การลงทะเบียนด้วยอ้างอิงจุดควบคุมสำหรับภาพสมองมนุษย์แบบสองมิติ

A Control Point Registration Method for Two Dimensional Human Brain Images

นางสาวขันทอง	เข็มศร	รหัส 48361387
นายอัษฎางค์	บุญศรี	รหัส 48362049
นายโชคชรัตน์	ฤทธิ์เย็น	รหัส 48362131

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 25 มิ.ย. 2553
เลขทะเบียน 15008220
เลขเรียกหนังสือ ปร
มหาวิทยาลัยนเรศวร ข346ก
2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	การลงทะเบียนด้วยอ้างอิงจุดควบคุมสำหรับภาพสมองมนุษย์แบบสองมิติ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวขันทอง เข็มศร รหัส 48361387
	นายอัษฎางค์ บุญศรี รหัส 48362049
	นายโชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น รหัส 48362131
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น)

....กรรมการ
(ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

....กรรมการ
(อาจารย์ศิริพร เดชะศิลารักษ์)

หัวข้อโครงงาน	การลงทะเบียนด้วยอ้างอิงจุดควบคุมสำหรับภาพสมองมนุษย์แบบสองมิติ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวขันทอง เข็มศร รหัส 48361387
	นายอัษฎางค์ บุญศรี รหัส 48362049
	นายโชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น รหัส 48362131
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้พัฒนาอัลกอลิทึมในการลงทะเบียนภาพสมองมนุษย์แบบสองมิติ ด้วยอ้างอิงจุดควบคุม โดยการใช้การแปลงเชิงเรขาคณิต พร้อมกับทำการวัดค่าประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนภาพและการย่อหรือขยายภาพในการลงทะเบียนภาพ และทำการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของการแปลงเชิงเรขาคณิตของภาพ

นอกจากนี้ได้พัฒนาโปรแกรมการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแปลงรูปเชิงเรขาคณิตของภาพ และได้นำเสนอผลการลงทะเบียนภาพในรูปแบบการติดต่อสื่อสารอย่างง่ายสำหรับผู้ใช้งาน

Project Title	A Control Point Registration Method for Two Dimensional Human Brain Images
Name	Miss Khantong Khemsorn ID. 48361387
	MR.Ussadang Boonsri ID. 48362049
	MR.Chokcharat Rityen ID. 48362131
Project Advisor	Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and computer Engineering
Academic Year	2008

ABSTRACT

This project is to develop an algorithm for two dimension image registration based on control points by using geometric transform in order to determine rotation and scale parameters and to analyze their mean square errors.

Furthermore, a program is also developed to calculate the parameters of the image geometric transform and to display easily image registration results in term of graphic user interface.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์วิธีการลงทะเบียนด้วยอ้างอิงจุดควบคุมสำหรับภาพสมองมนุษย์แบบสองมิติฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นที่ปรึกษาหลักของโครงงานนี้ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมอีก 2 ท่าน คือ อาจารย์ไพศาล มุณีสว่าง อาจารย์ศิริพร เดชะศิลารักษ์ ที่ได้เสียสละเวลาและความเอื้อเฟื้อ เพื่อประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้ดำเนินโครงงาน อีกทั้งยังคอยช่วยแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณอาจารย์อีก 2 ท่านที่เป็นที่ปรึกษาร่วม คืออาจารย์ไพศาล มุณีสว่าง อาจารย์ศิริพร เดชะศิลารักษ์ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการดำเนินงานเป็นอย่างดี

นางสาวขันทอง เข็มศร
นายอัษฎางค์ บุญศรี
นายโชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ข
กิตติกรรมประกาศ .... ค
สารบัญ .... ง
สารบัญตาราง .... ฉ
สารบัญรูป .... ซ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 3
1.6 งบประมาณ 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงงาน 4
2.2 ประเภทของการลงทะเบียนภาพ 5
2.3 การแปลงเชิงเรขาคณิต 6
2.4 ระบบสี RGB 9
2.5 สัญญาณรบกวน 13
2.6 การวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ 15

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 รูปแบบโครงงาน 16

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ 16

3.3 กระบวนการคำนวณ 17

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กรณีที่ 1 ผลการทดลองสำหรับภาพสมองมนุษย์แบบ 2 มิติแบบปกติ 20

4.2 กรณีที่ 2 ผลการทดลองสำหรับภาพสมองมนุษย์แบบ 2 มิติ
โดยเพิ่มสัญญาณรบกวน 54

4.3 กรณีที่ 3 การประยุกต์ใช้งานจริงของโปรแกรมที่นำเสนอ 87

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง 89

5.2 ปัญหาในการทำงานและแนวทางแก้ไข 90

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางสำหรับการพัฒนา 90

เอกสารอ้างอิง 91

ประวัติผู้เขียนโครงงาน 92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า

1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ 2
4.1 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบปกติสำหรับมุม 0°- มุม 90° 22
4.2 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบปกติสำหรับมุม 100°- มุม 180° 23
4.3 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 0° 25
4.4 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 10° 26
4.5 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 20° 28
4.6 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 30° 30
4.7 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 40° 31
4.8 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 50° 33
4.9 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 60° 34
4.10 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 70° 36
4.11 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 80° 37
4.12 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 90° 39
4.13 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 100° 40
4.14 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 110° 42
4.15 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 120° 43
4.16 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 130° 45
4.17 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 140° 46
4.18 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 150° 48
4.19 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 160° 49
4.20 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 170° 51
4.21 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 180° 52
4.22 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์
แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนที่มุม 0°- มุม 90° 55
4.23 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์
แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนที่มุม 100°- มุม 180° 57
4.24 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 0° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 58
4.25 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 10° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 60

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.26	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 20° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	61
4.27	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 30° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	63
4.28	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 40° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	64
4.29	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 50° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	66
4.30	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 60° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	67
4.31	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 70° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	69
4.32	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 80° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	70
4.33	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 90° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	72
4.34	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 100° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	73
4.35	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 110° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	75
4.36	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 120° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	76
4.37	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 130° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	78
4.38	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 140° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	80
4.39	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 150° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	81
4.40	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 160° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	83
4.41	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 170° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	84
4.42	ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 180° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	86

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาพถ่าย MRI	5
2.2	ภาพถ่าย MRI และ SPECT	5
2.3	ภาพผลลัพธ์ของการลงทะเบียนภาพถ่ายทางอากาศและแผนที่	6
2.4	ส่วนประกอบของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส	7
2.5	การสเกลวัตถุ	8
2.6	การแปลงแบบหมุนรอบแกน Y	9
2.7	ภาพการผสมสีทางแสง	10
2.8	ภาพประกอบ 2.8(ก) และภาพประกอบ 2.8(ข)	11
2.9	ภาพประกอบ 2.10(ก) และภาพประกอบ 2.10(ข)	13
2.10	สัญญาณรบกวน 23.9794 dBm หรือ -6.0206 dB	14
3.1	กระบวนการคำนวณ	17
4.1	เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์	20
4.2	เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์แบบปกติที่ขยายหรือย่อและหมุน	21
4.3	การเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของภาพสมองมนุษย์แบบปกติ	21
4.4	ค่าของมุมอ้างอิงและค่าของมุมที่หมุนของภาพสมองมนุษย์แบบปกติ	24
4.5	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 0° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	26
4.6	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 10° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	28
4.7	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 20° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	29
4.8	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 30° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	31
4.9	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 40° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	32
4.10	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 50° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	34
4.11	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 60° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	35
4.12	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 70° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	37
4.13	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 80° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	38
4.14	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 90° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	40
4.15	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 100° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	41

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 110° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	43
4.17	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 120° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	44
4.18	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 130° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	46
4.19	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 140° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	47
4.20	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 150° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	49
4.21	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 160° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	50
4.22	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 170° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	52
4.23	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 180° และ ค่าความผิดพลาดสเกล	53
4.24	เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์	54
4.25	เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ขยายหรือย่อและหมุน	54
4.26	การเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	55
4.27	ค่าของมุมอ้างอิงและค่าของมุมที่หมุนของภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	58
4.28	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 0° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	59
4.29	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 10° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	61
4.30	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 20° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	62
4.31	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 30° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	64
4.32	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 40° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	65
4.33	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 50° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	67
4.34	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 60° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	68
4.35	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 70° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	70
4.36	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 80° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	71
4.37	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 90° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	73
4.38	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 100° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	74
4.39	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 110° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	76
4.40	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 120° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	78
4.41	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 130° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	79
4.42	เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 140° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน	81

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.43 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 150° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 82

4.44 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 160° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 84

4.45 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 170° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 85

4.46 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 180° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน 87

4.47 การเลือกภาพแรก 87

4.48 การเลือกภาพที่สอง 88

4.49 ผลมุมแปลงกลับและค่าสเกลที่แปลงกับพร้อมค่าความผิดพลาด 88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

การลงทะเบียนภาพ (Image Registration) เป็นวิธีการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์โดยทำการจัดวางภาพตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไปลงบนระนาบเดียวกันอย่างสอดคล้องทำให้สามารถดูรายละเอียดของภาพเหล่านั้นได้ ด้วยเหตุนี้เองการลงทะเบียนภาพจึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์เพื่อวินิจฉัยโรคต่างๆ เช่น การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อมะเร็งหรือใช้ในการวางแผนการจัดฟัน นอกจากนี้การลงทะเบียนภาพยังสามารถนำไปใช้ลงทะเบียนภาพระหว่างภาพถ่ายทางอากาศและแผนที่ได้อีกด้วย

ปัจจุบันวิธีการลงทะเบียนภาพมีอยู่หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไปซึ่งจะพบว่าวิธีการลงทะเบียนภาพแบบอ้างอิงจุดควบคุมเป็นวิธีที่สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากไม่มีกระบวนการทำซ้ำ ซึ่งวิธีการหาจุดควบคุมของภาพแต่ละภาพนั้นสามารถหาได้หลายวิธีเช่น การกำหนดตำแหน่งโดยมนุษย์หรือหาโดยอัตโนมัติ ซึ่งการกำหนดตำแหน่งโดยมนุษย์นั้นจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญและความแม่นยำในการกำหนดจุดอย่างมาก ส่วนจุดควบคุมแบบอัตโนมัติที่ใช้กันในปัจจุบันจะใช้ลักษณะเด่นของภาพนั้นๆ เช่น จุดเปลี่ยนเว้า (Inflection points) คือจุดที่มีความโค้งเป็นศูนย์และจุดที่มีความโค้งสูงสุด (Maximum Curvature)

โครงงานนี้จะนำเสนอการลงทะเบียนภาพแบบใช้จุดควบคุม (Control-point based registration) โดยการอ้างอิงจุดควบคุมแบบกำหนดตำแหน่งโดยมนุษย์และหาค่าความผิดพลาดด้วยการวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการแปลงเชิงเรขาคณิตของรูปภาพ
2. เพื่อศึกษาการลงทะเบียนภาพโดยการอ้างอิงจุดควบคุม
3. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมในการลงทะเบีบนภาพ 2 มิติ โดยการใช้วิธีการอ้างอิงจุดควบคุม

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

การหาพารามิเตอร์ในการลงทะเบียนภาพระดับเทา (ภาพสมองมนุษย์) แบบ 2 มิติโดยใช้มุมหมุนภาพและขนาดย่อหรือขยายภาพ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

รายละเอียด	ปี2551							ปี2552	
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ
1.ทำการเก็บรวมข้อมูล	↔								
2.ทำการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน		↔							
3.ทำการศึกษาการสร้างระบบในการจัดเก็บภาพ			↔						
4 จัดสร้างระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพ			↔	↔					
5 ทำการเขียนโปรแกรมโดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมในการแปลงเชิงเรขาคณิตคือการหมุนและการย่อหรือขยายภาพ				↔	↔				
6 ทำการเก็บผลของการลงทะเบียนภาพที่ได้ เพื่อนำไปใช้หาค่าความผิดพลาดโดยการวัดประสิทธิภาพ ของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ						↔	↔	↔	
7.ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการลงทะเบียนภาพแบบธรรมดาและภาพที่เพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปเพื่อศึกษาผลการผิดพลาดของภาพ							↔	↔	
8.สรุปผลและจัดทำรายงาน								↔	↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1. ใช้ในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์เพื่อวินิจฉัยโรคต่างๆ เช่น การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อมะเร็งหรือใช้ในการวางแผนการจัดฟัน
2. สร้างเครือข่ายทางด้านการลงทะเบียนภาพ
3. สร้างบุคคลากรให้มีความรู้ความสามารถทางด้านการลงทะเบียนภาพ

1.6 งบประมาณ

1. ถ่ายเอกสารและค่าเข้าเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์	500	บาท
2. ค่าหนังสือ Matlab for Image Registration	700	บาท
3. ค่าพิมพ์เอกสาร	300	บาท
4. ค่าหนังสือ Digital Signal Processing	800	บาท
5. ค่า USB	600	บาท
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	100	บาท
รวมเป็นเงิน (สามพันบาทถ้วน)	3,000	บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงงาน

การลงทะเบียนภาพ (Image Registration) เป็นกระบวนการในการจัดวางภาพตั้งแต่สองภาพขึ้นไปลงบนระนาบเดียวกันอย่างสอดคล้อง เพื่อพิจารณารายละเอียดโดยรวมและตำแหน่งของวัตถุบนภาพทั้งหมดได้ในขณะเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การลงทะเบียนภาพจึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ผลภาพทางการแพทย์ อาทิเช่น การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อมะเร็ง การวางแผนการจัดฟัน เป็นต้น

ในส่วนของความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงงานเล่มนี้ จะอธิบายถึงประเภทของการลงทะเบียนภาพ ซึ่งประเภทของการลงทะเบียนภาพจะมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี อาทิเช่น วัตถุชนิดเดียวกันถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน วัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน และวัตถุต่างชนิดกันถ่ายภาพต่างวิธีกัน ซึ่งแต่ละประเภทจะได้ภาพถ่ายที่ออกมาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการถ่ายภาพและชนิดของวัตถุ โดยโครงงานนี้จะใช้ประเภทของการลงทะเบียนภาพแบบวัตถุชนิดเดียวกันถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน โดยใช้ภาพถ่าย MRI ของสมองมนุษย์แบบ 2 มิติ ในการศึกษาทำการทดลอง

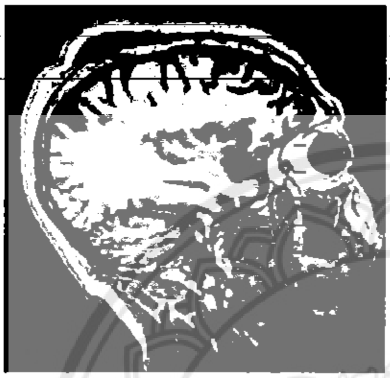
สำหรับหลักการ จะอธิบายถึงหลักการการประยุกต์ใช้การแปลงเชิงเรขาคณิต ซึ่งประกอบด้วยเมตตริกซ์การย่อหรือขยายภาพและเมตริกซ์การหมุนภาพ สำหรับภาพถ่ายโดยทั่วไปที่เป็นภาพสี เมื่อนำมาทำการลงทะเบียนภาพจะมีความล่าช้าในการประมวลผล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำมาทำการแปลงภาพระดับเทา โดยต้องทราบถึงโครงสร้างของระบบสี RGB ซึ่งประกอบไปด้วย Pixel (Picture element หรือ Pel), ระดับเทา (Gray Level), การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวหรือดำ (Thresholding) และ Histogram เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการแปลงภาพเพื่อการประมวลผลภาพที่รวดเร็วต่อไป

นอกจากนี้อธิบายถึงสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียน ที่ใช้ในการประมวลผลภาพซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบตายตัว และสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบไม่ตายตัว ซึ่งจะใช้หลักการของการเพิ่มสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนเข้าไปในภาพ และอธิบายถึงการวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ โดยการประยุกต์ใช้ l_2 Norm เพื่อนำมาใช้หาค่าความผิดพลาดของภาพ

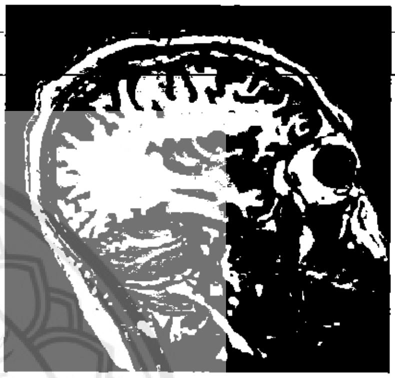
2.2 ประเภทของการลงทะเบียนภาพ

2.2.1 วัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพวิธีเดียวกัน (Intraobject Intramodality Registration)

จากรูปที่ 2.1 เป็นภาพถ่ายศีรษะผู้ป่วยแบบ 2 มิติ ที่เป็นวัตถุชนิดเดียวกันที่ทำการถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน คือการถ่ายภาพด้วยเครื่อง MRI ที่ถ่ายต่างเวลากันคือภาพ (ก) จะเป็นภาพถ่าย MRI ของศีรษะผู้ป่วยที่ทำการถ่ายครั้งแรก และภาพ (ข) แสดงภาพถ่าย MRI ของศีรษะผู้ป่วยคนเดิมแต่ทำการถ่ายหลังจากถ่ายภาพครั้งแรกไปเป็นเวลา 6 สัปดาห์



(ก) แสดงภาพถ่าย MRI ของศีรษะผู้ป่วย

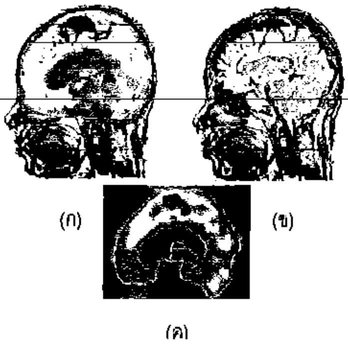


(ข) แสดงภาพถ่าย MRI ของศีรษะผู้ป่วยหลังจาก 6 สัปดาห์

รูปที่ 2.1 ภาพถ่าย MRI

2.2.2 วัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน (Intraobject Intermodality Registration)

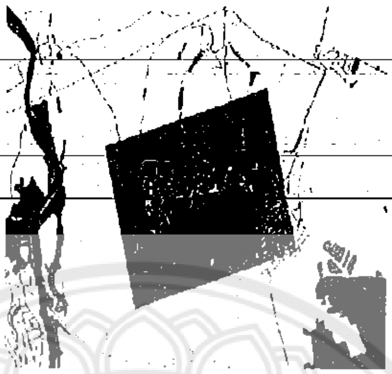
จากรูปที่ 2.2 เป็นการลงทะเบียนภาพจากภาพถ่ายวัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน คือเป็นภาพถ่ายศีรษะผู้ป่วยคนเดียวกัน แต่ทำการถ่ายภาพต่างวิธีกันคือภาพ (ก) แสดงภาพผลลัพธ์ของการลงทะเบียนภาพ MRI และ SPECT ภาพ (ข) แสดงภาพถ่าย MRI ของศีรษะผู้ป่วย และภาพ (ค) แสดงภาพถ่าย SPECT ของศีรษะผู้ป่วย



รูปที่ 2.2 ภาพถ่าย MRI และ SPECT

2.2.3 วัตถุต่างชนิดกัน (Interobject Registration)

จากรูปที่ 2.3 เป็นการลงทะเบียนภาพจากภาพถ่ายวัตถุต่างชนิดกันคือภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายแผนที่ จากนั้นก็ทำการซ้อนทับกันของภาพ



รูปที่ 2.3 ภาพผลลัพธ์ของการลงทะเบียนภาพถ่ายทางอากาศและแผนที่

2.3 การแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric transformation)

การแปลงนั้นจะพิจารณาได้ว่าเป็นการแปลงจุดในปริภูมิสองมิติ และเพื่อความเข้าใจง่ายจึงมักจะเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ โดยกำหนดให้จุดที่ต้องการแปลงเป็นจุด P มีพิกัดเป็น (x, y,1) ใดๆ เมื่อต้องการย้ายตำแหน่งของจุด P ไปยังพิกัดใหม่คือ P' ซึ่งมีพิกัด (x', y',1) ก็ทำได้โดยการนำพิกัดของจุด P ไปบวกกับเมตริกซ์การแปลงซึ่งก็คือ T สามารถแสดงเมตริกซ์ของการแปลงได้ดังนี้

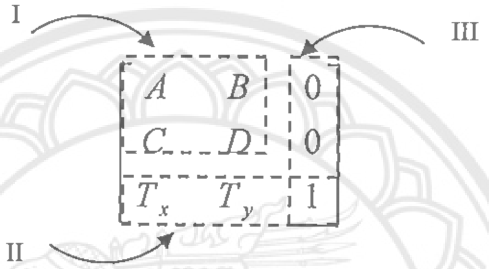
$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x+T_x & y+T_y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

นอกจากนี้เมื่อนำพิกัดของจุด P มาคูณกับเมตริกซ์การแปลง T ให้ได้พิกัดใหม่คือ P' นั้นจะเป็นการสเกล การหมุน การสะท้อนหรืออื่นๆ ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ภายในเมตริกซ์การแปลงนั้น และสามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$P' = PT = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \qquad (2.2)$$

สำหรับการแปลงเชิงเรขาคณิตในทางคอมพิวเตอร์กราฟิกโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยการแปลงหลายๆชนิดประกอบกัน และเนื่องจากเป็นการคำนวณในรูปของเมตริกซ์จึงทำให้ยากในการคำนวณเมตริกซ์ที่มีรูปแบบแตกต่างกันจึงได้มีการนำระบบพิกัดโฮโมจีเนียส (Homogeneous Coordinate System) เข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหานี้

จากรูปที่ 2.4 เมตริกซ์ย่อย I เป็นส่วนที่กำหนดว่าเป็นการแปลงแบบใด เช่น การหมุน การสเกล การสะท้อน เป็นต้น ส่วนเมตริกซ์ย่อย II เป็นส่วนของการย้ายตำแหน่งแบบเชิงเส้น และในส่วนสุดท้ายเมตริกซ์ย่อย III ใช้ในการรวมระหว่างการเคลื่อนย้ายพิกัดและการแปลงที่อยู่ในรูปการคูณโดยมีรายละเอียดของการแปลงแบบต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

2.3.1 การสเกล (Scaling)

การสเกลเป็นการแปลงเพื่อปรับเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ต้องการมีเมตริกซ์การแปลง (S) ดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

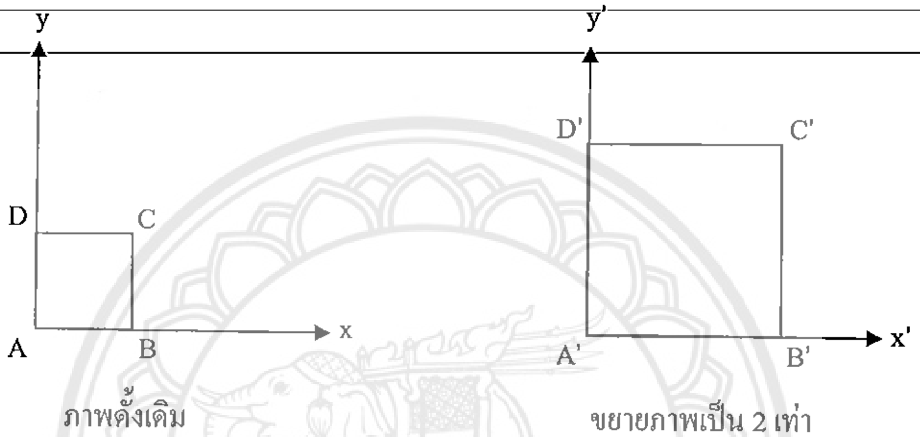
โดยที่ S_x, S_y เป็นสัมประสิทธิ์การสเกลสำหรับพิกัด x, y ตามลำดับและพิกัดของจุดในระบบโฮโมจีเนียส (x', y', H) เป็น

$$\begin{bmatrix} x' & y' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

หรือ

$$[x' \quad y' \quad h] = [xS_x \quad yS_y \quad 1] \tag{2.5}$$

ค่า S_x, S_y จะเป็นตัวกำหนดว่าเป็นการย่อหรือขยายรูปตามแกน X และแกน Y ตามลำดับ กล่าวคือถ้า S มีค่ามากกว่า 1 จะเป็นการขยายภาพและถ้า S มีค่าน้อยกว่า 1 จะเป็นการย่อขนาดภาพ ดังจะเห็นตัวอย่างได้จากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสเกลวัตถุ

