

การพัฒนาเครื่องตรวจหาเส้นเลือดด้วยกล้องอินฟราเรด
THE DEVELOPMENT OF INFRARED VEIN FINDER TECHNOLOGY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การพัฒนาเครื่องตรวจหาเส้นเลือดด้วยกล้องอินฟราเรด

THE DEVELOPMENT OF INFRARED VEIN FINDER TECHNOLOGY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DEVELOPMENT OF INFRARED VEIN FINDER TECHNOLOGY

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two smaller, similar structures. The entire design is surrounded by a decorative border with Thai script. The names of the authors are printed over the seal.

DITSAPHON TALAPTHONG
PATOMCHAI TARASUNTISUK
VISARUD KAOJAREE

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมระบบการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องตรวจหาเส้นเลือดด้วยกล้องอินฟราเรด

THE DEVELOPMENT OF INFRARED VEIN FINDER TECHNOLOGY

ผู้จัดทำ

นายดิศพล

ตลับทอง

54010476

นายปฐมชัย

ธราสันดีสุข

54010760

นายวิศรุต

เขอาจารย์

54011210



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คงศักดิ์ อนันตศิริภูรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 กรอบแนวคิดในการศึกษา	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การประมาณตำแหน่งในสามมิติ	3
2.1 ส่วนประกอบของการประมาณตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์	3
2.2 การฉายภาพแบบเพอร์สเปคทีฟ	3
2.3 การปรับเทียบกล้อง	6
2.4 การหาพิกัดในสามมิติ	8
บทที่ 3 การทดลองกับแบบจำลองเส้นเลือด	11
3.1 การปรับเทียบกล้องด้วยกล่อง	11
3.2 แบบจำลองเส้นเลือดดำ	20
3.3 การประมาณตำแหน่งเส้นเลือดดำด้วยภาพ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	37
4.1 สรุปผลการศึกษา	37
4.2 อภิปรายผลการศึกษา	37
4.3 ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลองการเกิดภาพ	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงภาพและแกนอ้างอิงจุดบนภาพ	4
2.3 ระบบพิกัดสามมิติในระบบพิกัดของโลก	8
3.1 ผังแสดงการทำงานของโปรแกรมปรับเทียบกล้อง	11
3.2 ต้นฉบับของกล้องสำหรับปรับเทียบกล้องตัวที่หนึ่ง	12
3.3 ต้นฉบับของกล้องสำหรับปรับเทียบกล้องตัวที่สอง	12
3.4 กล้องปรับเทียบสี่เทาของกล้องตัวที่หนึ่ง	13
3.5 กล้องปรับเทียบสี่เทาของกล้องตัวที่สอง	13
3.6 การกำหนดจุดในภาพสี่เทาที่ได้จากกล้องตัวที่หนึ่ง	14
3.7 การกำหนดจุดในภาพสี่เทาที่ได้จากกล้องตัวที่สอง	14
3.8 การกำหนดพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกของกล้องตัวที่หนึ่ง	15
3.9 การกำหนดพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกของกล้องตัวที่สอง	15
3.10 การแสดงผลความถูกต้องของกล้องตัวที่หนึ่ง	17
3.11 การแสดงผลความถูกต้องของกล้องตัวที่สอง	18
3.12 อุปกรณ์สำหรับจัดทำแบบจำลอง	20
3.13 เจลาตินผงและน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 5	21
3.14 ส่วนผสมของน้ำและเจลาตินผง	21
3.15 เทส่วนผสมที่ต้มเสร็จลงแม่พิมพ์	22
3.16 แขนจำลองพร้อมทำการทดลอง	22
3.17 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่ง	23
3.18 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สอง	23
3.19 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่หนึ่ง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่หนึ่ง	26
3.21 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สอง	27
3.22 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สอง	27
3.23 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สาม	28
3.24 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สาม	28
3.25 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สี่	29
3.26 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สี่	29
3.27 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่ห้า	30
3.28 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่ห้า	30
3.29 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่หก	31
3.30 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่หก	31
3.31 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่เจ็ด	32
3.32 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่เจ็ด	32
3.33 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่แปด	33
3.34 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่แปด	33
3.35 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่เก้า	34
3.36 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่เก้า	34
3.37 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สิบ	35
3.38 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สิบ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา เว้นแต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าของจุดบนระนาบรับภาพของกล้อง	24
3.2 สรูลค่าของจุดบนระนาบรับภาพจากการทดลอง	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา viii ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องตรวจหาเส้นเลือดด้วยกล้องอินฟราเรด

โดย

นายดิศพล ตลับทอง 54010476

นายปฐมชัย ธาราสันติสุข 54010760

นายวิศรุต เชาจารี 54011210

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้จะกล่าวถึงการมองเห็นเส้นเลือดดำในสามมิติ ซึ่งนำข้อมูลมาจากภาพสองมิติ โดยใช้เทคนิคการฉายแบบเพอร์สเปคทีฟ ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งของวัตถุในสองมิติ เมทริกซ์ของกล้องและพิกัดในสามมิติ ในการจะหาพิกัดในสามมิติจะประกอบไปด้วยการปรับเทียบกล้องเพื่อหาเมทริกซ์ของกล้อง การหาพิกัดของวัตถุบนระนาบรับภาพ จากนั้นจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเมทริกซ์ของกล้องกับตำแหน่งพิกัดบนระนาบรับภาพของเส้นเลือดดำ เพื่อทำการคำนวณหาพิกัดของเส้นเลือดดำในสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DEVELOPMENT OF INFRARED VEIN FINDER TECHNOLOGY

By

Mr. Ditsaphon Talapthong 54010476

Mr. Patomchai Tarasuntisuk 54010760

Mr. Visarud Kaojaree 54011210

Advisor

Asst.Prof. Dr. Kongsak Anuntahirunrat

Academic Year 2014

ABSTRACT

The objective of this study was estimate position of veins in three-dimensionform image in two dimensions. This study use perspective projection method to estimate the position of veins. That includes object position in two-dimension, camera matrix and object position in three-dimension. Camera matrix can solve by calibration camera. After that use relation between camera matrix and position of veins in two-dimension for calculate position of veins in three-dimension.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คงศักดิ์ อนันตศิริวัฒน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะที่ตีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น และให้ความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือนรวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาและ ครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นายดิศพล

ศิลป์ทอง

นายปฐมชัย

ธาราสันติสุข

นายวิศรุต

เขาวารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 กรอบแนวคิดในการศึกษา	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การประมาณตำแหน่งในสามมิติ	3
2.1 ส่วนประกอบของการประมาณตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์	3
2.2 การฉายภาพแบบเพอร์สเปคทีฟ	3
2.3 การปรับเทียบกล้อง	6
2.4 การหาพิกัดในสามมิติ	8
บทที่ 3 การทดลองกับแบบจำลองเส้นเลือด	11
3.1 การปรับเทียบกล้องด้วยกล้อง	11
3.2 แบบจำลองเส้นเลือดดำ	20
3.3 การประมาณตำแหน่งเส้นเลือดดำด้วยภาพ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	37
4.1 สรุปผลการศึกษา	37
4.2 อภิปรายผลการศึกษา	37
4.3 ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลองการเกิดภาพ	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงภาพและแกนอ้างอิงจุดบนภาพ	4
2.3 ระบบพิกัดสามมิติในระบบพิกัดของโลก	8
3.1 ผังแสดงการทำงานของโปรแกรมปรับเทียบกล้อง	11
3.2 ต้นฉบับของกล้องสำหรับปรับเทียบกล้องตัวที่หนึ่ง	12
3.3 ต้นฉบับของกล้องสำหรับปรับเทียบกล้องตัวที่สอง	12
3.4 กล้องปรับเทียบสี่เทาของกล้องตัวที่หนึ่ง	13
3.5 กล้องปรับเทียบสี่เทาของกล้องตัวที่สอง	13
3.6 การกำหนดจุดในภาพสี่เทาที่ได้จากกล้องตัวที่หนึ่ง	14
3.7 การกำหนดจุดในภาพสี่เทาที่ได้จากกล้องตัวที่สอง	14
3.8 การกำหนดพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกของกล้องตัวที่หนึ่ง	15
3.9 การกำหนดพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกของกล้องตัวที่สอง	15
3.10 การแสดงผลความถูกต้องของกล้องตัวที่หนึ่ง	17
3.11 การแสดงผลความถูกต้องของกล้องตัวที่สอง	18
3.12 อุปกรณ์สำหรับจัดทำแบบจำลอง	20
3.13 เจลาตินผงและน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 5	21
3.14 ส่วนผสมของน้ำและเจลาตินผง	21
3.15 เทส่วนผสมที่ต้มเสร็จลงแม่พิมพ์	22
3.16 แขนจำลองพร้อมทำการทดลอง	22
3.17 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่ง	23
3.18 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สอง	23
3.19 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่หนึ่ง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่หนึ่ง	26
3.21 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สอง	27
3.22 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สอง	27
3.23 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สาม	28
3.24 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สาม	28
3.25 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สี่	29
3.26 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สี่	29
3.27 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่ห้า	30
3.28 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่ห้า	30
3.29 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่หก	31
3.30 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่หก	31
3.31 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่เจ็ด	32
3.32 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่เจ็ด	32
3.33 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่แปด	33
3.34 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่แปด	33
3.35 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่เก้า	34
3.36 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่เก้า	34
3.37 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สิบ	35
3.38 การหาพิกັตบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สิบ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าของจุดบนระนาบรับภาพของกล้อง	24
3.2 สรุปลค่าของจุดบนระนาบรับภาพจากการทดลอง	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการนำความรู้ทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิตประจำวันอย่างมากมายรวมทั้งทางด้านการแพทย์และสาธารณสุข ซึ่งมีความขาดแคลนบุคลากรและเครื่องมือที่ใช้ในการแพทย์จำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจในการจะนำความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์มาสร้างเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

ในวิทยาลัยเทคนิคนี้เป็นวิทยาลัยที่ทำการศึกษ การนำความรู้ทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้กับการตรวจหาเส้นเลือดดำ ซึ่งเป็นเส้นเลือดที่ถูกนำเลือดออกมาเพื่อนำไปใช้ในการตรวจหรือวิเคราะห์สุขภาพของผู้ป่วยมากที่สุด ในการศึกษาจะนำความรู้เรื่องการประมาณตำแหน่งของวัตถุในสามมิติด้วยคอมพิวเตอร์ มาใช้ในการประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดดำ ซึ่งส่วนประกอบของการประมาณตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์จะใช้กล้องสองตัวในการเก็บภาพ การเก็บภาพด้วยกล้องสองตัวนี้เป็นการเก็บภาพแบบสเตอริโอ ซึ่งเป็นแบบเดียวกับการมองเห็นของมนุษย์ จากนั้นจะนำภาพที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อทำการปรับเทียบกล้องซึ่งจะทำให้ได้เมทริกซ์ของกล้อง ขั้นตอนต่อมาเมื่อได้เมทริกซ์ของกล้องคือ การใช้สมการแบบจำลองกล้อง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดในสองมิติ เมทริกซ์การฉายของกล้องและพิกัดในสามมิติ มาประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดดำในระบบพิกัดสามมิติของโลก

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาส่วนประกอบของการประมาณตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์
2. ศึกษาการฉายภาพแบบเพอร์สเปคทีฟ
3. ศึกษาการปรับเทียบกล้องเพื่อหาเมทริกซ์ของกล้อง
4. ศึกษาการประมาณตำแหน่งในสามมิติ

1.3 ขอบเขตของการศึกษาโครงการ

1. วิเคราะห์และออกแบบส่วนประกอบของการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์
2. วิเคราะห์และออกแบบการปรับเทียบกล้องเพื่อหาเมทริกซ์ของกล้อง
3. ศึกษาการประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดดำในสามมิติด้วยสมการการฉายภาพ

1.4 กรอบแนวคิดในการศึกษาโครงการ

แนวคิดในการศึกษาโครงการเรื่องนี้ มาจากเมื่อถ่ายภาพอินฟราเรดไปยังผิวหนังของมนุษย์ จะพบว่าภาพถ่ายจะติดเส้นเลือดดำ เนื่องจากเส้นเลือดดำกลืนแสงไว้ และการใช้สมการการฉายภาพ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดสองมิติในระนาบรับภาพ เมทริกซ์ของกล้องและพิกัดในสามมิติในระบบพิกัดโลก มาประยุกต์ใช้งานเพื่อประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดดำในสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำความรู้และวิธีการทางคณิตศาสตร์มาประเมินตำแหน่งในสามมิติ
2. ได้นำทฤษฎีและหลักการการบันทึกภาพแบบสเตอริโอวิชั่นมาใช้ในการบันทึกภาพ
3. ได้ศึกษาและนำความรู้เรื่องการประมวลผลภาพมาใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งเส้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การประมาณตำแหน่งในสามมิติ

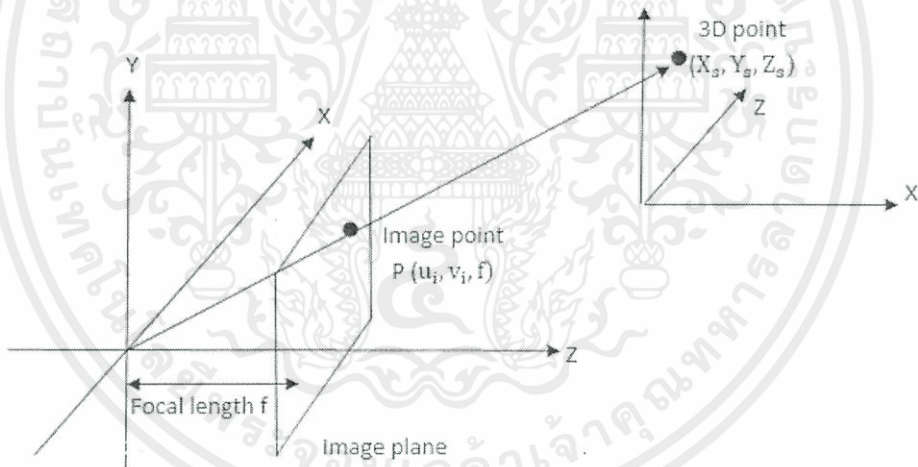
การประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดดำในสามมิติโดยการมองเห็นแบบสเตอริโอ จะใช้กล้องบันทึกภาพจำนวนสองกล้อง ภาพที่ได้จะต้องถูกนำมาปรับเทียบเพื่อหาเมทริกซ์การฉายของกล้องแต่ละตัว จากนั้นจึงนำไปใช้ในการประมาณตำแหน่งในสามมิติของเส้นเลือดดำในระบบพิกัดโลก

2.1 ส่วนประกอบของการประมาณตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์

