " **3-Dimensional Object Model Construction from Range Images Taken by a Range Finder on a Mobile Robot,**" Proc. of the 1998 IEEE/RJS Int. Conf. Of Intell. Robot.and Sys., pp. 1853-1858, 1998.
- [3] Bosch, T., Servagent, N., Chellali, R. and Lescure, M., " **Three-Dimensional Object Construction Using a Self-mixing Type Scanning Laser Range Finder**", IEEE trans. Instrum. and Meas., vol. 45, no. 5, pp. 1326-1329, 1998.
- [4] Boulgouris, N.V.; Plataniotis, K.N.; Hatzinakos, D, " **Gait analysis and recognition using angular transforms**", Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2004. volume 3, pp.:1317 – 1320, 2-5 May 2004.
- [5] Franjo, C., Wamadeva, B. and Rommanee J., " **A Stereo Vision System for Pedestrian Navigation**", 17 International Conference on Applied Electromagnetic and Communications, , pp: 30-33, 1-3 October, 2003.
- [6] Sorapong A., Manas S., Chuchart P., Electronics, KMITL, " **A 3D MOTION CAPTURE SYSTEM USING DIRECT LINEAR TRANSFORM AND QUAD-TREE SEARCHING SCHEME**", ECTI-CON 2006, UbonRatchathani, Thailand, May 2006.
- [7] D. G. Everaert, A. J. Spaepen, M. J. Wouters, K. H. Stappaerts, and R. A. B. Oostendorp, " **Measuring small linear displacements with a three-dimensional video motion analysis system: Determining its accuracy and precision**", Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, vol. 80, pp. 1082-1089, 1999.
- [8] L. Chen, C. W. Armstrong, and D. D. Raftopoulos, " **An investigation on the accuracy of three-dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique**", Journal of Biomechanics, vol. 27, pp. 493-500, 1994.
- [9] Y. I. Abdel-Aziz and H. M. Karara, " **Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry**", in

เอกสารนี้เป็น Proceeding of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, pp. 1-18, 1971. โยชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] G. Bradski and A. Kaehler, **Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library**, 1st ed. California: O'Reilly Media, Inc., 2008.
- [11] Khronos. (2010, 22 January). **OpenGL - The Industry Standard for High Performance Graphics**. Available: <http://www.opengl.org/>
- [12] A. J. Kein, **Fundamentals of Digital Image Processing**. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [13] รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์, **การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย Matlab: สำนักพิมพ์ สจล.**, 2008.
- [14] รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์, **การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย C++: สำนักพิมพ์ สจล.**, 2009.
- [15] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, **Digital Image Processing**. New York: Addison-Wesley Publishing, 1993.
- [16] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, **Digital Image Processing using Matlab**. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [17] W. K. Pratt, "**Geometrical Image Modification**", in *Digital Image Processing*, 4th ed. Danver, MA: Wiley-Interscience, 2007, pp. 386-393.
- [18] R. Hartley and A. Zisserman, "**Camera Models**", in *Multiple View Geometry for Computer Vision*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, p. 164.
- [19] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, "**Calibration of one camera from a known scene**", in *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*, 2nd ed. Toronto: Thomson-Engineering, 1998, pp. 455-457.
- [20] O. D. Faugeras, **Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric Viewpoint**. Cambridge, MA: MIT Press, 1993.
- [21] H. Anton and R. C. Busby, "**Singular Value Decomposition**", in *Contemporary Linear Algebra*, 1st ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., pp. 509-516, 2003
- [22] H. Anton and R. C. Busby, "**QR-Decomposition: Householder Transformations**", in *Contemporary Linear Algebra*, 1st ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., pp. 417-428, 2003.
- [23] EuroPC. (2010, 4 February). **Acer Aspire M3641 Intel Core 2 Quad Q6600**. Available: [http://www.europc.co.uk/product.php?productid=130343&utm\\_source=googlebase&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=europe](http://www.europc.co.uk/product.php?productid=130343&utm_source=googlebase&utm_medium=cpc&utm_campaign=europe)
- [24] V. Vezhnevets and A. Velizhev. (2005, 10 February 2010). **GML C++ Camera Calibration Toolbox**. Available: <http://research.graphicon.ru/calibration/gml-c++-camera-calibrationtoolbox.html>



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม VideoOCX

โปรแกรม VideoOCX คือ ซอฟต์แวร์ที่เป็น ActiveX Control ที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมทางด้านการบินที่ภาพ วิดีโอ และการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ซับซ้อน และโปรแกรมทางด้านมัลติมีเดียทั่วไป โดยเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับลักษณะการเชื่อมต่อบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เช่น USB Camera (Webcams) และ framgrabber ภายในระบบของกล้อง CCD หรือ Camcorder

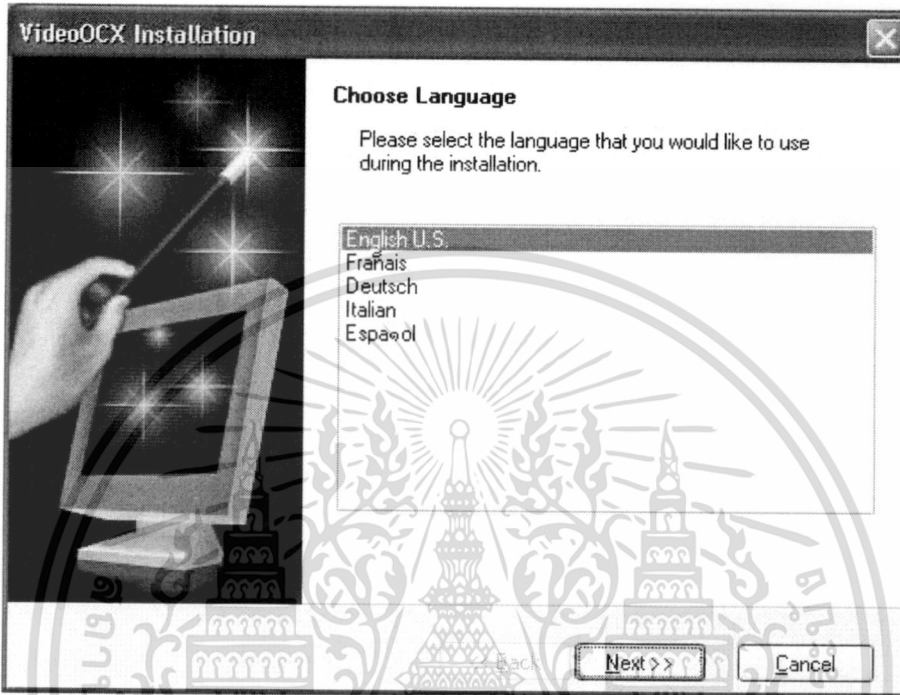
VideoOCX ช่วยให้สามารถนำภาพวิดีโอจากกล้องเข้ามาในแอปพลิเคชันได้โดยมีขั้นตอนง่าย ๆ โดยการวาง คอนโทรลของ VideoOCX ลงบนแอปพลิเคชันแล้วเขียนโปรแกรมอีกเพียงเล็กน้อย และ VideoOCX นี้สามารถทำงานบน ActiveX Hosting ต่าง ๆ มากมายเช่น Visual Basic, Visual C++, Borland C++, Delphi และ Foxpro

### ก.1 คุณสมบัติของ VideoOCX

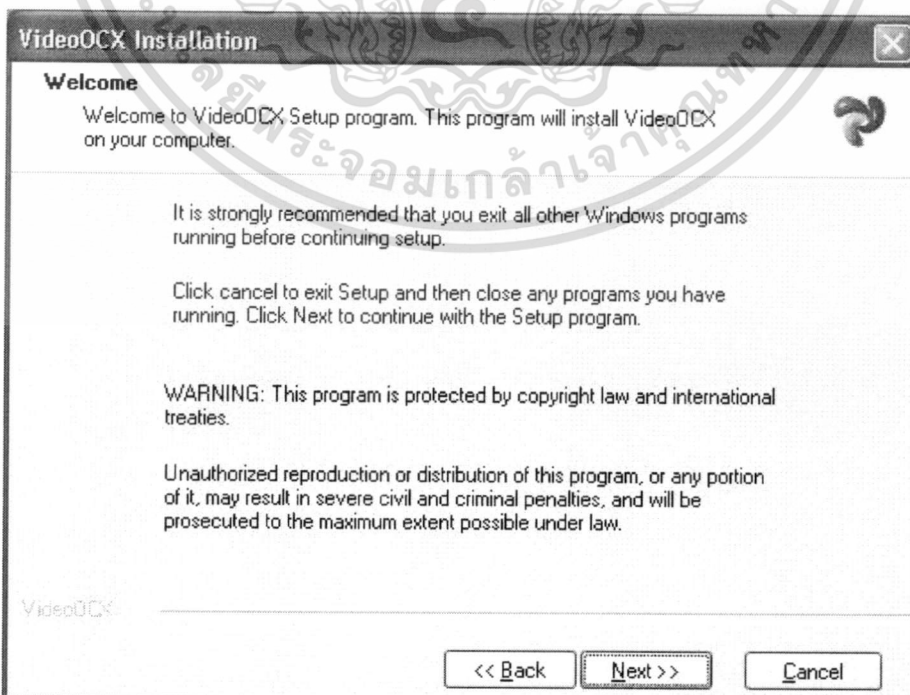
1. มีประสิทธิภาพที่ดี และการใช้งานที่ง่าย สามารถเขียนโค้ดเพียง 3 บรรทัดในการแสดงภาพวิดีโอ
2. สามารถนำเข้าภาพจากกล้องวิดีโอด้วยความเร็วเฟรมสูงสุดสู่หน่วยความจำ เช่น 25 เฟรมต่อวินาที ที่ความละเอียด  $768 \times 576$
3. บันทึกภาพแต่ละเฟรมเป็นคลิปวิดีโอ AVI Sequence รวมทั้งเสียง
4. บันทึกไฟล์ภาพลงบนดิสก์
5. แปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา (gray level) ทันทีในระหว่างการทำงานของโปรแกรม
6. สามารถเข้าถึงข้อมูลภายในภาพในแต่ละพิกเซลได้ทั้งหมด
7. รองรับอุปกรณ์ PAL/NTSC และ USB Camera ที่หลากหลาย
8. สามารถใช้กับการเขียนโปรแกรมโดยใช้เครื่องมือที่รองรับ ActiveX เช่น Visual Basic, Visual C++, Borland C++, Delphi ฯลฯ
9. มีคอนโทรล VideoOCXTools ซึ่งจะช่วยให้ง่ายในการประมวลผลภาพ