2.3.2 การหมุนวัตถุ (Rotation)

การหมุนวัตถุเป็นการหมุนวัตถุรอบแกนต่างๆทั้งสองแกน ซึ่งได้แก่ แกน x และ y โดยการอ้างอิงการมองในลักษณะมองออกจากจุดกำเนิดไปตามแนวแกน เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกนต่างๆ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีดังนี้

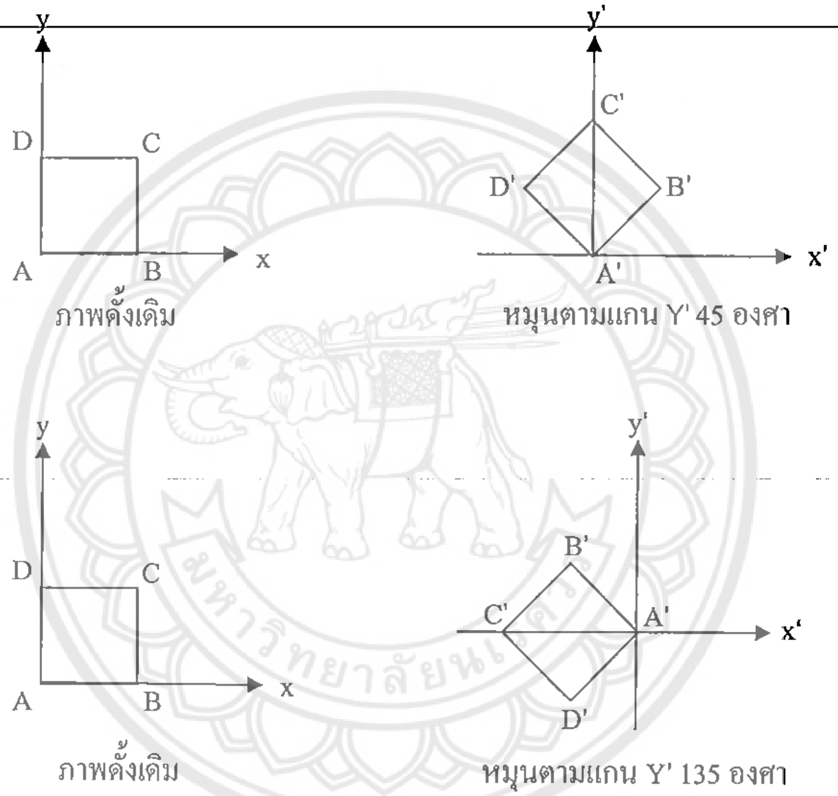
<u>เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน *x* ไปเป็นมุม θ คือ</u>

$$R_x = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

<u>เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน y ไปเป็นมุม φ คือ</u>

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างการหมุนรอบแกนได้ดังรูปที่ 2.6



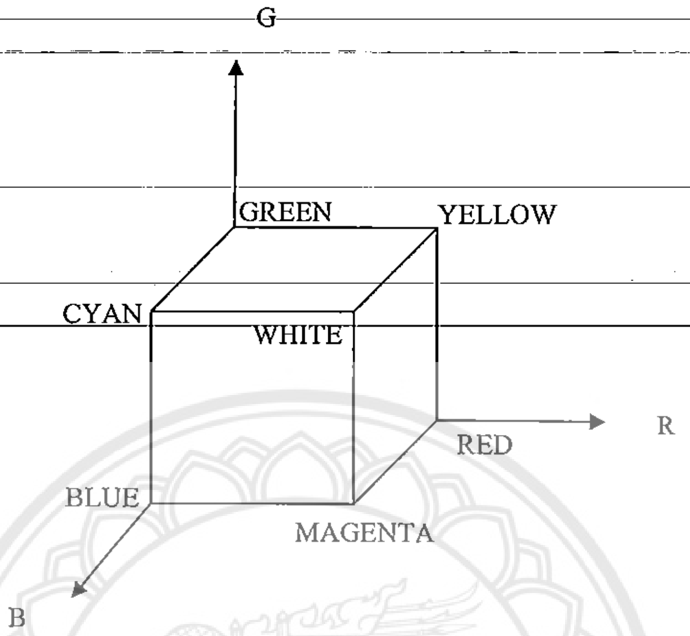
รูปที่ 2.6 การแปลงแบบหมุนรอบแกน Y

2.4 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน โดยปกติจะใช้ในจอภาพแบบ CRT และเนื่องจากระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสงจึงทำให้ภาพที่ได้ออกมานั้นมีความสมจริงและยังดูสวยงาม

โมเดลสี หรือ Color Space ประกอบด้วย 3 แม่สีหลัก ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ถ้านำแต่ละแม่สีมาพล็อตกราฟในระดับพิกัด Color Space โดยแต่ละสีมีค่า 0 ถึง 1 (0 แสดงถึงค่าความ

มืด และ 1 แสดงถึงความสว่าง) จะได้ภาพการผสมสีทางแสงหรือการบวกแม่สีเข้าด้วยกัน (Additive Primary Color) ดังรูปที่ 2.7



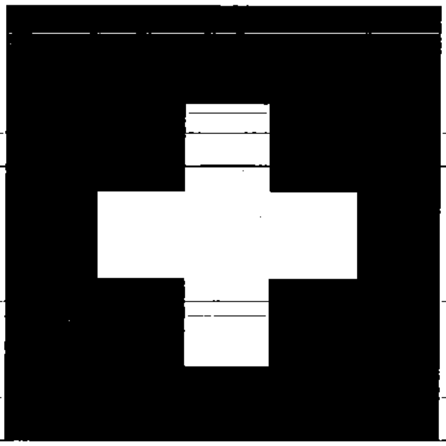
รูปที่ 2.7 ภาพการผสมสีทางแสง

2.4.1 Pixel (Picture element หรือ Pel) คือพื้นที่เล็กๆจุดหนึ่งในภาพ โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีค่าตัวเลขกำกับซึ่งตัวเลขเหล่านี้จะมาจากค่าของแม่สีสามสี R (สีแดง) G (สีเขียว) B (สีฟ้า) ใช้บอกระดับความเข้มของแต่ละเฉดสีหากมี Pixel หลายๆจุดมาต่อกันจะกลายเป็นภาพซึ่งมีขนาด จำนวน Pixel ด้านกว้าง X จำนวน Pixel ด้านยาว ยกตัวอย่าง เช่น รูปภาพขนาด 800 x 600 pixels หมายความว่ารูปภาพนี้มีความกว้าง 800 pixels และมีความยาว 600 pixels เป็นต้น

2.4.2 ระดับเทา (Gray Level) เป็นค่าซึ่งระบุความสว่างหรือความเข้ม ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 (0 คือระดับเข้ม 255 คือระดับสว่าง) รวมทั้งพิกัดแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งใช้ระบุตำแหน่งในแถวลำดับภาพ (Image Array) เช่นจากรูปที่ 2.8(ก) และ 2.8(ข) จุดภาพแถวนอนที่ 3 และแนวตั้งที่ 2 รูปที่ 2.8(ข) ซึ่งมีค่าระดับเทา 40

วิธีการหาค่าระดับเทา (Gray Level)

$$Graylevel = \frac{R+G+B}{3} \tag{2.8}$$



รูปที่ 2.8(ก) จุดภาพแถวนอนที่ 3 และแนวตั้งที่ 2

40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40	40	40	40	200	200	40	40	40	40
40	**40**	40	40	200	200	40	40	40	40
40	40	200	200	200	200	200	200	40	40
40	40	40	40	200	200	40	40	40	40
40	40	40	40	200	200	40	40	40	40
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

รูปที่ 2.8(ข) ระดับเทาที่ 40

วิธีการหาค่าระดับเทาที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการเฉลี่ยค่าของแม่สีทั้งสาม ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ก็อาจจะมีความเพี้ยนของสีได้ จึงมีวิธีอีกอย่างหนึ่งซึ่งจะคิดตามความสว่างของแต่ละแม่สีโดยมีรูปแบบดังสมการ

$$R_R = \frac{(R_S + G_S + B_S)}{3} \quad \text{หรือ} \quad R_R = ((0.299 \times R_S) + (0.587 \times G_S) + (0.114 \times B_S)) \qquad (2.9)$$

$$G_R = \frac{(R_S + G_S + B_S)}{3} \quad \text{หรือ} \quad G_R = ((0.299 \times R_S) + (0.587 \times G_S) + (0.114 \times B_S)) \qquad (2.10)$$

$$B_R = \frac{(R_S + G_S + B_S)}{3} \quad \text{หรือ} \quad B_R = ((0.299 \times R_S) + (0.587 \times G_S) + (0.114 \times B_S)) \qquad (2.11)$$

โดยที่ R_R หมายถึง ค่าเอาต์พุต Pixels สีแดง

G_R หมายถึง ค่าเอาต์พุต Pixels สีเขียว

B_R หมายถึง ค่าเอาต์พุต Pixels สีน้ำเงิน

R_S หมายถึง ค่าอินพุต Pixels สีแดง

G_S หมายถึง ค่าอินพุต Pixels สีเขียว

B_S หมายถึง ค่าอินพุต Pixels สีน้ำเงิน

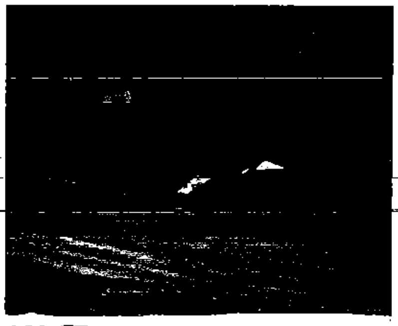
2.4.3 การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาว-ดำ (Thresholding)

เป็นกระบวนการแปลงภาพสีให้มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับคือ ขาว และดำ โดยจะแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพ binary (Binary Image) มีกระบวนการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับ (Multilevel Image) ให้เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับหรือ 1 บิต (bit) คือ 0 และ 1 โดย 0 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีขาวและ 1 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีดำ

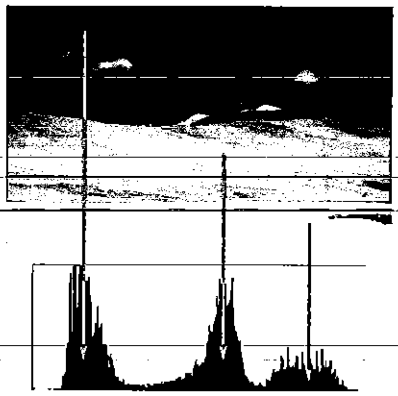
Thresholding Technique คือการพิจารณาจุด pixel ในภาพว่าจุดใดควรจะเป็นจุดขาวหรือจุดใดควรจะเป็นจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 (จุดดำ) โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าของแต่ละpixel (f(x,y)) กับค่าคงที่ที่เรียกว่า Threshold (Threshold Value) เทคนิคนี้นิยมใช้กันมากในกรณีที่ความแตกต่างระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) ค่า pixel ในภาพที่มีค่าน้อยกว่าค่า Threshold จะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) และถ้าค่าของ pixel ใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold จะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว)

ในการทำภาพ Binary โดยการทำ Thresholding ให้ได้ภาพดีและคมชัด ต้องเกิดจากการเลือกค่า Threshold ที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้าเลือกค่า Threshold ไม่เหมาะสม เช่น ค่า Threshold ที่มากหรือน้อยจนเกินไป ภาพที่ได้จะขาดความคมชัดหรืออาจทำให้รายละเอียดของภาพขาดหายไป หรือภาพที่ได้อาจจะมืดเกินไปหรือสว่างเกินไปหรืออาจจะเป็นภาพที่มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้นทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจน

2.4.4 Histogram คือ มาตรวัดที่ใช้ในการบอกการกระจายของค่าระดับเทาในภาพทั้งภาพ โดยการนำภาพสี (RGB) ที่มีอยู่มาทำการแปลงค่าของสีภาพเป็นระดับเทาเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งการวิเคราะห์จาก Histogram นี้จะได้ผลออกมาเป็นกราฟแท่งที่บอกความสว่างในแต่ละช่วงของภาพ ตัวอย่างเช่น รูปที่ 2.9(ก) จะเป็นภาพ RGB ปกติ เมื่อทำการเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทา (Gray Level) และพล็อตเป็นกราฟ Histogram จะกลายเป็นรูปที่ 2.9(ข)



รูปที่ 2.9(ก) ภาพ RGB ปกติ



รูปที่ 2.9(ข) ภาพระดับเทา

จากรูปที่ 2.9(ข) จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการพล็อตกราฟออกมาแล้ว ในบริเวณช่วงแท่งกราฟช่วงแรกจะมีปริมาณความเข้มสูงมากเนื่องมาจากเป็นบริเวณสีของท้องฟ้าที่มีความทึบของสีฟ้าและถัดมาเป็นช่วงของภูเขาที่มีพื้นที่มาก แต่ความเข้มของระดับเทาน้อยกว่าช่วงของท้องฟ้า และสุดท้ายช่วงของพื้นที่มีระดับความสว่างและพื้นที่ค่อนข้างน้อยจึงมีปริมาณแท่งน้อยกว่าทั้งสองกลุ่ม

2.5 สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนในทางการประมวลผลภาพจะมีอยู่ 2 ชนิดคือสัญญาณที่มีรูปแบบตายตัว (Uniform noise) และสัญญาณที่มีรูปแบบไม่ตายตัว (Gaussian noise)

2.5.1 Uniform noise สร้างโดยฟังก์ชั่นการแจกแจงแบบ Uniform ดังสมการ

$$f(x,a,b) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} \text{ สำหรับ } a \le x \le b \end{cases} ;0 \text{ สำหรับ } X<a \text{ หรือ } X>b$$

ค่า a และ b คือค่าช่วงของสีในช่วง a ถึง b สำหรับแต่ละพิกเซล (pixel) ที่ตำแหน่ง x จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าของฟังก์ชั่นดังสมการด้านบน โดยจะสังเกตว่า ถ้าอยู่ในช่วง [a,b] แล้วค่าสีแต่ละค่าในช่วงเดียวกันจะให้ผลออกมาเป็นค่าเดียวกันสัญญาณรบกวนประเภทนี้จึงมีความสม่ำเสมอและมีรูปแบบตายตัว

2.5.2 สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่มีความสัมพันธ์กับจุดข้างเคียง ที่เป็นศูนย์กลางของสัญญาณรบกวนในรูปแบบระฆังคว่ำ สร้างโดยฟังก์ชั่นการแจกแจงแบบ uniform ดังสมการ 2.12

$$f(x,\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{2.12}$$

เมื่อ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสี

μ คือค่าเฉลี่ยของค่าสีและเมื่อนำค่าสีในพิกเซลที่ตำแหน่ง x ไปแทนก็จะได้ค่าสีของสัญญาณรบกวนออกมา

2.5.3 การวัดระดับสัญญาณรบกวนในรูปแบบเดซิเบล

เป็นการเพิ่มค่าความเพี้ยนหรือค่าสัญญาณรบกวนต่างๆให้กับรูปภาพเพื่อนำมาทดสอบค่าความผิดพลาดของโปรแกรมว่าสามารถประมาณการความผิดพลาดของการลงทะเบียนภาพว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดในการลงทะเบียนภาพ โดยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนจะมีค่าพลังงานดังสมการ 2.13

$$\mathrm{P} = \mu + \sigma^2 \tag{2.13}$$

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน

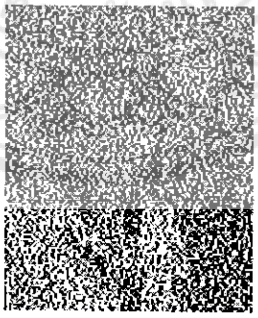
σ คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน

ซึ่งเขียนในรูปแบบของเดซิเบล (dB) ดังสมการ 2.14 หรือ 2.15

$$\mathrm{P}_{indB} = 10\log_{10}(\mu + \sigma^2) \tag{2.14}$$

หรือ

$$\mathrm{P}_{indBm} = (10\log_{10}(\mu + \sigma^2)) + 30 \tag{2.15}$$



รูปที่ 2.10 สัญญาณรบกวน 23.9794 dBm หรือ -6.0206 dB

2.6การวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเ ตอร์การลงทะเบียนภาพ

ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถหาได้โดยการนำค่าตัวแปรจริงลบด้วยค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณค่าสำหรับกระบวนการในการลงทะเบียนภาพสามารถเขียนแทนได้โดย

ค่าความผิดพลาด = ภาพต้นแบบ – ภาพอ้างอิง

ในการตรวจสอบค่าการประมาณพารามิเตอร์ของการลงทะเบียนภาพที่ได้รับจากอัลกอลิ-ทึมว่าถูกต้องหรือไม่ จะวัดค่าเฉลี่ยกำลังสองค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นแบบกับภาพอ้างอิงซึ่งมีนิยามดังนี้

$$MSE = \frac{\sum_{n}^{N}\sum_{m}^{M}\left|E(m,n)\right|^{2}}{\sum_{n}^{N}\sum_{m}^{M}\left|I(m,n)\right|^{2}} \qquad (2.16)$$

โดยที่ $I(m,n)$ คือ ค่าระดับเทาของภาพอ้างอิงขนาด $M \times N$ และ

$E(m,n)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนระดับเทาระหว่างภาพต้นแบบกับ**ภาพอ้างอิง**

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 รูปแบบโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการแปลงเชิงเรขาคณิต ซึ่งประกอบไปด้วยการหมุนภาพระหว่างมุม 0 องศาถึง 180 องศา และการย่อหรือขยายภาพตั้งแต่ค่า 0.1 ถึง 3 เท่า จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับภาพที่ทำการกำหนดจุดอ้างอิง โดยทำการหมุนภาพระหว่างมุม 0 องศาถึง 180 องศา และการย่อหรือขยายภาพตั้งแต่ค่า 0.1 ถึง 3 เท่าเพื่อหาค่าความผิดพลาดของภาพ โดยการวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ และทดสอบผลของการเพิ่มเกาส์เซียนนอยส์เข้าไปในภาพทั้งสองแบบ โดยภาพที่ทำการทดสอบเป็นภาพสมองมนุษย์แบบ 2 มิติที่ถ่ายจากเครื่อง MRI

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

โครงงานนี้ทำการลงทะเบียนภาพ และคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากการลงทะเบียนภาพภาพถ่าย MRI ของสมองมนุษย์แบบ 2 มิติ โดยมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.2.1 ทำการเก็บรวมข้อมูล

3.2.2 ทำการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน

3.2.3 ทำการศึกษาการสร้างระบบในการจัดเก็บภาพ

3.2.4 จัดสร้างระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพ

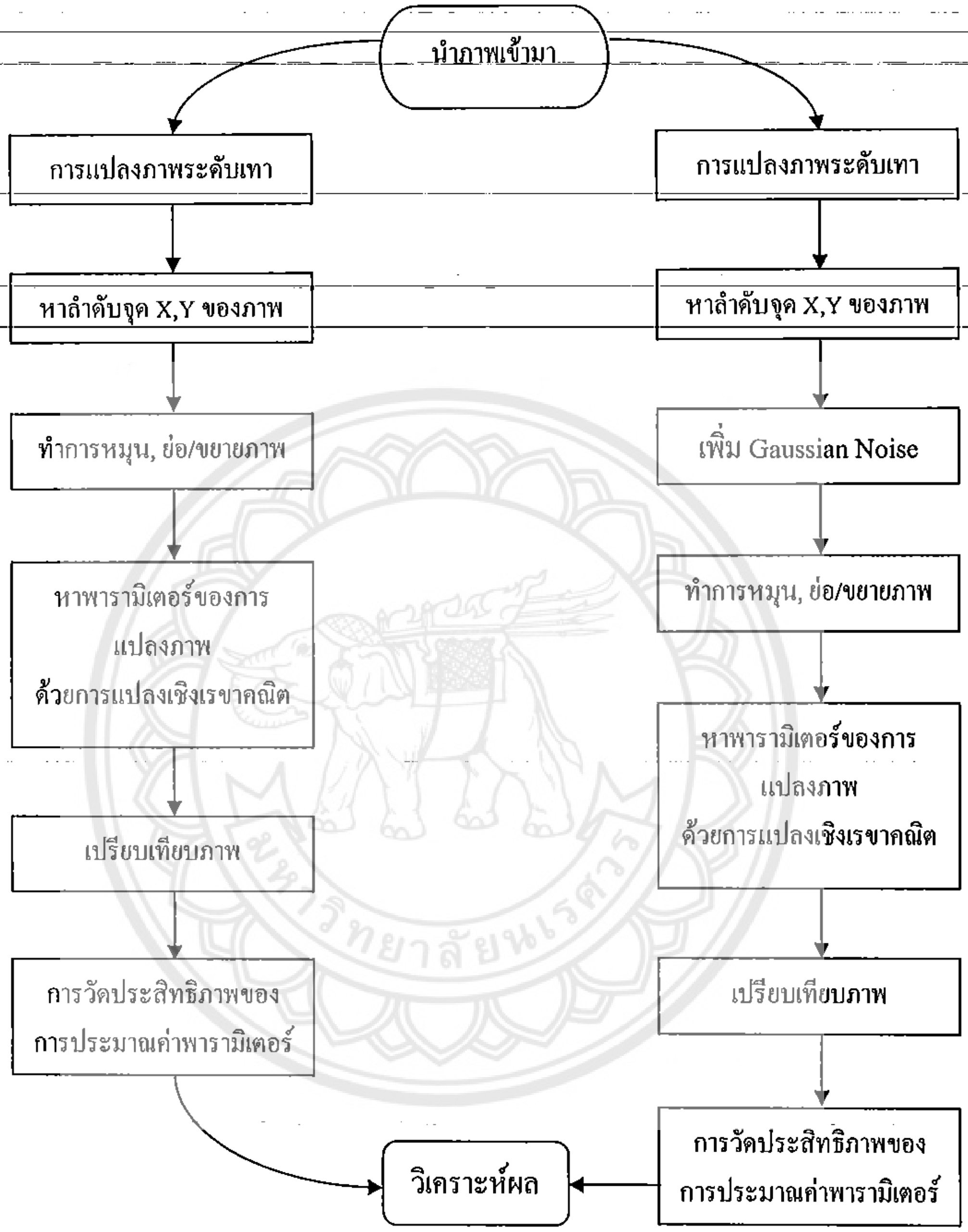
3.2.5 ทำการเขียนโปรแกรมโดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมในการแปลงเชิงเรขาคณิตคือการหมุนและการย่อหรือขยายภาพ

3.2.6 ทำการเก็บผลของการลงทะเบียนภาพที่ได้ เพื่อนำไปใช้หาค่าความผิดพลาดโดยการวัดประสิทธิภาพ ของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ

3.2.7 ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการลงทะเบียนภาพแบบธรรมดาและภาพที่เพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปเพื่อศึกษาผลการผิดพลาดของภาพ

3.2.8 สรุปผลและจัดทำรายงาน

3.3 กระบวนการคำนวณ



รูปที่ 3.1 กระบวนการคำนวณ

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายกระบวนการคำนวณของภาพถ่ายแบบทั่วไปได้ดังนี้คือ