ในการศึกษานี้จะใช้กล้องเว็บแคมจำนวนสองกล้อง ซึ่งภาพที่บันทึกได้จะทำให้ได้ภาพแบบสเตอริโอ จากนั้นจะใช้โปรแกรมแมตแล็บในการประมวลผลภาพเพื่อที่ได้จากกล้องทั้งสอง เพื่อทำการปรับเทียบกล้องและหาพิกัดในสามมิติ

2.2 การฉายภาพแบบเพอร์สเปคทีฟ

การศึกษาการฉายภาพแบบเพอร์สเปคทีฟ จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาแบบจำลองการเกิดภาพอย่างง่ายซึ่งประกอบด้วย จุดศูนย์กลางการฉาย O (Center of Projection) ระนาบรับภาพ (Image Plane) และจุดพิกัดในสามมิติ (P) ดังรูปที่ 2.1



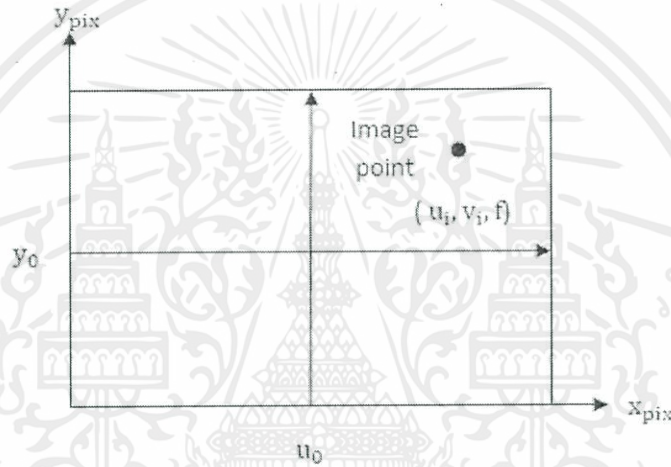
รูปที่ 2.1 แบบจำลองการเกิดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจุดในสามมิติกับจุดบนระนาบรับภาพ เรียกว่า "สมการการฉาย" ซึ่งพิกัดที่เกี่ยวข้องจะเขียนแสดงในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส ดังสมการที่ (2.1)

$$\lambda \tilde{w} = M \tilde{v} \quad (2.1)$$

โดย λ คือ ค่าคงที่ที่แสดงถึงการที่กล้องลดมิติจากสามมิติเป็นสองมิติ
 \tilde{w} คือ เวกเตอร์ของจุดบนวัตถุในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส
 M คือ เมทริกซ์ของกล้อง
 \tilde{v} คือ เวกเตอร์ของจุดบนระนาบรับภาพในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส
 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพ (x_i, y_i และ f) ให้พิจารณาจากรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงภาพและแกนอ้างอิงจุดบนภาพ

จากรูปที่ 2.2 พิกัดของจุดบนระนาบรับภาพในหน่วยพิกเซลสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\begin{aligned} x_{pix} &= k_x x_i + s y_i + x_0 \\ &= k_x f \frac{x_s}{z_s} + s f \frac{y_s}{z_s} + u_0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} y_{pix} &= k_y x_i + y_0 \\ &= k_y f \frac{x_s}{z_s} + u_0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

โดย k_x คือ ค่าการปรับสเกลในทิศทางแนวแกน X
 k_y คือ ค่าการปรับสเกลในทิศทางแนวแกน Y
 s คือ ค่าความเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่นำสมการที่ (2.2) และสมการที่ (2.3) มาจัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 & 0 \\ 0 & \beta & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} I_3 & O_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

โดย $\alpha = k_x f$ คือ ค่าความยาวโฟกัสในทิศทางตามแนวแกน X

$\beta = k_y f$ คือ ค่าความยาวโฟกัสในทิศทางตามแนวแกน Y

K คือ เมทริกซ์การปรับเทียบกล้องมีขนาด 3×3

จากรูปที่ 2.1 จุดกึ่งกลางของพิกัดโลก และจุดกึ่งกลางของการฉายของระนาบภาพอยู่ห่างกันเป็นระยะ $(x_0, y_0$ และ $z_0)$ จะทำให้ได้สมการแบบจำลองการฉายภาพใหม่คือ

$$\lambda \tilde{w} = P T_c R \tilde{v} \quad (2.7)$$

โดยที่

$$T_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & 0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

และ $R = R_\beta R_\alpha$ โดยที่

$$R_\beta = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$R_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7) สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} I_3 & O_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & -T \\ O_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงในชื่อของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย R คือ เมทริกซ์การหมุนมีขนาด $[3 \times 3]$

T คือ เมทริกซ์การเลื่อนมีขนาด $[3 \times 1]$

ส่วนเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} R & -T \\ 0_3^T & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

เป็นเมทริกซ์ที่รวมเอาพารามิเตอร์ภายนอกของการปรับเทียบกล้อง สามารถเขียนสมการที่ (2.11) ใหม่ได้ดังนี้

$$\lambda x = PX = [KR | -KRT]X \quad (2.13)$$

โดย K คือ เมทริกซ์การปรับเทียบกล้องมีขนาด $[3 \times 3]$
 R คือ เมทริกซ์การหมุนมีขนาด $[3 \times 3]$
 T คือ เมทริกซ์การเลื่อนมีขนาด $[3 \times 1]$

2.3 การปรับเทียบกล้อง

ในการประมาณตำแหน่งในสามมิติจะมีส่วนประกอบที่สำคัญสามอย่างคือ ตำแหน่งของจุดภาพบนระนาบรับภาพ จุดพิกัดในระบบพิกัดโลกและเมทริกซ์ของกล้อง ซึ่งการจะหาเมทริกซ์ของกล้องนั้นสามารถหาได้จากการปรับเทียบกล้อง การปรับเทียบกล้องเป็นการหาค่าประมาณของเมทริกซ์ของกล้องจากจุดในสามมิติที่รู้ตำแหน่ง และภาพที่เกิดขึ้น จากนั้นจะทำการหาพารามิเตอร์ภายใน คือ เมทริกซ์การปรับเทียบ กล้อง K มีขนาด $[3 \times 3]$ และพารามิเตอร์ภายนอกคือ เมทริกซ์การหมุน R มีขนาด 3×3 และเมทริกซ์การเลื่อนมีขนาด $[3 \times 1]$ การหาเมทริกซ์ของกล้อง P จะต้องทำการหาจุดในระบบพิกัดของโลก $[X Y Z]^T$ และจุดในระนาบรับภาพ $[u v]^T$ ซึ่งจะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างเมทริกซ์ของกล้องจุดพิกัดในระบบพิกัดของโลก และจุดบนระนาบรับภาพดังนี้

$$\lambda \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}^i & m_{12}^i & m_{13}^i & m_{14}^i \\ m_{21}^i & m_{22}^i & m_{23}^i & m_{24}^i \\ m_{31}^i & m_{32}^i & m_{33}^i & m_{34}^i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\begin{bmatrix} Xm_{11}^i + Ym_{12}^i + Zm_{13}^i + m_{14}^i \\ Xm_{21}^i + Ym_{22}^i + Zm_{23}^i + m_{24}^i \\ Xm_{31}^i + Ym_{32}^i + Zm_{33}^i + m_{34}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} \lambda \quad (2.15)$$

ทำการนอร์มอลไลซ์สมาชิกของสมการที่ (2.15) เพื่อเปลี่ยนสมการในพิกัดโฮโมจีเนียสเป็นสมการเชิงเส้น จะทำให้ค่าคงที่ λ หายไปและได้สมการใหม่เป็น

$$Xm_{11}^i + Ym_{12}^i + Zm_{13}^i - u_i Xm_{31}^i - u_i Ym_{32}^i - u_i Zm_{33}^i = 0 \quad (2.16)$$

$$Xm_{21}^i + Ym_{22}^i + Zm_{23}^i - v_i Xm_{31}^i - v_i Ym_{32}^i - u_i Zm_{33}^i = 0 \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.16) และสมการที่ (2.17) จะสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz & -u \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -vz & -v \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ \vdots \\ m_{13} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.18)$$

หรือ

$$AM = 0 \quad (2.19)$$

ในการแก้สมการโฮโมจีเนียสที่มีมากกว่าหกจุดจะได้สมการ Over-Determined ซึ่งจะสามารถแก้ได้โดยวิธี Singular Value Decomposition (SVD) เมื่อได้เมทริกซ์ของกล้องแล้วจะสามารถแยกพารามิเตอร์ของกล้องได้จากสมการ

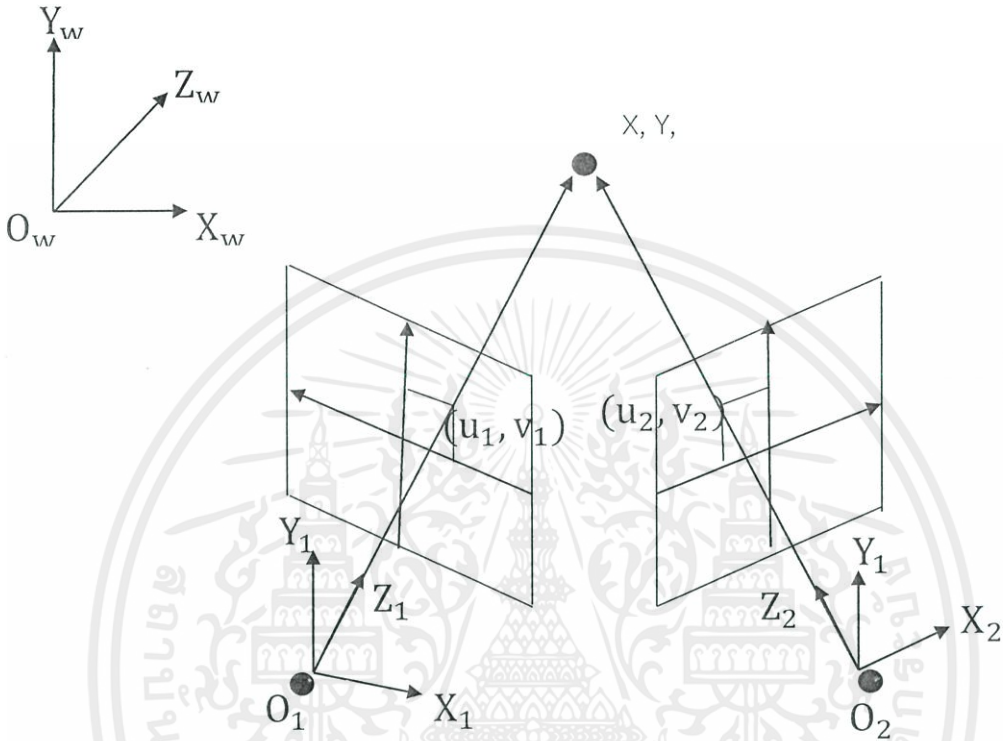
$$M = [KR | -KRT] = [A | B] \quad (2.20)$$

โดยที่ M คือ เมทริกซ์ของกล้องมีขนาด 3×4
 K คือ เมทริกซ์การปรับเทียบกล้องมีขนาด 3×3 เป็นพารามิเตอร์ภายในของกล้อง
 R คือ เมทริกซ์การหมุนมีขนาด 3×3 เป็นพารามิเตอร์ภายนอกของกล้อง
 T คือ เมทริกซ์การเลื่อนมีขนาด 3×1 เป็นพารามิเตอร์ภายนอกของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การหาพิกัดในสามมิติ

กล้องเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกเป็นภาพ ที่มีสองมิติจะเห็นได้ว่ามีมิติที่หายไปหนึ่งมิติ ในการจะเปลี่ยนภาพสองมิติกลับเป็นพิกัดในสามมิติอีกครั้ง จึงควรใช้กล้องตั้งแต่สองตัวขึ้นไปเพื่อบอกถึงลักษณะของภาพที่ชัดเจน



รูปที่ 2.3 ระบบพิกัดสามมิติในระบบพิกัดของโลก

จากรูปที่ 2.3 เมื่อจุดในพิกัดสามมิติถูกฉายมายังกล้องทั้งสองตัว จะทำให้เกิดภาพซึ่งมีสองมิติขึ้นบนกล้อง หลังจากทำการปรับเทียบกล้องจะทำให้ทราบเมทริกซ์ของกล้อง ซึ่งจะทำให้สามารถเปลี่ยนจุดสองมิติบนระนาบรับภาพเป็นพิกัดในสามมิติบนระนาบพิกัดโลกได้ จากรูปที่ 2.3 กำหนดให้ $x_1 = [u_1 \ v_1 \ 1]^T$, $x_2 = [u_2 \ v_2 \ 1]^T$ และ $X = [X \ Y \ Z \ 1]^T$ จากสมการการฉายภาพหรือสมการที่ (2.1) สำหรับกล้องที่หนึ่งจะได้เป็น

$$\lambda x_1 = M_1 X \quad (2.21)$$

$$\lambda \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}^1 & m_{12}^1 & m_{13}^1 & m_{14}^1 \\ m_{21}^1 & m_{22}^1 & m_{23}^1 & m_{24}^1 \\ m_{31}^1 & m_{32}^1 & m_{33}^1 & m_{34}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m^{1,1T} \\ m^{1,2T} \\ m^{1,3T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกล้องตัวที่สองจะได้เป็น

$$\lambda x_2 = M_2 X \quad (2.23)$$

$$\lambda \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}^2 & m_{12}^2 & m_{13}^2 & m_{14}^2 \\ m_{21}^2 & m_{22}^2 & m_{23}^2 & m_{24}^2 \\ m_{31}^2 & m_{32}^2 & m_{33}^2 & m_{34}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m^{2,1T} \\ m^{2,2T} \\ m^{2,3T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

สามารถกำจัดค่าคงที่ λ ด้วยการใช้ความสัมพันธ์ของผลคูณเชิงเวกเตอร์ ซึ่งจะได้สมการของกล้องตัวที่หนึ่งเป็น

$$x_1 \times (M_1 X) = 0 \quad (2.25)$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} m^{1,1T} \\ m^{1,2T} \\ m^{1,3T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$$\begin{bmatrix} v_1 m^{1,3T} X - m^{1,2T} X \\ m^{1,2T} X - u_1 m^{1,3T} X \\ u_1 m^{1,2T} X - v_1 m^{1,1T} X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} u_1 (m^{1,3T} X) - m^{1,1T} X &= 0 \\ v_1 (m^{1,3T} X) - m^{1,2T} X &= 0 \\ u_1 m^{1,2T} X - v_1 m^{1,1T} X &= 0 \end{aligned} \quad (2.28)$$

ในทำนองเดียวกันจะได้สมการของกล้องที่สองดังนี้

$$\begin{aligned} u_2 (m^{2,3T} X) - m^{2,1T} X &= 0 \\ v_2 (m^{2,3T} X) - m^{2,2T} X &= 0 \\ u_2 m^{2,2T} X - v_2 m^{2,1T} X &= 0 \end{aligned} \quad (2.29)$$