## ก.2 การติดตั้งโปรแกรม VideoOCX

1. ดับเบิลคลิกไฟล์ติดตั้งโปรแกรม videoox162.exe
2. เลือกภาษาอังกฤษ (English U.S.) แล้วคลิก Next >>

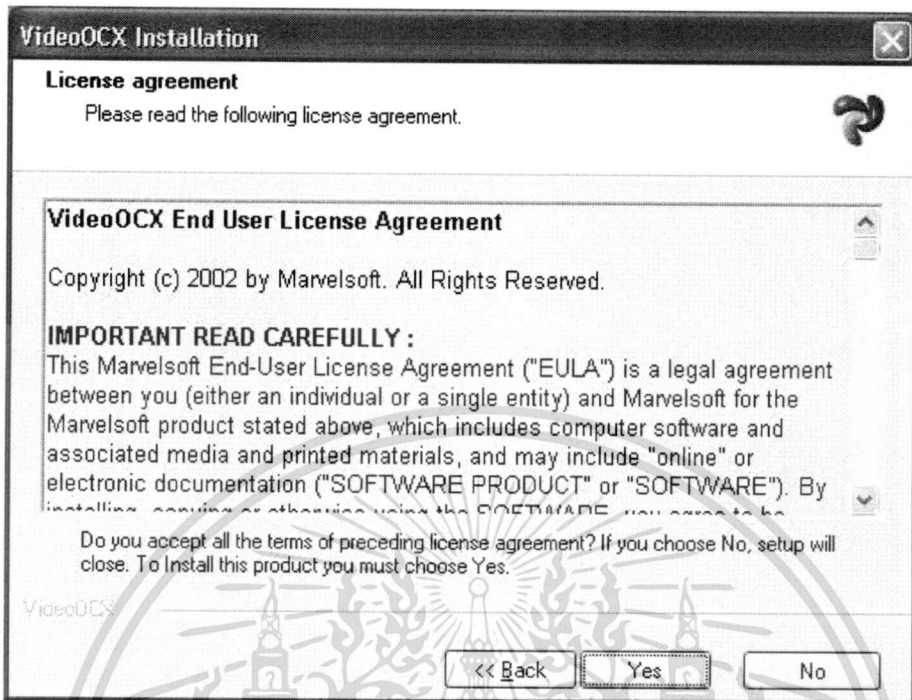


3. คลิก Next

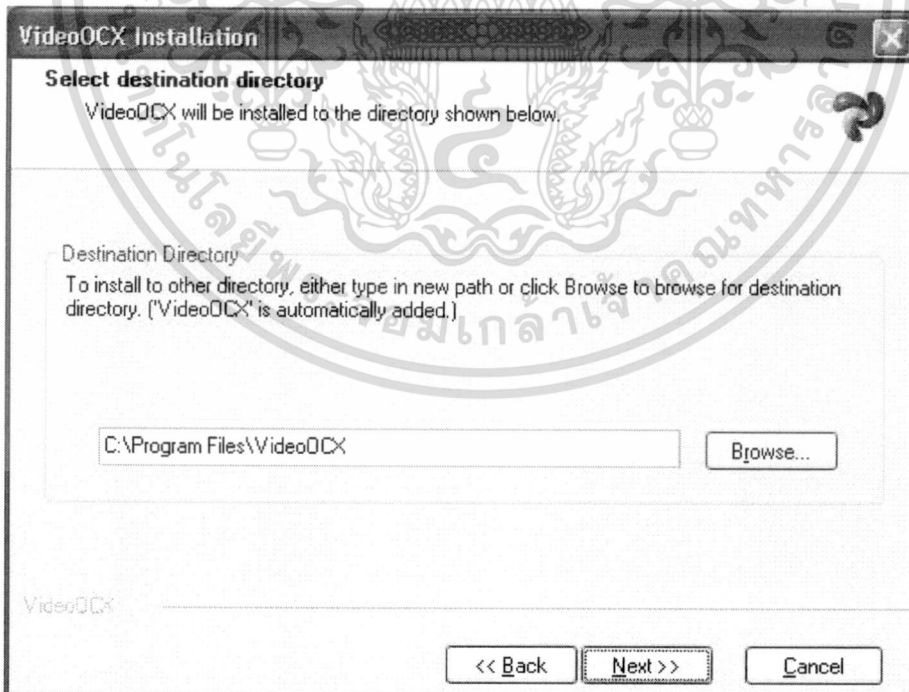


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. คลิก Yes

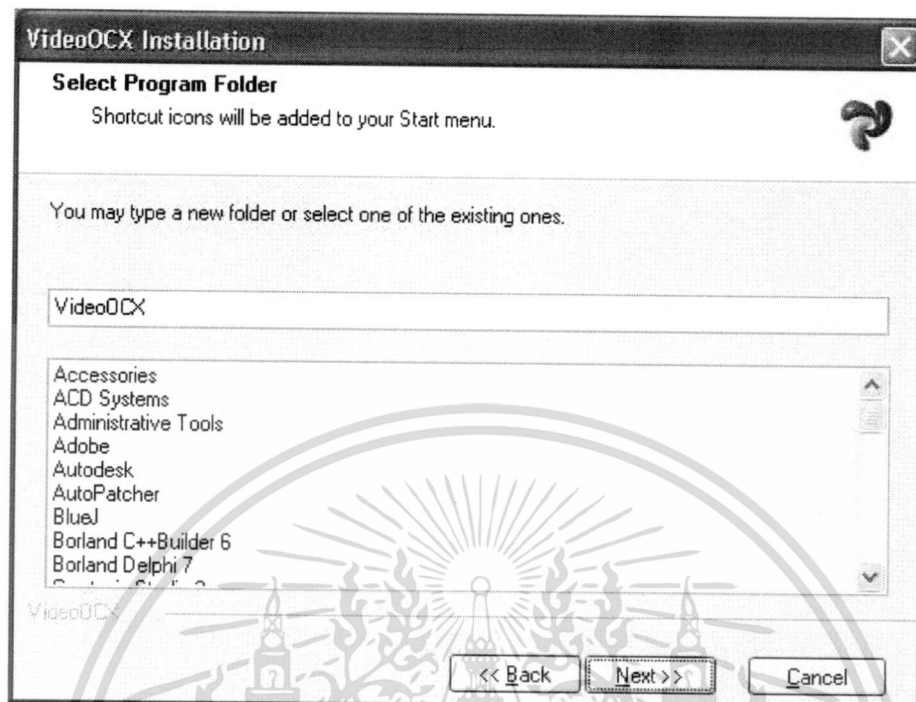


## 5. เลือก Directory ที่ต้องการจะติดตั้งแล้วคลิก Next &gt;&gt;

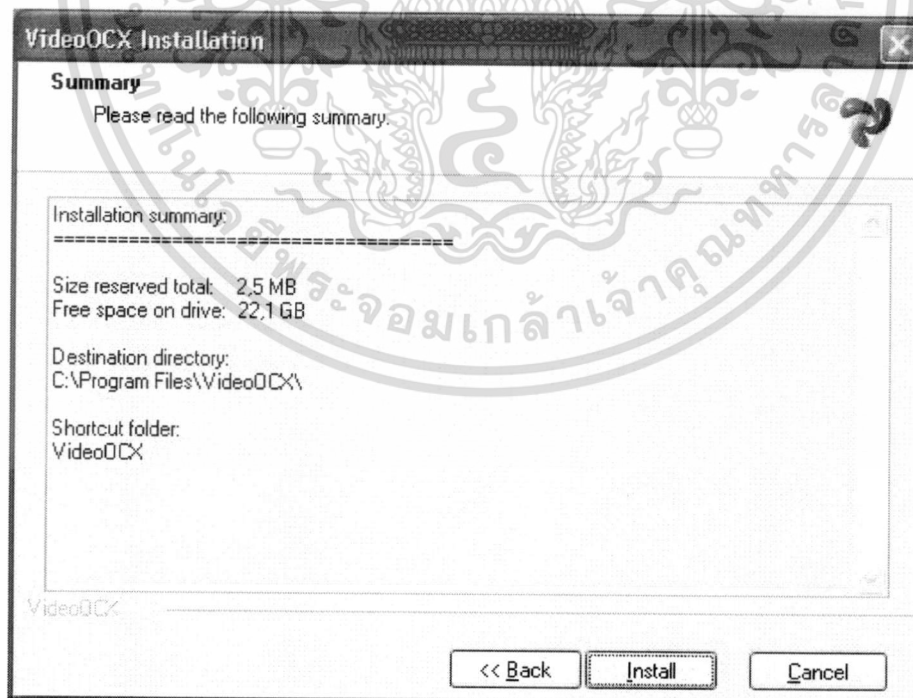


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

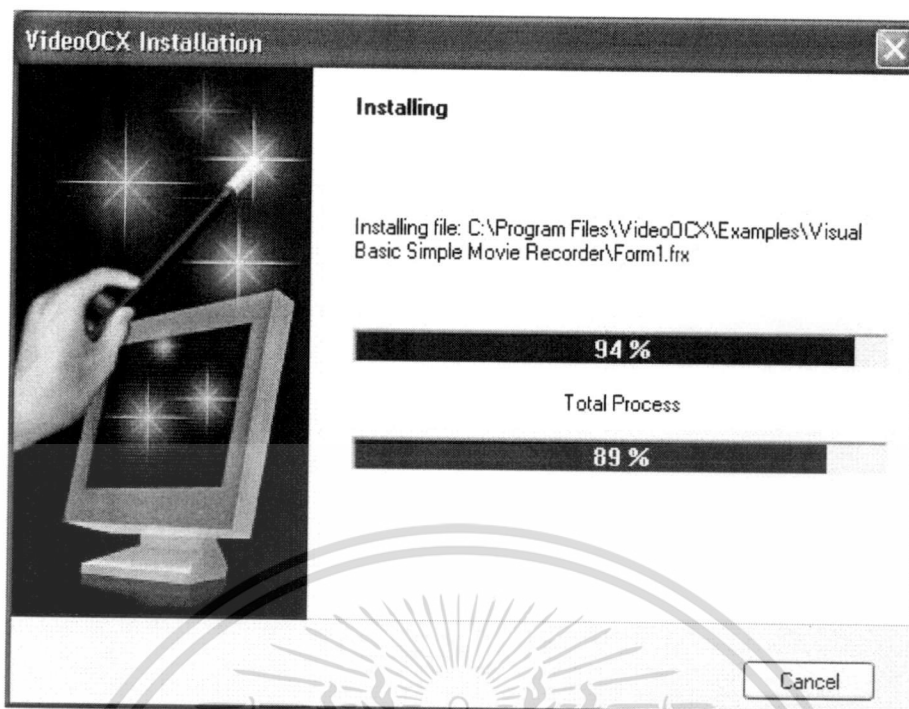