1. การนำภาพถ่าย MRI ของสมองมนุษย์แบบ 2 มิติ เข้ามาโดยการใช้คำสั่งเรียกรูปเข้ามา
2. นำภาพที่เรียกเข้ามาแปลงให้เป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการที่ (2.8) ในบทที่ 2
3. หาลำดับจุดอ้างอิง X,Y ของภาพโดยการกำหนดจุดอ้างอิงของภาพแรกอย่างน้อย 3 จุด จะได้จุดขาเข้า (Input Points)
4. นำภาพแรกมาหมุนและย่อหรือขยายภาพโดยการประยุกต์ใช้การแปลงเชิงเรขาคณิตโดยใช้สมการเมตตริกซ์การหมุนในสมการที่ (2.6) หรือสมการที่ (2.7) ในการหมุนรอบแกน X และแกน Y ตามลำดับ สำหรับการย่อหรือขยายภาพสามารถประยุกต์ใช้สมการที่ (2.4) จากนั้นทำการเลือกจุดอ้างอิงของภาพอย่างน้อย 3 จุด จะได้จุดอ้างอิง (Base Points)
5. นำค่าจุดขาเข้า (Input Points) และค่าจุดอ้างอิง (Base Points) มาหาพารามิเตอร์ของการแปลงภาพด้วยการแปลงเชิงเรขาคณิต จะทำให้ทราบค่ามุมการหมุนกลับและค่าการย่อหรือขยายภาพกลับ
6. ทำการเปรียบเทียบภาพที่หมุนและย่อหรือขยายภาพโดยการประยุกต์ใช้การแปลงเชิงเรขาคณิตและภาพที่ทำการเลือกจุดอ้างอิง
7. หาค่าความผิดพลาดของภาพได้จากการวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยใช้สมการที่ (2.16)
8. ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากค่าความผิดพลาดและทำการสรุปผล

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายกระบวนการคำนวณของภาพที่เพิ่มสัญญาณรบกวนได้ดังนี้คือ

1. การนำภาพถ่าย MRI ของสมองมนุษย์แบบ 2 มิติ เข้ามาโดยการใช้คำสั่งเรียกรูปเข้ามา
2. นำภาพที่เรียกเข้ามาแปลงให้เป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการที่ (2.8) ในบทที่ 2
3. หาลำดับจุดอ้างอิง X ,Y ของภาพโดยการกำหนดจุดอ้างอิงของภาพแรก (original) อย่างน้อย 3 จุดจะได้จุดขาเข้า (Input Points)
4. ทำการเพิ่มเกาส์เซียนนอยส์ ในภาพที่จะทำการหมุนและการย่อหรือขยายภาพ โดยใช้สมการที่ (2.13)
5. นำภาพที่เพิ่มเกาส์เซียนนอยส์ มาหมุนและย่อหรือขยายภาพโดยการประยุกต์ใช้การแปลงเชิงเรขาคณิตโดยใช้สมการเมตตริกซ์การหมุนในสมการที่ (2.6) หรือสมการที่ (2.7) ในการหมุนรอบแกน X และ แกน Y ตามลำดับ สำหรับการย่อหรือขยายภาพสามารถประยุกต์ใช้สมการที่ (2.4) จากนั้นทำการเลือกจุดอ้างอิงของภาพอย่างน้อย 3 จุด จะได้จุดอ้างอิง (Base Points)
6. นำค่าจุดขาเข้า (Input Points) และค่าจุดอ้างอิง (Base Points) มาหาพารามิเตอร์ของการแปลงภาพด้วยการแปลงเชิงเรขาคณิต จะทำให้ทราบค่ามุมการหมุนกลับและค่าการย่อหรือขยายภาพกลับ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

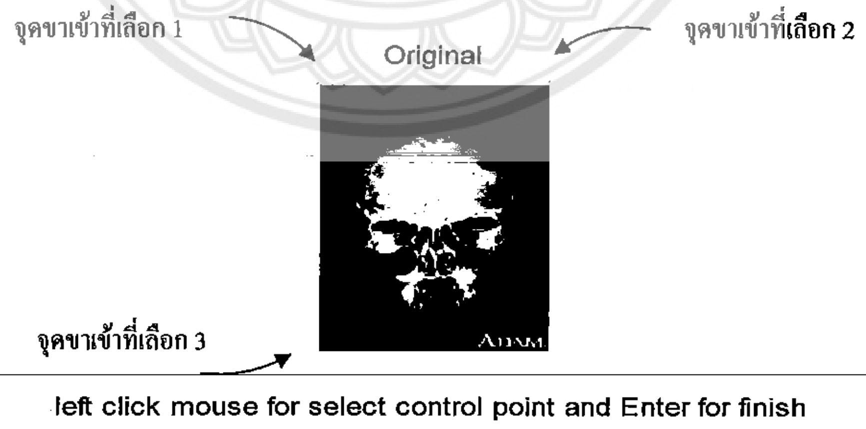
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการย่อหรือขยายภาพ และ พารามิเตอร์ของการหมุนภาพ โดยภาพที่ใช้ในการทดลองคือภาพ MRI สมองมนุษย์ 2 มิติ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 ใช้ภาพ MRI สมองมนุษย์ 2 มิติแบบปกติและกรณีที่ 2 ใช้ภาพ MRI สมองมนุษย์ 2 มิติแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน ซึ่งในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 จะทำการอ้างอิงจุดและทำการแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างภาพอ้างอิงและภาพที่ได้จากการแปลงรูป (หมุนและย่อหรือขยาย) ส่วนกรณีที่ 3 คือการประยุกต์ใช้งานจริงของโปรแกรมที่นำเสนอ โดยทั้ง 3 กรณีจะใช้วิธี l_2 Norm ในการวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ เพื่อหาค่าความผิดพลาดของภาพ

4.1 กรณีที่ 1 ผลการทดลองสำหรับภาพสมองแบบปกติ

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองในการเลือกจุดอ้างอิง

ผลการทดลองในกรณีที่ 1 การเลือกจุดอ้างอิงสำหรับมุม 60 องศา อัตราการขยาย 3 เท่า สามารถอธิบายผลจากขั้นตอนการเลือกจุดอ้างอิงได้ดังนี้

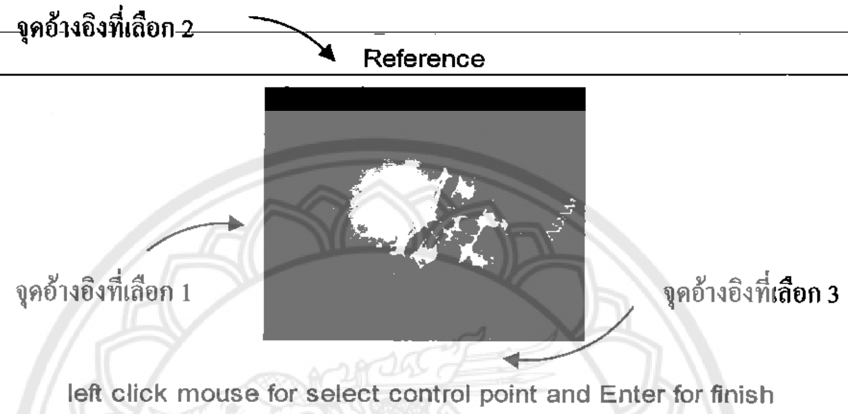
<u>ขั้นตอนที่ 1</u> : รูปที่ 4.1 เป็นวิธีการเลือกจุดอ้างอิงของภาพอย่างน้อย 3 จุด โดยให้ค่าจุดอ้างอิงนั้นเป็นจุดขาเข้า (input points)



รูปที่ 4.1 เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์

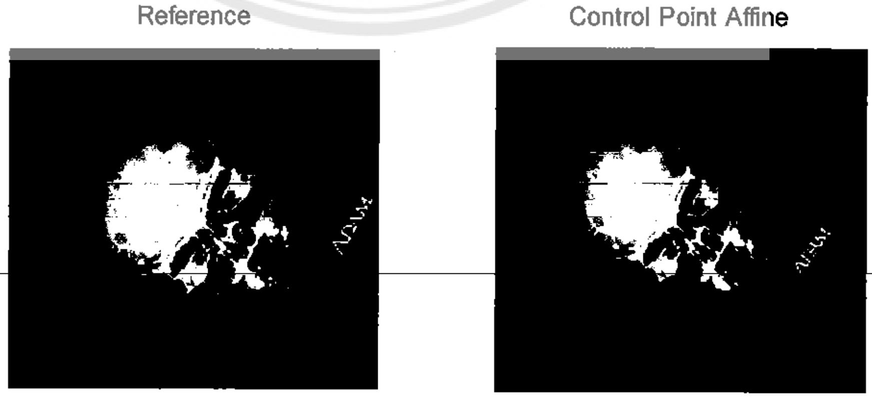
<u>ขั้นตอนที่ 2</u> : รูปที่ 4.2 เป็นวิธีการเลือกจุดอ้างอิงของภาพอย่างน้อย 3 จุดในภาพแรกที่ผ่านการหมุนและย่อหรือขยายภาพโดยการประยุกต์ใช้สมการการแปลงเชิงเรขาคณิต เพื่อที่ได้ค่าจุดอ้างอิง (base points)

เมื่อเลือกจุดอ้างอิงของภาพทั้งสองได้แล้ว นำค่าจุดขาเข้า (input points) และค่าจุดอ้างอิง (base points) ที่ได้นั้นไปผ่านอัลกอริทึมในการแปลงเชิงเรขาคณิต เพื่อที่จะได้ทราบค่ามุมที่หมุนกลับและขนาดการย่อหรือขยายภาพกลับ



รูปที่ 4.2 เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์แบบปกติที่ขยายหรือย่อและหมุน

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> : การวัดประสิทธิภาพของภาพ เพื่อหาค่าความผิดพลาดจากภาพที่ทำการแปลงโดยการหมุนและการย่อหรือขยายภาพโดยการแปลงเชิงเรขาคณิต และภาพที่ทำการหมุนและการย่อหรือขยายภาพโดยผ่านการเลือกจุดอ้างอิง ดังรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบภาพทั้งสอง



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของภาพสมองมนุษย์แบบปกติ

4.1.2 ตารางผลการทดลองในการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบปกติตั้งแต่มุม 0°- มุม 180°

ตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้คือ จากการกำหนดมุมอ้างอิงโดยเริ่มจาก มุม 0 องศา แล้วทำการเพิ่มค่ามุมที่ละ 10 องศา จากนั้นก็ทำการเพิ่มค่าขนาดระยะของสเกลครั้งละ 0.1 จากระยะ 0.1 ถึง 3 ทำให้สามารถอธิบายผลจากการทดลองได้ว่าค่าของมุมแต่ละมุมจากมุม 0 องศา ถึง 90 องศา ค่าของมุมที่ได้จากผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามุมอ้างอิง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบปกติที่มุม 0°- 90°

Scale	มุม 0°	มุม 10°	มุม 20°	มุม 30°	มุม 40°	มุม 50°	มุม 60°	มุม 70°	มุม 80°	มุม 90°
0.1	0.2419	14.5039	20.5732	30.8570	40.1412	49.1886	60.0079	69.7117	79.4563	89.8487
0.2	0.7580	10.8887	19.8912	30.6603	40.8213	49.7876	60.1136	69.9777	79.7323	90.1584
0.3	0.6529	10.7576	21.1003	29.5666	40.4124	49.3435	59.7396	70.0295	79.8194	90.0956
0.4	0.2970	10.3333	20.5693	30.3226	39.4257	50.5736	61.1427	70.4436	79.6204	91.2847
0.5	0.5278	10.3052	19.8034	28.7563	39.7674	49.8921	59.1243	70.3234	78.7385	90.2758
0.6	0.1590	10.1976	19.8726	29.5508	39.7148	49.8844	60.8706	69.5248	81.1974	89.9598
0.7	0.1814	10.4652	20.7351	31.2949	39.6236	50.3993	59.9809	70.7249	79.9154	90.3709
0.8	0.0984	10.6111	19.8767	30.4967	39.7982	51.4132	58.7522	69.2460	80.0484	89.7716
0.9	0.0813	10.5453	19.9380	29.8804	40.3618	49.7966	59.8015	69.2524	80.8289	90.7911
1.0	0.0652	10.1457	20.2267	30.5366	41.4803	49.9837	60.2143	68.8625	79.4203	90.0764
1.1	1.3020	10.4604	20.3792	29.2307	40.3114	49.1834	59.7061	70.0701	80.0472	90.1689
1.2	0.6084	10.1761	19.1420	29.7189	39.9119	48.9422	59.0064	69.5781	79.6520	90.0510
1.3	0.9517	10.0515	20.4614	29.6030	39.9152	50.6217	59.2446	70.5767	79.5812	90.7894
1.4	0.3166	10.1146	20.9996	29.4614	39.8760	50.2856	60.5982	70.2731	79.6542	90.5700
1.5	0.5100	11.5952	20.2552	29.3955	40.0418	50.2828	59.7053	69.6267	80.5832	90.0665
1.6	0.7347	11.0264	20.2277	29.6097	38.9325	50.3766	61.7249	70.8462	80.4612	90.5776
1.7	0.2048	10.7883	21.5000	29.5865	39.2788	50.4402	58.9287	69.0095	78.8938	89.8813
1.8	0.7197	9.8060	21.4722	31.0528	40.0246	49.9895	60.5896	69.7690	79.1394	89.6838
1.9	0.4113	11.9585	18.6920	29.8239	41.4227	50.1068	61.2723	68.4459	79.6997	91.0695
2.0	0.2660	11.4587	20.2352	29.1546	39.9804	50.2801	60.2224	70.1861	79.5138	89.3476
2.1	0.9760	11.3001	19.9535	28.9137	39.1826	50.1009	59.0453	70.3690	79.8480	89.5620
2.2	0.1973	10.6530	19.8450	31.3574	39.9120	50.2191	60.5388	69.4275	79.9564	89.2992
2.3	0.3685	11.1434	19.8500	29.9799	40.8233	50.4008	59.9860	69.4734	79.8248	89.4223
2.4	0.5081	9.3476	20.6367	30.4820	40.7011	49.9560	60.3240	68.9584	79.5583	89.7390
2.5	0.3021	10.3237	19.9724	30.9753	39.3037	49.7191	60.2820	71.2905	80.6095	89.1150
2.6	0.3041	10.7208	19.1755	30.9864	40.2187	51.1688	59.6129	69.6687	80.0282	90.7992

ตารางที่ 4.1(ต่อ) ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบปกติที่มุม 0°- 90°

Scale	มุม 0°	มุม 10°	มุม 20°	มุม 30°	มุม 40°	มุม 50°	มุม 60°	มุม 70°	มุม 80°	มุม 90°
2.7	1.2077	10.5014	20.3263	30.3488	41.7369	50.6631	61.7005	69.5675	79.0011	89.6764
2.8	1.2813	10.5173	20.0061	30.3458	40.6446	49.6693	60.8870	70.5298	79.8457	89.8520
2.9	0.5092	10.9011	19.5480	30.9899	40.7768	50.8604	60.8534	71.1357	80.7845	89.9510
3.0	0.7418	9.7012	19.7746	29.7148	41.2741	49.5970	60.3367	69.9407	79.4790	89.9752
เฉลี่ย	**0.5161**	**10.7100**	**20.1680**	**30.0884**	**40.1939**	**50.1042**	**60.1438**	**69.8946**	**79.8313**	**90.0743**

ตารางที่ 4.2 สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้คือ จากการกำหนดมุมอ้างอิงโดยเริ่มจากมุม 100 องศา แล้วทำการเพิ่มค่ามุมที่ละ 10 องศา จากนั้นก็ทำการเพิ่มค่าขนาดระยะของสเกลครั้งละ 0.1 จากระยะ 0.1 ถึง 3 ทำให้สามารถอธิบายผลจากการทดลองได้ว่าค่าของมุมแต่ละมุมจากมุม 100 องศา ถึง 180 องศา ค่าของมุมที่ได้จากผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามุมอ้างอิง

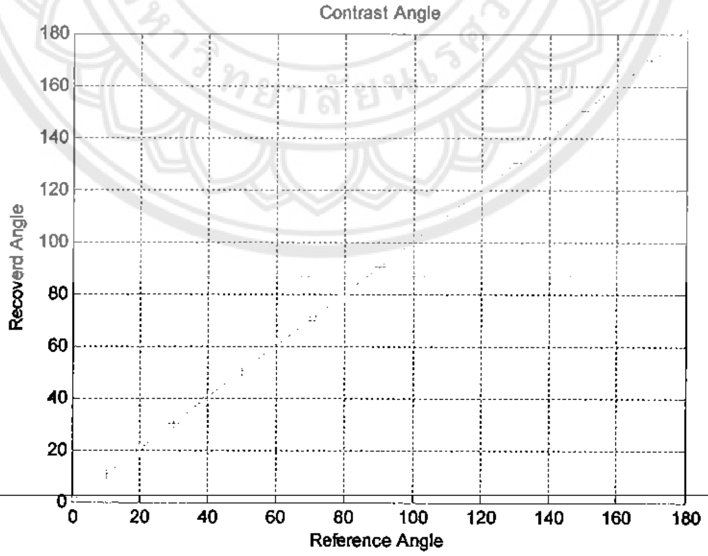
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบปกติที่มุม 100°- 180°

Scale	มุม 100°	มุม 110°	มุม 120°	มุม 130°	มุม 140°	มุม 150°	มุม 160°	มุม 170°	มุม 180°
0.1	99.7590	109.8441	119.2850	130.4226	139.0981	150.4510	159.5202	170.2698	179.9594
0.2	100.7275	109.5760	120.4125	129.6719	140.6391	150.7662	159.6036	170.5883	180.1665
0.3	100.5874	109.6290	120.2745	130.0366	140.2866	151.1434	159.8963	169.9077	179.9287
0.4	100.5503	109.9428	119.6853	130.3139	139.5761	150.5194	159.5955	170.2938	180.2900
0.5	100.3714	109.7043	119.6374	129.7904	140.3870	149.8051	160.2727	170.2363	179.4088
0.6	100.3329	110.5975	119.7343	130.4583	140.7639	149.5962	159.8059	170.5313	180.3274
0.7	100.7993	110.1389	119.8264	130.6868	139.9075	149.8958	160.0090	169.2231	179.6057
0.8	99.9357	110.3936	119.8819	130.7677	140.0918	150.3606	159.8763	169.6481	179.6726
0.9	100.1667	109.7194	119.5794	130.2669	140.5133	151.1296	160.4411	169.8000	180.1996
1.0	99.4678	110.1413	119.3665	129.7534	140.1259	150.6405	159.8065	170.5680	179.5684
1.1	101.3300	110.4808	120.2515	130.4174	140.8049	150.3826	159.2867	169.9885	180.2653
1.2	100.1804	109.6380	120.2358	130.0943	138.8226	150.5116	159.4290	169.9142	179.4056
1.3	100.2164	110.0940	119.0187	130.1556	140.5615	148.6940	160.9713	169.9679	179.7332
1.4	99.5208	111.1351	119.9925	130.4631	139.9801	149.8031	159.8376	169.7882	180.0058
1.5	99.9510	110.4862	120.3038	131.2513	139.8379	150.4545	159.8308	169.9223	179.5351
1.6	100.3783	110.7014	119.6041	129.7551	140.9394	150.4130	160.9867	170.1663	180.1999
1.7	99.8365	109.7626	119.8930	129.7730	140.0600	150.5081	159.5644	170.2442	180.1973
1.8	99.9531	110.0804	119.9942	129.1333	140.2493	150.6882	159.6600	169.3106	179.3420
1.9	100.3005	109.7580	120.3763	130.1537	138.8871	150.0196	160.6599	170.0947	179.5376

ตารางที่ 4.2(ต่อ) ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบปกติที่มุม 100°- 180°

Scale	มุม 100°	มุม 110°	มุม 120°	มุม 130°	มุม 140°	มุม 150°	มุม 160°	มุม 170°	มุม 180°
2.0	100.3537	109.8944	120.4543	130.4541	139.6172	150.4857	159.5464	170.1733	179.3706
2.1	100.7730	110.3537	118.8700	130.9381	139.5820	149.9091	160.1146	169.5627	180.4302
2.2	100.1816	109.7715	120.2045	130.9993	139.7105	150.3447	159.4003	169.8875	179.9371
2.3	99.8282	109.6894	120.4208	130.2270	140.1817	150.6011	159.6433	169.1540	179.6607
2.4	100.4231	110.2856	119.9246	129.6391	139.9036	150.7672	159.8366	169.4473	179.6379
2.5	100.2257	110.3636	120.7000	130.1802	139.6153	150.5223	160.3207	169.8309	179.5984
2.6	101.0593	110.1970	120.0391	130.1037	140.4564	150.6760	159.7853	169.7850	180.4001
2.7	99.9303	110.6189	119.6521	130.3834	139.8799	150.4077	160.7669	170.0923	179.2736
2.8	100.2903	110.1956	120.1026	130.3016	140.7322	149.6435	159.1670	170.5181	180.1979
2.9	99.9440	109.9049	120.3577	129.6718	140.7617	149.6362	160.0311	168.7154	180.4302
3.0	99.8944	110.3064	119.5815	129.9541	140.7203	149.6167	158.9979	170.0896	179.3729
เฉลี่ย	**100.2423**	**110.1135**	**119.9220**	**130.2073**	140.0898	150.2798	159.8888	**169.9240**	**179.8553**

ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 สามารถนำมาพล๊อตกราฟเพื่อให้แสดงผลของค่าความใกล้เคียงของมุมอ้างอิงกับมุมที่ได้จากการทดลองว่ามีความใกล้เคียงกันมากดังรูปที่ 4.4 ที่แสดงให้เห็นว่ากราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4.4 ค่าของมุมอ้างอิงและค่าของมุมที่หมุนของภาพสมองมนุษย์แบบปกติ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1500 8220 ชร. ท 346 ก 2551

4.1.3 ตารางผลการทดลองในการย่อหรือขยายภาพตั้งแต่ 0.1-3 เท่า

ผลการทดลองในตารางที่ 4.3 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 0 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 0 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.90 ถึง 2.03

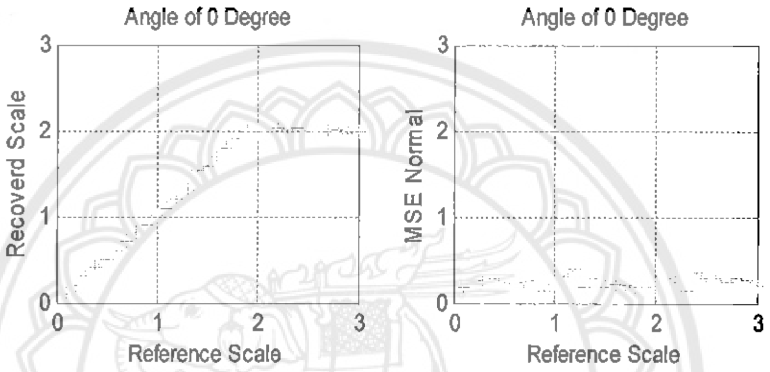
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 0°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 0°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 0°	ค่าผิดพลาดที่มุม 0°
0.1	0.1010	0.1862
0.2	0.1998	0.2438
0.3	0.3057	0.2626
0.4	0.4049	0.2888
0.5	0.5075	0.2381
0.6	0.6121	0.2156
0.7	0.7075	0.2462
0.8	0.8109	0.2665
0.9	0.9018	0.1281
1.0	1.0012	0.2340
1.1	1.0931	0.3084
1.2	1.1944	0.3924
1.3	1.3055	0.1754
1.4	1.5424	0.2875
1.5	1.5893	0.1712
1.6	1.6868	0.2277
1.7	1.7987	0.2004
1.8	1.9026	0.1873
1.9	1.9886	0.1847
2.0	1.9860	0.2060
2.1	1.9878	0.2876
2.2	2.0314	0.2542
2.3	2.0110	0.1282
2.4	2.0313	0.3525
2.5	1.9828	0.2914
2.6	1.9853	0.2935
2.7	1.9994	0.2349