นำสมการที่ (2.28) และสมการที่ (2.29) จัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u_1 m^{1,3T} - m^{1,1T} \\ v_1 m^{1,3T} - m^{1,2T} \\ u_1 m^{1,2T} - v_1 m^{1,1T} \end{bmatrix} X = 0 \quad (2.30)$$

และ

$$\begin{bmatrix} u_2 m^{2,3T} - m^{2,1T} \\ v_2 m^{2,3T} - m^{2,2T} \\ u_2 m^{2,2T} - v_2 m^{2,1T} \end{bmatrix} X = 0 \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลซึ่งนำมาจากนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้เอกสารนี้เพื่อเผยแพร่หรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.29) และสมการที่ (2.30) จะมีสองสมการที่เป็นอิสระจากกัน เลือกสองสมการแรกแล้วนำมาจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u_1 m^{1,3T} - m^{1,1T} \\ v_1 m^{1,3T} - m^{1,2T} \\ u_2 m^{2,3T} - m^{2,1T} \\ v_2 m^{2,3T} - m^{2,2T} \end{bmatrix} X = 0 \quad (2.32)$$

หรือ

$$AX = 0 \quad (2.32)$$

สามารถทำการแก้สมการโฮโมจีเนียสในสมการที่ (2.32) เพื่อหาพิกัดสามมิติ $X = [X \ Y \ Z \ 1]^T$ ได้จากการหาค่า X ที่ทำให้ $\|AX\|$ มีค่าน้อยที่สุดโดย $\|X\| = 1$ ซึ่งก็คือการแยก Singular Value Decomposition (SVD) ของ A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

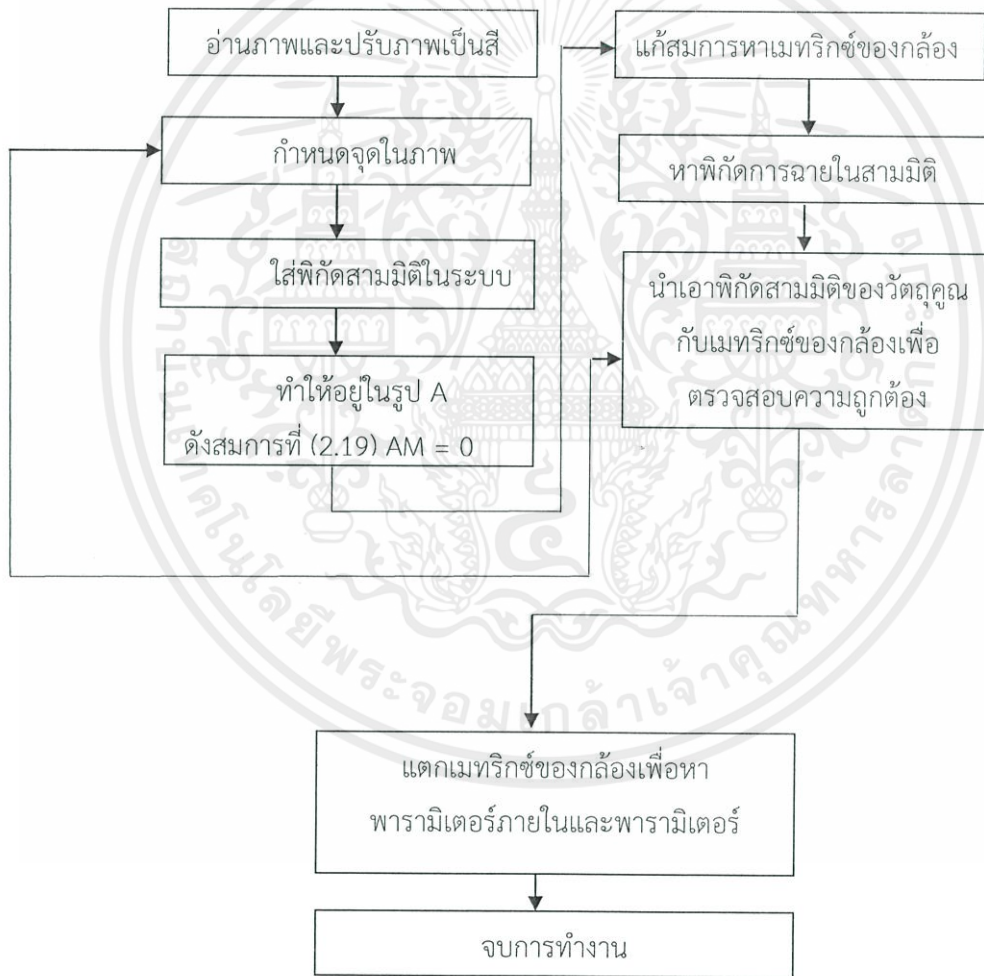
บทที่ 3

การทดลองกับแบบจำลองเส้นเลือดดำ

การทดลองกับแบบจำลองเส้นเลือดดำจะเริ่มต้นจากการจัดทำแบบจำลองของเส้นเลือดดำ การปรับเทียบกล่อง และการประมาณตำแหน่งในสามมิติ

3.1 การปรับเทียบกล่อง

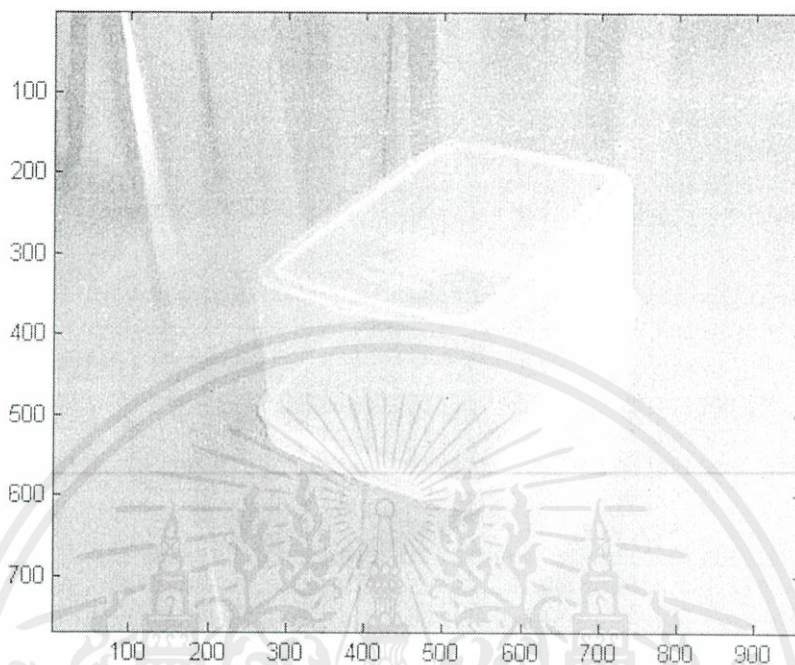
ในการทดลองนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมประมวลผลในการปรับเทียบกล่อง และใช้กล่องสี่เหลี่ยมกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ $9 \times 14 \times 5.5$ เซนติเมตรเป็นตัวปรับเทียบกล่อง โดยมีผังการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.1



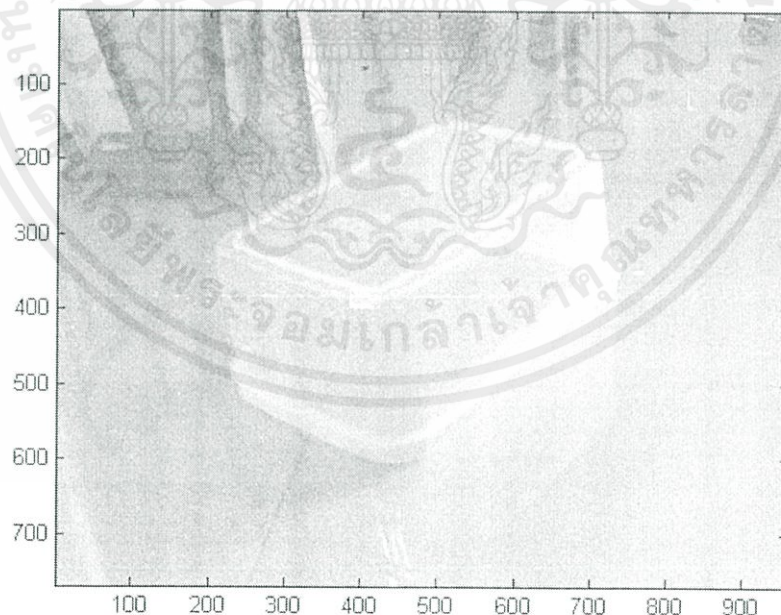
รูปที่ 3.1 ผังแสดงการทำงานของโปรแกรมปรับเทียบกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นด้วยการอ่านภาพต้นฉบับเข้ามาในโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3



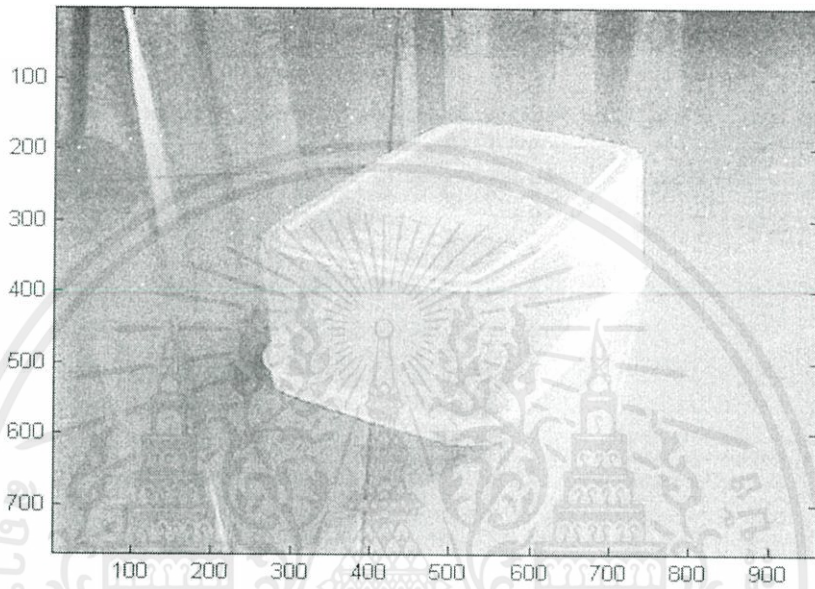
รูปที่ 3.2 ต้นฉบับของกล่องสำหรับปรับเทียบกล่องตัวที่หนึ่ง



รูปที่ 3.3 ต้นฉบับของกล่องสำหรับปรับเทียบกล่องตัวที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการเรียกรูปภาพของกล่องปรับเทียบต้นฉบับเข้ามาในโปรแกรมแล้ว จากนั้นจะทำการปรับภาพต้นฉบับเป็นภาพสีเทา ซึ่งภาพสีเทาจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างรูปทรงของวัตถุกับพื้นที่พื้นหลัง ให้ความเป็นสามมิติแก่รูปทรงได้ชัดเจนขึ้น และทำให้เกิดระยะความตื้นลึก ระยะใกล้ไกลของภาพได้ชัดเจนขึ้น ภาพสีเทาของกล่องตัวที่หนึ่ง และภาพสีเทาของกล่องตัวที่สอง แสดงดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ตามลำดับ



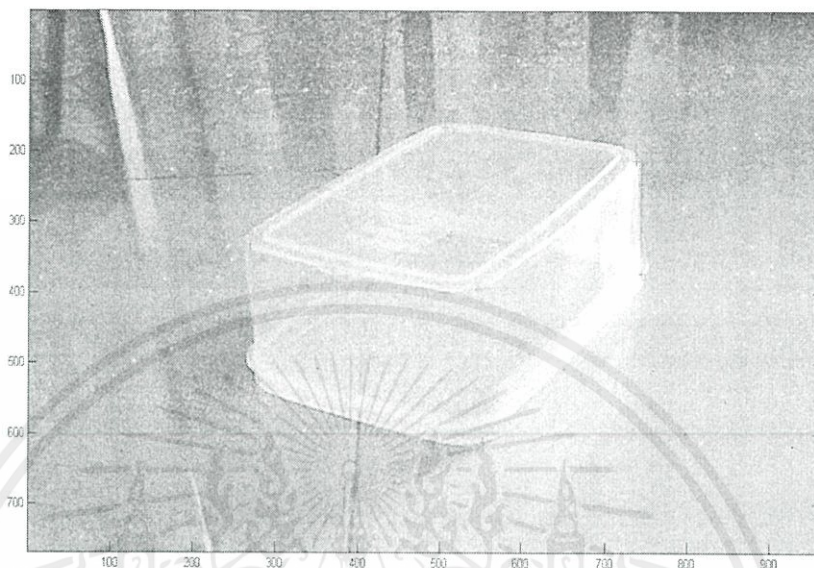
รูปที่ 3.4 กล่องปรับเทียบสีเทาของกล่องตัวที่หนึ่ง



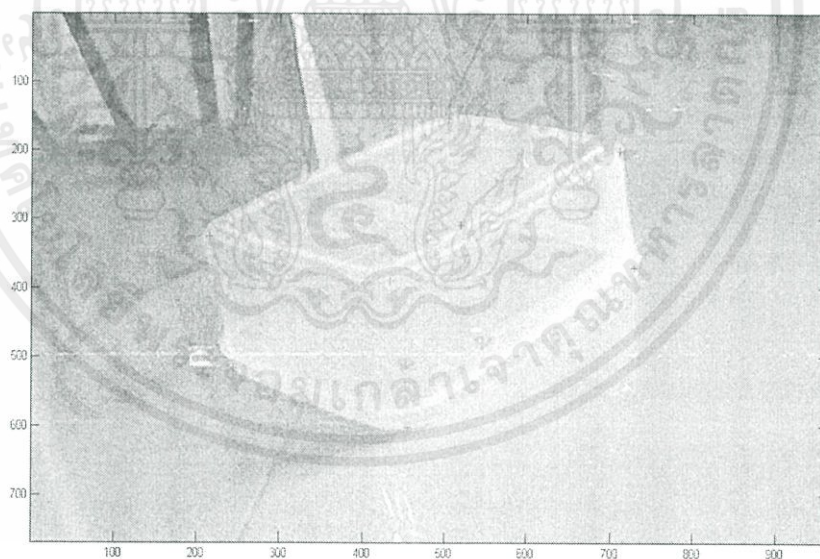
รูปที่ 3.5 กล่องปรับเทียบสีเทาของกล่องตัวที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปรับภาพต้นฉบับของกล้องทั้งสองเป็นภาพสีเทาแล้ว ต่อจากนั้นกำหนดจุดในภาพของกล้องตัวที่หนึ่งและกล้องตัวที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 ตามลำดับ การกำหนดจุดในภาพก็คือ การใส่ค่าสองมิติ $[u \ v \ 1]^T$ ในสมการที่ (2.14) และสมการที่ (2.15) ตามลำดับ