## 6. คลิก Next &gt;&gt;



## 7. คลิก Install จากนั้นรอให้โปรแกรมทำการติดตั้งลงบนคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8. รอโปรแกรมติดตั้งจนเสร็จ จากนั้นคลิก Finish

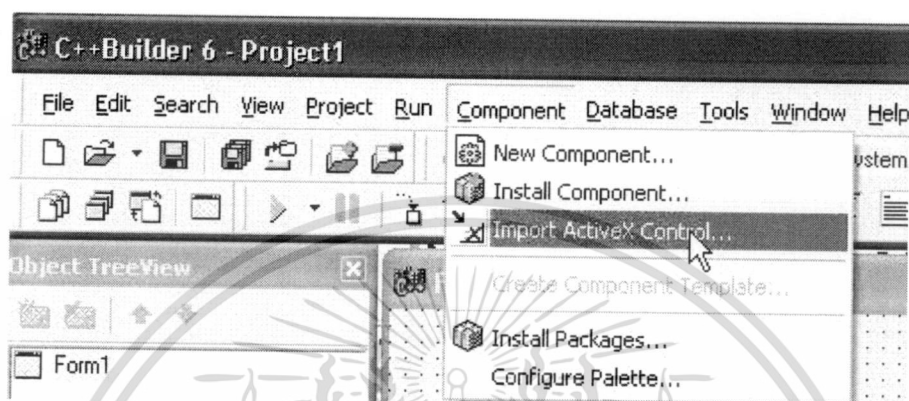


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

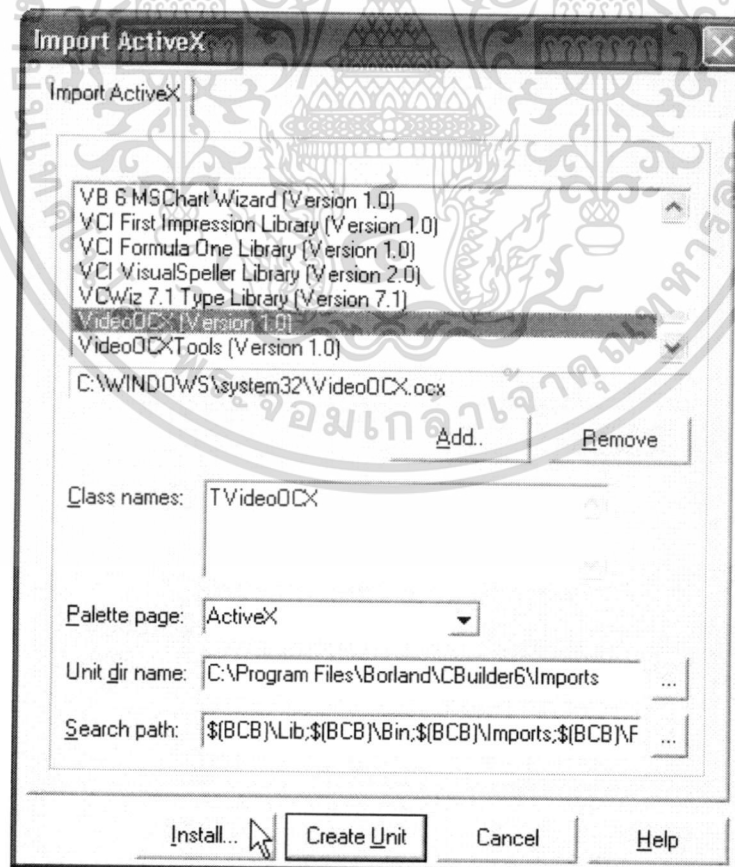
### ก.3 การนำ VideoOCX ไปใช้งานบน Borland C++ Builder 6

เมื่อติดตั้งโปรแกรม VideoOCX เรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นการนำ VideoOCX ไปใช้งานบน Borland C++ Builder 6 ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. คลิกเมนู Component เลือก Import ActiveX Control...

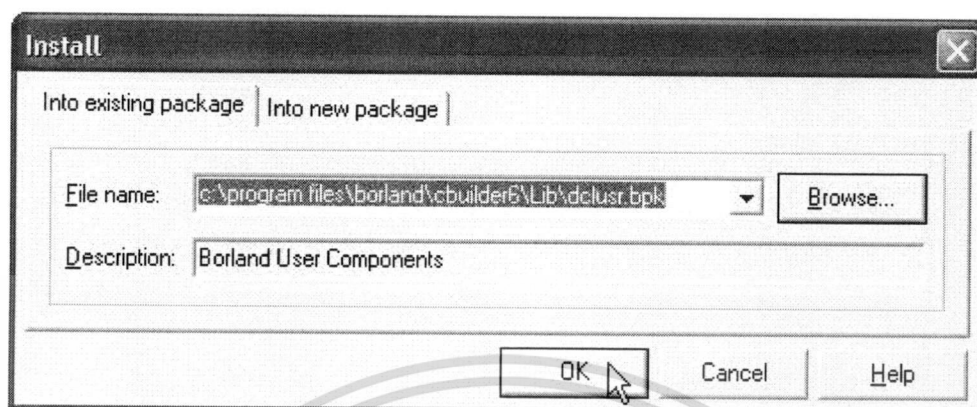


2. เลือก VideoOCX (Version 1.0) จากนั้นคลิก Install...