ตารางที่ 4.3(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 0°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 0°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 0°	ค่าผิดพลาดที่มุม 0°
2.8	2.0068	0.2770
2.9	1.9722	0.2608
3.0	1.9866	0.2064

ผลการทดลองในตารางที่ 4.3 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 0 องศา ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 0° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.4 สามารถเพื่อแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 10 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 10 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.8 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.9 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.72 ถึง 1.80 และสามารถพล๊อตกราฟแสดงค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 10 องศา ได้ดังรูปที่ 4.6

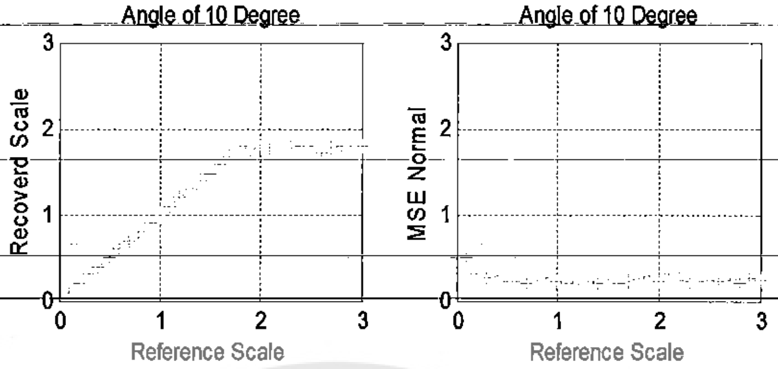
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 10°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 10°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 10°	ค่าผิดพลาดที่มุม 10°
0.1	0.0981	0.4923
0.2	0.1996	0.3102
0.3	0.2996	0.2585
0.4	0.3982	0.2782
0.5	0.4986	0.2333
0.6	0.5970	0.2217

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 10°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 10°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 10°	ค่าผิดพลาดที่มุม 10°
0.7	0.6979	0.1930
0.8	0.7920	0.2428
0.9	0.8946	0.2756
1.0	0.9937	0.2339
1.1	1.0891	0.2041
1.2	1.1937	0.2234
1.3	1.2911	0.2156
1.4	1.3861	0.1998
1.5	1.4705	0.2467
1.6	1.5761	0.2115
1.7	1.6710	0.2264
1.8	1.7961	0.2692
1.9	1.7507	0.2802
2.0	1.7772	0.2196
2.1	1.7669	0.3163
2.2	1.7732	0.2440
2.3	1.7713	0.2288
2.4	1.8046	0.2254
2.5	1.8050	0.2347
2.6	1.7208	0.2258
2.7	1.7842	0.2420
2.8	1.7874	0.2097
2.9	1.7890	0.2764
3.0	1.7957	0.2499

ผลการทดลองในตารางที่ 4.4 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 10 องศา ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 10° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.5 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 20 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 20 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.64 ถึง 1.69

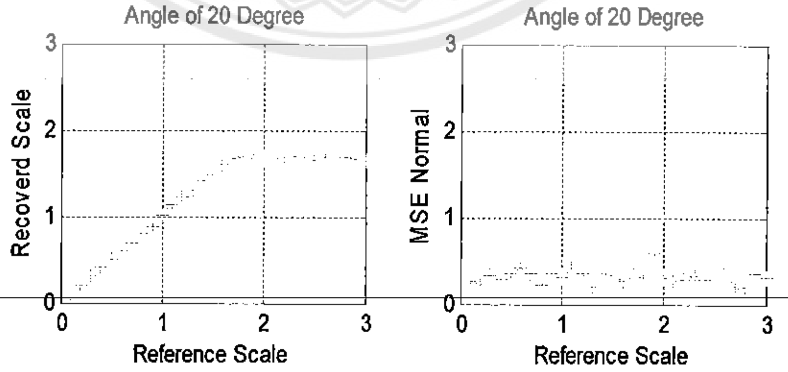
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 20°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 20°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 20°	ค่าผิดพลาดที่มุม 20°
0.1	0.1005	0.2566
0.2	0.2000	0.2275
0.3	0.3044	0.3390
0.4	0.4068	0.2868
0.5	0.4967	0.3441
0.6	0.6163	0.4167
0.7	0.6971	0.3559
0.8	0.7900	0.2292
0.9	0.8916	0.3514
1.0	1.0089	0.3089
1.1	1.1322	0.4192
1.2	1.2211	0.3419
1.3	1.2980	0.2101

ตารางที่ 4.5(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 20°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 20°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 20°	ค่าผิดพลาดที่มุม 20°
1.4	1.4140	0.3535
1.5	1.4810	0.3361
1.6	1.5988	0.2732
1.7	1.6801	0.3372
1.8	1.6948	0.3052
1.9	1.6631	0.5822
2.0	1.6730	0.2991
2.1	1.6795	0.2557
2.2	1.6979	0.2789
2.3	1.6834	0.3230
2.4	1.6899	0.2797
2.5	1.6498	0.4190
2.6	1.6962	0.4191
2.7	1.6813	0.1898
2.8	1.6864	0.2034
2.9	1.6670	0.3473
3.0	1.6440	0.3012

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 20 องศา ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 20° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.6 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 30 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 30 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.58 ถึง 1.63

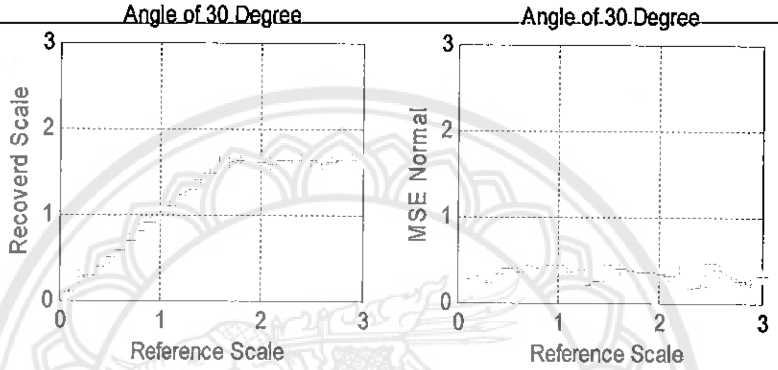
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 30°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 30°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 30°	ค่าผิดพลาดที่มุม 30°
0.1	0.1000	0.2607
0.2	0.2607	0.3138
0.3	0.2971	0.2324
0.4	0.3944	0.3380
0.5	0.4977	0.3848
0.6	0.5947	0.3594
0.7	0.6860	0.4269
0.8	0.8065	0.3858
0.9	0.9045	0.4294
1.0	1.0078	0.4411
1.1	1.0959	0.3492
1.2	1.2196	0.3696
1.3	1.2968	0.1919
1.4	1.4036	0.2479
1.5	1.4863	0.4320
1.6	1.6170	0.4023
1.7	1.5963	0.3781
1.8	1.6261	0.3610
1.9	1.5852	0.3494
2.0	1.6023	0.3201
2.1	1.5885	0.3127
2.2	1.6331	0.3498
2.3	1.6226	0.1556
2.4	1.6176	0.1840
2.5	1.6220	0.4507
2.6	1.5813	0.3718
2.7	1.6011	0.3073
2.8	1.6171	0.2375

ตารางที่ 4.6(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 30°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 30°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 30°	ค่าผิดพลาดที่มุม 30°
2.9	1.6227	0.2316
3.0	1.6178	0.3001

ผลการทดลองในตารางที่ 4.6 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 30 องศา ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 30° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.7 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 40 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 40 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.58-1.63

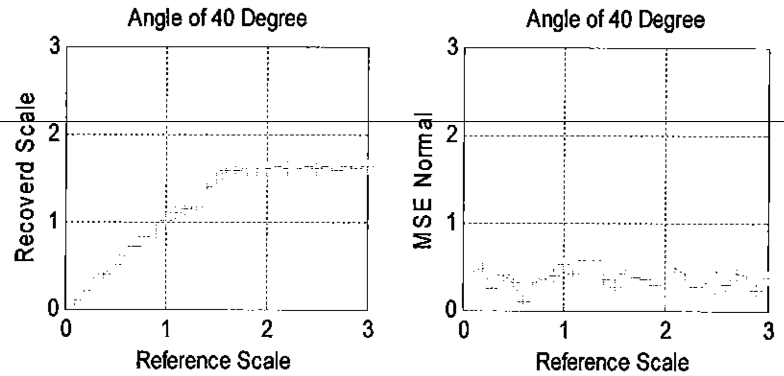
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 40°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 40°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 40°	ค่าผิดพลาดที่มุม 40°
0.1	0.0973	0.4304
0.2	0.1975	0.4832
0.3	0.3003	0.2429
0.4	0.3993	0.3924
0.5	0.5060	0.3109
0.6	0.6004	0.1063
0.7	0.7100	0.3164
0.8	0.8137	0.3536

ตารางที่ 4.7(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 40°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 40°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 40°	ค่าผิดพลาดที่มุม 40°
0.9	0.8762	0.3864
1.0	1.0190	0.5169
1.1	1.0997	0.4119
1.2	1.1435	0.5635
1.3	1.1516	0.5637
1.4	1.3999	0.3410
1.5	1.4870	0.2631
1.6	1.5867	0.4226
1.7	1.5843	0.3787
1.8	1.6107	0.3556
1.9	1.6164	0.2971
2.0	1.6012	0.1351
2.1	1.6351	0.4853
2.2	1.5961	0.4186
2.3	1.6110	0.2709
2.4	1.6193	0.3008
2.5	1.6106	0.4337
2.6	1.6256	0.2887
2.7	1.5881	0.4178
2.8	1.6205	0.3972
2.9	1.6133	0.2338
3.0	1.6312	0.3806

ผลการทดลองในตารางที่ 4.7 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 40 องศา ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 40° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.8 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 50 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 50 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.61 ถึง 1.66

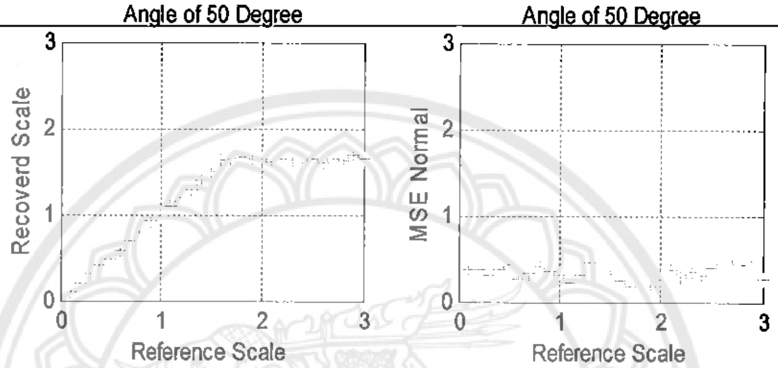
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 50°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 50°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 50°	ค่าผิดพลาดที่มุม 50°
0.1	0.1005	0.3742
0.2	0.2041	0.3652
0.3	0.3017	0.3126
0.4	0.4074	0.3733
0.5	0.4870	0.4449
0.6	0.5933	0.2647
0.7	0.6930	0.3288
0.8	0.8008	0.4229
0.9	0.9152	0.3564
1.0	0.9985	0.3014
1.1	1.0976	0.2140
1.2	1.2125	0.3150
1.3	1.2845	0.4613
1.4	1.4027	0.3257
1.5	1.5085	0.3324
1.6	1.6184	0.2533
1.7	1.6489	0.1861
1.8	1.6667	0.2696
1.9	1.6397	0.1767
2.0	1.6558	0.2686
2.1	1.6025	0.3647
2.2	1.6488	0.2944
2.3	1.6273	0.3507
2.4	1.6133	0.3003
2.5	1.6502	0.3941
2.6	1.5990	0.4401
2.7	1.6517	0.4317
2.8	1.6352	0.4391

ตารางที่ 4.8(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 50°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 50°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 50°	ค่าผิดพลาดที่มุม 50°
2.9	1.6928	0.4045
3.0	1.6397	0.2654

ผลการทดลองในตารางที่ 4.8 สามารถพล็อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 50 องศา ได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 50° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.9 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 60 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 60 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.71 ถึง 1.78

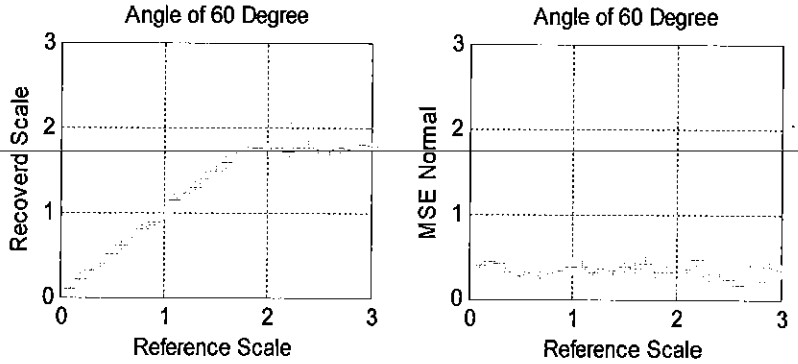
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 60°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 60°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 60°	ค่าผิดพลาดที่มุม 60°
0.1	0.1001	0.4033
0.2	0.1998	0.4429
0.3	0.3059	0.4255
0.4	0.3979	0.3131
0.5	0.5024	0.2588
0.6	0.5974	0.3183
0.7	0.6968	0.2728
0.8	0.7978	0.3108

ตารางที่ 4.9(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 60°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 60°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 60°	ค่าผิดพลาดที่มุม 60°
0.9	0.8839	0.3314
1.0	0.9883	0.3801
1.1	1.1287	0.3754
1.2	1.2189	0.3117
1.3	1.2851	0.3598
1.4	1.4008	0.3372
1.5	1.4842	0.3712
1.6	1.5781	0.3601
1.7	1.7445	0.4109
1.8	1.7367	0.3185
1.9	1.7481	0.3053
2.0	1.7408	0.1604
2.1	1.7508	0.3564
2.2	1.7103	0.4554
2.3	1.7642	0.2674
2.4	1.7517	0.2557
2.5	1.7401	0.2246
2.6	1.7441	0.1520
2.7	1.7566	0.3901
2.8	1.7444	0.2082
2.9	1.7881	0.3755
3.0	1.7711	0.3242

ผลการทดลองในตารางที่ 4.9 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 60 องศา ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 60° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.10 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 70 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 70 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.9 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.0 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.88 ถึง 1.93

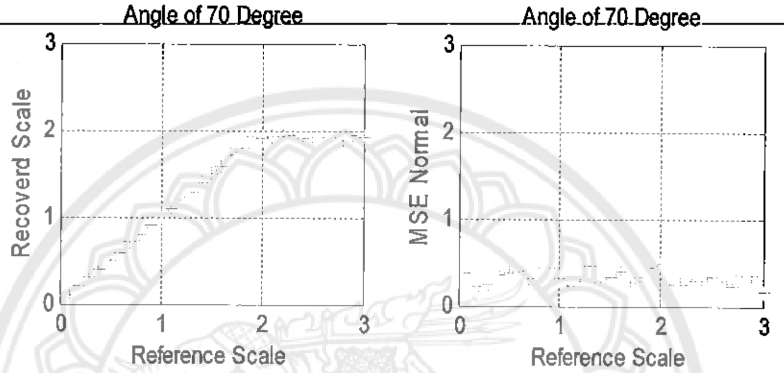
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 70°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 70°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 70°	ค่าผิดพลาดที่มุม 70°
0.1	0.1020	0.3809
0.2	0.2004	0.2267
0.3	0.3040	0.2511
0.4	0.4041	0.3432
0.5	0.5104	0.3718
0.6	0.5928	0.3956
0.7	0.7045	0.3108
0.8	0.8069	0.4398
0.9	0.8984	0.4354
1.0	1.0042	0.3094
1.1	1.1052	0.2248
1.2	1.1952	0.2841
1.3	1.2786	0.4508
1.4	1.3969	0.2576
1.5	1.4971	0.3250
1.6	1.5853	0.3854
1.7	1.7171	0.2758
1.8	1.7984	0.3330
1.9	1.9263	0.4272
2.0	1.8991	0.4737
2.1	1.9354	0.2495
2.2	1.9294	0.2362
2.3	1.9377	0.2869
2.4	1.8967	0.2796
2.5	1.9340	0.3241
2.6	1.9157	0.2919
2.7	1.9249	0.2132
2.8	1.8886	0.3416

ตารางที่ 4.10(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 70°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 70°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 70°	ค่าผิดพลาดที่มุม 70°
2.9	1.9523	0.3420
3.0	1.9180	0.1637

ผลการทดลองในตารางที่ 4.10 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 70 องศา ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 70° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.11 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 80 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 80 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 2.2 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.3 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.16 ถึง 2.23

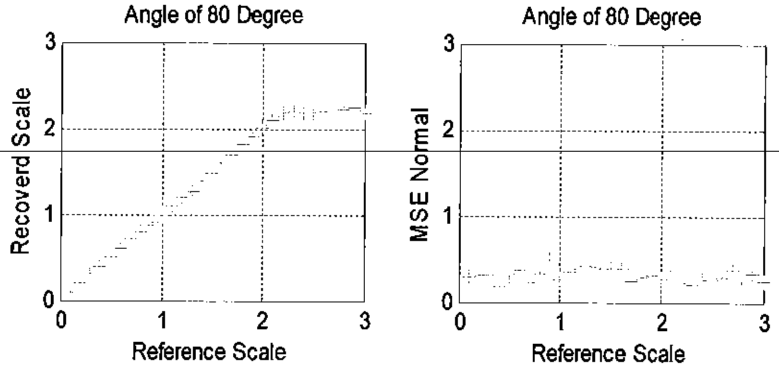
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 80°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 80°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 80°	ค่าผิดพลาดที่มุม 80°
0.1	0.1003	0.2923
0.2	0.2029	0.3182
0.3	0.2993	0.3139
0.4	0.3980	0.1876
0.5	0.4958	0.2564
0.6	0.6057	0.3793
0.7	0.7070	0.2226
0.8	0.8024	0.3361

ตารางที่ 4.11(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 80°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 80°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 80°	ค่าผิดพลาดที่มุม 80°
0.9	0.8959	0.5015
1.0	0.9850	0.2689
1.1	1.1003	0.3491
1.2	1.1925	0.4182
1.3	1.2725	0.4082
1.4	1.3865	0.3985
1.5	1.4694	0.3838
1.6	1.5974	0.3951
1.7	1.6874	0.2514
1.8	1.8254	0.2939
1.9	1.8998	0.3140
2.0	2.0187	0.2562
2.1	2.0973	0.3667
2.2	2.1803	0.2283
2.3	2.2078	0.2035
2.4	2.1898	0.2631
2.5	2.1778	0.2160
2.6	2.1970	0.2851
2.7	2.1620	0.3745
2.8	2.2222	0.2330
2.9	2.2363	0.3361
3.0	2.1828	0.2492

ผลการทดลองในตารางที่ 4.11 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 80 องศา ได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 80° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.12 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 90 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 90 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 2.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.66 ถึง 2.70

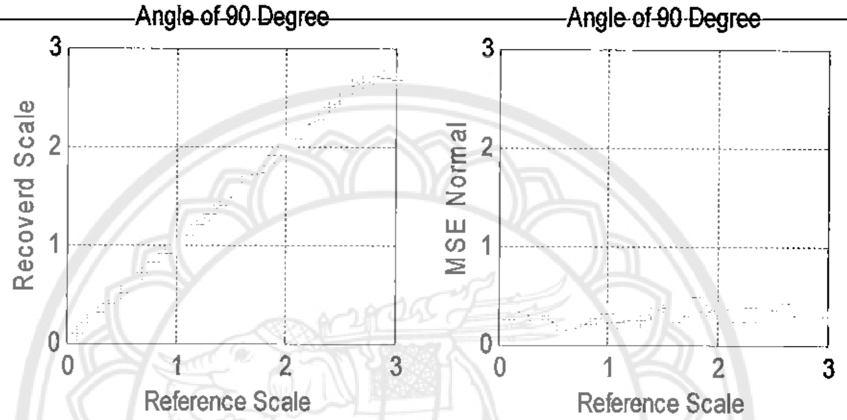
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 90°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 90°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 90°	ค่าผิดพลาดที่มุม 90°
0.1	0.1012	0.2369
0.2	0.2048	0.3223
0.3	0.3099	0.2866
0.4	0.4033	0.2802
0.5	0.5048	0.2243
0.6	0.6010	0.1277
0.7	0.7081	0.1575
0.8	0.8111	0.2086
0.9	0.8967	0.2759
1.0	0.9974	0.3174
1.1	1.1034	0.2277
1.2	1.2053	0.2396
1.3	1.3095	0.2466
1.4	1.3974	0.3151
1.5	1.4779	0.3718
1.6	1.6213	0.2223
1.7	1.7093	0.2870
1.8	1.7430	0.4825
1.9	1.8959	0.3199
2.0	1.9978	0.3421
2.1	2.0779	0.3452
2.2	2.2212	0.2224
2.3	2.2668	0.3797
2.4	2.3933	0.2284
2.5	2.4501	0.3524
2.6	2.6003	0.4153
2.7	2.6593	0.2865
2.8	2.7023	0.2952

ตารางที่ 4.12(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 90°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 90°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 90°	ค่าผิดพลาดที่มุม 90°
2.9	2.6860	0.2961
3.0	2.6690	0.2978

ผลการทดลองในตารางที่ 4.12 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 90 องศา ได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 90° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.13 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 100 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 100 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 2.2 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.3 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.19 ถึง 2.24

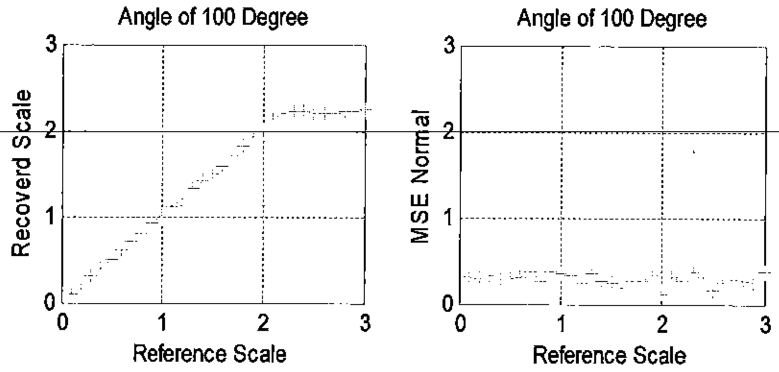
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 100°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 100°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 100°	ค่าผิดพลาดที่มุม 100°
0.1	0.1008	0.3124
0.2	0.2025	0.2840
0.3	0.3059	0.3231
0.4	0.3976	0.2935
0.5	0.5072	0.2940
0.6	0.6079	0.3124
0.7	0.7179	0.3769
0.8	0.8007	0.2648
0.9	0.9193	0.3821

ตารางที่ 4.13(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 100°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 100°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 100°	ค่าผิดพลาดที่มุม 100°
1.0	1.0162	0.3612
1.1	1.1180	0.3210
1.2	1.2110	0.2447
1.3	1.3274	0.3616
1.4	1.4108	0.2608
1.5	1.5026	0.2370
1.6	1.5953	0.1840
1.7	1.7132	0.2557
1.8	1.8112	0.2571
1.9	1.9327	0.3318
2.0	1.9988	0.1272
2.1	2.1369	0.3043
2.2	2.2094	0.2643
2.3	2.2166	0.3779
2.4	2.2304	0.3034
2.5	2.2095	0.1624
2.6	2.2088	0.2404
2.7	2.1947	0.2775
2.8	2.2186	0.2714
2.9	2.2169	0.2482
3.0	2.2417	0.3820

ผลการทดลองในตารางที่ 4.13 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 100 องศา ได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 100° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.14 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 110 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 110 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.9 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.0 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.90 ถึง 1.95

