

การลงทะเบียนภาพโดยการใช้วิธีสหสัมพันธ์เฟส

Image Registration By Using Phase-Correlation Method

นายสุภชัย อินทร์สวาท รหัส 48361899
นายธนิตย์ พันต้นเทียะ รหัส 48361554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 7/สิง. 2551 /.....
เลขทะเบียน..... 1499678
เลขเรียกหนังสือ..... 2/ง
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๗๖๘๔-๗

2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ การลงทะเบียนภาพโดยการใช้วิธีสทสัมพันธ์เฟส
ผู้ดำเนินโครงการ นายศุภชัย อินทร์สวาท รหัส 48361899
 นายธนิตย์ พันล้านเทียะ รหัส 48361554
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรืรัมย์ อนุมัติให้ โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น)

..... กรรมการ
(ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์)
..... กรรมการ
(ดร.แคทรียา สุวรรณศรี)

หัวข้อโครงการ	การลงทะเบียนภาพโดยการใช้วิธีสทัมพ์พีเอส
ผู้ดำเนินโครงการ	นายศุภชัย อินทร์สว่าง รหัส 48361899
	นายธนิตย์ พันล้านเทียะ รหัส 48361554
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมในการลงทะเบียน โดยวิธีสทัมพ์พีเอส เพื่อการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนและหมุนภาพ พร้อมทั้งทำการคำนวณประสิทธิภาพในการลงทะเบียนภาพโดยการใช้ตัวชี้วัดขนาดนอร์มแอลสอง และทดสอบประสิทธิภาพการลงทะเบียนภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน จากผลการทดลองพบว่าใช้สทัมพ์พีเอสใช้งานได้เป็นอย่างดีกับการลงทะเบียนภาพที่มีความละเอียดสูง

Project Title Image Registration By Using Phase-Correlation Method

Name Mr.Supachai Insawaat ID 48361899

Mr.Tanit Puensontla ID 48361554

Project Advisor Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic Year 2008

ABSTRACT

This project is to study and develop an algorithm for image registration by using phase-correlation method. Following translation and rotation of an image, mean square errors were measured by using L_2 Norm. Performance of the developed algorithm was also evaluated after adding Gaussian noise to the image. The outcomes of this project show that the proposed method is robust for high-resolution image registration



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจที่ได้ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล
ภาพถ่ายของงานทำยปลอกกระสุนปืน ขอขอบคุณ คุณสุพรรณิ วังศิริ ที่อนุญาตให้นำภาพมาศึกษา
และทดลองในครั้งนี้ ขอขอบคุณสำนักงานโครงการ IRPUS (สาขา 2) ที่ได้อำนวยความสะดวกสถานที่
ในการทำโครงงานและที่ขาดไม่ได้ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุชาติ-เข้มแมน ที่ได้ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา

นายศุภชัย อินทร์สวาท
นายธนิตย์ พันถิ่นเทียะ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 แนวทางการดำเนินโครงการ	1
1.4 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 -แผนดำเนินงาน.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1-ความรู้พื้นฐานการลงทะเบียนภาพ.....	3
2.2 ระบบสี RGB	5
2.3 การแปลงข้อมูลของภาพให้อยู่ในรูปแบบโพล่า (Polar Form).....	8
2.4 การแปลงข้อมูลภาพในสองมิติ.....	9
2.5 การแปลงฟูรีเยร์แบบ 2 มิติ.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 สหสัมพันธ์เฟส.....	14
2.7 สัญญาณรบกวน.....	16
2.8 การวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ.....	17
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีทำการทดลอง.....	18
3.1 รูปแบบการทดลอง.....	18
3.2 ขั้นตอนและการดำเนินการทดลอง.....	19
3.3 กระบวนการในการทดลอง.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	22
4.1 ผลการทดลองสำหรับภาพทั่วไป.....	22
4.2 ผลการทดลองสำหรับรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน (ภาพกระสุนเดียวกัน).....	45
4.3 ผลการทดลองสำหรับรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน (ภาพกระสุนชนิดเดียวกันคนละภาพ).....	58
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	66
ประวัติผู้เขียนโครงการ.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าสูงสุดที่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนและค่าความผิดพลาด	25
4.2 ค่าสูงสุดค่าสูงสุดที่สามารถประมาณได้และค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าเมื่อเพิ่ม สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน.....	28
4.3 ค่ามุมต่างๆของตัวแปรจริง ค่าประมาณ และMSE.....	32
4.4 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน.....	35
4.5 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 50, T_y = 100$ และ $\theta = 80^\circ$	39
4.6 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 100, T_y = 50$ และ $\theta = 80^\circ$	40
4.7 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 50, T_y = 100$ และ $\theta = 80^\circ$	40
4.8 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 100, T_y = 100$ และ $\theta = 80^\circ$	41
4.9 ค่า MSE ของพารามิเตอร์ที่ประมาณค่าได้.....	44
4.10 ค่าสูงสุดที่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนได้ และค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า	46
4.11 ค่าสูงสุดที่ประมาณได้และค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการเลื่อนของภาพ	48
4.12 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการหมุนของภาพ	50
4.13 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการหมุนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน	52
4.14 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการหมุนแล้วเลื่อนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน	57