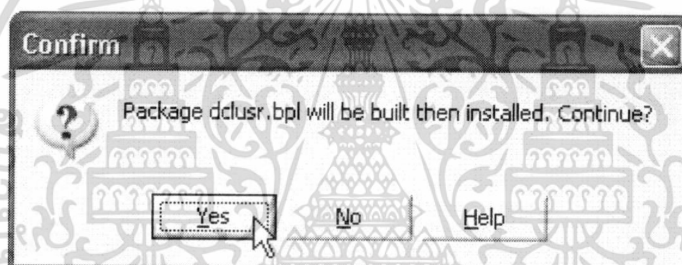


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

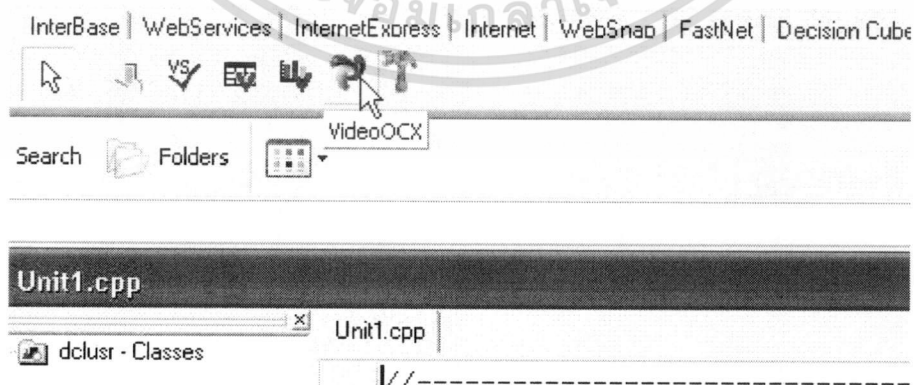
## 3. คลิก OK



## 4. คลิก Yes

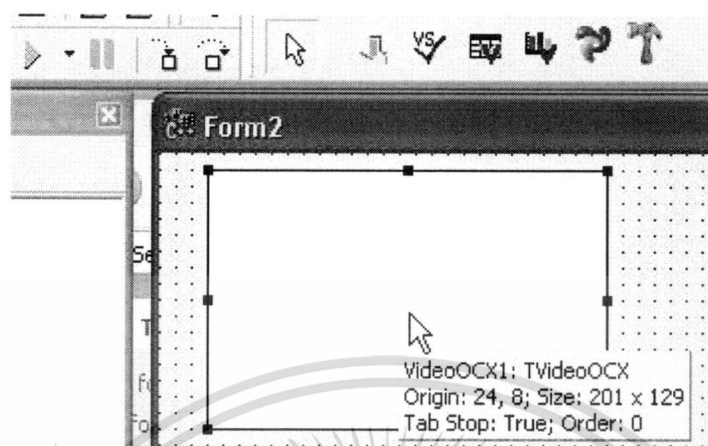


5. ทำการ Import คอนโทรล VideoOCXTools เข้ามาอีกโดย ทำวิธีการเดียวกันตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 4 แต่เลือกเป็น VideoOCXTools เมื่อเสร็จแล้วจะพบว่ามคอนโทรล VideoOCX และ VideoOCXTools อยู่ภายใน ActiveX Tag ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สามารถนำคอนโทรลที่ Import มาไปใช้งานได้โดยคลิกที่ตัวคอนโทรล VideoOCX แล้วคลิกที่บริเวณภายใน Form และเขียนโปรแกรมสั่งงานคอนโทรล VideoOCX ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

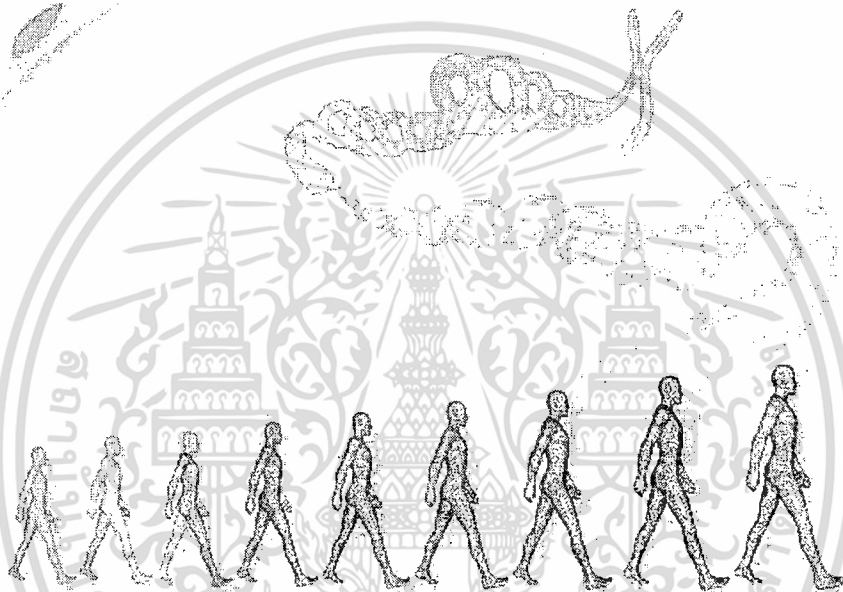
1. Suphakarn Chinwaraphat, Thursak Leauhatong, Manas Sangworasil, Chuchart Pintavirooj, “**BREATH MOTION MONITORING SYSTEM**”, in Proceeding of 2nd Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2009), Thailand, August 13-14, 2009, pp. 195-199.
2. ศุภกาญจน์ ชินวราพัฒน์, มนัส สังวรศิลป์ และ ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์, “ระบบการสร้างภาพคลื่น 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ”, in Proceeding of The 2nd Symposium on Thai Biomedical Engineering (ThaiBME 2010), Thailand, August 5-6, 2010, pp. 6-9.

**BMEiCON 2009**

# BMEiCON 2009

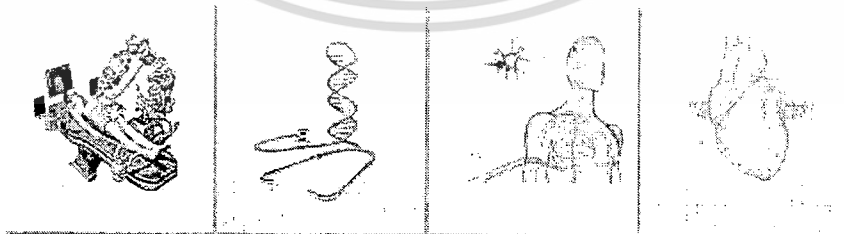
August 13-14, 2009 **Phuket, Thailand**

August 13-14, 2009



## PROGRAM AND ABSTRACTS

The 2nd Biomedical Engineering International Conference



**Phuket, Thailand**



**IEEE**  
THAILAND SECTION



**IFMBE**

**NECTEC**  
NATIONAL CENTER FOR  
EXCELLENCE IN TECHNOLOGY

**สวทช.**  
**NSTDA**  
NATIONAL SCIENCE AND  
TECHNOLOGY DEVELOPMENT  
AGENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## BREATH MOTION MONITORING SYSTEM

Suphakam Chimwaraphat, Thurdsak Leauhatong, Manas Sangworasil, Chuchart Pintavirooj  
Department of Electronics, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

### ABSTRACT

*Obstructive sleep apnea (OSA) is a problem and disorder of sleeping which is frequently found recently. A person with obstructive sleep apnea is prone to have mishap in road and industry easier than another because of feeling doze during driving car and/or working with machine. Moreover, patient who is obstructive sleep apnea has more chance to be complicated by other disease such as hypertension, myocardial infarction, cardiac arrhythmia etc. Therefore this paper concerns about the design of model breath motion system to monitor breath of patient while sleeping. The system consists of three camera capture a chess-board image attached on the chest model. The 3D coordinate of the chess board corner point is extracted and plotted to measure the 3D motion of the chest model.*

**Keywords-** breath motion; direct linear transform

linked to angina [6], nocturnal cardiac arrhythmias [7], myocardial infarction [8], stroke [9] and motor vehicle crashes [10].

This paper has objective to design a monitoring system for people with obstructive sleep apnea. The system is capable of measure the 3D motion of the chest accurately up to a vicinity of centimeter. The concept of classical direct linear transform (DLT) [11] is applied for breath motion system where three cameras can be placed arbitrarily orientation around the object. The three cameras will capture the image of chessboard chintz placing over the chest model. The 3D coordinate is then extracted and plotted in real time. These coordinates relates the 3D motion of the chest model.

This work is organized as the following: Section II explains the camera modeling. 3D information extraction process is provided in section III. The results are provided in section IV. Discussions and conclusions are given in section V.

## 2. CAMERA MODELLING

### I. INTRODUCTION

Recently, numbers of those who have trouble sleeping have increased. According to a report from the United States [1]: about 40 million people appeal for help due to sleep abnormalities and about 15 million people have sleep apnea syndrome in the United States. In Japan, since sleep apnea syndrome was notorious in an accident of a Sanyo train. Since then, Japanese have begun paying attention to sleep apnea and other sleep disorders. [2-3]. Sleep apnea syndrome caused the nuclear accident in Chernobyl and the accident of the space shuttle Challenger. It is estimated that national economic losses caused by sleep disordered breathing are about 47 billion dollars. Therefore, diagnosis for patients who appear to have sleep disordered breathing at an early stage is essential.

Obstructive sleep apnea is a disorder in which complete or partial obstruction of the airway during sleep causes loud snoring, oxyhemoglobin desaturations and frequent arousals. As a result affected persons have unrestful sleep and excessive daytime sleepiness. The disorder is associated with hypertension [4], impotence and emotional problems [5]. Because obstructive sleep apnea often occurs in obese persons with comorbid conditions, its individual contribution to health problems is difficult to discern. The disorder has however been

This paper a DLT technique is applied to extract the 3D coordinate. One of the essential steps is camera model which is used to derive intrinsic and extrinsic camera parameter. This subsection is devoted to camera model.

A photograph taken by a camera undergoes a linear transformation from the 3D projective space  $\rho^3$  to the 2D projective space  $\rho^2$  which can be described by the equation:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = K[I_s | O_s] \begin{bmatrix} R & -T \\ O_s^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{or } \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \text{ where } M = [KR | -KRT] \quad (1)$$

A scene point  $[X_s, Y_s, Z_s, 1]^T$  is expressed in a world Euclidean co-ordinate system (see Fig.1) and  $[x_i, y_i, z_i]^T$  is the image of a scene point in pixel unit in camera

coordinate system. Matrix  $K$  in equation (1) is the camera calibration matrix.

$$K = \begin{bmatrix} fa & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & fb & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

where  $f$  is the focal length of the projection,  $a$  and  $b$  is the conversion factor from physical unit to pixel unit and  $(u_0, v_0)$  is the principal point of the projection.