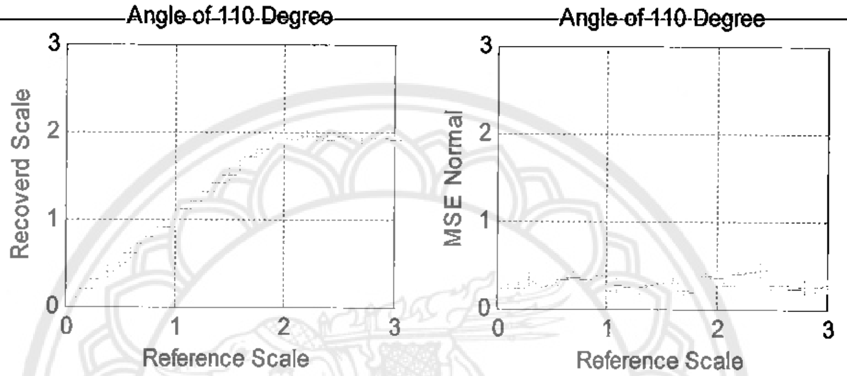
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 110°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 110°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 110°	ค่าผิดพลาดที่มุม 110°
0.1	0.1008	0.2264
0.2	0.2019	0.2173
0.3	0.3025	0.3230
0.4	0.4042	0.2503
0.5	0.5014	0.2575
0.6	0.6096	0.3333
0.7	0.7093	0.3457
0.8	0.8068	0.3359
0.9	0.9100	0.3728
1.0	0.9983	0.2092
1.1	1.1069	0.2764
1.2	1.2026	0.2353
1.3	1.3020	0.2541
1.4	1.4047	0.2747
1.5	1.5054	0.2906
1.6	1.6213	0.2914
1.7	1.7032	0.2044
1.8	1.8071	0.1742
1.9	1.9193	0.3730
2.0	1.9183	0.3609
2.1	1.9059	0.2662
2.2	1.9547	0.3844
2.3	1.9527	0.4161
2.4	1.9049	0.4359
2.5	1.9397	0.2726
2.6	1.9336	0.2736
2.7	1.9224	0.2143
2.8	1.9288	0.2483

ตารางที่ 4.14(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 110°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 110°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 110°	ค่าผิดพลาดที่มุม 110°
2.9	1.9335	0.2469
3.0	1.9085	0.2613

ผลการทดลองในตารางที่ 4.14 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 110 องศา ได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 110° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.15 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 120 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 120 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.73 ถึง 1.78

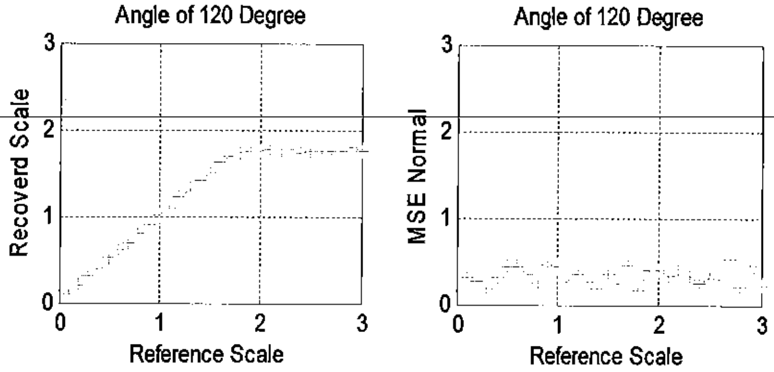
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 120°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 120°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 120°	ค่าผิดพลาดที่มุม 120°
0.1	0.1006	0.3145
0.2	0.2005	0.2713
0.3	0.3026	0.1906
0.4	0.3968	0.3139
0.5	0.5117	0.4283
0.6	0.6023	0.4398
0.7	0.6969	0.3413
0.8	0.7970	0.2530

ตารางที่ 4.15(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 120°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 120°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 120°	ค่าผิดพลาดที่มุม 120°
0.9	0.9104	0.4482
1.0	1.0206	0.4380
1.1	1.1003	0.2662
1.2	1.2215	0.3514
1.3	1.3085	0.2677
1.4	1.4050	0.1786
1.5	1.4999	0.3577
1.6	1.6174	0.2361
1.7	1.7007	0.4481
1.8	1.7340	0.1571
1.9	1.7459	0.3835
2.0	1.7570	0.3853
2.1	1.7794	0.3347
2.2	1.7781	0.4167
2.3	1.7775	0.3394
2.4	1.7420	0.2432
2.5	1.7615	0.3005
2.6	1.7523	0.2977
2.7	1.7640	0.5126
2.8	1.7595	0.2107
2.9	1.7890	0.4640
3.0	1.7553	0.2230

ผลการทดลองในตารางที่ 4.15 สามารถพล็อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 120 องศา ได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 120° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.16 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 130 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 130 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.62 ถึง 1.68

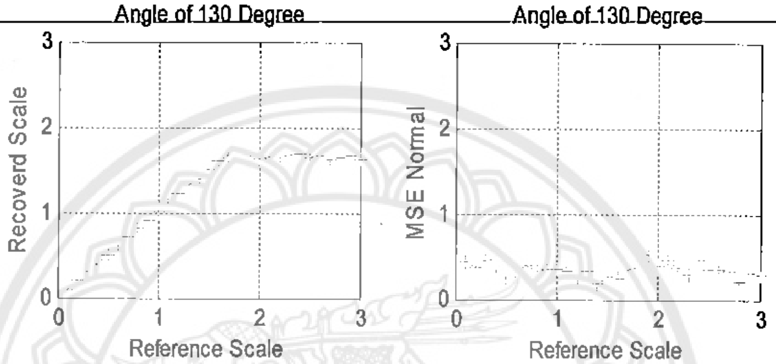
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 130°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 130°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 130°	ค่าผิดพลาดที่มุม 130°
0.1	0.0989	0.4440
0.2	0.2025	0.3673
0.3	0.3090	0.4484
0.4	0.3994	0.3221
0.5	0.4995	0.2443
0.6	0.6092	0.3028
0.7	0.7056	0.3855
0.8	0.8164	0.3227
0.9	0.8991	0.3528
1.0	1.0162	0.3549
1.1	1.1176	0.3200
1.2	1.2131	0.2189
1.3	1.3230	0.3327
1.4	1.3917	0.1866
1.5	1.5068	0.2637
1.6	1.6150	0.2388
1.7	1.6633	0.3453
1.8	1.6612	0.3640
1.9	1.6719	0.5185
2.0	1.6323	0.3924
2.1	1.6545	0.4616
2.2	1.6416	0.3776
2.3	1.6634	0.2820
2.4	1.6872	0.4654
2.5	1.6469	0.3505
2.6	1.6728	0.3563
2.7	1.6202	0.3263
2.8	1.6550	0.2126

ตารางที่ 4.16(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 130°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 130°	**ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 130°**	**ค่าผิดพลาดที่มุม 130°**
2.9	1.6770	0.3136
3.0	1.6340	0.2936

ผลการทดลองในตารางที่ 4.16 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 130 องศา ได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 130° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.17 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 140 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 140 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.58 ถึง 1.63

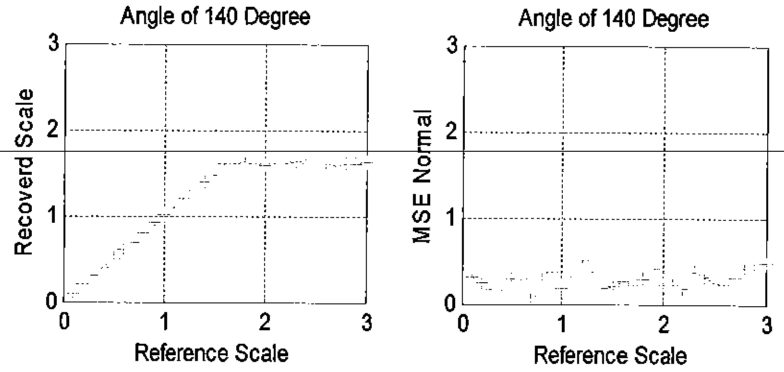
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 140°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 140°	**ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 140°**	**ค่าผิดพลาดที่มุม 140°**
0.1	0.0987	0.3159
0.2	0.2004	0.2429
0.3	0.2997	0.1618
0.4	0.4001	0.1514
0.5	0.4997	0.2900
0.6	0.6055	0.2903
0.7	0.6987	0.1030
0.8	0.7926	0.3518

ตารางที่ 4.17(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 140°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 140°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 140°	ค่าผิดพลาดที่มุม 140°
0.9	0.9161	0.3762
1.0	1.0012	0.1732
1.1	1.1060	0.2345
1.2	1.2076	0.4903
1.3	1.2923	0.3658
1.4	1.3919	0.1837
1.5	1.4892	0.1981
1.6	1.6037	0.2749
1.7	1.6167	0.2199
1.8	1.6229	0.2956
1.9	1.5962	0.4147
2.0	1.5896	0.2250
2.1	1.6059	0.2197
2.2	1.6035	0.1815
2.3	1.6381	0.3624
2.4	1.6140	0.3031
2.5	1.6090	0.2347
2.6	1.6101	0.2134
2.7	1.5955	0.2982
2.8	1.6053	0.4071
2.9	1.6017	0.4171
3.0	1.6219	0.4757

ผลการทดลองในตารางที่ 4.17 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 140 องศา ได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 140° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.18 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 150 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 150 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.60 ถึง 1.64

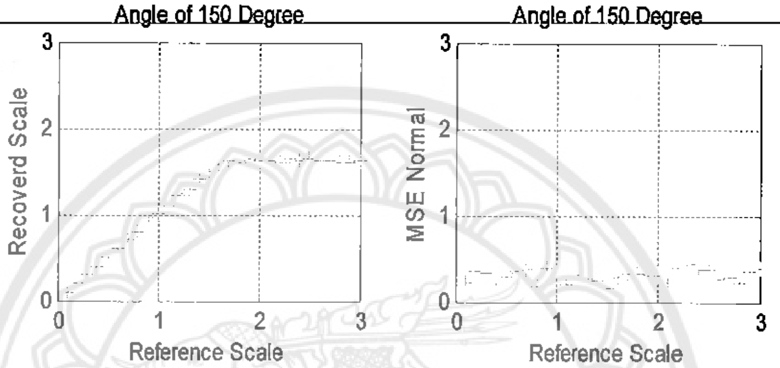
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 150°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 150°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 150°	ค่าผิดพลาดที่มุม 150°
0.1	0.1009	0.2135
0.2	0.2006	0.3471
0.3	0.3026	0.3234
0.4	0.4011	0.2093
0.5	0.5050	0.2950
0.6	0.6075	0.3450
0.7	0.7086	0.3812
0.8	0.7971	0.1845
0.9	0.9202	0.3836
1.0	1.0164	0.3462
1.1	1.1024	0.1972
1.2	1.2130	0.3106
1.3	1.2953	0.2691
1.4	1.4154	0.2373
1.5	1.5076	0.1688
1.6	1.5918	0.2856
1.7	1.6202	0.3376
1.8	1.6070	0.3208
1.9	1.6407	0.3058
2.0	1.6356	0.3044
2.1	1.6270	0.2312
2.2	1.6170	0.3988
2.3	1.6425	0.4333
2.4	1.6255	0.3717
2.5	1.6397	0.3719
2.6	1.6322	0.2728
2.7	1.6322	0.2915
2.8	1.6073	0.2281

ตารางที่ 4.18(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 150°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 150°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 150°	ค่าผิดพลาดที่มุม 150°
2.9	1.6167	0.3436
3.0	1.6281	0.3904

ผลการทดลองในตารางที่ 4.18 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 150 องศา ได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 150° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.19 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 160 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 160 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.67 ถึง 1.69

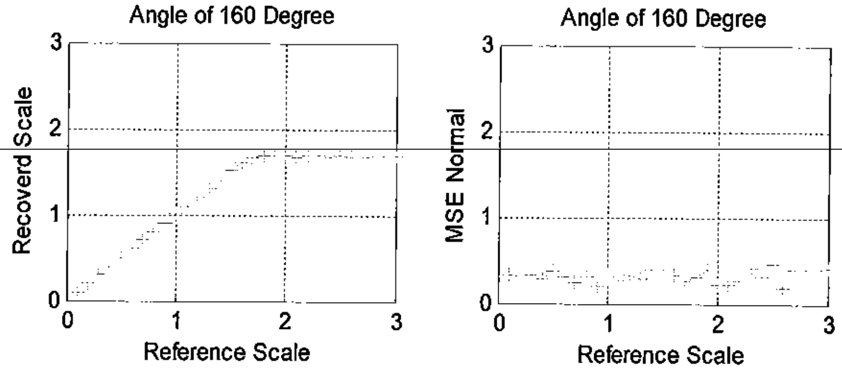
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 160°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 160°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 160°	ค่าผิดพลาดที่มุม 160°
0.1	0.1002	0.3206
0.2	0.2023	0.3164
0.3	0.2991	0.3402
0.4	0.4027	0.2916
0.5	0.5008	0.3648
0.6	0.6047	0.3160
0.7	0.7046	0.2463
0.8	0.8083	0.3030

ตารางที่ 4.19(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 160°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 160°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 160°	ค่าผิดพลาดที่มุม 160°
0.9	0.8952	0.2067
1.0	1.0114	0.3011
1.1	1.1046	0.2659
1.2	1.2011	0.3365
1.3	1.3101	0.2841
1.4	1.3875	0.3920
1.5	1.5167	0.3922
1.6	1.6131	0.3399
1.7	1.6742	0.2569
1.8	1.7013	0.3055
1.9	1.6950	0.4033
2.0	1.6866	0.2234
2.1	1.6806	0.2242
2.2	1.6922	0.2731
2.3	1.6900	0.4143
2.4	1.6804	0.3161
2.5	1.6984	0.4658
2.6	1.6683	0.1901
2.7	1.6716	0.3895
2.8	1.6813	0.3865
2.9	1.6930	0.3986
3.0	1.6970	0.4122

ผลการทดลองในตารางที่ 4.19 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 160 องศา ได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 160° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.20 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 170 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 170 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.8 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.9 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.78 ถึง 1.82

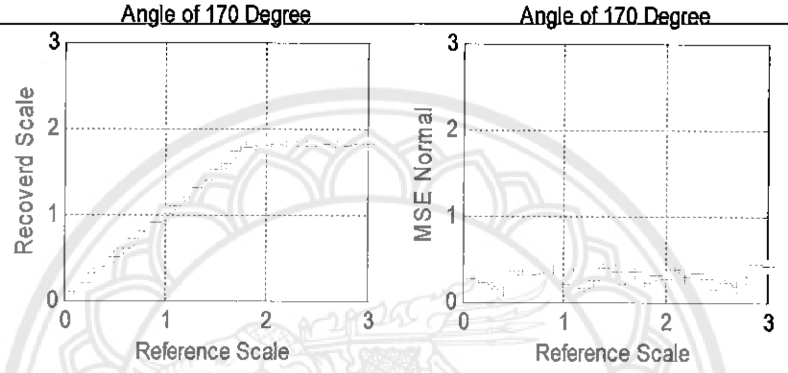
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 170°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 170°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 170°	ค่าผิดพลาดที่มุม 170°
0.1	0.0999	0.2565
0.2	0.1984	0.2335
0.3	0.2999	0.1835
0.4	0.4014	0.1403
0.5	0.5056	0.3600
0.6	0.6029	0.3093
0.7	0.7094	0.3000
0.8	0.7982	0.3338
0.9	0.9055	0.3323
1.0	1.0089	0.2067
1.1	1.1047	0.3764
1.2	1.1978	0.1659
1.3	1.3075	0.2472
1.4	1.3896	0.4038
1.5	1.5113	0.3444
1.6	1.5881	0.2055
1.7	1.7259	0.3440
1.8	1.7749	0.2308
1.9	1.8046	0.3066
2.0	1.7996	0.2571
2.1	1.8203	0.3716
2.2	1.8062	0.2770
2.3	1.7966	0.3350
2.4	1.8015	0.2762
2.5	1.7938	0.1392
2.6	1.8122	0.2311
2.7	1.7838	0.1811
2.8	1.7891	0.2864

ตารางที่ 4.20(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 170°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 170°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 170°	ค่าผิดพลาดที่มุม 170°
2.9	1.8187	0.4258
3.0	1.8200	0.4136

ผลการทดลองในตารางที่ 4.20 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 170 องศา ได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 170° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

ผลการทดลองในตารางที่ 4.21 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 180 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 180 องศา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 2.0 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.1 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.95 ถึง 2.03

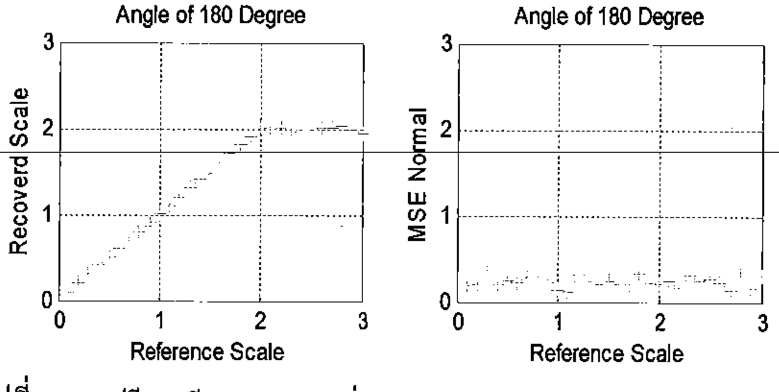
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 180°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 180°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 180°	ค่าผิดพลาดที่มุม 180°
0.1	0.1002	0.1864
0.2	0.2001	0.2097
0.3	0.3051	0.3650
0.4	0.4074	0.2019
0.5	0.5104	0.2507
0.6	0.6089	0.2179
0.7	0.6994	0.2879
0.8	0.8039	0.2895

ตารางที่ 4.21(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 180°

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 180°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 180°	ค่าผิดพลาดที่มุม 180°
0.9	0.9012	0.2132
1.0	1.0070	0.1280
1.1	1.1011	0.1172
1.2	1.2032	0.3135
1.3	1.3148	0.2432
1.4	1.4212	0.2045
1.5	1.4861	0.2528
1.6	1.6035	0.2007
1.7	1.7155	0.1986
1.8	1.8121	0.3258
1.9	1.8952	0.2130
2.0	2.0113	0.2099
2.1	1.9943	0.2425
2.2	2.0197	0.1678
2.3	1.9703	0.3041
2.4	1.9851	0.2377
2.5	1.9839	0.2705
2.6	2.0104	0.2323
2.7	2.0037	0.1419
2.8	2.0307	0.2991
2.9	1.9943	0.1515
3.0	1.9511	0.3129

ผลการทดลองในตารางที่ 4.21 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 180 องศา ได้ดังรูปที่ 4.23



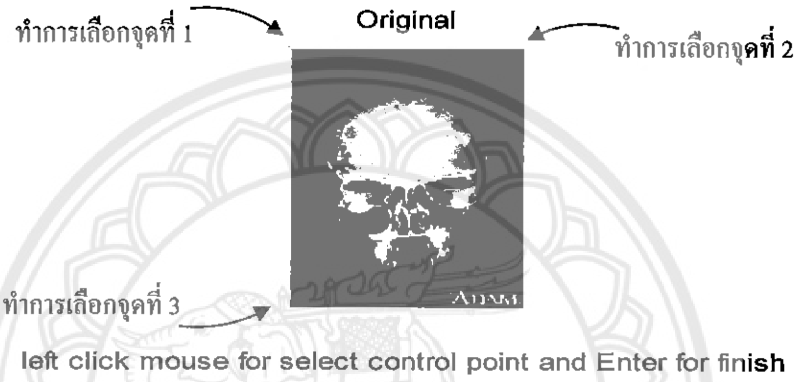
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 180° และ ค่าความผิดพลาดสเกล

4.2 กรณีที่ 2 ผลการทดลองสำหรับภาพสมองมนุษย์ 2 มิติแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน (-6.0206) dB

4.2.1 ขั้นตอนการทดลองในการเลือกจุดอ้างอิง

ผลการทดลองในกรณีที่ 2 การเลือกจุดอ้างอิงสำหรับมุม 60 องศา อัตราการขยาย 3 เท่า โดยเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB สามารถอธิบายผลจากขั้นตอนการเลือกจุดอ้างอิงได้ดังนี้

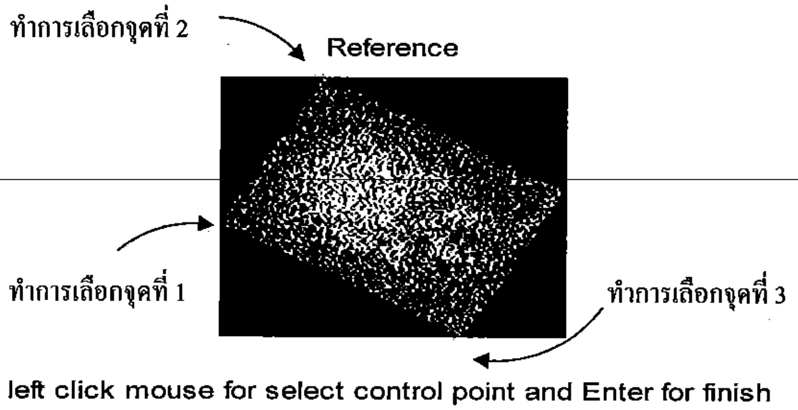
<u>ขั้นตอนที่ 1</u> : รูปที่ 4.24 เป็นวิธีการเลือกจุดอ้างอิงของภาพอย่างน้อย 3 จุด โดยให้ค่าจุดอ้างอิงนั้นเป็นจุดขาเข้า (input points)



รูปที่ 4.24 เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์

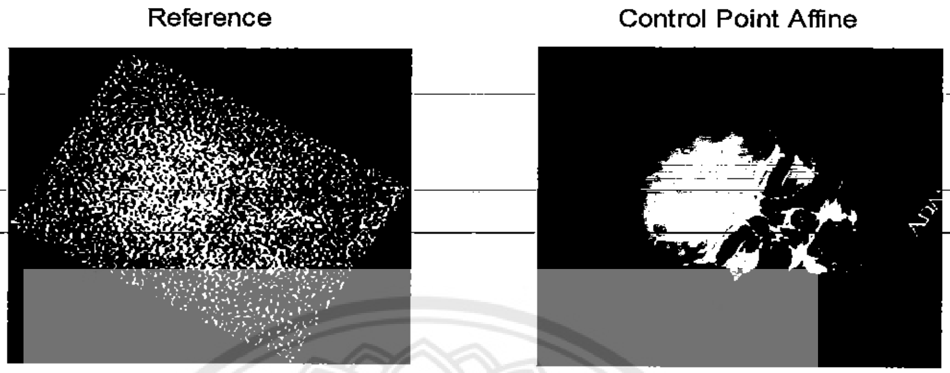
<u>ขั้นตอนที่ 2</u> : รูปที่ 4.25 เป็นวิธีการเลือกจุดอ้างอิงของภาพอย่างน้อย 3 จุด โดยเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าในภาพแรกที่ผ่านการหมุนและย่อหรือขยายภาพโดยการประยุกต์ใช้สมการการแปลงเชิงเรขาคณิต เพื่อที่ได้ค่าจุดอ้างอิง (base points)

เมื่อเลือกจุดอ้างอิงของภาพทั้งสองได้แล้ว นำค่าจุดขาเข้า (input points) และค่าจุดอ้างอิง (base points) ที่ได้นั้นไปผ่านอัลกอริทึมในการแปลงเชิงเรขาคณิต เพื่อที่จะได้ทราบค่ามุมที่หมุนกลับและขนาดการย่อหรือขยายภาพกลับ



รูปที่ 4.25 เลือกจุดอ้างอิงภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ขยายหรือย่อและหมุน