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพ MRI คีร์นะ	3
2.2 ภาพถ่าย MRI และ SPECT	4
2.3 ภาพผลลัพธ์ของการลงทะเบียนภาพถ่ายทางอากาศและแผนที่.....	4
2.4 ภาพการผสมสีทางแสง	5
2.5 ตำแหน่งในลำดับภาพ	6
2.6 การแปลงภาพ RGB เป็นระดับเทา.....	7
2.7 วิธีการแปลงรูปเรดคอน	9
2.8 จุด Pivot Point	10
2.9 Cartesian Coordinate และ Homogeneous Coordinate	11
2.10 ตัวอย่างการเลื่อนภาพ	12
2.11 ตัวอย่างการหมุนภาพ.....	12
2.12 แอมพลิจูดของสเปกตรัม	13
2.13 ค่าอิมพัลส์ของสหสัมพันธ์เฟส	15
2.14 สัญญาณรบกวน 16.98 dBm หรือ -13.01 dB.....	17
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	19
4.1 ภาพทั่วไปที่ใช้ทำงานทดลองการเลื่อนภาพและหมุนภาพ.....	22
4.2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ ในรูปแบบการ Interpolate แบบ Nearest และ Spline.....	23
4.3 ผลการทดลอง พารามิเตอร์การเลื่อน $T_x = 80, T_y = 50$ ในรูปการ Interpolate แบบ Nearest และ Spline.....	23
4.4 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ ในรูปแบบการ Interpolate แบบ Cubic และ Linear	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ผลการทดลองพารามิเตอร์การเลื่อน $T_x = 80, T_y = 50$ ในรูปการ Interpolate แบบ Cubic และ Nearest.....	24
4.6 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน ตั้งแต่ $20 = 26.9897$ dBm.....	26
4.7 การทดลองพารามิเตอร์การเลื่อน $T_x = 30, T_y = 60$ และสัญญาณรบกวน 20, 24.7712, 26.9897 dB	26
4.8 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน ตั้งแต่ $27.7815 - 30$ dBm.....	27
4.9 การทดลองพารามิเตอร์การเลื่อน $T_x = 30, T_y = 60$ และสัญญาณรบกวน 28.451, 29.0309, 30 dBm.....	34
4.10 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ ในรูปแบบการ Interpolate แบบ Nearest และ Linear.....	29
4.11 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ ในรูปแบบการ Interpolate แบบ Spline และ Cubic.....	29
4.12 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 45^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ Nearest และ Cubic.....	30
4.13 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 45^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ Linear และ Spline.....	30
4.14 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 135^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ Nearest และ Cubic.....	31
4.15 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 135^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ Linear และ Spline.....	31
4.16 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน ตั้งแต่ $20 - 36.9897$ dBm.....	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน ตั้งแต่ 20– 36.9897 dBm.....	34
4.18 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน ตั้งแต่ 20– 36.9897 dBm.....	34
4.19 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน ตั้งแต่ 20 – 36.9897 dBm.....	35
4.20 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^\circ$ Interpolate แบบ Spline และเพิ่มสัญญาณรบกวน.....	36
4.21 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^\circ$ Interpolate แบบ Cubic และเพิ่มสัญญาณรบกวน.....	37
4.22 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^\circ$ Interpolate แบบ Linear และเพิ่มสัญญาณรบกวน.....	37
4.23 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^\circ$ Interpolate แบบ Nearest และเพิ่มสัญญาณรบกวน.....	38
4.24 รูปผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพแล้วหมุน และการหมุนของภาพแล้วเลื่อน	39
4.25 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 50, T_y = 50$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$	42
4.26 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 50, T_y = 100$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$	42
4.27 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 100, T_y = 50$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$	43
4.28 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 100, T_y = 100$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$	43
4.29 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 70, T_y = 70$ หมุน $\theta = 85^\circ$ และเพิ่มสัญญาณรบกวน.....	44
4.30 ภาพรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน (ภาพก่อน – หลังทำภาพระดับเทา) ที่ใช้ทำงานทดลอง	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.31 รูปผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพรอยลายเส้นฐาน ปลอกกระสุนปืน	46
4.32 ภาพตัวอย่างรอยลายเส้นฐานที่ถูกเลื่อนไปและการประมาณ ค่าพารามิเตอร์การเลื่อน	47
4.33 รูปผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน	58
4.34 ภาพตัวอย่างการให้การเลื่อน $T_x = 400, T_y = 200$ สัญญาณรบกวน 20, 24.7712, 26.9897 dBm.....	49
4.35 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ	50
4.36 รูปตัวอย่างการหมุนของภาพ $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$	51
4.37 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน	52
4.38 รูปตัวอย่างการหมุนของภาพ $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน 20 dBm.....	53
4.39 รูปตัวอย่างการหมุนของภาพ $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน 24.7712 dBm.....	54
4.40 รูปตัวอย่างการหมุนของภาพ $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน 26.9897 dBm.....	54
4.41 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนแล้วเลื่อนของภาพ	55
4.42 รูปตัวอย่างการเลื่อนภาพไปตำแหน่งต่างๆ แล้ว หมุนของภาพไป $\theta = 60^\circ$	56
4.43 รูปตัวอย่างการเลื่อนภาพไปตำแหน่งต่างๆ แล้ว หมุนของภาพไป $\theta = 60^\circ$	56
4.44 รูปตัวอย่างการเลื่อนแล้วหมุนภาพไป $\theta = 125^\circ$ และเพิ่มสัญญาณรบกวน	58
4.45 ภาพงานทำยปลอกกระสุนปืนที่นำมาลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสทัมพ์ฟังก์ชันเฟส.....	59
4.46 รูปตัวอย่างการลงทะเบียน ภาพรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในการยิงปืนแต่ละครั้ง จะปรากฏตำแหน่งต่างๆ ขึ้นที่ปลอกกระสุนและลูกกระสุนปืน ตำแหน่งเหล่านี้จะเป็นตำแหน่งพิเศษที่เกิดขึ้นเฉพาะปืนแต่ละกระบอกและจะไม่เหมือนกันหากยิงจากปืนคนละกระบอก ผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานพิสูจน์หลักฐานจึงใช้ตำแหน่งพิเศษเหล่านี้ยืนยันได้ว่าปลอกกระสุนปืนหรือลูกกระสุนปืนยิงจากอาวุธปืนกระบอกใด