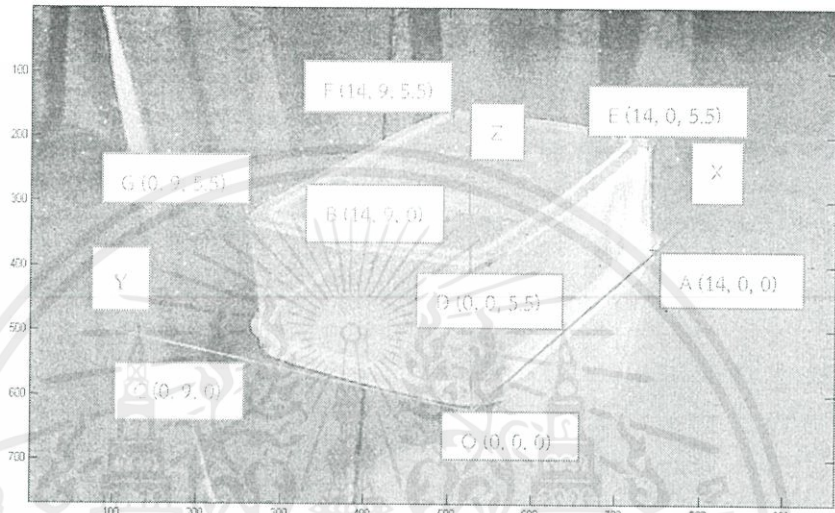
รูปที่ 3.6 การกำหนดจุดในภาพสีเทาที่ได้จากกล้องตัวที่หนึ่ง



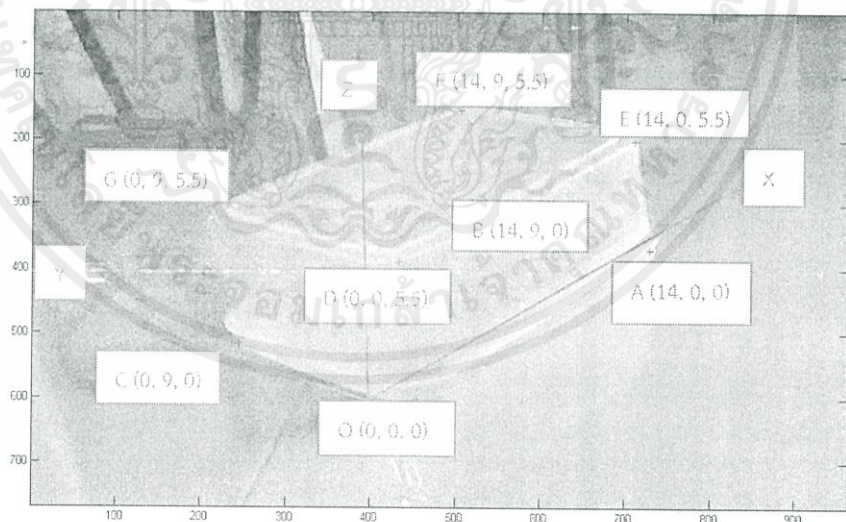
รูปที่ 3.7 การกำหนดจุดในภาพสีเทาที่ได้จากกล้องตัวที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากกำหนดจุดในภาพสี่เท่าที่ได้จากกล้องทั้งสองแล้ว จึงทำการกำหนดพิกัดของกล้องในสามมิติโดยกำหนดให้จุด O อยู่ตำแหน่งที่ (0, 0, 0), จุด A อยู่ที่ตำแหน่ง (14, 0, 0), จุด B อยู่ที่ตำแหน่ง (14, 9, 0), จุด C อยู่ที่ตำแหน่ง (0, 9, 0), จุด D อยู่ที่ตำแหน่ง (0, 0, 5.5), จุด E อยู่ที่ตำแหน่ง (14, 0, 5.5), จุด F อยู่ที่ตำแหน่ง (14, 9, 5.5) และจุด G อยู่ที่ตำแหน่ง (0, 9, 5.5) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ตามลำดับ การใส่พิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกคือ การใส่ค่าของ $[X \ Y \ Z \ 1]^T$ ในสมการที่ (3.10) และสมการที่ (3.11)



รูปที่ 3.8 การกำหนดพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกของกล้องตัวที่หนึ่ง



รูปที่ 3.9 การกำหนดพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกของกล้องตัวที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

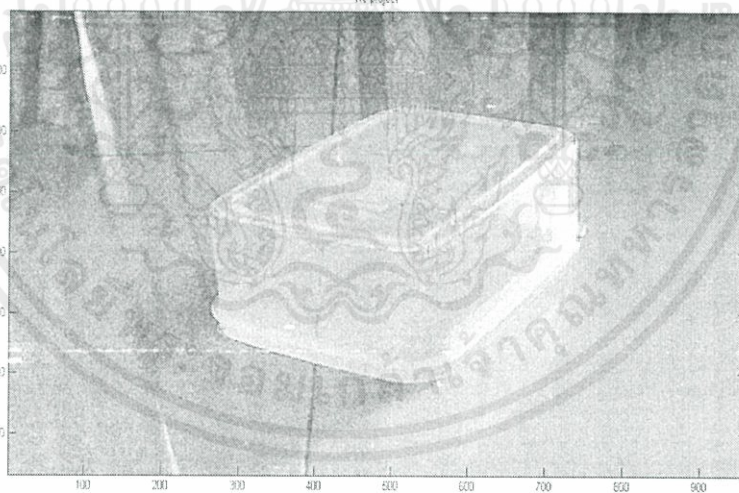
หลังจากทำการกำหนดพิกัดสามมิติในระบบพิกัดโลกของกล่องทั้งสองตัวแล้ว จากนั้นโปรแกรมจะทำการนอร์มอลไลซ์สมาชิกดังสมการที่ (2.15) เพื่อเปลี่ยนสมการในพิกัดโฮโมจีเนียสเป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งจะทำให้ค่าคงที่หายไป และได้สมการใหม่ดังสมการที่ (2.16) และสมการที่ (2.17) ตามลำดับ จากนั้นจะทำการแปลงสมการที่ (2.16) และสมการที่ (2.17) เป็นสมการที่ (2.18) และสมการที่ (2.19) ตามลำดับ เมื่อจัดให้อยู่ในรูปแบบสมการที่ (2.19) ได้แล้ว โปรแกรมจะทำการแก้สมการโดยใช้วิธี Singular Value Decomposition (SVD) ของ A เมทริกซ์ของกล่อง M สามารถหาได้จากแถวสุดท้ายของ V ซึ่งจะได้เมทริกซ์ของกล่องตัวที่หนึ่งดังนี้

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0.0343 & -0.0347 & -0.0013 & 0.6723 \\ -0.0113 & -0.0061 & -0.0457 & 0.7371 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0012 \end{bmatrix}$$

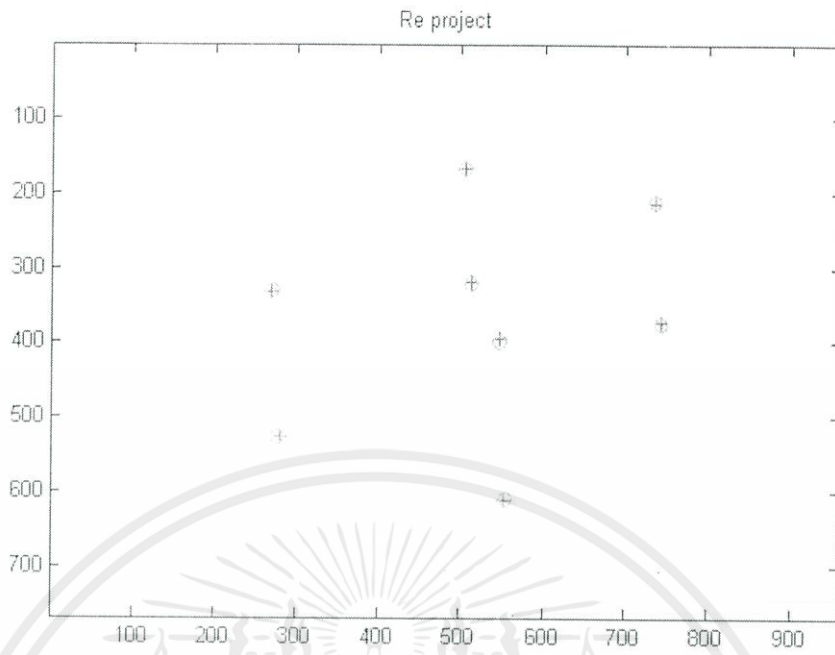
และจะได้เมทริกซ์ของกล่องตัวที่สองดังนี้

$$M_2 = \begin{bmatrix} 0.0392 & -0.0285 & -0.0063 & 0.6042 \\ -0.0148 & -0.0056 & -0.0500 & 0.7936 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0013 \end{bmatrix}$$

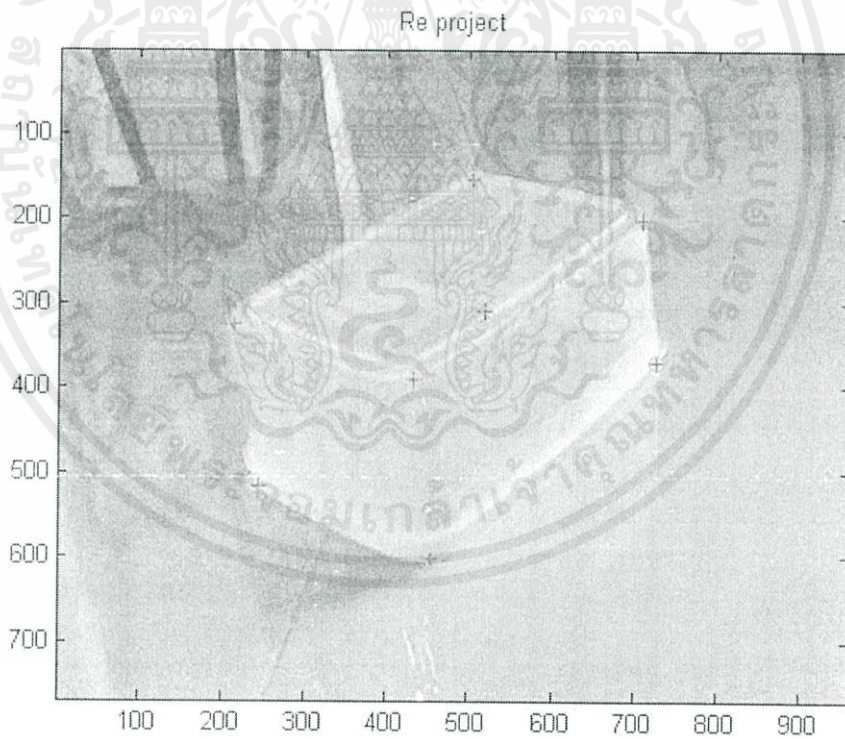
เมื่อได้เมทริกซ์ของกล่องแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะนำเอาพิกัดสามมิติของวัตถุคูณกับเมทริกซ์ของกล่องเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ถ้าเมทริกซ์ของกล่องที่หามาได้ถูกต้องวงกลมสีเขียวจะซ้อนทับกันกับเครื่องหมายบวกสีแดง ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 ตามลำดับ



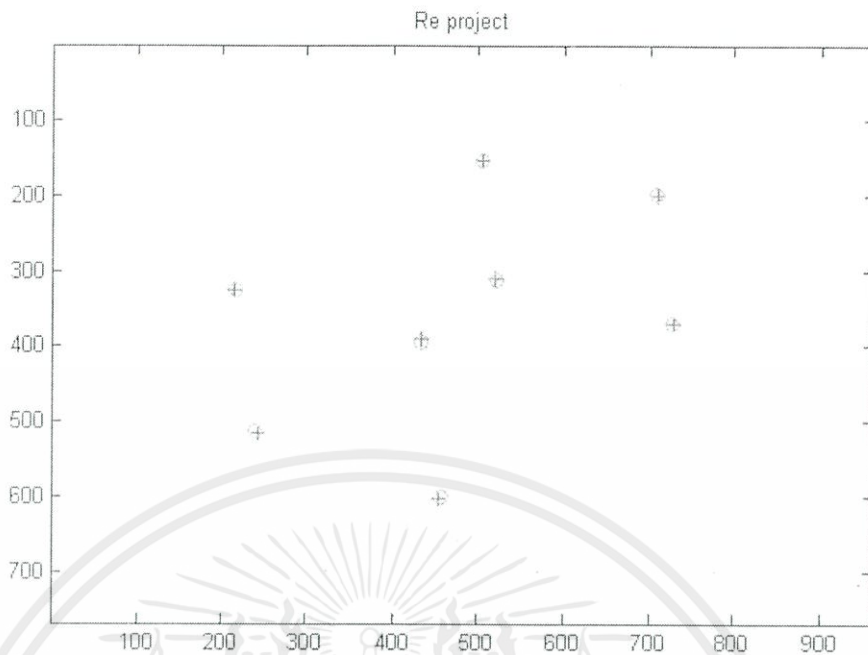
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การแสดงผลความถูกต้องของกล้องตัวที่หนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การแสดงผลความถูกต้องของกล่องตัวที่สอง

หลังจากทำการตรวจสอบความถูกต้องของเมทริกซ์ของกล่องแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการแยกพารามิเตอร์ภายใน และพารามิเตอร์ภายนอกของกล่อง จากสมการที่ (2.20) โดยเมทริกซ์การเลื่อนสามารถแยกได้โดยใช้ $T = -A^{-1}b$ ซึ่งเมทริกซ์การเลื่อนของกล่องตัวที่หนึ่ง จะมีค่าดังนี้

$$T_1 = \begin{bmatrix} -41.8483 \\ -23.1054 \\ 29.5407 \end{bmatrix}$$

และเมทริกซ์การเลื่อนของกล่องตัวที่สองจะมีค่าดังนี้

$$T_2 = \begin{bmatrix} -38.3416 \\ -38.4886 \\ 31.5183 \end{bmatrix}$$

จากนั้นทำการแยกเมทริกซ์ปรับเทียบกล่อง และเมทริกซ์การหมุน โดยใช้เทคนิค QR Decomposition แยกเมทริกซ์ A ซึ่งจะได้เมทริกซ์การปรับเทียบกล่อง และเมทริกซ์การหมุนของกล่องตัวที่หนึ่ง ดังนี้

$$K_1 = \begin{bmatrix} 0.0495 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0467 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} -0.8684 & -0.4959 & -0.0002 \\ 0.4959 & -0.8684 & 0.0002 \\ -0.0003 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้เมทริกซ์การปรับเทียบกล้อง และเมทริกซ์การหมุนของกล้องตัวที่สอง ดังนี้

$$K_2 = \begin{bmatrix} 0.0527 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0485 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} -0.2612 & -0.9653 & -0.0001 \\ 0.9653 & -0.2612 & 0.0001 \\ -0.0001 & -0.0001 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