Matrix  $R$  and  $T$  contributes to the extrinsic parameter of the camera. Rotation matrix  $R$  expresses three elementary rotations of camera Euclidean co-ordinate axes with respect to the world Euclidean Coordinate system- rotation along  $x$ ,  $y$  and  $z$  are termed pan, tilt and roll respectively. Translation vector  $T$  gives three elements of the translation of the origin of the world coordinate system with respect to camera co-ordinate system. To obtain  $M$ , observe each known point  $X = [x \ y \ z \ 1]^T$  and its corresponding 2D image point  $[u \ v \ w]^T$  yield an equation

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz & -u \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & -vx & -vy & -vz & -v \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ \vdots \\ m_{31} \end{bmatrix} = 0$$

or  $AX=0 \quad (3)$

If  $n$  such points are available,  $A$  will be of size  $2n \times 12$ . To solve for  $X$ , perform Singular Value Decomposition (SVD) of  $A$  to derive  $A=UDV^T$ . The last column of  $v$  is the solution for  $M$ . To separate extrinsic parameter, observe that  $M$  can be written as  $M = [A \ | \ b]$  then  $T = -A^{-1}b$ . To determine  $R$ , we decompose  $A$  into a product of two matrices  $K$  and  $R$  using QR decomposition

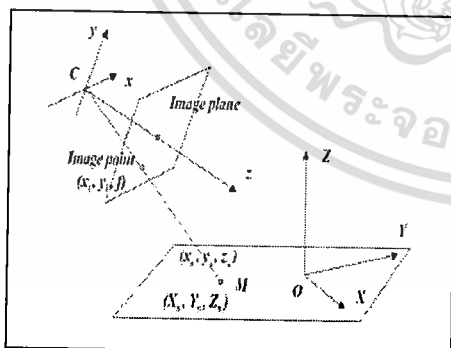


Figure 1. Camera coordinate system.

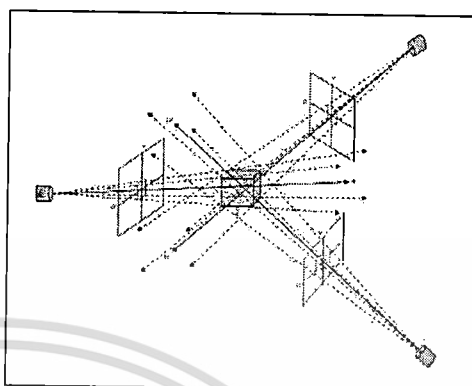


Figure 2. Camera Calibration Process

### 3. 3D COORDINATE EXTRACTION

This subsection is devoted to the DLT; the method that extracts 3D coordinates of the object from multiple photographs taken at arbitrary pose around the object.

In the process, a number of cameras, say three cameras, are placed at arbitrary around the object. For each camera, the camera calibration (equation 3), is performed prior to capture the photograph of object. This can be done by analysing the photograph of reference box with known co-ordinate placed at the same position of the object as shown in figure 2. Let  $M'$ ,  $M''$  and  $M'''$  are the computed projection matrix for the three cameras. Unique colour landmarks are then attached on the joint of the motion object, say human. Images of human attached with landmarks are once again captured with a camcorder. On each frame of the video data, the corresponding points for each colour landmarks on each camera are then searched. To facilitate the searching process, we adopt the quad-tree searching scheme. The searching procedure for red landmarks is explained as follows:

- Divide the image into 4 quadrants
- Compute averaging of red colour's intensity on each quadrant.
- Further divide the sub-image of the quadrants where the average intensity for red colour does not diminishing and again compute averaging of red colour's intensity on each quadrant. (and so on)
- Perform template matching on the final quadrant for the position of the red landmarks.

If  $(u', v')$ ,  $(u'', v'')$  and  $(u''', v''')$  are the computed ordinate of the landmark on the considered frame, then the 3D information of the landmark  $X = (x, y, z)$  can be computed by solving the homogeneous equation



$$\begin{bmatrix} u' m'_3 - w' m'_1 \\ v' m'_3 - w' m'_2 \\ u'' m''_3 - w'' m''_1 \\ v'' m''_3 - w'' m''_2 \\ u''' m'''_3 - w''' m'''_1 \\ v''' m'''_3 - w''' m'''_2 \end{bmatrix} X = AX = 0 \quad (4)$$

where  $m_i^T$  are the row  $i^{\text{th}}$  of projection matrix  $M$ . The sequences of extracted 3D coordinates are then successively displayed to derive the motion analysis of the skeleton 3D model.

#### 4. EXPERIMENTAL RESULTS

##### 4.1. Camera Calibration

Three cameras are used to capture the still image of reference object in which the world coordinate of the reference points with reference to the specified origin (one corner of reference object) are known. To verify the validity of the computed projection matrix  $M$ , the reprojection procedure is performed by replacing the projection matrix  $M$  in equation (1), computing the image of the reference points and displaying the image coordinates superimposed with the captured still image. Figure 3 shows sample of the reprojected image which confirms the validity of the projection data.

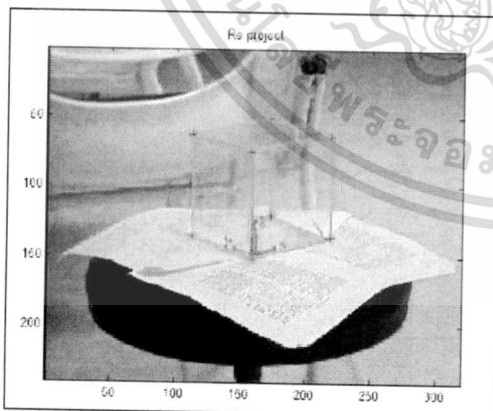


Figure 3. Reprojection procedure (+: Reference Points, o: Reprojected image of reference point).

##### 4.2. Static 3D Extraction

The computed projection matrixes of the cameras are used to extract coordinate using equation (4). To verify the accuracy of the extracted 3D coordinate, the rectangular box is used as the object. Table 1 shows the comparison of the true volume of the box and the volume computed from extract coordinate of the box. The error is within the acceptable tolerance. Figure 4 shows 3D coordinate of static 3D Extraction.

TABLE I. VOLUME COMPARISON

True Volume	Computed Volume	% Error
1157.625 cm <sup>3</sup>	1180.79636 cm <sup>3</sup>	2.002

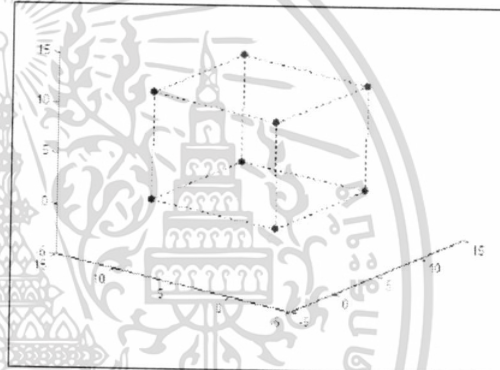


Figure 4. 3D coordinates of Static 3D Extraction.

##### 4.3. 3D Breath Motion

The DLT is further applied to extract the 3D motion of chest model. The model is rubber bag filling with air. The breathing motion is simulated by periodically pump the air in to the bag. The period of pumping is controllable, says once per second. The chessboard printout is then attached on the chest model. Three cameras is placed around the chest model continually capture the images. With the projection matrix derived from the previous section, the 3D coordinates of the chessboard or hence the 3D motion of the chest model is computed and plotted in real time. Figure 5 shows the image of chest model captured respectively from three cameras. Figure 6 shows graphs compare the chest motion while to inhale and to exhale.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

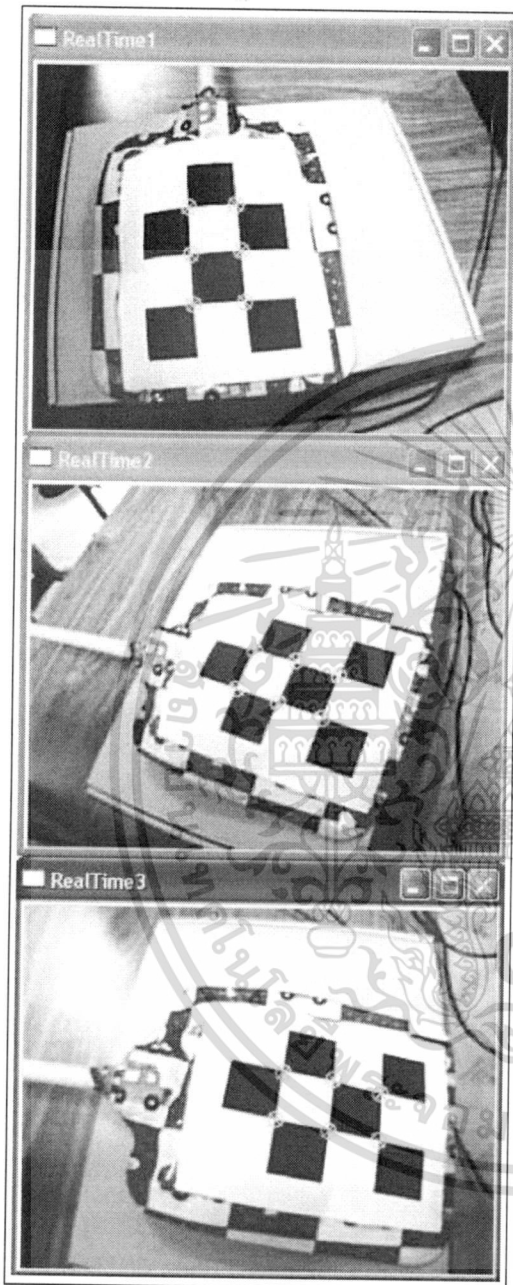


Figure 5. Model use this work.