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> : การวัดประสิทธิภาพของภาพ เพื่อหาค่าความผิดพลาดจากภาพที่ทำการแปลงโดยการหมุนและการย่อหรือขยายภาพโดยการแปลงเชิงเรขาคณิต และภาพที่ทำการหมุนและการย่อหรือขยายภาพโดยผ่านการเลือกจุดอ้างอิง ดังรูปที่ 4.26 เป็นการเปรียบเทียบภาพทั้งสอง



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

4.2.2 ตารางผลทดลองการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนสำหรับมุม0°- 90°

ตารางที่ 4.22 สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้คือ จากการกำหนดมุมอ้างอิงโดยเริ่มจากมุม 0 องศา แล้วทำการเพิ่มค่ามุมที่ละ 10 องศา จากนั้นก็ทำการเพิ่มค่าขนาดระยะของสเกลครั้งละ 0.1 จากระยะ 0.1 ถึง 3 ทำให้สามารถอธิบายผลจากการทดลองได้ว่าค่าของมุมแต่ละมุมจากมุม 0 องศา ถึง 90 องศา ค่าของมุมที่ได้จากผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามุมอ้างอิง

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนที่มุม 0°-90°

Scale	มุม 0°	มุม 10°	มุม 20°	มุม 30°	มุม 40°	มุม 50°	มุม 60°	มุม 70°	มุม 80°	มุม 90°
0.1	0.2419	14.5039	20.5732	30.8570	40.1412	49.1886	60.0079	69.7117	79.4563	89.8487
0.2	0.7580	10.8887	19.8912	30.6603	40.8213	49.7876	60.1136	69.9777	79.7323	90.1584
0.3	0.6529	10.7576	21.1003	29.5666	40.4124	49.3435	59.7396	70.0295	79.8194	90.0956
0.4	0.2970	10.3333	20.5693	30.3226	39.4257	50.5736	61.1427	70.4436	79.6204	91.2847
0.5	0.5278	10.3052	19.8034	28.7563	39.7674	49.8921	59.1243	70.3234	78.7385	90.2758
0.6	0.1590	10.1976	19.8726	29.5508	39.7148	49.8844	60.8706	69.5248	81.1974	89.9598
0.7	0.1814	10.4652	20.7351	31.2949	39.6236	50.3993	59.9809	70.7249	79.9154	90.3709
0.8	0.0984	10.6111	19.8767	30.4967	39.7982	51.4132	58.7522	69.2460	80.0484	89.7716

ตารางที่ 4.22(ต่อ) ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนที่มุม 0°- 90°

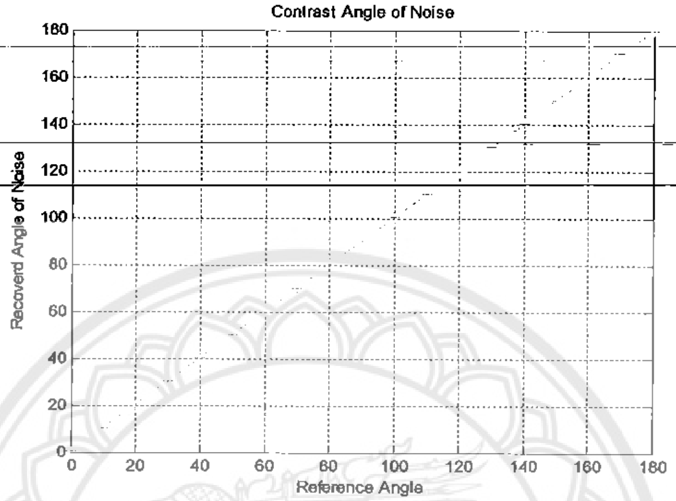
Scale	มุม 0°	มุม 10°	มุม 20°	มุม 30°	มุม 40°	มุม 50°	มุม 60°	มุม 70°	มุม 80°	มุม 90°
0.9	0.0813	10.5453	19.9380	29.8804	40.3618	49.7966	59.8015	69.2524	80.8289	90.7911
1.0	0.0652	10.1457	20.2267	30.5366	41.4803	49.9837	60.2143	68.8625	79.4203	90.0764
1.1	1.3020	10.4604	20.3792	29.2307	40.3114	49.1834	59.7061	70.0701	80.0472	90.1689
1.2	0.6084	10.1761	19.1420	29.7189	39.9119	48.9422	59.0064	69.5781	79.6520	90.0510
1.3	0.9517	10.0515	20.4614	29.6030	39.9152	50.6217	59.2446	70.5767	79.5812	90.7894
1.4	0.3166	10.1146	20.9996	29.4614	39.8760	50.2856	60.5982	70.2731	79.6542	90.5700
1.5	0.5100	11.5952	20.2552	29.3955	40.0418	50.2828	59.7053	69.6267	80.5832	90.0665
1.6	0.7347	11.0264	20.2277	29.6097	38.9325	50.3766	61.7249	70.8462	80.4612	90.5776
1.7	0.2048	10.7883	21.5000	29.5865	39.2788	50.4402	58.9287	69.0095	78.8938	89.8813
1.8	0.7197	9.8060	21.4722	31.0528	40.0246	49.9895	60.5896	69.7690	79.1394	89.6838
1.9	0.4113	11.9585	18.6920	29.8239	41.4227	50.1068	61.2723	68.4459	79.6997	91.0695
2.0	0.2660	11.4587	20.2352	29.1546	39.9804	50.2801	60.2224	70.1861	79.5138	89.3476
2.1	0.9760	11.3001	19.9535	28.9137	39.1826	50.1009	59.0453	70.3690	79.8480	89.5620
2.2	0.1973	10.6530	19.8450	31.3574	39.9120	50.2191	60.5388	69.4275	79.9564	89.2992
2.3	0.3685	11.1434	19.8500	29.9799	40.8233	50.4008	59.9860	69.4734	79.8248	89.4223
2.4	0.5081	9.3476	20.6367	30.4820	40.7011	49.9560	60.3240	68.9584	79.5583	89.7390
2.5	0.3021	10.3237	19.9724	30.9753	39.3037	49.7191	60.2820	71.2905	80.6095	89.1150
2.6	0.3041	10.7208	19.1755	30.9864	40.2187	51.1688	59.6129	69.6687	80.0282	90.7992
2.7	1.2077	10.5014	20.3263	30.3488	41.7369	50.6631	61.7005	69.5675	79.0011	89.6764
2.8	1.2813	10.5173	20.0061	30.3458	40.6446	49.6693	60.8870	70.5298	79.8457	89.8520
2.9	0.5092	10.9011	19.5480	30.9899	40.7768	50.8604	60.8534	71.1357	80.7845	89.9510
3.0	0.7418	9.7012	19.7746	29.7148	41.2741	49.5970	60.3367	69.9407	79.4790	89.9752
เฉลี่ย	**0.5161**	**10.7100**	**20.1680**	**30.0884**	**40.1939**	**50.1042**	**60.1438**	**69.8946**	**79.8313**	**90.0743**

ตารางที่ 4.23 สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้คือ จากการกำหนดมุมอ้างอิงโดยเริ่มจากมุม 100 องศา แล้วทำการเพิ่มค่ามุมที่ละ 10 องศา จากนั้นก็ทำการเพิ่มค่าขนาดระยะของสเกลครั้งละ 0.1 จากระยะ 0.1 ถึง 3 ทำให้สามารถอธิบายผลจากการทดลองได้ว่าค่าของมุมแต่ละมุมจากมุม 100 องศา ถึง 180 องศา ค่าของมุมที่ได้จากผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามุมอ้างอิง

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองประมาณค่าการหมุนภาพสมองมนุษย์ แบบเพิ่มสัญญาณรบกวนที่มุม 100°- 180°

Scale	มุม 100°	มุม 110°	มุม 120°	มุม 130°	มุม 140°	มุม 150°	มุม 160°	มุม 170°	มุม 180°
0.1	100.1816	109.7194	119.6521	130.0366	140.1259	150.4545	159.6600	170.1733	179.5684
0.2	99.8282	110.1413	120.1026	130.3139	140.8049	150.4130	160.6599	169.5627	180.2653
0.3	100.4231	110.4808	120.3577	129.7904	138.8226	150.5081	159.5464	169.8875	179.4056
0.4	100.2257	109.6380	119.5815	130.4583	140.5615	150.6882	160.1146	169.1540	179.7332
0.5	101.0593	110.0940	119.2850	130.6868	139.9801	150.0196	159.4003	169.4473	180.0058
0.6	99.9303	111.1351	120.4125	130.7677	139.8379	150.4857	159.6433	169.8309	179.5351
0.7	100.2903	110.4862	120.2745	130.2669	140.9394	149.9091	159.8366	169.7850	180.1999
0.8	99.9440	110.7014	119.6853	129.7534	140.0600	150.3447	160.3207	170.0923	180.1973
0.9	99.8944	109.7626	119.6374	130.4174	140.6391	150.6011	159.7853	170.5181	179.3420
1.0	99.7590	110.0804	119.6041	130.0943	140.2866	150.7672	160.7669	168.7154	179.5376
1.1	100.7275	109.7580	119.8930	130.1556	139.5761	150.5223	159.1670	170.0896	179.3706
1.2	100.5874	109.8944	119.9942	130.1452	140.3870	150.6760	160.0311	170.2415	180.4302
1.3	100.5503	109.8441	120.3763	130.0541	140.7639	150.4077	158.9979	169.2587	179.9371
1.4	100.3714	109.5760	120.4543	130.0943	139.9075	149.6435	160.2727	170.1247	179.6607
1.5	100.3329	109.6290	118.8700	130.1556	140.0918	149.6362	159.8059	169.9874	179.6379
1.6	100.7993	109.9428	120.2045	130.4631	139.0981	149.6167	160.0090	170.0147	179.5984
1.7	99.9357	109.7043	120.4208	131.2513	140.6391	150.4510	159.8763	170.2698	180.4001
1.8	100.1667	110.5975	119.9246	129.7551	140.2866	150.7662	160.4411	170.5883	179.9874
1.9	99.4678	110.1389	120.7000	129.7730	139.5761	151.1434	159.8065	169.9077	180.0254
2.0	101.3300	110.3936	120.0391	129.1333	140.3870	150.5194	159.2867	170.2938	179.9524
2.1	100.1804	110.3537	119.7343	130.1537	140.7639	149.8051	159.4290	170.2363	180.2510
2.2	100.2164	109.7715	119.8264	130.4541	139.9075	149.5962	160.9713	170.5313	179.9845
2.3	99.5208	109.6894	119.8819	130.9381	140.0918	149.8958	159.8376	169.2231	179.9287
2.4	99.9510	110.2856	119.5794	130.9993	140.5133	150.3606	159.8308	169.6481	180.2900
2.5	100.3783	110.3636	119.3665	130.2270	140.1259	151.1296	159.5202	169.8000	179.4088
2.6	99.8365	110.1970	120.2515	129.6391	140.8049	150.6405	159.6036	170.5680	180.3274
2.7	99.9531	110.6189	120.2358	130.1802	138.8226	150.1240	159.8963	169.9885	179.6057
2.8	100.3005	110.1956	119.0187	130.1037	138.1205	150.2587	159.5955	169.9142	179.6726
2.9	100.3537	109.9049	119.9925	130.3834	139.2580	149.8745	159.4780	169.9679	180.1996
3.0	100.7730	110.3064	120.3038	130.1520	139.7514	149.1587	159.8791	169.7882	180.1254
ค่าเฉลี่ย	**100.0165**	**110.0336**	**119.8972**	**130.1232**	**140.0775**	**150.0415**	**159.9874**	**170.0221**	**179.9228**

ผลการทดลองในตารางที่ 4.22 และตารางที่ 4.23 สามารถนำมาพล๊อตกราฟ เพื่อแสดงผลของค่าความใกล้เคียงของมุมอ้างอิง กับมุมที่ได้จากการทดลองที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB จากกราฟมีความใกล้เคียงกันมากดังรูปที่ 4.27 ที่แสดงให้เห็นว่ากราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4.27 ค่าของมุมอ้างอิงและค่าของมุมที่หมุนของภาพสมองมนุษย์แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

4.2.3 ตารางผลการทดลองในการย่อหรือขยายภาพตั้งแต่ 0.1-3 เท่า

ผลการทดลองในตารางที่ 4.24 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 0 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 0 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.3 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.4 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.54 ถึง 2.03

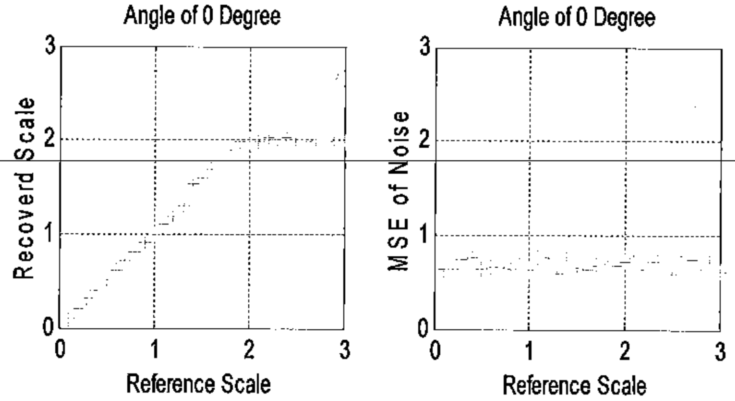
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 0° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 0°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 0°	ค่าผิดพลาดที่มุม 0°
0.1	0.1012	0.6377
0.2	0.1999	0.6343
0.3	0.3062	0.7324
0.4	0.4052	0.7565
0.5	0.5080	0.6379
0.6	0.6125	0.6566
0.7	0.7080	0.6562
0.8	0.8110	0.6251
0.9	0.9015	0.7281

ตารางที่ 4.24(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 0° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 0°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 0°	ค่าผิดพลาดที่มุม 0°
1.0	1.0020	0.6346
1.1	1.0942	0.7608
1.2	1.1947	0.7592
1.3	1.3057	0.5957
1.4	1.5426	0.7382
1.5	1.5890	0.6516
1.6	1.6865	0.6277
1.7	1.7985	0.6704
1.8	1.9023	0.7378
1.9	1.9876	0.6787
2.0	1.9870	0.7258
2.1	1.9875	0.7880
2.2	2.0317	0.6420
2.3	2.0141	0.7282
2.4	2.0315	0.7725
2.5	1.9825	0.5997
2.6	1.9860	0.7795
2.7	1.9974	0.7349
2.8	2.0072	0.6217
2.9	1.9728	0.7268
3.0	1.9873	0.6099

ผลการทดลองในตารางที่ 4.24 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 0 องศา ได้ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 0° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.25 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 10 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 10 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.8 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.9 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.72 ถึง 1.80

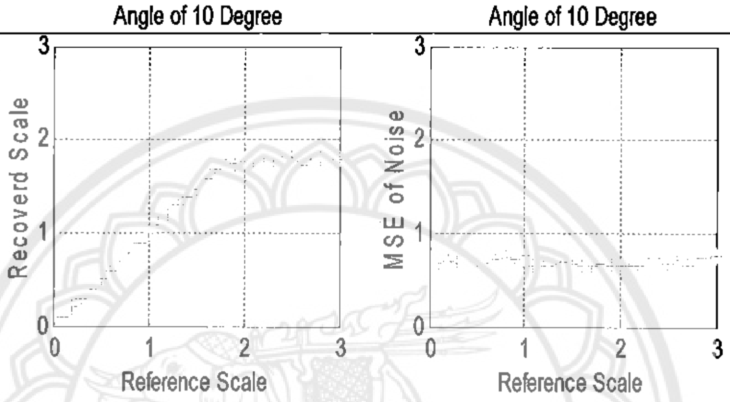
ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 10° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 10°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 10°	ค่าผิดพลาดที่มุม 10°
0.1	0.0989	0.6856
0.2	0.1994	0.6902
0.3	0.2986	0.6850
0.4	0.3987	0.6827
0.5	0.4982	0.6742
0.6	0.5972	0.6721
0.7	0.6975	0.7190
0.8	0.7923	0.7384
0.9	0.8945	0.7256
1.0	0.9939	0.7540
1.1	1.0895	0.6614
1.2	1.1940	0.6432
1.3	1.2913	0.6621
1.4	1.3862	0.6989
1.5	1.4709	0.6768
1.6	1.5763	0.6515
1.7	1.6720	0.6642
1.8	1.7963	0.6692
1.9	1.7509	0.6602
2.0	1.7762	0.6578
2.1	1.7670	0.6633
2.2	1.7734	0.6440
2.3	1.7715	0.7388
2.4	1.8049	0.7422
2.5	1.8060	0.6732
2.6	1.7210	0.7282
2.7	1.7845	0.6540
2.8	1.7880	0.7307

ตารางที่ 4.25(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 10° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 10°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 10°	ค่าผิดพลาดที่มุม 10°
2.9	1.7992	0.7427
3.0	1.7959	0.7553

ผลการทดลองในตารางที่ 4.25 สามารถพล็อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 10 องศา ได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 10° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.26 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 20 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 20 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.64 ถึง 1.69

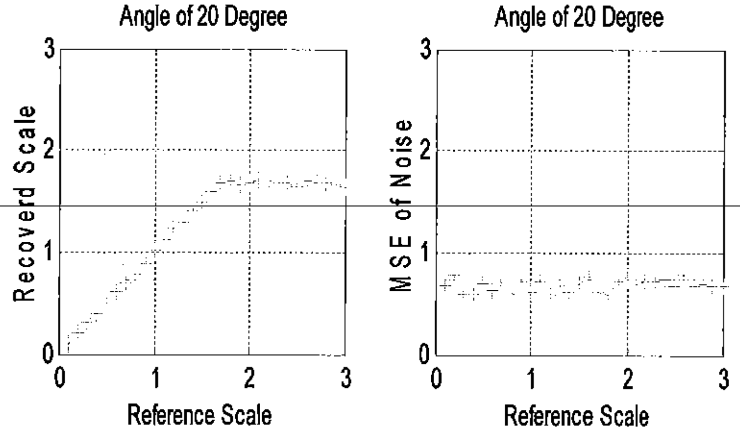
ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 20° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 20°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 20°	ค่าผิดพลาดที่มุม 20°
0.1	0.1007	0.6778
0.2	0.2022	0.7775
0.3	0.3055	0.5790
0.4	0.4069	0.5968
0.5	0.4968	0.6944
0.6	0.6166	0.6367
0.7	0.6975	0.7235
0.8	0.7904	0.5922
0.9	0.8918	0.7143

ตารางที่ 4.26(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 20° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 20°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 20°	ค่าผิดพลาดที่มุม 20°
1.0	1.0090	0.6165
1.1	1.1324	0.7092
1.2	1.2217	0.5994
1.3	1.2982	0.6701
1.4	1.4142	0.6135
1.5	1.4812	0.7017
1.6	1.5999	0.7672
1.7	1.6803	0.6037
1.8	1.6949	0.5852
1.9	1.6633	0.7220
2.0	1.6731	0.7710
2.1	1.6975	0.6927
2.2	1.6980	0.7278
2.3	1.6832	0.7230
2.4	1.6896	0.7297
2.5	1.6495	0.6796
2.6	1.6963	0.7719
2.7	1.6814	0.6818
2.8	1.6865	0.7034
2.9	1.6672	0.6773
3.0	1.6442	0.6811

ผลการทดลองในตารางที่ 4.26 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 20 องศา ได้ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 20° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.27 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 30 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 30 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.58 ถึง 1.65

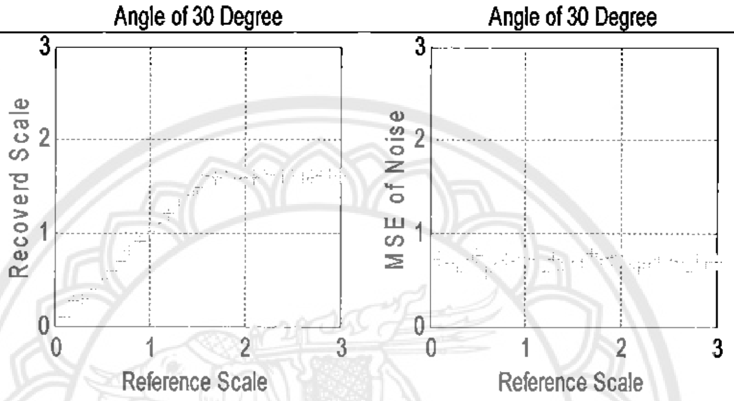
ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 30° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 30°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 30°	ค่าผิดพลาดที่มุม 30°
0.1	0.1011	0.7182
0.2	0.2609	0.6838
0.3	0.2972	0.5924
0.4	0.3945	0.7180
0.5	0.4978	0.7502
0.6	0.5949	0.5930
0.7	0.6862	0.6809
0.8	0.8067	0.7138
0.9	0.9045	0.6994
1.0	1.0080	0.7426
1.1	1.0960	0.7124
1.2	1.2198	0.5980
1.3	1.2969	0.7095
1.4	1.4038	0.6080
1.5	1.4864	0.7007
1.6	1.6173	0.7023
1.7	1.5964	0.7887
1.8	1.6565	0.7103
1.9	1.5854	0.7349
2.0	1.6030	0.7706
2.1	1.5858	0.7273
2.2	1.6313	0.6398
2.3	1.6262	0.6855
2.4	1.6167	0.7184
2.5	1.6202	0.7079
2.6	1.5831	0.6983
2.7	1.6017	0.5987
2.8	1.6172	0.6975

ตารางที่ 4.27(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 30° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 30°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 30°	ค่าผิดพลาดที่มุม 30°
2.9	1.6229	0.7023
3.0	1.6180	0.7015

ผลการทดลองในตารางที่ 4.27 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 30 องศา ได้ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 30° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.28 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 40 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 40 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.58 ถึง 1.62

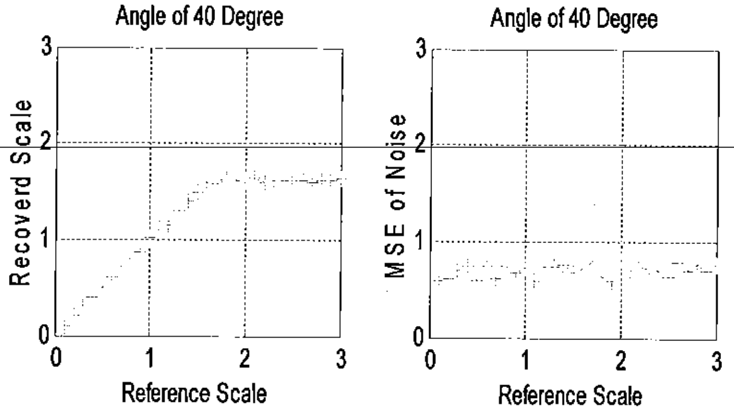
ตารางที่ 4. 28 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 40° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 40°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 40°	ค่าผิดพลาดที่มุม 40°
0.1	0.0975	0.5950
0.2	0.1973	0.6032
0.3	0.3007	0.7049
0.4	0.3995	0.7439
0.5	0.5062	0.5975
0.6	0.6006	0.7463
0.7	0.7101	0.6134
0.8	0.8139	0.7335
0.9	0.8765	0.6786

ตารางที่ 4.28(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 40° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 40°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 40°	ค่าผิดพลาดที่มุม 40°
1.0	1.0191	0.7266
1.1	1.0999	0.5789
1.2	1.1437	0.7360
1.3	1.2920	0.7375
1.4	1.4001	0.7710
1.5	1.4871	0.6718
1.6	1.5869	0.7242
1.7	1.5847	0.7887
1.8	1.6109	0.6365
1.9	1.6162	0.5929
2.0	1.6013	0.7971
2.1	1.6355	0.6885
2.2	1.5963	0.7484
2.3	1.6113	0.7072
2.4	1.6195	0.6978
2.5	1.6107	0.6427
2.6	1.6257	0.7887
2.7	1.5882	0.6978
2.8	1.6207	0.7692
2.9	1.6137	0.6938
3.0	1.6314	0.7679