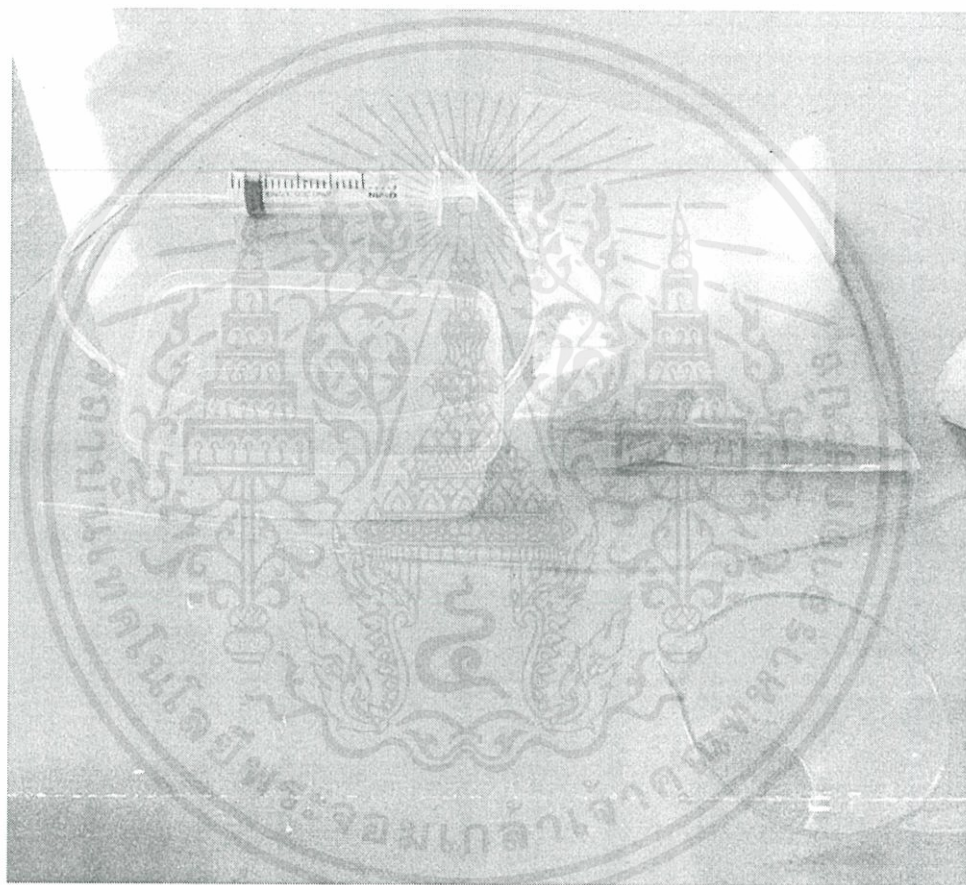


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แบบจำลองเส้นเลือดดำ

การจัดทำแบบจำลองเส้นเลือดนี้ประกอบด้วย เจลาตินผง น้ำ สายน้ำเกลือ แม่พิมพ์ และสีผสมอาหาร สาเหตุที่นำเจลาตินมาขึ้นรูป เนื่องจากเจลาตินมีคุณสมบัติการสะท้อนแสงอินฟราเรดระยะสั้นใกล้เคียงกับแขนมนุษย์ ทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาว เช่นเดียวกับกับคุณสมบัติสะท้อนแสงอินฟราเรดระยะสั้นที่จะทำให้ภาพที่ได้ออกมาเป็นภาพสีดำ กล่าวคือการทดลองนี้จะเน้นใช้กล้องตรวจจับความแตกต่างระหว่างสีของภาพที่เก็บได้ของวัตถุสองสิ่ง เพื่อนำภาพที่ได้มาคำนวณหาพิกัดตำแหน่งสามมิติด้วยโปรแกรม MATLAB ในขั้นตอนต่อไป

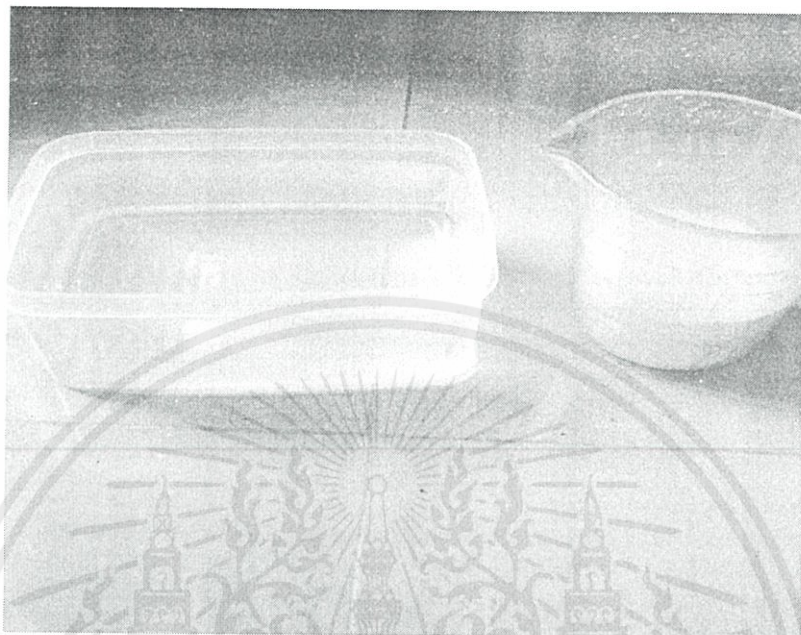
อุปกรณ์ที่ใช้ทำแบบจำลอง ได้แก่ เจลาตินผง น้ำ สีผสมอาหาร สายน้ำเกลือ กล้องพลาสติก สำหรับเป็นพิมพ์แขนจำลอง อุปกรณ์ที่ใช้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์สำหรับทำแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองเส้นเลือดดำ เริ่มต้นด้วยการผสมเจลาตินลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยผสมในอัตราส่วนเจลาตินผง 1 กรัมต่อน้ำ 5 กรัม ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เจลาตินผงและน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 5

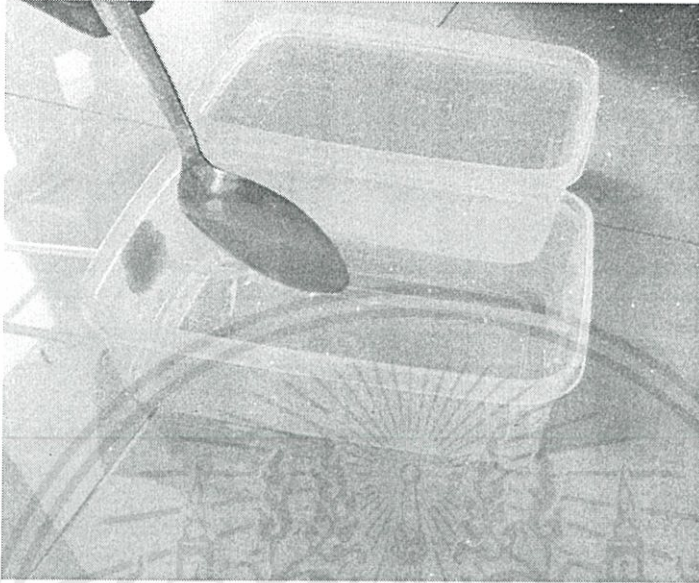
หลังจากนั้นให้ทำการคนส่วนผสมทั้งสองจนเจลาตินผงละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ส่วนผสมของน้ำและเจลาตินผง

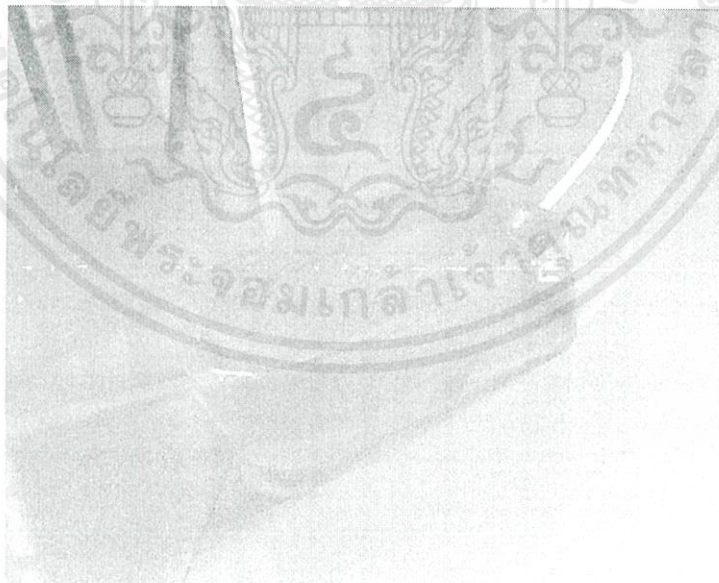
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วให้นำเข้าไมโครเวฟประมาณ 2-3 นาที พอให้น้ำเดือด หลังจากนั้นน้ำเดือดแล้ว นำส่วนผสมของเจลาตินกับน้ำที่ได้ออกจากไมโครเวฟแล้ว เทใส่พิมพ์แกนจำลองที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เทส่วนผสมที่ต้มเสร็จลงยังพิมพ์

จากนั้นปล่อยให้แข็งที่อุณหภูมิห้องหรือนำไปแช่ในตู้เย็น เพื่อให้เจลาตินแข็งตัวตามพิมพ์ที่ได้ทำไว้ และผสมสีผสมอาหารเพื่อใช้แทนส่วนของเลือดที่ใช้กับแกนจำลอง ดังรูปที่ 3.16

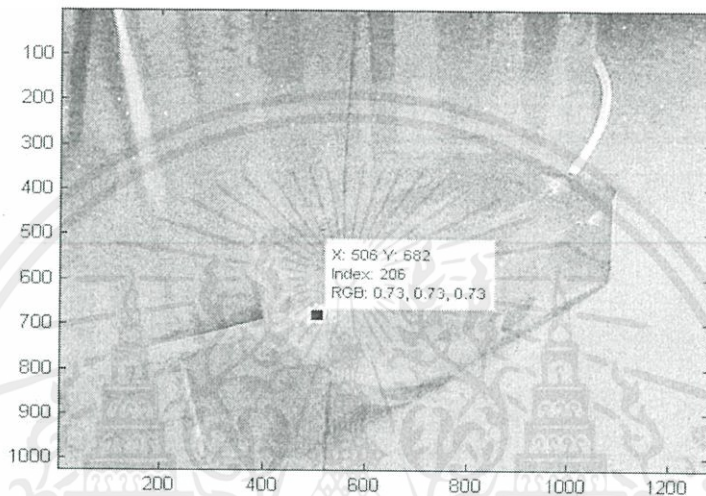


รูปที่ 3.16 แกนจำลองพร้อมทำการทดลอง

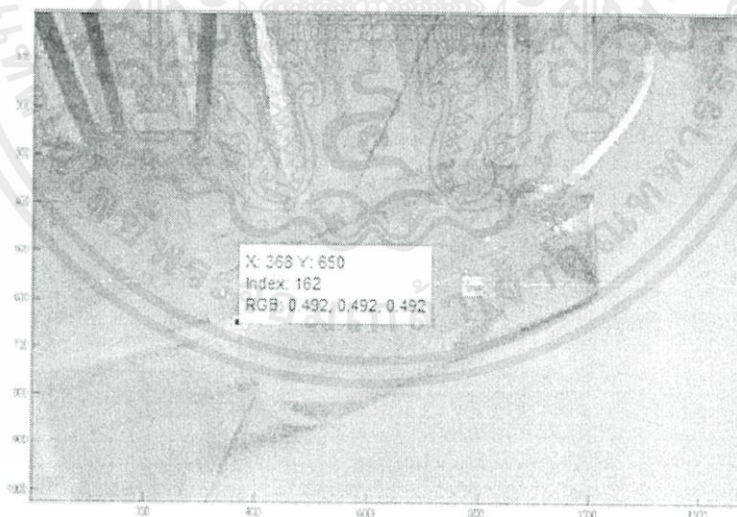
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การประมาณตำแหน่งในสามมิติ

ในการประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดจำลองที่ได้จากรูปภาพของกล้องทั้งสองตัว จะต้องหาเมทริกซ์ของกล้องและจุดบนระนาบรับภาพ $X_i = [u_i \ v_i]^T$ ในส่วนของเมทริกซ์ของกล้องทั้งสองตัวนั้นสามารถหาได้จากหัวข้อที่ 3.1 แล้วส่วนการหาจุดบนระนาบรับภาพ $X_i = [u_i \ v_i]^T$ ของกล้องทั้งสองตัวสามารถหาได้จากการวัดจุดบนภาพ โดยทำการอ่านภาพเข้าโปรแกรม MATLAB แล้วแสดงภาพจากนั้นไปที่เมนู Data Cursor จากนั้นไปยังตำแหน่งของเส้นเลือดจำลองของภาพทั้งสองที่สนใจ ดังรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 ตามลำดับ



รูปที่ 3.17 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่ง



รูปที่ 3.18 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สอง

ค่าของจุดบนระนาบรับภาพ $x_i = [u_i \ v_i]^T$ ของกล้องทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ $x_1 = [u_1 \ v_1]^T$ คือ จุดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่ง และ $x_2 = [u_2 \ v_2]^T$ คือ จุดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สอง ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ค่าของจุดบนระนาบรับภาพของกล้องทั้งสองตัว

จุดบนระนาบรับภาพ	ค่าของจุดบนระนาบรับภาพ
(u_1, v_1)	(506,682)
(u_2, v_2)	(368,650)

การหาผลลัพธ์ของการประมาณตำแหน่งของแบบจำลองเส้นเลือดดำ สำหรับกล้องตัวที่หนึ่ง สามารถหาได้โดยนำจุดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่ง และเมทริกซ์ของกล้องตัวที่หนึ่งแทนในสมการที่ (2.22) จะได้เป็น

$$\lambda \begin{bmatrix} 506 \\ 682 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0343 & -0.0347 & -0.0013 & 0.6723 \\ -0.0113 & -0.0061 & -0.0457 & 0.7371 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0012 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m^{1,1T} \\ m^{1,2T} \\ m^{1,3T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