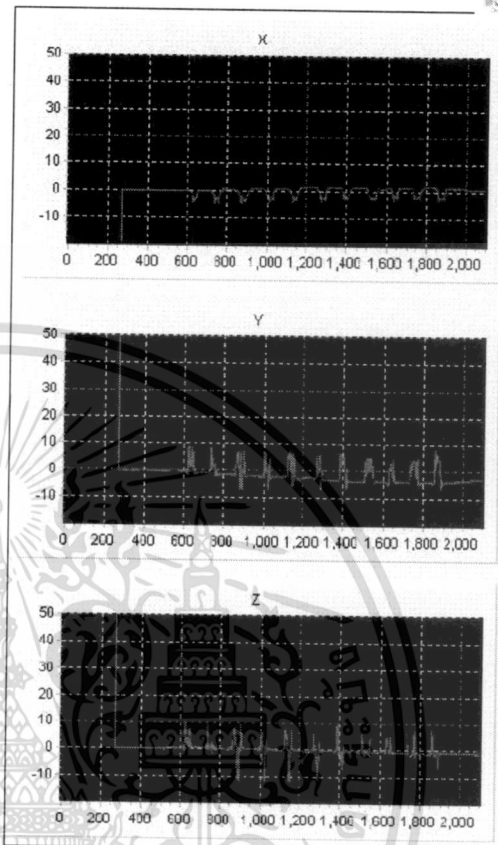


Figure 6. Graphs compare the chest motion while to inhale and to exhale.

##### 5. CONCLUSION AND DISCUSSION

Breath motion system is designed to monitor the breath of patient while sleeping. The system consists of three cameras placed in arbitrarily orientation around the chest model. The three cameras are used to capture chessboard chintz attached on the chest model. The 3D coordinates of chessboard are then computed and plotted. The system successfully monitors the 3D motion of chest model. Further application for real patient is undergoing.

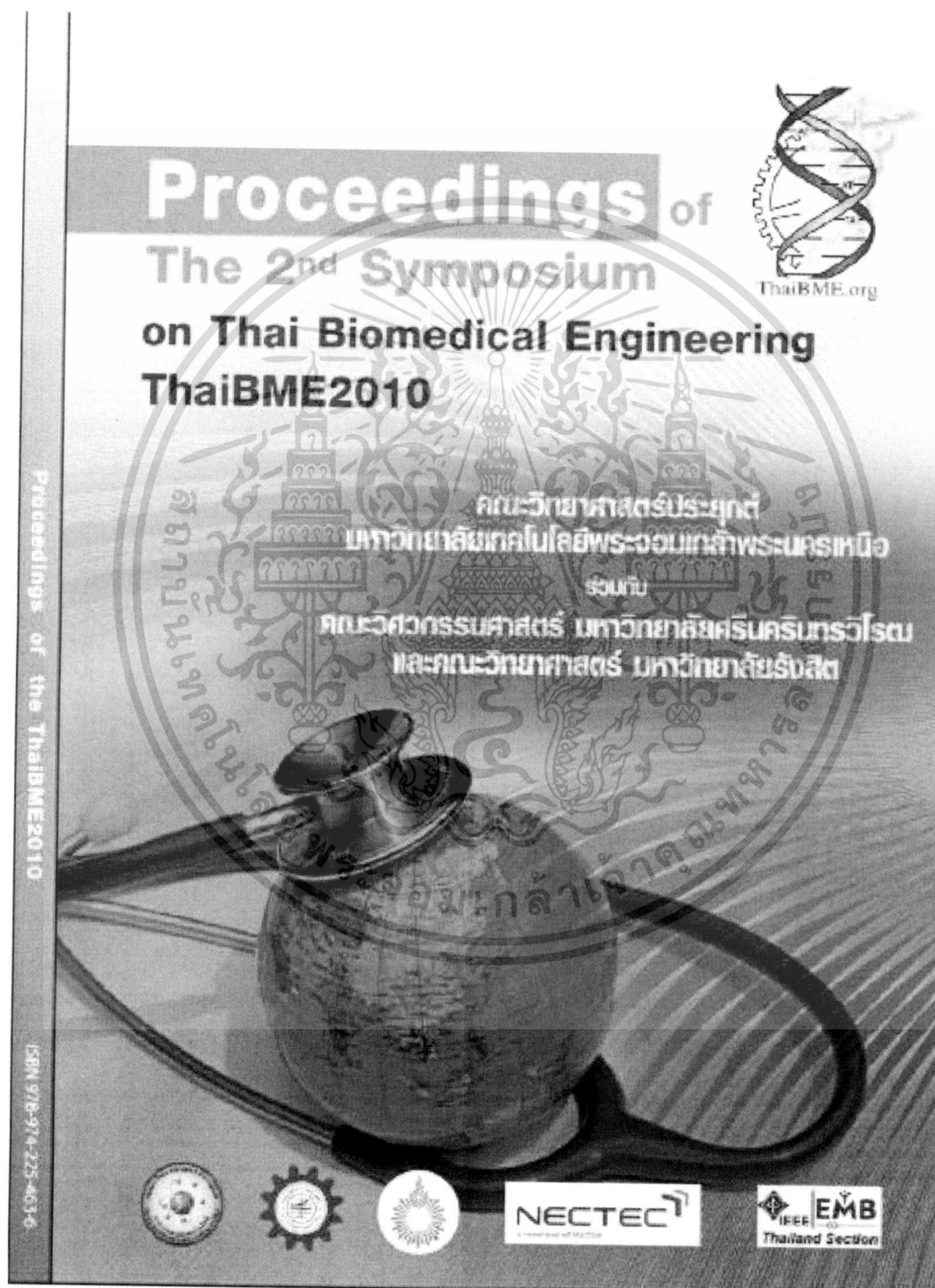
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 6. REFERENCES

- [1] "Wake up America" National Commission on Sleep Disorders Research. 1993.
- [2] Isao Sato, Masato Nakajima, Faculty of Science and Technology, Keio University. "Non-contact Breath Motion Monitoring System in Full Automation". Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, China, September 1-4, 2005.
- [3] Sameer P. Kelkar, Niranjana D. Khambete and Sujata S. Agashe. "Development of movement artefacts free breathing monitor", J. Instrum. Soc. India 38(1) 34-43.
- [4] Shepard JW Jr. Cardiopulmonary consequences of obstructive sleep apnea. Mayo Clin Proc 1990;65: 1250-9.
- [5] Kales A, Caldwell AB, Cadieux RJ, Vela-Beuno A, Ruch LG, Mayes SD. Severe obstructive sleep apnea--II: associated psychopathology and psychosocial consequences. J Chronic Dis 1985;38:427-34.
- [6] Wei K, Bradley TD. Association of obstructive sleep apnea and nocturnal angina [Abstract]. Am Rev Respir Dis 1992;145(4 pt 2):A443.
- [7] Guilleminault C, Connolly S, Winkle RA. Cardiac arrhythmia and conduction disturbances during sleep in 400 patients with sleep apnea syndrome. Am J Cardiol 1983;52:490-4.
- [8] Hung J, Whitford EG, Parsons RW, Hillman DR. Association of sleep apnea with myocardial infarction in men. Lancet 1990;336:261-4.
- [9] Partinen M, Guilleminault C. Daytime sleepiness and vascular morbidity at seven-year follow-up in obstructive sleep apnea patients. Chest 1990;97: 27-32.
- [10] Aldrich MS. Automobile accidents in patients with sleep disorders. Sleep 1989;12:487-94.
- [11] Sorapong Aootaphao, Manas Sangworasil, Chuchart Pintavirooj, Department of Electronics, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. "A 3D MOTION CAPTURE SYSTEM USING DIRECT LINEAR TRANSFORM AND QUAD-TREE SEARCHING SCHEME". The 3rd ECTI Annual Conference (ECTI-CON 2006), Ubon Ratchathani, Thailand, May 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบการสร้างภาพคลื่น 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ

### 3D FROM 2D RECONSTRUCTION IMAGING SYSTEM

ศุภกาญจน์ ชินวราพัฒน์<sup>1</sup>, นนัส สังวรศิลป์<sup>2</sup> และ ชุชาติ บิลขวิรุจน์<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
3 หมู่ที่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

<sup>2</sup>ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
3 หมู่ที่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: ksmanas@kmitl.ac.th

<sup>3</sup>ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
3 หมู่ที่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: kpcchucha@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันการสร้างภาพเคลื่อนไหวที่แสดงให้เห็นในรูปของภาพอนิเมชัน 3 มิติ นั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน รวมถึงทางด้านทางการแพทย์ ซึ่งได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์เอกสารนี้จะกล่าวถึงระบบการสร้างภาพคลื่น 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ ที่ใช้ผลิตแบบจำลองต่างๆ ระบบดังกล่าวประกอบด้วยกล้องดิจิตอลหลายๆ ตัววางที่ตำแหน่งใดก็ได้รอบวัตถุ ตรงข้อต่อของวัตถุจะถูกติดด้วย Marker แล้วจากนั้นจะทำารบันทึกภาพของวัตถุที่ถูกติดด้วย Marker และวิเคราะห์เพื่อหาค่าพิกัด 3 มิติของ Marker โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) ระบบการสร้างภาพคลื่น 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ สามารถกระทำกับวัตถุได้หลากหลายชนิด

คำสำคัญ: แบบจำลองกล้อง, การหาพิกัด 3 มิติ, Direct Linear Transform

#### Abstract

Currently, Computer Technology develops very fast, especially in 3D animation. One of the application of 3D animation in medicine include gait analysis. This paper describes 3D from 2D Reconstruction Imaging System to generate a skeleton model. The system consists of a number of digital cameras placed at arbitrary position around the subject. The subject's joints to be measured are attached with illuminated landmarks using the Direct Linear Transform (DLT) technique. The 3D from 2D Reconstruction Imaging System has been performed to visualize various subjects.