ผลการทดลองในตารางที่ 4.28 สามารถพล็อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 40 องศา ได้ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 40° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.29 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 50 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 50 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.59 ถึง 1.69

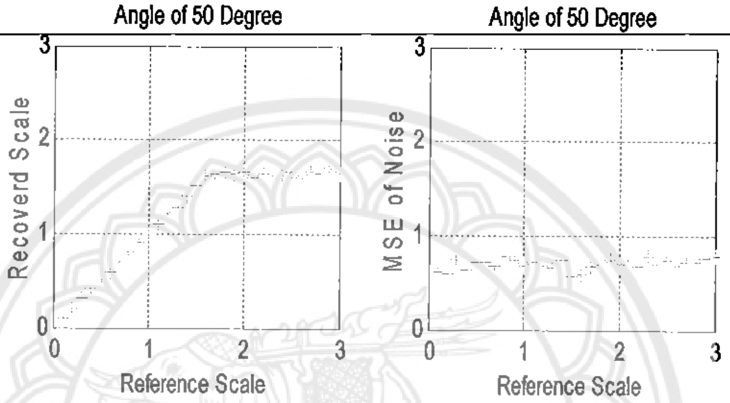
ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 50° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 50°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 50°	ค่าผิดพลาดที่มุม 50°
0.1	0.1008	0.6118
0.2	0.2045	0.5956
0.3	0.3019	0.7463
0.4	0.4076	0.6333
0.5	0.4872	0.7100
0.6	0.5934	0.7247
0.7	0.6932	0.6788
0.8	0.8010	0.7829
0.9	0.9153	0.7345
1.0	0.9987	0.6836
1.1	1.0978	0.7240
1.2	1.2127	0.6750
1.3	1.2849	0.6434
1.4	1.4030	0.7327
1.5	1.5086	0.5778
1.6	1.6183	0.5825
1.7	1.6490	0.6781
1.8	1.6668	0.6969
1.9	1.6399	0.7477
2.0	1.6559	0.6872
2.1	1.6027	0.7347
2.2	1.6487	0.6744
2.3	1.6275	0.7850
2.4	1.6135	0.6903
2.5	1.6504	0.7417
2.6	1.5991	0.6744
2.7	1.6516	0.7073
2.8	1.6353	0.7194

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 50° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 50°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 50°	ค่าผิดพลาดที่มุม 50°
2.9	1.6930	0.7545
3.0	1.6340	0.7767

ผลการทดลองในตารางที่ 4.29 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 50 องศา ได้ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 50° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.30 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 60 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 60 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.71 ถึง 1.77

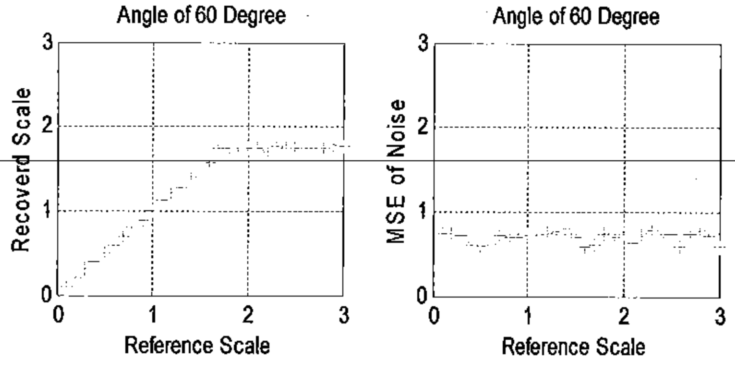
ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 60° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 60°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 60°	ค่าผิดพลาดที่มุม 60°
0.1	0.1010	0.7380
0.2	0.1995	0.7377
0.3	0.3062	0.7254
0.4	0.3977	0.6131
0.5	0.5023	0.5979
0.6	0.5982	0.6038
0.7	0.6972	0.7272
0.8	0.7980	0.7018

ตารางที่ 4.30(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 60° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 60°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 60°	ค่าผิดพลาดที่มุม 60°
0.9	0.8840	0.7033
1.0	0.9884	0.7240
1.1	1.1289	0.7217
1.2	1.2193	0.7417
1.3	1.2853	0.7598
1.4	1.4009	0.7937
1.5	1.5237	0.6932
1.6	1.5782	0.5986
1.7	1.7450	0.6109
1.8	1.7369	0.7358
1.9	1.7483	0.6953
2.0	1.7410	0.7503
2.1	1.7510	0.6407
2.2	1.7105	0.7254
2.3	1.7643	0.7774
2.4	1.7519	0.6957
2.5	1.7405	0.7477
2.6	1.7443	0.5952
2.7	1.7567	0.7439
2.8	1.7455	0.7780
2.9	1.7880	0.7275
3.0	1.7722	0.5986

ผลการทดลองในตารางที่ 4.30 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 60 องศา ได้ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 60° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.31 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 70 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 70 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.9 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.0 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.88 ถึง 1.94

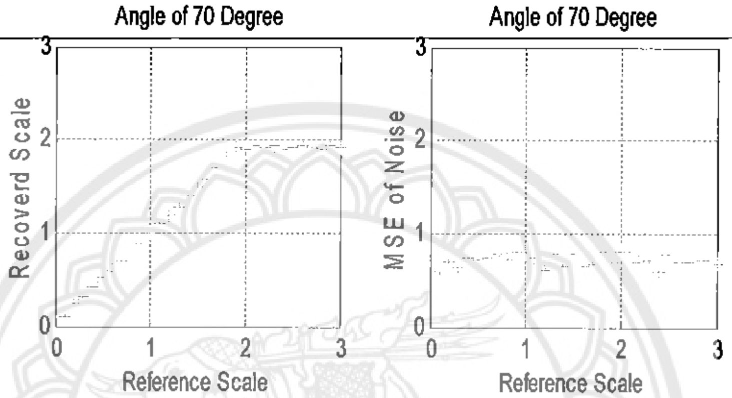
ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 70° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 70°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 70°	ค่าผิดพลาดที่มุม 70°
0.1	0.1036	0.5954
0.2	0.2380	0.6974
0.3	0.3096	0.6380
0.4	0.4078	0.7302
0.5	0.5193	0.7080
0.6	0.5991	0.7491
0.7	0.7021	0.7749
0.8	0.8034	0.7143
0.9	0.8923	0.7998
1.0	1.0010	0.7935
1.1	1.1093	0.7472
1.2	1.1923	0.6094
1.3	1.2715	0.7927
1.4	1.3974	0.6458
1.5	1.4938	0.7726
1.6	1.5824	0.6555
1.7	1.7103	0.6702
1.8	1.7926	0.7994
1.9	1.9203	0.7039
2.0	1.8932	0.7989
2.1	1.9394	0.7970
2.2	1.9204	0.6883
2.3	1.9396	0.7091
2.4	1.8932	0.5976
2.5	1.9213	0.7917
2.6	1.9308	0.6943
2.7	1.9254	0.7031
2.8	1.8896	0.7142

ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 70° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 70°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 70°	ค่าผิดพลาดที่มุม 70°
2.9	1.9432	0.7098
3.0	1.9240	0.6739

ผลการทดลองในตารางที่ 4.31 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 70 องศา ได้ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 70° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.32 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 80 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 80 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.9 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.0 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.02 ถึง 2.23

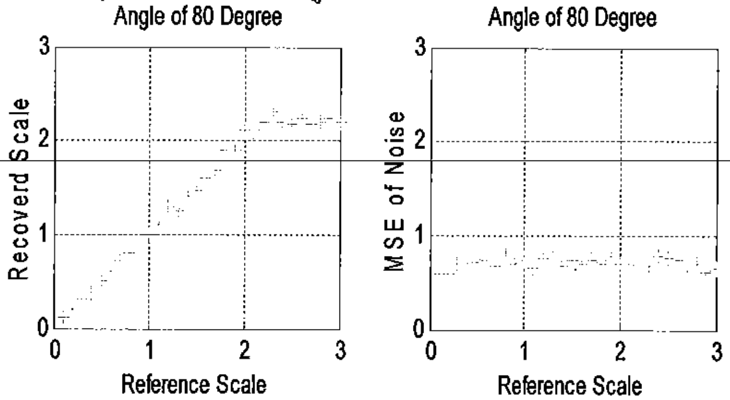
ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 80° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 80°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 80°	ค่าผิดพลาดที่มุม 80°
0.1	0.1094	0.5977
0.2	0.2058	0.5963
0.3	0.3014	0.6984
0.4	0.3742	0.7045
0.5	0.4963	0.7282
0.6	0.6084	0.7431
0.7	0.7108	0.6742
0.8	0.8106	0.7761
0.9	0.8966	0.6910

ตารางที่ 4.32(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 80° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 80°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 80°	ค่าผิดพลาดที่มุม 80°
1.0	0.9932	0.7482
1.1	1.1092	0.6631
1.2	1.2958	0.7543
1.3	1.2542	0.7723
1.4	1.3931	0.6723
1.5	1.4684	0.7422
1.6	1.5983	0.6946
1.7	1.6743	0.7288
1.8	1.9052	0.7017
1.9	1.8963	0.7732
2.0	2.1087	0.6932
2.1	2.0252	0.6987
2.2	2.1939	0.6836
2.3	2.3048	0.6744
2.4	2.1998	0.7832
2.5	2.1662	0.7674
2.6	2.2342	0.7440
2.7	2.1840	0.6418
2.8	2.2016	0.7013
2.9	2.2392	0.6139
3.0	2.1964	0.6613

ผลการทดลองในตารางที่ 4.32 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 80 อ งศา ได้ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 80° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.33 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 90 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 90 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 2.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.64 ถึง 2.71

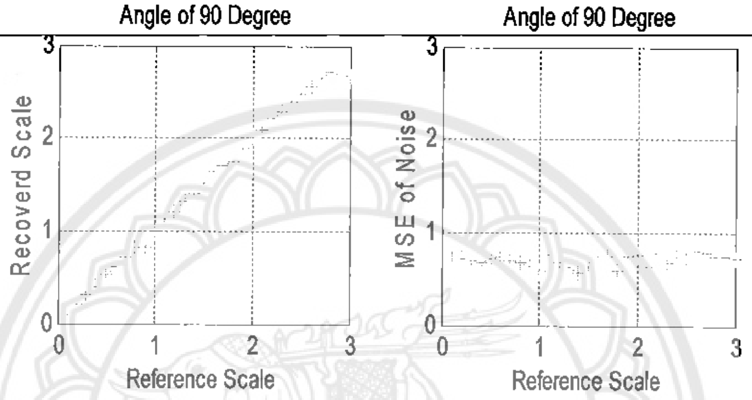
ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 90° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 90°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 90°	ค่าผิดพลาดที่มุม 90°
0.1	0.1028	0.7257
0.2	0.2046	0.7116
0.3	0.3198	0.6921
0.4	0.4062	0.6741
0.5	0.5153	0.7248
0.6	0.6098	0.7395
0.7	0.7163	0.6971
0.8	0.8251	0.6744
0.9	0.8352	0.6328
1.0	0.9963	0.5974
1.1	1.1154	0.7561
1.2	1.2069	0.6842
1.3	1.3162	0.6391
1.4	1.4002	0.5726
1.5	1.5014	0.6727
1.6	1.6394	0.7392
1.7	1.7138	0.7418
1.8	1.7498	0.5992
1.9	1.8962	0.7311
2.0	1.9934	0.7538
2.1	2.0798	0.6309
2.2	2.2231	0.7776
2.3	2.2784	0.6732
2.4	2.3841	0.7394
2.5	2.4696	0.7443
2.6	2.5630	0.7932
2.7	2.6418	0.7862
2.8	2.7193	0.7396

ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 90° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 90°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 90°	ค่าผิดพลาดที่มุม 90°
2.9	2.6930	0.7308
3.0	2.6610	0.7162

ผลการทดลองในตารางที่ 4.33 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 90 องศา ได้ดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 90° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.34 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 100 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 100 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 2.2 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.3 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.19 ถึง 2.24

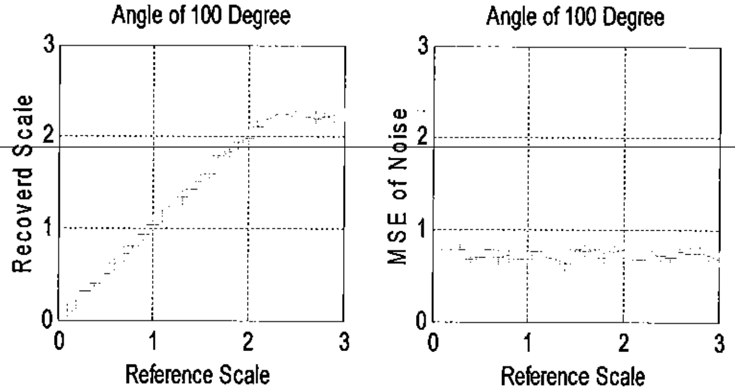
ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 100° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 100°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 100°	ค่าผิดพลาดที่มุม 100°
0.1	0.1063	0.7807
0.2	0.2108	0.7762
0.3	0.3072	0.7746
0.4	0.3958	0.6818
0.5	0.5093	0.6934
0.6	0.6021	0.7742
0.7	0.7103	0.6913
0.8	0.8052	0.7278
0.9	0.9362	0.6774

ตารางที่ 4.34(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 100° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 100°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 100°	ค่าผิดพลาดที่มุม 100°
1.0	1.0298	0.6849
1.1	1.1352	0.7693
1.2	1.2304	0.6932
1.3	1.3299	0.6708
1.4	1.4187	0.6380
1.5	1.5092	0.7848
1.6	1.5906	0.7621
1.7	1.7840	0.7746
1.8	1.8256	0.6876
1.9	1.9423	0.7642
2.0	1.9908	0.7843
2.1	2.1069	0.6792
2.2	2.2001	0.6849
2.3	2.2293	0.7608
2.4	2.2406	0.7143
2.5	2.2087	0.6971
2.6	2.2096	0.7638
2.7	2.1902	0.7442
2.8	2.2106	0.7316
2.9	2.2290	0.7191
3.0	2.2418	0.6720

ผลการทดลองในตารางที่ 4.34 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 100 องศา ได้ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 100° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.35 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 110 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 110 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.9 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.0 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.90 ถึง 1.95

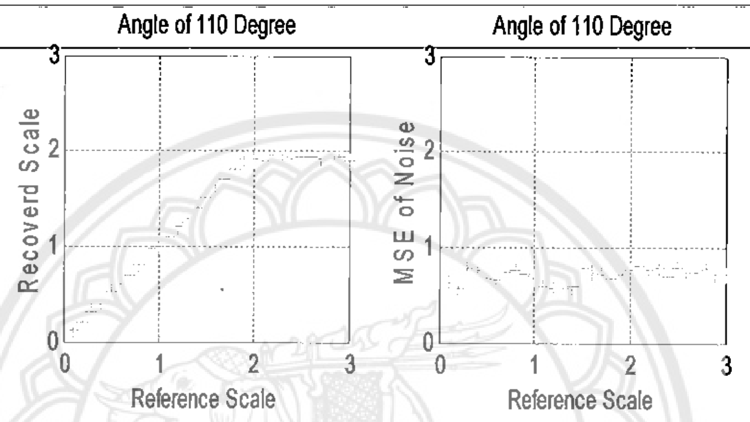
ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 110° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 110°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 110°	ค่าผิดพลาดที่มุม 110°
0.1	0.1103	0.6342
0.2	0.2103	0.5725
0.3	0.3021	0.7842
0.4	0.4001	0.7562
0.5	0.5260	0.6724
0.6	0.6074	0.6591
0.7	0.7061	0.7462
0.8	0.8093	0.7518
0.9	0.9700	0.7221
1.0	0.9910	0.6794
1.1	1.1095	0.5932
1.2	1.2153	0.5739
1.3	1.3021	0.5721
1.4	1.4098	0.5829
1.5	1.5148	0.7743
1.6	1.6302	0.7431
1.7	1.7108	0.7219
1.8	1.8076	0.6741
1.9	1.9184	0.7221
2.0	1.9203	0.7662
2.1	1.9008	0.7991
2.2	1.9504	0.7693
2.3	1.9529	0.7748
2.4	1.9103	0.6912
2.5	1.9406	0.7764
2.6	1.9320	0.7382
2.7	1.9214	0.7498
2.8	1.9248	0.7796

ตารางที่ 4.35(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 110° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 110°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 110°	ค่าผิดพลาดที่มุม 110°
2.9	1.9353	0.7142
3.0	1.9058	0.7264

ผลการทดลองในตารางที่ 4.35 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 110 องศา ได้ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 110° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.36 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 120 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 120 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.73 ถึง 1.78

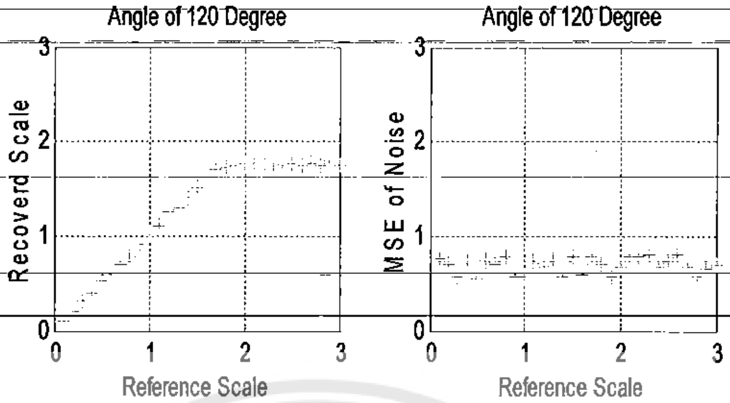
ตารางที่ 4.36 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 120° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 120°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 120°	ค่าผิดพลาดที่มุม 120°
0.1	0.1042	0.7642
0.2	0.2048	0.6921
0.3	0.3016	0.5748
0.4	0.3986	0.7217
0.5	0.5172	0.5392
0.6	0.6034	0.7491
0.7	0.6993	0.6893

ตารางที่ 4.36(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 120° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 120°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 120°	ค่าผิดพลาดที่มุม 120°
0.8	0.7908	0.7742
0.9	0.9148	0.5761
1.0	1.0269	0.5748
1.1	1.1038	0.7421
1.2	1.2502	0.6762
1.3	1.3059	0.7394
1.4	1.4001	0.5767
1.5	1.5204	0.7842
1.6	1.6143	0.5793
1.7	1.7070	0.7764
1.8	1.7340	0.6893
1.9	1.7496	0.5621
2.0	1.7750	0.6742
2.1	1.7748	0.7839
2.2	1.7716	0.7718
2.3	1.7752	0.7992
2.4	1.7427	0.6683
2.5	1.7631	0.7421
2.6	1.7538	0.7943
2.7	1.7618	0.6839
2.8	1.7528	0.5777
2.9	1.7896	0.6442
3.0	1.7536	0.6921

ผลการทดลองในตารางที่ 4.36 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 120 องศา ได้ดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 120° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.37 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 130 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 130 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.62 ถึง 1.67

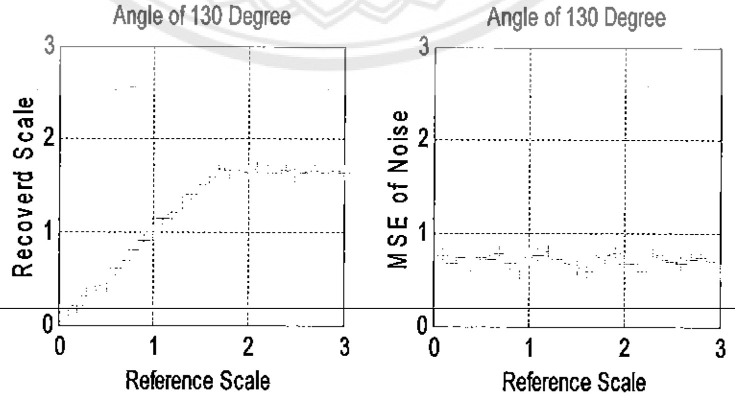
ตารางที่ 4.37 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 130° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 130°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 130°	ค่าผิดพลาดที่มุม 130°
0.1	0.1001	0.7640
0.2	0.2014	0.6673
0.3	0.3044	0.7448
0.4	0.4102	0.5921
0.5	0.4487	0.7409
0.6	0.6018	0.7207
0.7	0.7027	0.7787
0.8	0.8110	0.6664
0.9	0.9018	0.5939
1.0	1.0034	0.7495
1.1	1.1414	0.7714
1.2	1.2064	0.7993
1.3	1.3118	0.7184

ตารางที่ 4.37 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 130° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 130°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 130°	ค่าผิดพลาดที่มุม 130°
1.4	1.4009	0.6768
1.5	1.5128	0.6229
1.6	1.6020	0.5934
1.7	1.6732	0.7431
1.8	1.6684	0.7547
1.9	1.6691	0.7736
2.0	1.6432	0.6843
2.1	1.6788	0.6809
2.2	1.6771	0.5886
2.3	1.6442	0.7620
2.4	1.6538	0.7245
2.5	1.6245	0.7055
2.6	1.6447	0.6720
2.7	1.6515	0.7148
2.8	1.6454	0.7407
2.9	1.6675	0.6945
3.0	1.6358	0.5918

ผลการทดลองในตารางที่ 4.37 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 130 องศา ได้ดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 130° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.38 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 140 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 140 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.58 ถึง 1.61

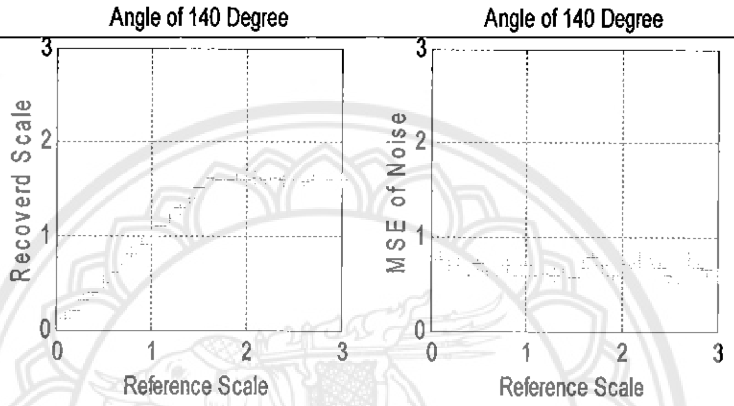
ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 140° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 140°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 140°	ค่าผิดพลาดที่มุม 140°
0.1	0.1104	0.7656
0.2	0.2107	0.7004
0.3	0.3007	0.6901
0.4	0.3998	0.5923
0.5	0.5100	0.7158
0.6	0.6018	0.6339
0.7	0.7017	0.5921
0.8	0.8123	0.7047
0.9	0.9048	0.5976
1.0	1.0034	0.6997
1.1	1.1011	0.5936
1.2	1.1988	0.6046
1.3	1.3012	0.5978
1.4	1.4007	0.6291
1.5	1.5025	0.5743
1.6	1.6080	0.6772
1.7	1.6012	0.7844
1.8	1.5898	0.6943
1.9	1.5942	0.5961
2.0	1.5861	0.7131
2.1	1.6120	0.6976
2.2	1.6033	0.7639
2.3	1.6092	0.7081
2.4	1.5884	0.6753
2.5	1.5921	0.5910
2.6	1.5836	0.5779
2.7	1.5993	0.7827
2.8	1.6049	0.6712

ตารางที่ 4.38(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 140° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 140°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 140°	ค่าผิดพลาดที่มุม 140°
2.9	1.6002	0.6490
3.0	1.5944	0.5953

ผลการทดลองในตารางที่ 4.38 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 140 องศา ได้ดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 140° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.39 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 150 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 150 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.6 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.7 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.60 ถึง 1.64