สำหรับกล้องตัวที่สอง สามารถหาได้โดยนำจุดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สอง และเมทริกซ์ของกล้องตัวที่สองแทนในสมการที่ (2.24) จะได้เป็น

$$\lambda \begin{bmatrix} 368 \\ 650 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0392 & -0.0285 & -0.0063 & 0.6042 \\ -0.0148 & -0.0056 & -0.0500 & 0.7936 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0013 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m^{2,1T} \\ m^{2,2T} \\ m^{2,3T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

จากสมการที่ (3.1) จะทำให้ทราบว่า $m^{1,1T} = [0.0343 \ -0.0347 \ -0.0013 \ 0.6723]$, $m^{1,2T} = [-0.0113 \ -0.0061 \ -0.0457 \ 0.7371]$, $m^{1,3T} = [0.0000 \ 0.0000 \ 0.0000 \ 0.0012]$, $u_1 = 506$, $v_1 = 682$ และจากสมการที่ (35) จะทำให้ทราบว่า $m^{2,1T} = [0.0392 \ -0.0285 \ -0.0063 \ 0.6042]$, $m^{2,2T} = [-0.0148 \ -0.0056 \ -0.0500 \ 0.7936]$, $m^{2,3T} = [0.0000 \ 0.0000 \ 0.0000 \ 0.0013]$, $u_2 = 368$, $v_2 = 650$ นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการที่ (2.32) จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} (506)(0.0000 \ 0.0000 \ 0.0000 \ 0.0012) - (0.0343 \ -0.0347 \ -0.0013 \ 0.6723) \\ (682)(0.0000 \ 0.0000 \ 0.0000 \ 0.0012) - (-0.0113 \ -0.0061 \ -0.0457 \ 0.7371) \\ (368)(0.0000 \ 0.0000 \ 0.0000 \ 0.0013) - (0.0392 \ -0.0285 \ -0.0063 \ 0.6042) \\ (650)(0.0000 \ 0.0000 \ 0.0000 \ 0.0013) - (-0.0148 \ -0.0056 \ -0.0500 \ 0.7936) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (3.3)$$

$$\begin{bmatrix} -0.0343 & 0.0347 & 0.0013 & -0.0651 \\ 0.0113 & 0.0061 & 0.0457 & 0.0813 \\ -0.0392 & 0.0285 & 0.0063 & -0.1258 \\ 0.0148 & 0.0056 & 0.0500 & 0.0514 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (3.4)$$

หรือสามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายจะได้เป็น
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะฉิใดจทุกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AX = 0 \quad (3.5)$$

สามารถหาพิกัดในสามมิติได้โดยใช้วิธีการแยกแบบ Singular Value Decomposition (SVD) ของเมทริกซ์ A ซึ่งจากการใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณจะได้เป็น

```
>> A=[-0.0343 0.0347 0.0013 -0.0651
0.0113 0.0061 0.0457 0.0813
-0.0392 0.0285 0.0063 -0.1258
0.0148 0.0056 0.0500 0.0514];
>> [U,D,V]=svd(A)
```

U =

```
-0.4103 -0.3734 0.7472 0.3660
0.4657 -0.5582 0.2832 -0.6256
-0.7136 -0.4257 -0.4341 -0.3479
0.3249 -0.6065 -0.4159 0.5947
```

D =

```
0.1842 0 0 0
0 0.0686 0 0
0 0 0.0213 0
0 0 0 0.0037
```

V =

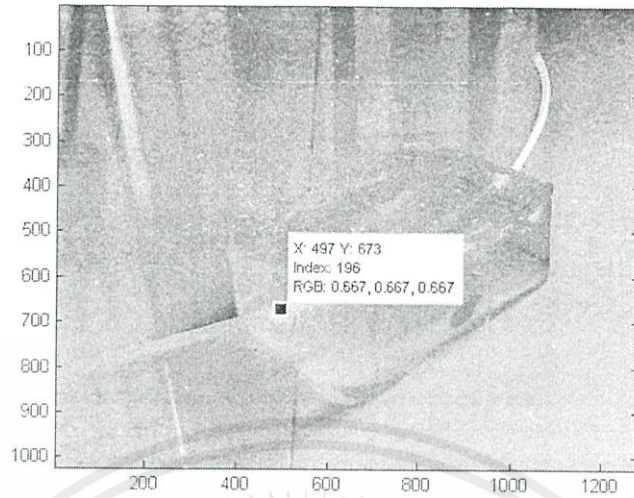
```
0.2830 0.2072 -0.5440 0.7623
-0.1624 -0.4651 0.6092 0.6215
0.1764 -0.8605 -0.4524 -0.1544
0.9287 0.0190 0.3582 -0.0942
```

จะได้พิกัดในสามมิติของแบบจำลองเส้นดำคือ ค่าซิงกูลาร์ที่น้อยที่สุดของเมทริกซ์ A มีค่าเท่ากับ

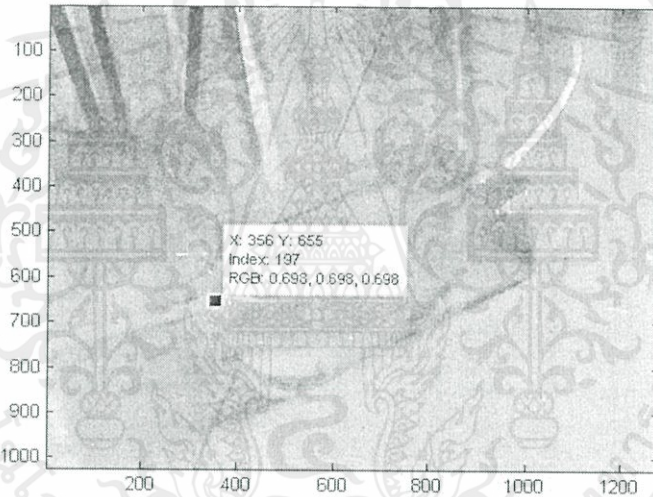
$$(X, Y, Z) = (0.1842, 0.0686, 0.0213)$$

จากวิธีการประมาณตำแหน่งในสามมิติที่ผ่านมาทำการกำหนดจุดบนระนาบรับภาพเพื่อหาค่าความแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