Keywords: camera modelling, 3D coordinate extraction, DLT

#### 1. คำนำ

ในปัจจุบันนี้เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้เราได้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงหลายๆ อย่าง รวมไปถึงการพัฒนาทางด้านคอมพิวเตอร์ในเรื่องที่เกี่ยวกับงานด้าน 3 มิติ ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างภาพกราฟิก แอนิเมชันต่างๆ ที่มีให้เห็นกันอย่างแพร่หลาย โดยที่ภาพวิถี 3 มิติ ที่มีให้เห็นตามภาพยนตร์หรือเกมส์นั้น ต้องผ่านกระบวนการทำงานประมวลผลหลายขั้นตอน ซึ่งพื้นฐานในการทำการประมวลผลจะมาจากกระบวนการวิเคราะห์ภาพระบบ 3 มิติ แล้วนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองของสิ่งต่างๆ โดยขึ้นอยู่กับวิธีการเขียนโปรแกรม และองค์ประกอบต่างๆ เพื่อให้ได้ภาพที่มีความสมจริง และสมบูร์นมากที่สุด

ระบบการสร้างภาพคลื่น 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ สามารถนำไปประยุกต์ไปประยุกต์ใช้งานในการสร้างภาพ 2 มิติ เป็น 3 มิติ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ อีกมากมาย เช่น

- ทางด้านการกีฬา เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวระดับสูงในวิทยาศาสตร์การกีฬา และการใช้อุปกรณ์กีฬาบางประเภท
- ทางด้านกลศาสตร์ชีวภาพ เป็นการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยทางการแพทย์
- ทางด้านสัลยกรรมกระดูก เป็นการวิเคราะห์คุณภาพโดยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ
- ทางด้านการบำบัดผู้ป่วย โดยใช้การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจากข้อมูลภาพวิดีโอที่สามารถเปรียบเทียบได้ และมีทั้งข้อมูลการเคลื่อนไหวได้ในหลายๆ วิธี
- ทางด้านอุตสาหกรรมที่ใช้สังเกตการณ์เคลื่อนไหวที่สมบูร์นของเครื่องจักร

ระบบการสร้างภาพคลื่น 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ แสดงถึงการสร้างภาพแบบจำลอง 3 มิติ โดยการแคปเจอร์ภาพจากกล้อง 3 ตัว ที่วางในตำแหน่ง และมุมองที่ต่างกัน ซึ่งภาพที่แคปเจอร์ได้จะมีพิกัด 2 มิติ ดังนั้นภาพที่ได้จะต้องนำไปประมวลผลเพื่อให้ได้พิกัดเป็น 3 มิติ โดย

อาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) เพื่อให้ได้ค่าพิกัดภาพที่เป็น 3 มิติ แล้วก็จะนำค่าพิกัด 3 มิติที่ได้มาสร้างเป็นภาพแบบจำลอง 3 มิติ [1-7]

งานนี้จะอธิบายข้อมูลเป็นส่วนดังต่อไปนี้: ส่วนที่ 2 อธิบายแบบจำลองกล้อง ส่วนที่ 3 อธิบายการประมวลผลภาพพิกัด 3 มิติของวัตถุ ส่วนที่ 4 อธิบายผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง และส่วนที่ 5 อธิบายบทสรุป

2. แบบจำลองกล้อง

ภาพ 2 มิติส่วนใหญ่ได้มาจากการมองวัตถุ 3 มิติค่าพิกัดของกล้อง ภาพถ่าย 2 มิติที่ถ่ายผ่านเลนส์ของกล้องผ่าน linear transformation จาก 3D projective space  $\rho^3$  ออกจาก 2D projective space  $\rho^2$  สามารถอธิบายโดยสมการ

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = K[I_s | O_s] \begin{bmatrix} R & -T \\ O_s^T & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

หรือ  $\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$  โดยที่  $M = [KR | -KRT]$  (1)

จุดจาก  $[X_s, Y_s, Z_s, 1]^T$  แสดงในระบบพิกัดของโลก (ในรูปที่ 1)  $[x_i, y_i, z_i]^T$  คือ ภาพของจุดโลกในหน่วย pixel ในระบบพิกัดกล้อง

เมตริกซ์ K ในสมการ (1) คือ เมตริกซ์การปรับเทียบกล้อง เป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ภายในที่สำคัญของกล้อง

$$K = \begin{bmatrix} f\alpha & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f\beta & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ  $f$  คือ ความยาวโฟกัสของ projection  $(u_0, v_0)$  คือ จุดหลักของ projection เมตริกซ์ R และ T เป็นพารามิเตอร์ภายนอกของกระบวนการปรับเทียบกล้อง โดย R แทนเมตริกซ์ที่เป็นผลรวมของการหมุนระบบพิกัด มี 3 element ของการหมุนของกล้องเทียบกับระบบพิกัดพื้นโลก การหมุนรอบแกน x, y และ z คือการหมุน pan (ซ้าย), tilt (เอียง) และ roll ตามลำดับ

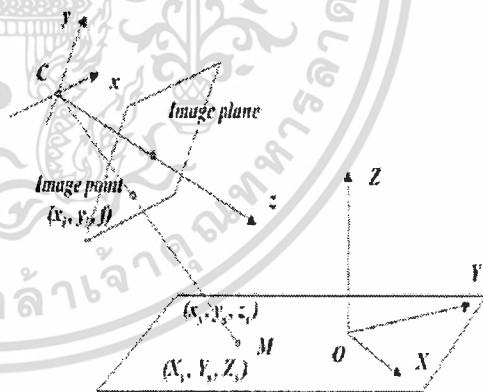
และ T แทนเวกเตอร์ที่เป็นผลรวมของการเคลื่อนย้ายระบบพิกัด มี 3 element ของการเคลื่อนที่จากจุดกำเนิดของระบบพิกัดโลกที่เทียบกับระบบพิกัดกล้อง การปรับเทียบกล้องเป็นการหาค่าประมาณของเมตริกซ์ M จากจุดในฉาก 3 มิติที่รู้ตำแหน่ง และภาพที่เกิดขึ้นของจุด

ในการหาเมตริกซ์ M เราจะทำกรหาจุดในฉากที่เราทราบพิกัด  $X = [x \ y \ z \ 1]^T$  และจุดในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกัน  $[u \ v \ w]^T$  ซึ่งจะได้สมการที่อยู่ในรูปสมการ (3) ดังนี้

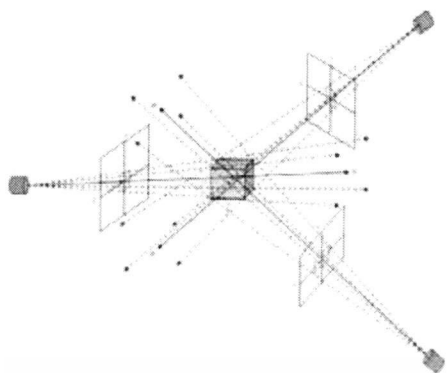
$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz & -u \\ 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -vz & -v \\ & & & & & & & \vdots & & & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ \vdots \\ m_{34} \end{bmatrix} = 0$$

หรือ  $AX = 0$  (3)

เมตริกซ์ X หาได้โดยการทำ Singular Value Decomposition (SVD) ของ A ซึ่งการทำ Singular Value Decomposition (SVD) เป็นการ decomposed matrix ออกเป็นผลคูณของ matrix 3 matrix คือ  $A=UDV^T$  โดยที่ column สุดท้ายของ v คือ M เมื่อได้เมตริกซ์ M แล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการแยกพารามิเตอร์ภายในของ M สามารถเขียนใหม่ได้  $M = [A | b]$  ดังนั้นเมตริกซ์ย่อย 3x3 แทนด้วย A เวกเตอร์กลับทางขวามือสุดแทนด้วย b เวกเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ระยะเคลื่อนที่สามารถแยกออกมาได้ง่าย โดย  $T = -A^{-1}b$  เวกเตอร์ T ให้ข้อมูลที่ยังบอกถึงตำแหน่งกึ่งกลางของ Image plane