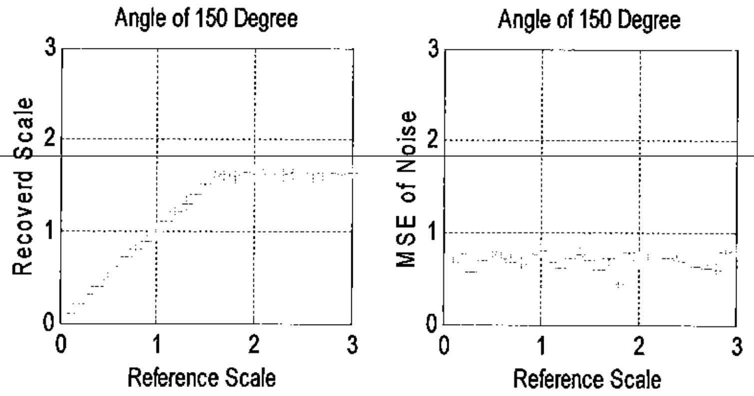
ตารางที่ 4.39 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 150° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 150°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 150°	ค่าผิดพลาดที่มุม 150°
0.1	0.0991	0.6751
0.2	0.2037	0.7631
0.3	0.3003	0.5747
0.4	0.4014	0.6931
0.5	0.5083	0.7849
0.6	0.6006	0.7232
0.7	0.7085	0.6734
0.8	0.8079	0.6599

ตารางที่ 4.39(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 150° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 150°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 150°	ค่าผิดพลาดที่มุม 150°
0.9	0.8992	0.7667
1.0	0.9997	0.7944
1.1	1.1002	0.6744
1.2	1.2053	0.6087
1.3	1.3058	0.7114
1.4	1.3989	0.7713
1.5	1.5040	0.6978
1.6	1.6014	0.5939
1.7	1.6230	0.7221
1.8	1.6004	0.4307
1.9	1.6470	0.7746
2.0	1.6233	0.7012
2.1	1.6177	0.6933
2.2	1.6238	0.6343
2.3	1.6199	0.7184
2.4	1.6348	0.7067
2.5	1.6287	0.6734
2.6	1.6232	0.6285
2.7	1.6441	0.6182
2.8	1.6322	0.5974
2.9	1.6184	0.7723
3.0	1.6347	0.7976

ผลการทดลองในตารางที่ 4.39 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 150 องศา ได้ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 150° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.40 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 160 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 160 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.7 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.8 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.67 ถึง 1.70

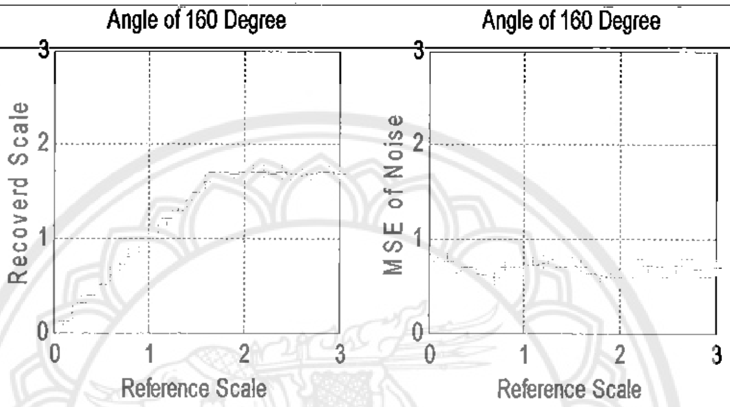
ตารางที่ 4.40 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 160° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 160°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 160°	ค่าผิดพลาดที่มุม 160°
0.1	0.1102	0.7565
0.2	0.2014	0.7552
0.3	0.3002	0.6423
0.4	0.3998	0.6917
0.5	0.4999	0.6269
0.6	0.6025	0.6177
0.7	0.7089	0.5954
0.8	0.8098	0.6918
0.9	0.9011	0.6889
1.0	1.0027	0.6410
1.1	1.1352	0.7242
1.2	1.2121	0.7442
1.3	1.3047	0.7741
1.4	1.4100	0.7022
1.5	1.4987	0.7221
1.6	1.6012	0.6937
1.7	1.7087	0.6408
1.8	1.6999	0.6109
1.9	1.6887	0.5878
2.0	1.6997	0.5965
2.1	1.7052	0.5931
2.2	1.7008	0.7775
2.3	1.6803	0.7178
2.4	1.6931	0.6876
2.5	1.6716	0.5841
2.6	1.6699	0.7123
2.7	1.6790	0.7903
2.8	1.6988	0.6782

ตารางที่ 4.40(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 160° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 160°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 160°	ค่าผิดพลาดที่มุม 160°
2.9	1.7012	0.5932
3.0	1.6868	0.6964

ผลการทดลองในตารางที่ 4.40 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 160 องศา ได้ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 160° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.41 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 170 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 170 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 1.8 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 1.9 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.678 ถึง 1.81

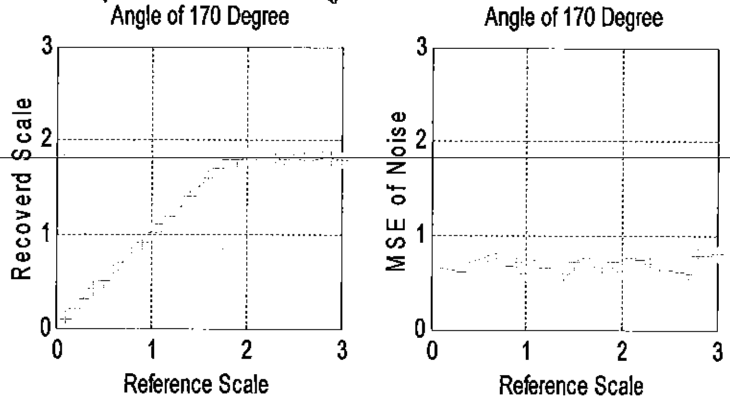
ตารางที่ 4.41 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 170° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 170°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 170°	ค่าผิดพลาดที่มุม 170°
0.1	0.1002	0.6454
0.2	0.1992	0.6291
0.3	0.3023	0.6049
0.4	0.4122	0.7252
0.5	0.5079	0.7428
0.6	0.6033	0.7836
0.7	0.6997	0.7954
0.8	0.8114	0.6766
0.9	0.9014	0.7226

ตารางที่ 4.41(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 170° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 170°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 170°	ค่าผิดพลาดที่มุม 170°
1.0	1.0180	0.5975
1.1	1.1023	0.7288
1.2	1.1992	0.6548
1.3	1.3007	0.7798
1.4	1.4029	0.5923
1.5	1.5103	0.7203
1.6	1.6040	0.7626
1.7	1.7045	0.6774
1.8	1.7999	0.6044
1.9	1.7896	0.7207
2.0	1.8012	0.6042
2.1	1.8056	0.7623
2.2	1.8047	0.7474
2.3	1.8122	0.6921
2.4	1.7982	0.6421
2.5	1.8020	0.6240
2.6	1.7960	0.6055
2.7	1.7844	0.5975
2.8	1.8005	0.7741
2.9	1.8057	0.7833
3.0	1.7988	0.7989

ผลการทดลองในตารางที่ 4.41 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 170 องศา ได้ดังรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 170° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.42 สามารถแสดงผลของค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 180 องศา กับค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 180 องศา ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (-6.0206) dB เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเกล ว่าค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 2.0 ค่าสเกลที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนด แต่ค่าสเกลตั้งแต่ระยะ 2.1 ถึง 3 ค่าสเกลจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.96 ถึง 2.04

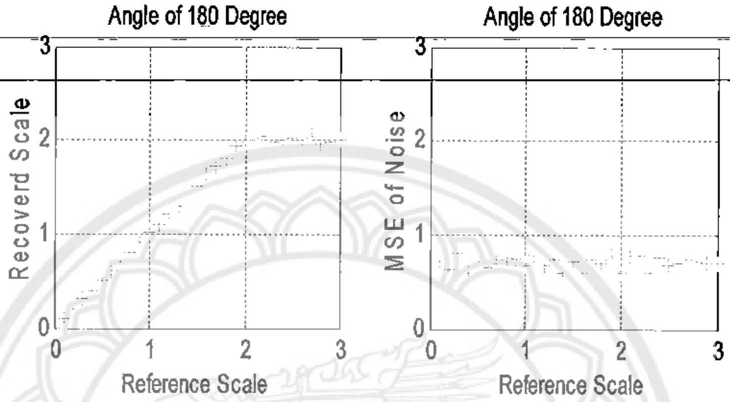
ตารางที่ 4.42 ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 180° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 180°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 180°	ค่าผิดพลาดที่มุม 180°
0.1	0.0987	0.7264
0.2	0.2013	0.6342
0.3	0.3123	0.7985
0.4	0.3988	0.5957
0.5	0.5002	0.7236
0.6	0.6010	0.6442
0.7	0.6991	0.7003
0.8	0.8002	0.7711
0.9	0.9064	0.7342
1.0	1.0225	0.6668
1.1	1.1028	0.7866
1.2	1.2001	0.6734
1.3	1.3026	0.7328
1.4	1.4127	0.5969
1.5	1.5026	0.7102
1.6	1.6676	0.5987
1.7	1.7229	0.7366
1.8	1.8039	0.6988
1.9	1.9310	0.7879
2.0	1.9989	0.5864
2.1	2.0010	0.7748
2.2	2.0394	0.7924
2.3	1.9856	0.5907
2.4	1.9930	0.7509
2.5	2.0336	0.6774
2.6	2.0002	0.6858
2.7	2.0413	0.7444
2.8	1.9664	0.7152

ตารางที่ 4.42(ต่อ) ผลการทดลองการประมาณค่าสเกลสำหรับมุม 180° แบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

ค่าสเกลอ้างอิงที่มุม 180°	ค่าสเกลที่วัดผลได้ที่มุม 180°	ค่าผิดพลาดที่มุม 180°
2.9	1.9786	0.7017
3.0	2.0050	0.6922

ผลการทดลองในตารางที่ 4.42 สามารถพล๊อตกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสเกลและค่าความผิดพลาดของภาพในมุม 180 องศา ได้ดังรูปที่ 4.46

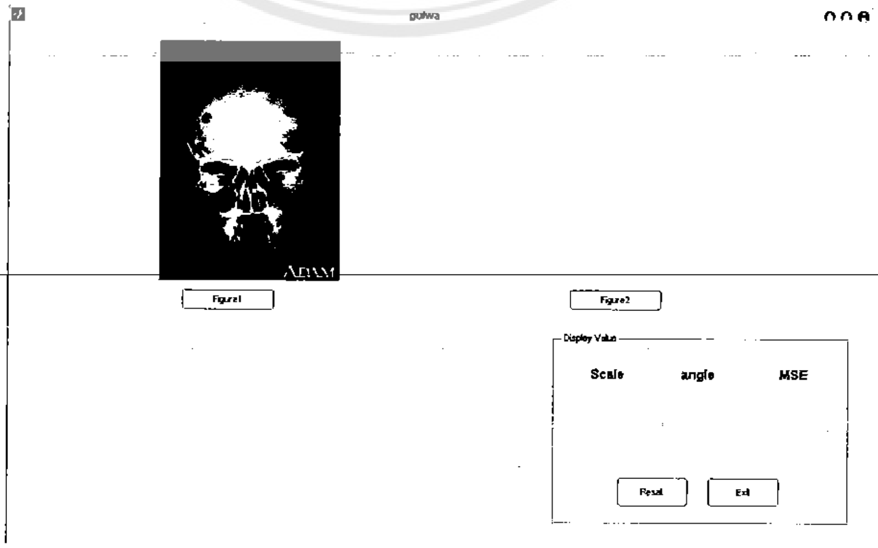


รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบการสเกลที่มุม 180° และ ค่าความผิดพลาดสเกลแบบเพิ่มสัญญาณรบกวน

4.3 กรณีที่ 3 การประยุกต์ใช้งานจริงของโปรแกรมที่นำเสนอ

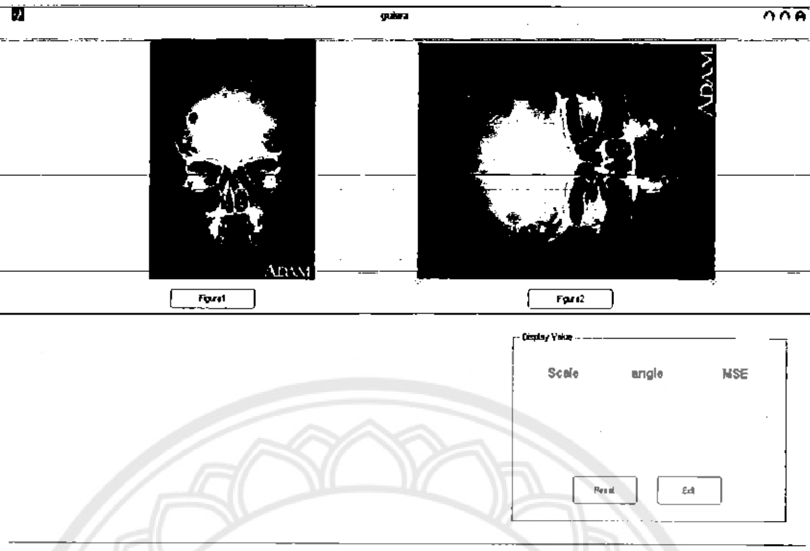
หลังจากที่ทำการทดลองด้วยการรันโปรแกรมแบบธรรมดา ต่อมาได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมที่เขียนเข้ามาในรูปแบบของ GUI เพื่อแสดงรูปแบบผลภายในหน้าเดียวกัน

<u>ขั้นตอนที่1</u> : จากรูปที่ 4.47 กดปุ่ม "Figure1" เพื่อนำภาพแรกเข้ามาลงทะเบียน พร้อมกับเลือกจุดอินพุตของภาพแรกเพื่อใช้ในการอ้างอิงกับภาพที่ 2



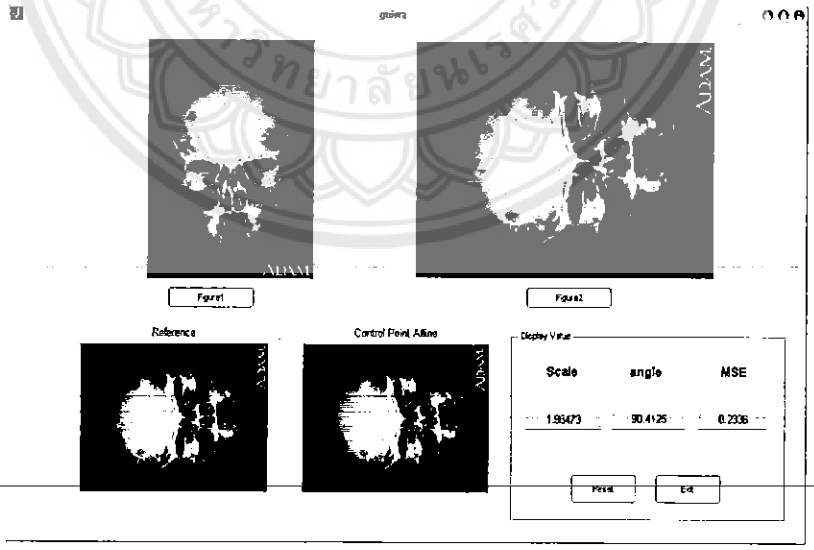
รูปที่ 4.47 การเลือกภาพแรก

<u>ขั้นตอนที่2 :</u> จากรูปที่ 4.48 กดปุ่ม "Figure2" แล้วแทรกรูปเข้ามา ทำการเลือกจุดอ้างอิงเท่ากับรูปแรก โดยเลือกตามความสัมพันธ์ของรูปแรกที่เลือกไว้ ตามลำดับ



รูปที่ 4.48 การเลือกภาพที่สอง

<u>ขั้นตอนที่3</u> : เมื่อทำการเลือกภาพแรกและภาพที่สองเข้ามา ดังรูปที่ 4.49 ที่เป็นจอแสดงผลจะทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าสเกล และ มุมของภาพทั้งสองที่แตกต่างกัน และได้ค่าความผิดพลาดของภาพทั้งสอง ออกมาตามลำดับ



รูปที่ 4.49 ผลมุมแปลงกลับและค่าสเกลที่แปลงกลับพร้อมค่าความผิดพลาด

<u>หมายเหตุ</u> เมื่อต้องการเปรียบเทียบภาพใหม่อีกครั้ง ให้ทำการกดปุ่ม "Reset" แต่ถ้าต้องการจบการทำงานของโปรแกรมให้ทำการกดปุ่ม "Exit"

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานเล่มนี้ได้นำเสนอวิธีการลงทะเบียนภาพด้วยการอ้างอิงจุดควบคุม สำหรับภาพสมองมนุษย์แบบสองมิติ แบบกำหนดจุดควบคุมเองโดยมนุษย์ในการลงทะเบียนภาพ เนื่องจากมีข้อดีคือสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็มีข้อเสียคือวิธีการกำหนดจุดโดยมนุษย์นั้นอาจไม่ถูกต้อง ดังนั้นโครงงานเล่มนี้จึงประยุกต์ใช้การแปลงเชิงเรขาคณิต โดยใช้สมการเมตตริกซ์ของการหมุนและการย่อหรือขยายภาพมาใช้ในการทดลอง แล้วทำการเก็บค่าผลการทดลองเพื่อนำผลที่ได้ไปหาค่าความผิดพลาดด้วยการวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียน

จากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่าการประยุกต์ใช้การแปลงเชิงเรขาคณิตโดยใช้สมการเมตตริกซ์ของการหมุนและการย่อหรือขยายภาพ ในการกำหนดจุดอ้างอิงโดยมนุษย์นั้น การกำหนดให้มุมมีค่าคงที่เริ่มตั้งแต่มุม 0 องศา ถึงมุม 180 องศา ผลของมุมที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับมุมที่กำหนดค่าให้คงที่

เมื่อทำการเพิ่มขนาดการย่อหรือขยายภาพ โดยเริ่มต้นจาก 0.1 เท่าถึง 3 เท่า พบว่าผลของการย่อหรือขยายภาพที่ขนาด 0.1 เท่า ถึง 2.2 เท่า ค่าการประมาณขนาดสเกลเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ สำหรับผลของการย่อหรือขยายภาพขนาด 2.2 เท่า ถึงขนาด 3 เท่า ค่าการประมาณขนาดจะลู่เข้า 2.2

เนื่องจากภาพที่ได้ทำการย่อหรือขยายนั้นมีข้อจำกัดของขนาดที่ได้ถูกขยายไป ในส่วนของการย่อภาพค่าสเกลที่ได้นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าสเกลที่กำหนดให้คงที่ แต่จะเกิดปัญหาเมื่อภาพเดิมได้ทำการขยายขนาดของภาพ ซึ่งการขยายขนาดของภาพจะขยายได้มากที่สุด ตามมุมของแต่ละภาพที่ได้หมุนไป แต่มุมที่ทำให้ค่าสเกลและค่ามุมใกล้เคียงกับค่ามุมและค่าสเกลที่กำหนดให้คงที่มากที่สุดคือ การกำหนดให้มุมคงที่ที่ 90 องศา จะทำให้ค่าสเกลลู่เข้าค่า 2.7 เท่า ซึ่งมีขนาดมากที่สุดจากการทดสอบการขยายขนาดไปทั้งหมด 3 เท่า

จากวิธีการลงทะเบียนภาพที่ได้นำเสนอในโครงงานนี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพเพื่อวัดค่าความผิดพลาด ค่าที่ได้จะมีค่าความผิดพลาดที่น้อยมาก ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลงทะเบียนภาพชนิดอื่นได้ อาทิเช่น การเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้ามาในภาพ เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพและหาค่าความผิดพลาดของภาพ จะทำให้มีค่าความผิดพลาดที่มากกว่าภาพที่ไม่ได้เพิ่มสัญญาณรบกวนเข้ามา นอกจากนี้สามารถนำโปรแกรมที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้งานได้จริง โดยการใช้รูปแบบของการติดต่อสื่อสารสำหรับผู้ใช้งานในรูปแบบกราฟฟิก (Graphic User Intreface) เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง

5.2 ปัญหาในการทำงานและแนวทางแก้ไข

1. การเก็บข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนของการย่อหรือขยายภาพ และการเก็บมุม ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ

วิธีการแก้ไข : ใช้คำสั่งบางคำสั่งในโปรแกรมแมทแลป ที่คุณสมบัติในการเก็บข้อมูลโดยอัตโนมัติ เช่น คำสั่ง for หรือ else if เป็นต้น

2. เกิดปัญหาในการรันผลโปรแกรมที่ช้า เนื่องจากการใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการรันผลโปรแกรมที่ต่ำ

วิธีการแก้ไข : ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการรันผลโปรแกรมที่รวดเร็ว

3. รูปภาพที่นำมาใช้อ้างอิงจุดควบคุม มีปัญหาในการอ้างอิงจุดยาก ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในผลการทดลองที่ไม่ถูกต้องแม่นยำ

วิธีการแก้ไข : ควรใช้รูปภาพ MRI ที่มีพื้นสีขาวเพื่อจะตัดกับกรอบสีดำที่เรากำหนดไว้ เพื่อความแม่นยำในการอ้างอิงจุดควบคุม

4. ปัญหาการขาดความชำนาญในการอ้างอิงจุดควบคุม ของคณะผู้ทำโครงงาน

วิธีการแก้ไข: ในการกำหนดจุดอ้างอิงควรจะมีการสร้างขนาดให้กับภาพในแนวแกน X และแกน Y เพื่อที่จะได้ง่ายในการอ้างอิงจุดควบคุม

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางสำหรับการพัฒนา

1. ออกแบบโปรแกรมให้สามารถกำหนดจุดอ้างอิงได้โดยอัตโนมัติ เพื่อที่จะได้ง่ายในการกำหนดจุดอ้างอิง และเพื่อความถูกต้องของผลการทดลอง

2. ออกแบบโปรแกรมให้สามารถเก็บค่าข้อมูลการหมุนและการย่อหรือขยายภาพได้ โดยอัตโนมัติ เพื่อง่ายในการนำไปใช้งาน

3. สามารถนำอัลกอริทึมในโปรแกรมนี้ไปประยุกต์ใช้ในการทำโปรแกรมที่เกี่ยวกับภาพชนิดอื่นได้ โดยอาจจะเพิ่มการเลื่อนภาพ และทำการซ้อนทับกันของภาพเพื่อเป็นการลงทะเบียนภาพ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Registration" **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine.** 4 (3) : 126-136 ; June, 2000.

[2] Karin K., Marija I., Josef M., David A.W. "Medical image registration" **Europhysics New.** 31 (4), 2000.

[3] มหาวิทยาลัยนเรศวร.2543. **คู่มือการเขียนโครงงานนิสิต.**ครั้งที่ 2.พิษณุโลก :ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

[4] Peleg S., Resenfeld A. "A min-max Medial Axis Transformation" **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.** 3 (2) : March, 1981.

[5] ปาริชาติ พฤทธิ์จารุพงศ์."การประยุกต์ใช้ค่าไม่ผันแปรทางเรขาคณิต**ของขอบภาพในการลงทะ**เบียนภาพ." วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอม**เกล้าเจ้าคุณทหาร**ลาดกระบัง, 2547.

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นางสาวขันทอง เข็มศร

ภูมิลำเนา 91 ม.7 ต.ระหาน อ.บึงสามัคคี จ.กำแพงเพชร 62210

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนระหานวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : mapang_whan@hotmail.com

ชื่อ นายอัษฎางค์ บุญศรี

ภูมิลำเนา 150 ม.7 ต.ระหาน อ.บึงสามัคคี จ.กำแพงเพชร 62210

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : pro_ad@hotmail.com

ชื่อ นายโชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น

ภูมิลำเนา 228/1 ม.10 ต.วังทอง อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัยพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : chokie_chokie25@hotmail.com