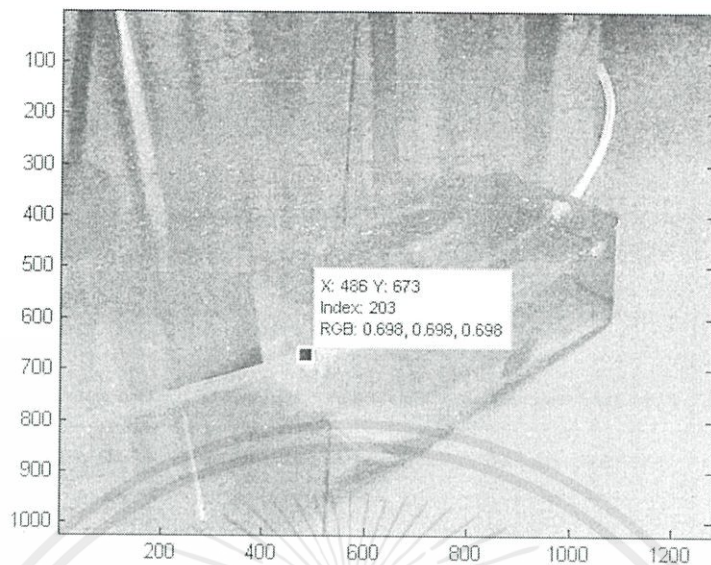


รูปที่ 3.19 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่หนึ่ง

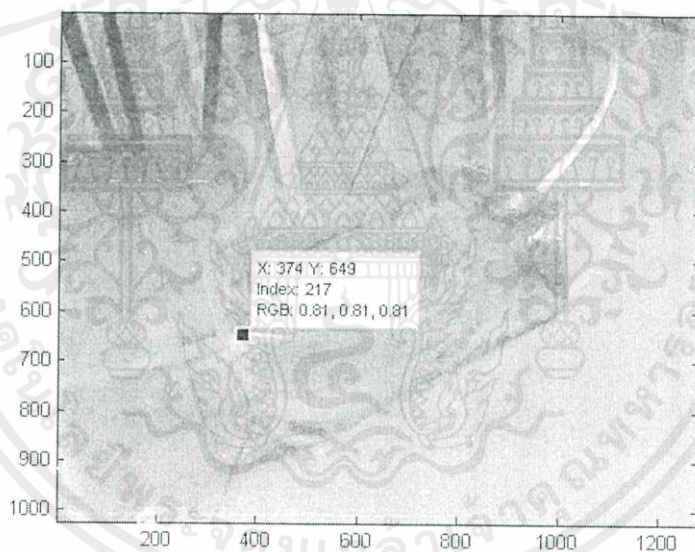


รูปที่ 3.20 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

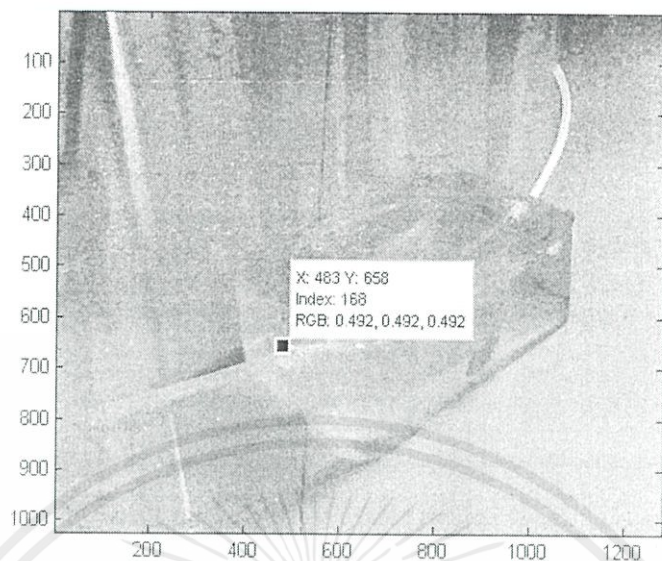


รูปที่ 3.21 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สอง

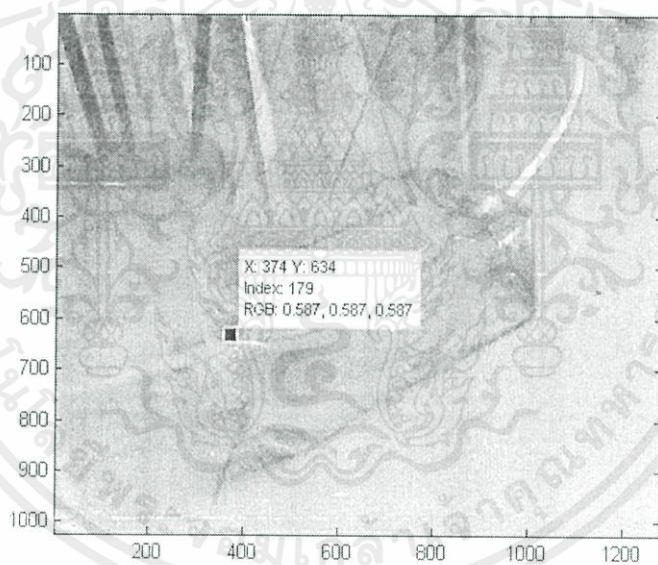


รูปที่ 3.22 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

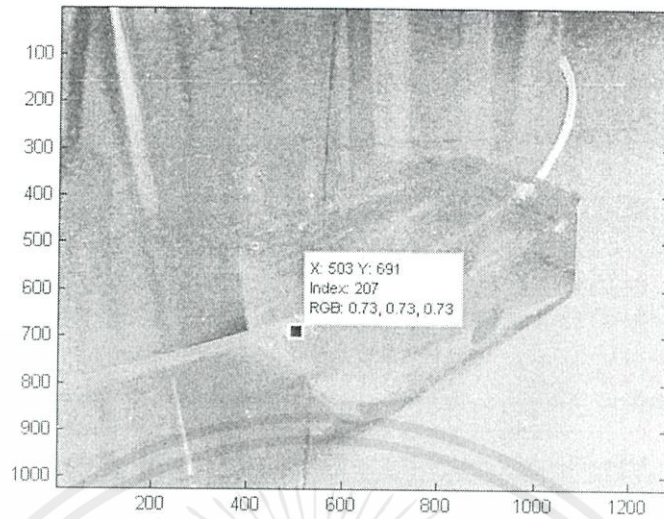


รูปที่ 3.23 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สาม

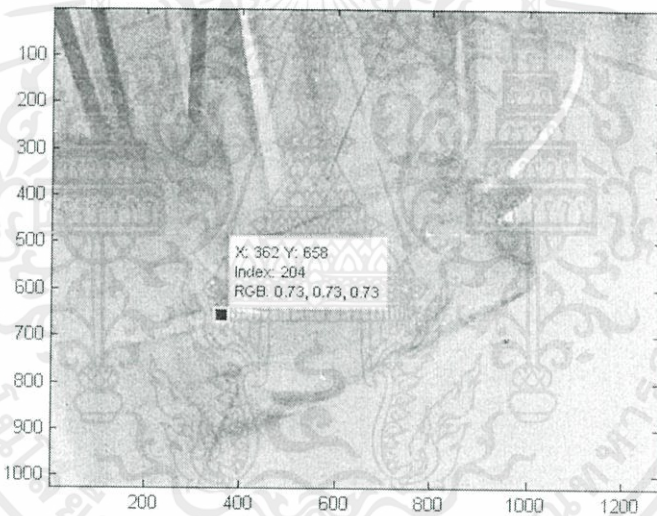


รูปที่ 3.24 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

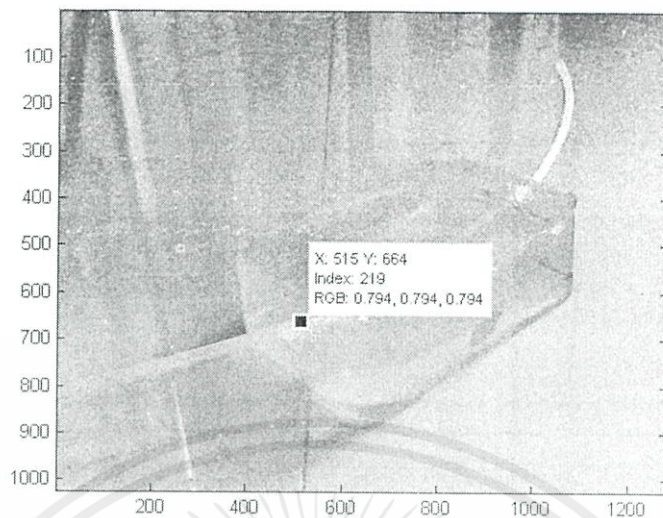


รูปที่ 3.25 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สี่

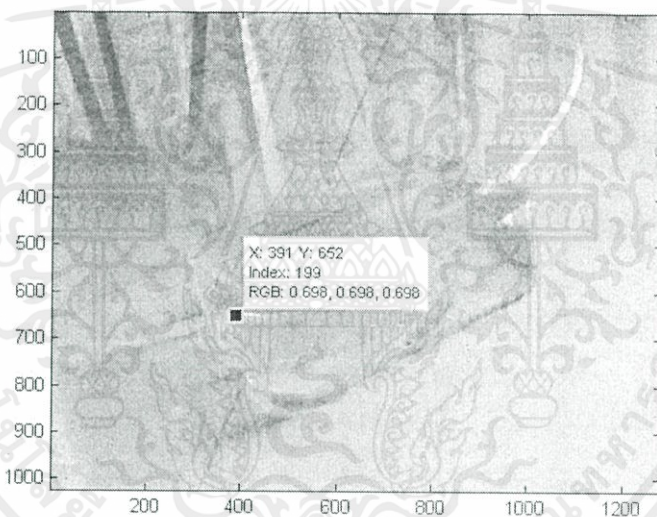


รูปที่ 3.26 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

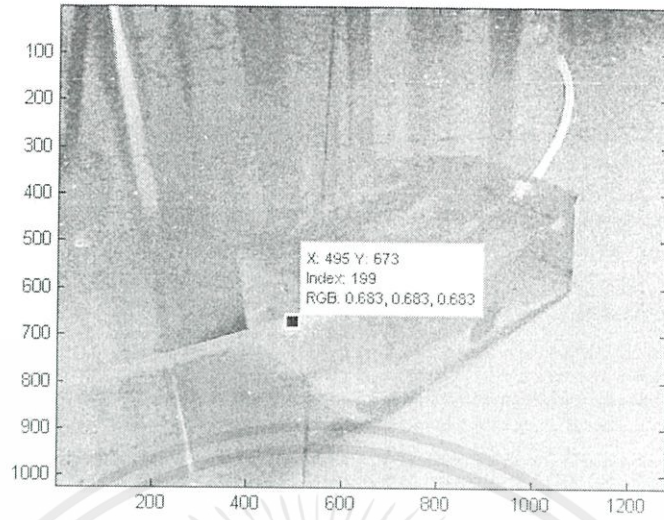


รูปที่ 3.27 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่ห้า

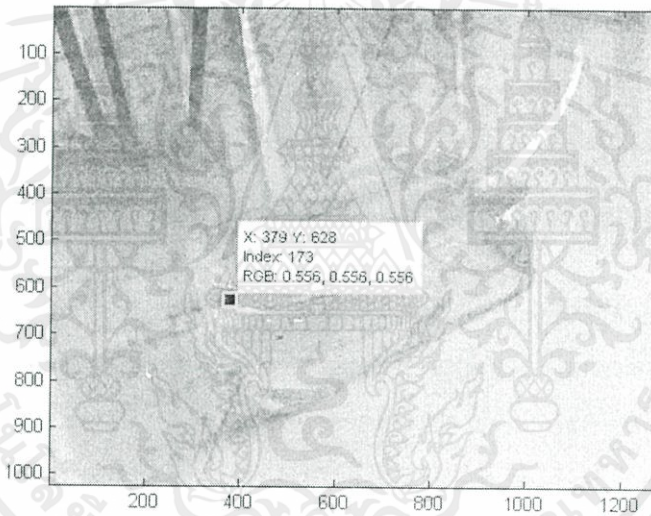


รูปที่ 3.28 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่ห้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

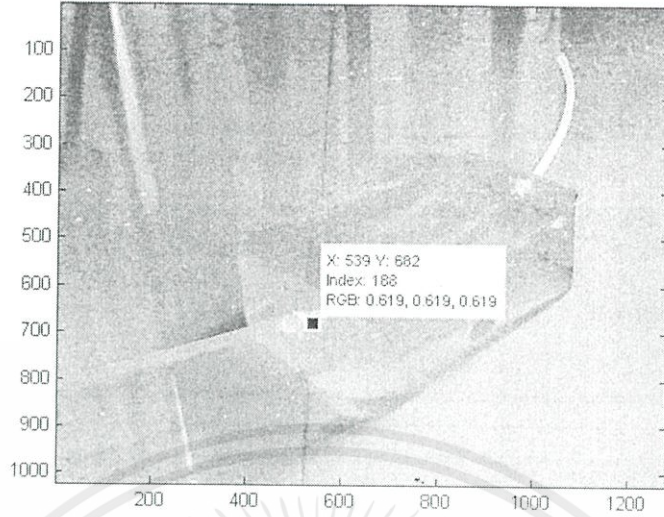


รูปที่ 3.29 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่หก

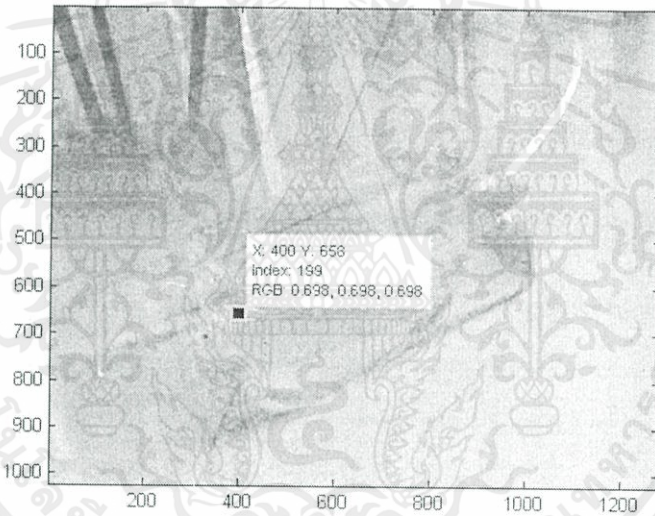


รูปที่ 3.30 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่หก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

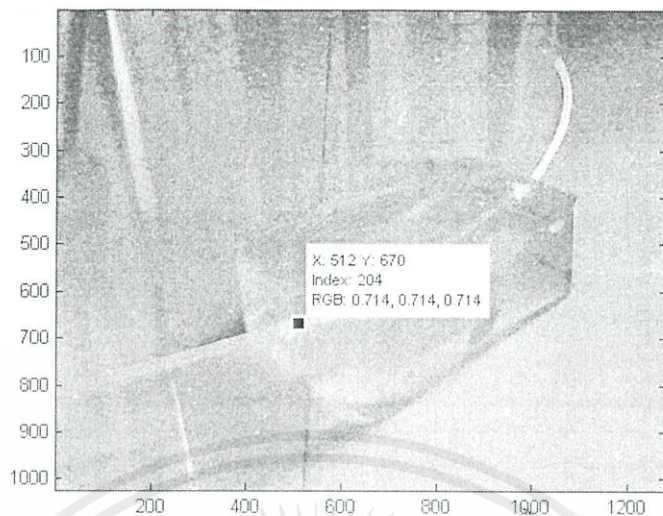


รูปที่ 3.31 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่เจ็ด

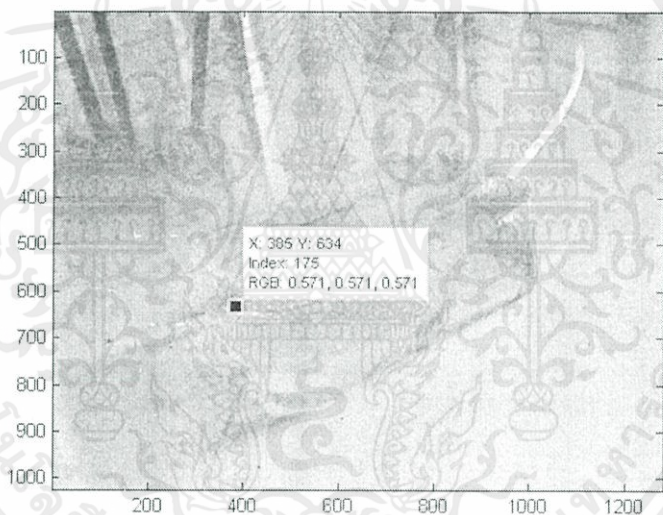


รูปที่ 3.32 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่เจ็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

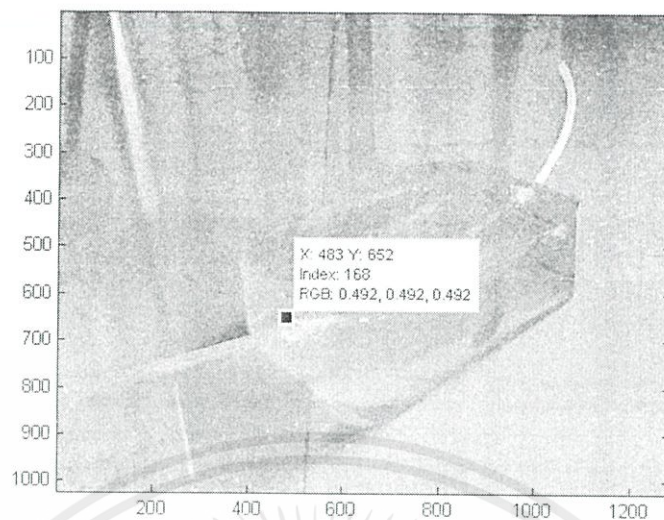


รูปที่ 3.33 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่แปด

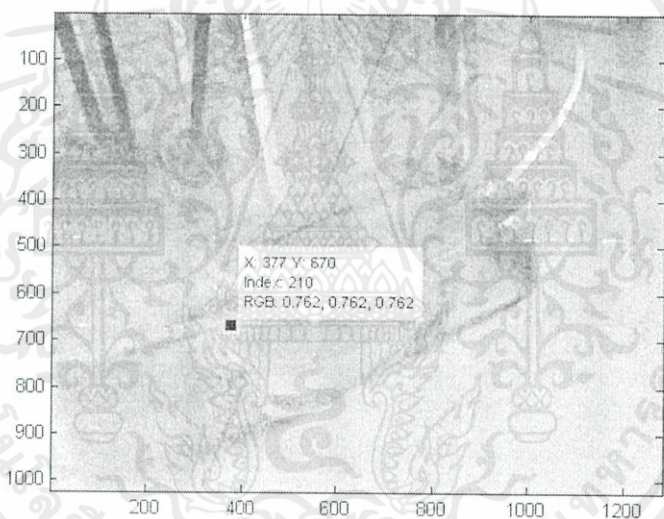


รูปที่ 3.34 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่แปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

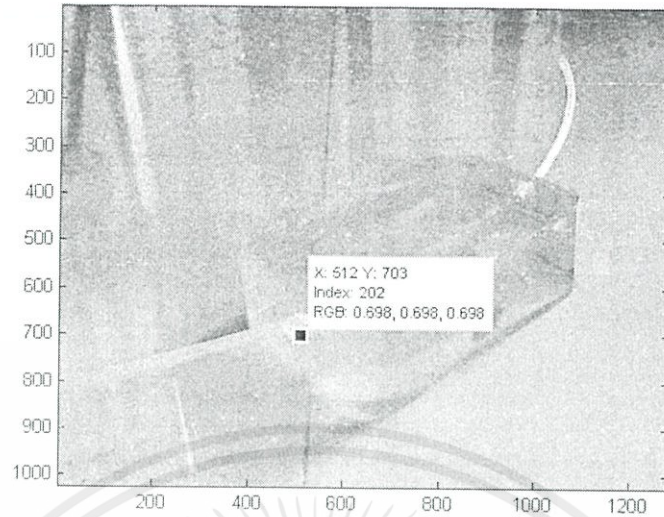


รูปที่ 3.35 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่แก้

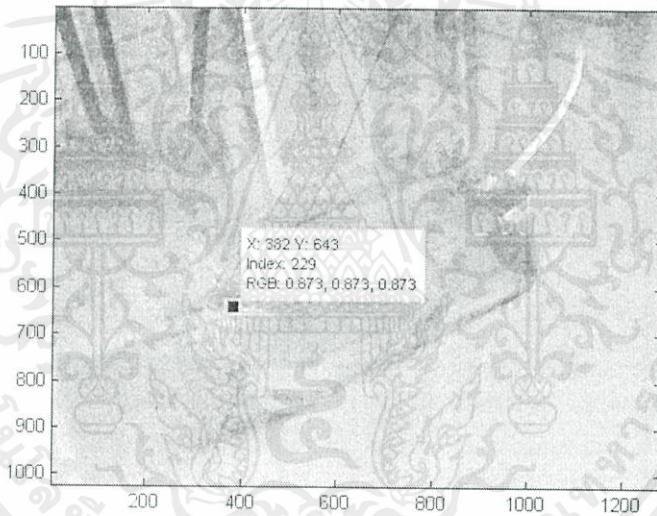


รูปที่ 3.36 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่แก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งครั้งที่สิบ



รูปที่ 3.38 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สองครั้งที่สิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะสามารถสรุปค่าของจุดบนระนาบรับภาพได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปค่าของจุดบนระนาบรับภาพจากการทดลอง

ครั้งที่	รูปภาพที่	ค่าของจุดบนระนาบรับภาพ (U_i, V_i)	X	Y	Z
1	3.19 , 3.20	[(497,673),(356,655)]	0.1967	0.0688	0.0240
2	3.21 , 3.22	[(486,674),(374,649)]	0.1849	0.0688	0.0215
3	3.23 , 3.24	[(483,658),(374,634)]	0.1756	0.0693	0.0216
4	3.25 , 3.26	[(503,691),(362,658)]	0.1978	0.0686	0.0271
5	3.27 , 3.28	[(515,664),(391,652)]	0.1403	0.0692	0.0349
6	3.29 , 3.30	[(495,673),(379,628)]	0.1655	0.0690	0.0254
7	3.31 , 3.32	[(539,682),(400,658)]	0.1745	0.0682	0.0346
8	3.33 , 3.34	[(512,670),(385,634)]	0.1546	0.0687	0.0291
9	3.35 , 3.36	[(483,652),(377,670)]	0.1873	0.0680	0.0299
10	3.37 , 3.38	[(512,703),(382,643)]	0.1811	0.0668	0.0306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

บทวิจารณ์และสรุป

การศึกษาในปริญญาโทเล่มนี้เป็นการศึกษา การประมาณตำแหน่งของแบบจำลองเส้นเลือดดำด้วยภาพ โดยมีสาระสำคัญสรุปได้ดังนี้