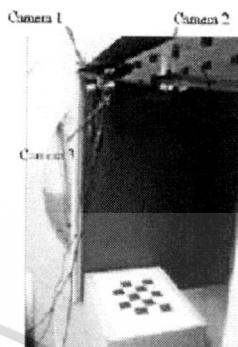


รูปที่ 1 ระบบพิกัดของกล้อง



รูปที่ 2 การประมวลผลการปรับเทียบกล้อง

projection matrix  $M$  แล้วทำการ reprojection ในสมการ (1) เพื่อทำการคำนวณจุดอ้างอิงของภาพ และแสดงผลที่ลดข้อผิดพลาดของภาพที่ทำการบันทึก



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งของกล้องทั้ง 3 และแบบจำลอง

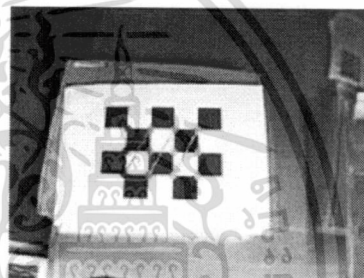
3. การหาพิกัด 3D โดยใช้เทคนิค DLT

ในการประมวลผลโดยใช้กล้อง 3 ตัว ที่วางตำแหน่งใดก็ได้ ไร้ขอบเขต วัตถุกล้องแต่ละตัวผ่านกระบวนการปรับเทียบกล้อง (สมการ 3) ในขบวนการปรับเทียบกล้องเราให้กล้องทั้ง 3 ตัว ถ่ายภาพวัตถุที่เราทราบพิกัด แสดงในรูปที่ 2 ให้  $M'$ ,  $M''$  และ  $M'''$  คือ การคำนวณ projection matrix สำหรับกล้อง 3 ตัว ภาพของวัตถุนี้คือ Marker จะถูกบันทึกโดยใช้กล้องดิจิทัล

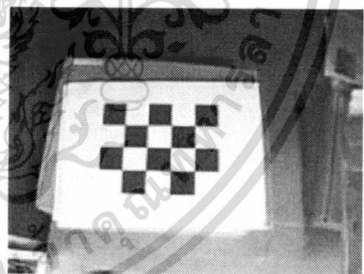
ถ้า  $(u', v')$ ,  $(u'', v'')$  และ  $(u''', v''')$  คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณพิกัดของ Marker บนเฟรมที่พิจารณา ดังนั้นข้อมูล 3 มิติของ Marker  $X = (x, y, z)$  สามารถคำนวณโดยสมการโฮโมจีนียส

$$\begin{bmatrix} u' m'_3 - w' m'_1 \\ v' m'_3 - w' m'_2 \\ u'' m''_3 - w'' m''_1 \\ v'' m''_3 - w'' m''_2 \\ u''' m'''_3 - w''' m'''_1 \\ v''' m'''_3 - w''' m'''_2 \end{bmatrix} X - AX = 0 \quad (4)$$

โดยที่  $m'_i$  คือแถวที่  $i$  ของ projection เมทริกซ์  $M$  ส่วนหนึ่งของการหาพิกัด 3 มิติคือผลที่ค่อนข้างดีที่ได้อธิบายมาจากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแบบจำลองโครงร่าง 3 มิติ



รูปที่ 4 กระบวนการ reprojection แสดงจุดอ้างอิง



รูปที่ 5 กระบวนการ reprojection (แสดง Reprojected ภาพของจุดอ้างอิง)

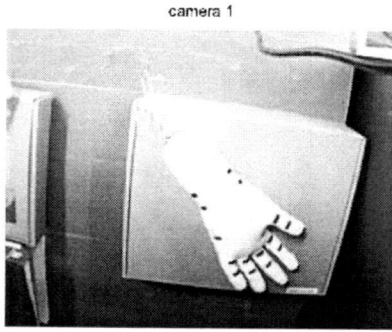
4. ผลการทดลอง

4.1 การปรับเทียบกล้อง

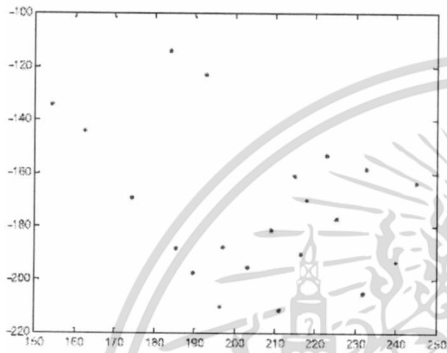
การปรับเทียบกล้องโดยใช้กล้อง 3 ตัว ทำบันทึกภาพหนึ่ง โดยอ้างอิงวัตถุที่รู้ค่าเป็นจุดกำเนิด จากนั้นทำการตรวจสอบโดยการคำนวณ

4.2 การหาพิกัด (x, y) ของแบบจำลอง

การหาพิกัด (x, y) ของแบบจำลอง โดยใช้กล้องในการบันทึกภาพแบบจำลอง ส่วนของแบบจำลองที่ติดด้วย Marker ซึ่งแสดงในรูปที่ 6 ทำการโหลดภาพเข้าสู่โปรแกรมแล้วทำการหาพิกัด (x, y) ของ Marker ในแบบจำลอง



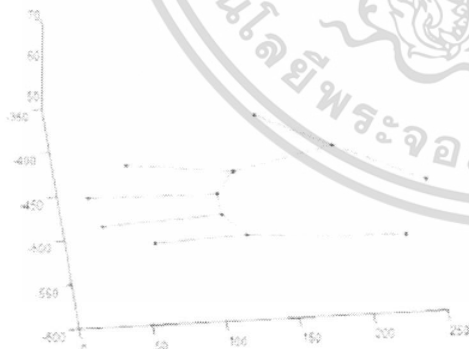
รูปที่ 6 ส่วนข้อต่อของวัตถุที่ติดด้วย Marker



รูปที่ 7 ค่าพิกัด (x, y) ของ Marker ในภาพแบบเงาของ

### 4.3 การหาพิกัด 3D ของวัตถุ

การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ โดยใช้กล้อง 3 ตัวในการบันทึกวิดีโอของวัตถุ ส่วนต่างๆ ของวัตถุที่ติดด้วย Marker ส่วนการหาพิกัด 3 มิติของ Marker โดยใช้เทคนิค Direct Linear Transform (DLT) ได้ผลตามรูปที่ 8 แสดงพิกัด 3 มิติของ Marker ที่ติดบนวัตถุ



รูปที่ 8 พิกัด 3 มิติของ Marker ที่ติดบนวัตถุ

### 5. สรุป

ระบบการสร้างภาพคืน 3 มิติ จากภาพ 2 มิติ นี้ต้องการกล้องที่อยู่ในพื้นที่ใดก็ได้รอบวัตถุที่ติด Marker แล้วทำการบันทึกภาพ โดยทำการหาพิกัดของ Marker ที่ติดรอบวัตถุ แล้วนำพิกัดของ Marker ที่ได้มาสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ โดยอาศัยเทคนิค Direct Linear Transform (DLT) ระบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งกับวัตถุที่เคลื่อนที่และวัตถุที่หยุดนิ่ง ทั้งยังสามารถใช้งานได้กับวัตถุหลากหลายชนิด

เทคนิคการหาพิกัด 3 มิติมีหลายวิธี เช่น เทคนิคการถ่ายภาพสเตอริโอ ซึ่งจะมีความยุ่งยากในการเก็บภาพโดยเฉพาะการตั้งใช้กล้อง 2 ตัวที่มีคุณสมบัติและการวางตัวที่เหมือนกัน แต่เทคนิค DLT กล้องที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน การวางตัวของกล้องเป็นไปอย่างอิสระ ข้อเสียของเทคนิค DLT ก็คือจำเป็นต้องมีการปรับเทียบกล้องทุกครั้งที่มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งกล้อง

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Bosch T. et al. "3D Object Construction Using a Self-mixing Type Scanning Laser Range Finder." IEEE Trans. Instrum. and Meas. vol. 45, pp. 1326-1329, 1998.
- [2] Boulgouris, N.V.; Plataniotis, K.N.; Hatzinakos, D. "Gait analysis and recognition using angular transforms", Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2004. volume 3, 2-5 May 2004 pp.:1317-1320
- [3] Franjo, C., Wariadeva, B. and Rommance, E. "A Stereo Vision System for Pedestrian Navigation", 17 International Conference on Applied Electromagnetic and Communications, 1-3 October, 2003,
- [4] Geisheimer, J.L.; Marshall, W.S.; Greneker, E. "A continuous-wave (CW) radar for gait analysis", Conference Record of the Thirty-Fifth Asilomar on Signals, Systems and Computers, 2001, Volume 1, 4-7 Nov. 2001 pp.:834-838
- [5] Okada, N., Kondo, E., Zha, H., Morooka, K. and Nagata, T., "3D Object Model Construction from Range Images Taken by a Range Finder on a Mobile Robot," Proc. of the 1998 IEEE/RJS Int. Conf. Of Intell. Robot. and Sys., pp. 1853-1858, 1998.
- [6] Sorapong A., Manas S., Chuchart P., Electronics, KMITL, "A 3D MOTION CAPTURE SYSTEM USING DIRECT LINEAR TRANSFORM AND QUAD-TREE SEARCHING SCHEME", ECTI-CON 2006, UbonRatchathani, Thailand, May 2006.
- [7] Weng, N., Yang, Y. H., and Pierson, R., "3D Surface Reconstruction using Optical Flow for Medical Imaging." IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol. 16, No. 5, 1997, pp. 630-641.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวศุภกาญจน์ ชินวราพัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2529 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาจังหวัด ภูเก็ต ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้