4.1 สรุปผลการศึกษา

จากการดำเนินการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้ จากการศึกษาการประมาณตำแหน่งของแบบจำลองเส้นเลือดดำด้วยภาพ ในด้านการปรับเทียบกล้องซึ่งใช้กล้องพลาสติกใสขนาดกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร และสูง 5.5 เซนติเมตร พบว่าได้เมทริกซ์ของกล้องออกมาเป็นที่พอใจ เนื่องจากเมื่อนำเอาพิกัดสามมิติของวัตถุคุณกับเมทริกซ์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแล้ววงกลมสีเขียวจะซ้อนทับกับเครื่องหมายวงสีแดง ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นภาพที่แสดงผลความถูกต้องของกล้องตัวที่หนึ่ง และรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นภาพที่แสดงผลความถูกต้องของตัวที่สองตามลำดับ และจากการศึกษาการประมาณตำแหน่งของแบบจำลองเส้นเลือดดำด้วยภาพในด้านการจัดทำแบบจำลองเส้นเลือดดำพบว่า สามารถจัดทำแบบจำลองที่มีลักษณะค่อนข้างในซุน สามารถเห็นสายยางซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นเลือดดำได้ค่อนข้างชัดเจน แต่มีข้อเสียคือ แบบจำลองเส้นเลือดดำเสียหายได้ อันเนื่องมาจากเจลาตินซึ่งเป็นวัสดุที่นำมาทำแบบจำลองเส้นเลือดดำจะมีราขึ้นเมื่อผ่านไป 1 ถึง 2 วัน และจากการศึกษาการประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดดำในด้านการประมาณตำแหน่งในสามมิติของเส้นเลือดดำพบว่า การหาพิกัดในสามมิติที่ถูกต้องนั้นจะขึ้นอยู่กับการวัดจุดพิกัดบนระนาบรับภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.17 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่หนึ่งรูปที่ 3.18 การหาพิกัดบนระนาบรับภาพของกล้องตัวที่สอง และเมทริกซ์ของกล้องซึ่งได้จากการปรับเทียบกล้อง ดังหัวข้อที่ 3.1

4.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากผลการศึกษาการประมาณตำแหน่งของเส้นเลือดดำด้วยภาพ โดยวิเคราะห์หาพิกัดในสามมิติด้วยหลักการฉายภาพแบบสเตอริโอ ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้กล้องสองตัวในการประมาณตำแหน่งในสามมิติ ในช่วงแรกเกิดปัญหาคือ ใช้เวลาในการศึกษาทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องกับการประมาณตำแหน่งในสามมิติ เนื่องจากไม่เคยศึกษาการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อหาพิกัดในสามมิติของวัตถุมาก่อน ทำให้ต้องใช้เวลาศึกษาทฤษฎีและหลักการใช้โปรแกรมในการประมวลผลภาพดิจิทัลก่อน

ในส่วนของแนวทางการแก้ไขปัญหานั้น ได้เริ่มต้นการศึกษาคำประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้นด้วยโปรแกรม MATLAB ก่อน จากนั้นจึงศึกษาการหาพิกัดในสามมิติตั้งแต่ส่วนประกอบของการหาพิกัดในสามมิติด้วยคอมพิวเตอร์ ทฤษฎีและหลักการแบบจำลองการฉายภาพแบบง่าย การฉายภาพแบบเพอร์สเปกทิฟการปรับเทียบกล้องและการหาพิกัดในสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

ในปัจจุบันมีการใช้โปรแกรมในการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อปรับเทียบกล้อง ซึ่งเป็นการหาเมทริกซ์ของกล้องหลายแบบ เช่น โปรแกรม GML MATLAB Camera Calibration Toolbox ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จะใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพของตารางหมากรุกในหลายรูปแบบ จากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อหาเมทริกซ์ของกล้องที่มีความถูกต้อง และวิธีการใช้งานไม่ค่อยซับซ้อน ในส่วนของการหาพิกัดในสามมิตินั้นในปัจจุบันมีการใช้โปรแกรม OpenCV มากขึ้น ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าโปรแกรม MATLAB แต่ผู้ใช้ควรมีพื้นฐานภาษา C++ ที่ดี จึงควรศึกษาโปรแกรมทั้งสองเพิ่มเติมเพื่อให้มีการใช้งานในการหาพิกัดในสามมิติได้หลากหลายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Junichi Takigawa and Masami Iwase. "Position Estimation of Veins Under FossaCubitalis from Near-Infrared Imagesc". Tokyo : Tokyo Denki University.
- [2] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. 2551. การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย MATLAB. กรุงเทพฯ : มีนเซอร์วิศซ์พพลาย
- [3] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ และกรรมมันต์ ชูประเสริฐ. "ระบบติดตามอนุภาคใน 3 มิติโดยใช้ภาพสเตอริโอ". กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมปรับเทียบกล้องของกล้อง

ก.1 โปรแกรมการปรับเทียบกล้องของกล้องตัวที่ หนึ่ง

```

>> clear
>> a=imread('C:\Users\Swift\Desktop\thesis\calibration1.jpg');
>> aa=a(:, :, 1);
>> figure(1); imagesc(aa); colormap('gray');
>> hold on;
>> for i=1:8
[u(i,1),u(i,2)]=ginput(1);
plot(u(i,1),u(i,2),'r+');
end
>> xx=[0 0 0 1
14 0 0 1
14 9 0 1
0 9 0 1
0 0 5.5 1
14 0 5.5 1
14 9 5.5 1
0 9 5.5 1];
>> for i=1:8
G(2*i,1)=0;
G(2*i,2)=0;
G(2*i,3)=0;
G(2*i,4)=0;
G(2*i,5)=xx(i,1);
G(2*i,6)=xx(i,2);
G(2*i,7)=xx(i,3);
G(2*i,8)=1;
G(2*i,9)=-u(i,2)*xx(i,1);
G(2*i,10)=-u(i,2)*xx(i,2);
G(2*i,11)=-u(i,2)*xx(i,3);
G(2*i,12)=-u(i,2);
G((2*i)-1,1)=xx(i,1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ G((2*i)-1,1)=xx(i,1); คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

G((2*i)-1,2)=xx(i,2);
G((2*i)-1,3)=xx(i,3);
G((2*i)-1,4)=1;
G((2*i)-1,5)=0;
G((2*i)-1,6)=0;
G((2*i)-1,7)=0;
G((2*i)-1,8)=0;
G((2*i)-1,9)=-u(i,1)*xx(i,1);
G((2*i)-1,10)=-u(i,1)*xx(i,2);
G((2*i)-1,11)=-u(i,1)*xx(i,3);
G((2*i)-1,12)=-u(i,1);
end
>> [U,D,V]=svd(G)
V =
Columns 1 through 8
-0.0012  0.0001  -0.0001  0.0019  -0.3578  0.0810  -0.2985  -0.2084
-0.0004  -0.0012  0.0001  0.0016  -0.1951  -0.6727  -0.1825  0.6365
-0.0003  -0.0002  -0.0013  0.0006  -0.0811  -0.1764  0.4552  0.1679
-0.0001  -0.0001  -0.0001  -0.0008  -0.0323  -0.0584  0.0196  0.1218
-0.0005  -0.0000  0.0004  0.0001  0.8175  -0.4057  0.0290  -0.2168
-0.0002  -0.0012  0.0001  -0.0013  0.3367  0.5780  0.1124  0.6658
-0.0001  -0.0003  -0.0008  -0.0004  0.2012  0.0855  -0.8080  0.1202
-0.0000  -0.0001  -0.0001  -0.0010  0.0645  0.0213  -0.0605  -0.0615
0.9449  -0.2845  -0.1558  -0.0434  -0.0001  -0.0003  -0.0003  -0.0004
0.2571  0.9511  -0.1630  -0.0518  0.0002  -0.0003  -0.0003  0.0015
0.1891  0.1103  0.9713  -0.0930  -0.0004  -0.0002  -0.0002  0.0005
0.0724  0.0475  0.0756  0.9934  0.0015  0.0018  0.0003  0.0004

Columns 9 through 12
0.8135  -0.2379  -0.1156  0.0343
-0.0061  -0.2156  -0.1527  -0.0347
0.4057  0.7490  -0.0371  -0.0013
0.0846  -0.0655  0.7189  0.6723
0.3129  -0.1456  0.0002  -0.0113
0.2373  -0.1782  -0.0923  -0.0061
-0.0161  0.5201  0.1097  -0.0457
-0.1089  0.0906  -0.6516  0.7371
0.0012  -0.0004  -0.0001  0.0000

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0.0007 -0.0005 -0.0004 0.0000
0.0007 0.0013 0.0000 0.0000
-0.0014 0.0004 0.0003 0.0012

```

```
>> [U,D,V]=svd(G);
```

```
>> VT=V;
```

```
>> M=VT(:,12);
```

```
>> m(1,1)=M(1);
```

```
>> m(1,2)=M(2);
```

```
>> m(1,3)=M(3);
```

```
>> m(1,4)=M(4);
```

```
>> m(2,1)=M(5);
```

```
>> m(2,2)=M(6);
```

```
>> m(2,3)=M(7);
```

```
>> m(2,4)=M(8);
```

```
>> m(3,1)=M(9);
```

```
>> m(3,2)=M(10);
```

```
>> m(3,3)=M(11);
```

```
>> m(3,4)=M(12);
```

```
>> wv=m*xx';
```

```
>> wv=wv';
```

```
>> wv(:,1)=wv(:,1)/wv(:,3);
```

```
>> wv(:,2)=wv(:,2)/wv(:,3);
```

```
>> title('Re project')
```

```
>> for i=1:8
```

```
plot(wv(i,1),wv(i,2),'go');
```

```
end
```

```
>> b=m(:,4);
```

```
>> A=m(1:3,1:3);
```

```
>> T=-(inv(A)*b)
```

```
T =
```

```
-41.8483
```

```
-23.1054
```

```
29.5407
```

```
>> [R,K,U]=svd(A)
```

```
R =
```

```
-0.8684 -0.4959 -0.0002
```

```
0.4959 -0.8684 0.0002
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. ชื่อของหน่วยงานนี้ใช้แค่เป็นเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

-0.0003  0.0000  1.0000
K =
  0.049   0   0
  0   0.0467  0
  0   0   0.0000

```

ก.2 โปรแกรมการปรับเทียบกล้องของกล้องตัวที่สอง

```

>> clear
>> a=imread('C:\Users\Swift\Desktop\thesis\calibration2.jpg');
>> aa=a(:,1);
>> figure(1);imagesc(aa);colormap('gray');
>> hold on;
>> for i=1:8
[u(i,1),u(i,2)]=ginput(1);
plot(u(i,1),u(i,2),'r+');
end
>> xx=[0 0 0 1
14 0 0 1
14 9 0 1
0 9 0 1
0 0 5.5 1
14 0 5.5 1
14 9 5.5 1
0 9 5.5 1];
>> for i=1:8
G(2*i,1)=0;
G(2*i,2)=0;
G(2*i,3)=0;
G(2*i,4)=0;
G(2*i,5)=xx(i,1);
G(2*i,6)=xx(i,2);
G(2*i,7)=xx(i,3);
G(2*i,8)=1;
G(2*i,9)=-u(i,2)*xx(i,1);
G(2*i,10)=-u(i,2)*xx(i,2);
G(2*i,11)=-u(i,2)*xx(i,3);
G(2*i,12)=-u(i,2);
G((2*i)-1,1)=xx(i,1);
G((2*i)-1,2)=xx(i,2);

```

$G((2*i)-1,3)=xx(i,3);$

$G((2*i)-1,4)=1;$

$G((2*i)-1,5)=0,$

$G((2*i)-1,6)=0;$

$G((2*i)-1,7)=0;$

$G((2*i)-1,8)=0;$

$G((2*i)-1,9)=-u(i,1)*xx(i,1);$

$G((2*i)-1,10)=-u(i,1)*xx(i,2);$

$G((2*i)-1,11)=-u(i,1)*xx(i,3);$

$G((2*i)-1,12)=-u(i,1);$

end

>> [U,D,V]=svd(G)

V =

Columns 1 through 8

-0.0013	0.0001	0.0000	0.0021	0.3495	0.0825	-0.2867	0.0870
-0.0004	-0.0012	-0.0000	0.0018	0.1899	-0.7000	-0.1672	-0.6084
-0.0003	-0.0002	-0.0013	0.0006	0.0795	-0.1935	0.4971	-0.1967
-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0007	0.0318	-0.0623	0.0265	-0.1176
-0.0005	-0.0000	-0.0004	0.0000	-0.8224	-0.3921	0.0305	0.1968
-0.0002	-0.0013	0.0000	-0.0018	-0.3369	0.5501	0.1349	-0.7116
-0.0001	-0.0003	0.0009	-0.0008	-0.2014	0.0721	-0.7873	-0.1486
-0.0000	-0.0001	0.0001	-0.0012	-0.0643	0.0178	-0.0561	0.0512
0.9447	-0.2851	0.1554	-0.0452	0.0001	-0.0004	-0.0003	0.0003
0.2625	0.9535	0.1389	-0.0511	-0.0002	-0.0004	-0.0002	-0.0016
0.1829	0.0873	-0.9757	-0.0833	0.0004	-0.0002	-0.0001	-0.0006
0.0718	0.0433	-0.0675	-0.9942	-0.0019	0.0022	0.0002	-0.0005

Columns 9 through 12

0.8031	-0.3513	-0.1066	0.0392
-0.1142	-0.2165	-0.1230	-0.0285
0.4653	0.6683	-0.0856	-0.0063
0.0780	-0.0248	0.7803	0.6042
0.3050	-0.1923	0.0056	-0.0148
0.1184	-0.2016	-0.0681	-0.0056
0.0666	0.5485	0.0677	-0.0500
-0.0887	0.0633	-0.5900	0.7936
0.0012	-0.0006	-0.0001	0.0000
0.0004	-0.0006	-0.0003	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0.0009  0.0013  -0.0001  -0.0000
-0.0014  0.0009  0.0003  0.0013
>> [U,D,V]=svd(G),
>> VT=V;
>> M=VT(:,12);
>> m(1,1)=M(1);
>> m(1,2)=M(2);
>> m(1,3)=M(3);
>> m(1,4)=M(4);
>> m(2,1)=M(5);
>> m(2,2)=M(6);
>> m(2,3)=M(7);
>> m(2,4)=M(8);
>> m(3,1)=M(9);
>> m(3,2)=M(10);
>> m(3,3)=M(11);
>> m(3,4)=M(12);
>> wv=m*xx';
>> wv=wv';
>> wv(:,1)=wv(:,1)./wv(:,3);
>> wv(:,2)=wv(:,2)./wv(:,3);
>> title('Re project')
>> for i=1:8
plot(wv(i,1),wv(i,2),'go');
end
>> b=m(:,4);
>> A=m(1:3,1:3);
>> T=-(inv(A)*b)
T =
-38.3416
-38.4886
31.5183
>> [R,K,U]=svd(A)
R =
-0.2612  -0.9653  -0.0001
0.9653  -0.2612  0.0001
-0.0001  -0.0001  1.0000
K =

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0527	0	0
0	0.0485	0
0	0	0.0000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้