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาวิธีการศึกษาวิธีวัดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิธีวัดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบไขว้ และวิธีแอลทูนอร์มของเมตริกซ์สหแปรปรวนในการตรวจเปรียบเทียบรอยลายเส้นที่ฐานปลอกกระสุนปืน พบว่า ค่าตัวชี้วัดความเหมือนแต่ละวิธีจะยังมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเลื่อนตำแหน่งและ/หรือเลื่อนการหมุนของกลุ่มภาพที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสอง คณะผู้ทำวิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาอัลกอริทึม ในการปรับตำแหน่งภาพคู่ให้สอดคล้องกันโดยอัตโนมัติก่อนการนำมาเปรียบเทียบกลุ่มภาพรอยลายเส้นที่ฐานปลอกกระสุนปืน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมและทดสอบการลงทะเบียนกับภาพทั่วไป
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมและทดสอบการลงทะเบียนกับภาพงานถ่ายภาพปลอกกระสุนปืน

1.3 แนวทางการดำเนินโครงการ

- 1.3.1 สำรองและศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส
- 1.3.2 ศึกษาออกแบบวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส
- 1.3.3 สร้างโปรแกรมการลงทะเบียนภาพแบบอัตโนมัติ ในการตรวจเปรียบเทียบการลงทะเบียนภาพสำหรับภาพทั่วไปและภาพงานถ่ายภาพปลอกกระสุนปืน
- 1.3.4 วัดประสิทธิภาพในการลงทะเบียนภาพทั้งภาพทั่วไปและภาพงานถ่ายภาพปลอกกระสุนปืน
- 1.3.5 จัดทำรายงานและสรุปผลการทดลอง

1.4 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพิ่มโอกาสในการตรวจเปรียบเทียบงานทำขัปลอกกระสุนปืนด้วยคอมพิวเตอร์ที่เก็บได้จากคดีต่างๆ

1.4.2 ผู้ทำการทดลองได้มีความรู้ในการการทดลองที่พร้อมประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการลงทะเบียนภาพได้เป็นอย่างดี

1.4.3 ได้ผลสำหรับการลงทะเบียนภาพมีค่าความถูกต้องมากและนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์เชิงพาณิชย์มากขึ้น

1.5 แผนดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2551							พ.ศ.2552		
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
1.5.1 สํารวจและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→								
1.5.2 ศึกษาและออกแบบวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส	←	→								
1.5.3 สร้างโปรแกรมการลงทะเบียนภาพแบบอัตโนมัติ				←	→					
1.5.4 พัฒนาโปรแกรมการแปลงรูปในการตรวจเปรียบเทียบงานทำขัปลอกกระสุนปืน						←	→			
1.5.5 ทดสอบและแก้ไขโปรแกรมการลงทะเบียนภาพ								←	→	
1.5.6 จัดทำรายงานและสรุปผลการทดลอง									←	→

1.6 งบประมาณ

1.6.1 ค่าถ่ายเอกสาร 600 บาท

1.6.2 ค่าจัดทำรูปเล่ม 1,400 บาท

1.6.3 รวมทั้งสิ้น 2,000 บาท

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายข้างต้นเป็นตัวเลขโดยประมาณ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ความรู้พื้นฐานการลงทะเบียนภาพ

การลงทะเบียนภาพ (Image Registration) เป็นกระบวนการในการจัดวางภาพตั้งแต่สองภาพขึ้นไปลงบนระนาบเดียวกันอย่างสอดคล้อง เพื่อพิจารณารายละเอียดรวมทั้งตำแหน่งของวัตถุบนภาพทั้งหมดได้ในขณะเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การลงทะเบียนภาพจึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ผลภาพทางการแพทย์เช่น การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อมะเร็งเป็นต้น

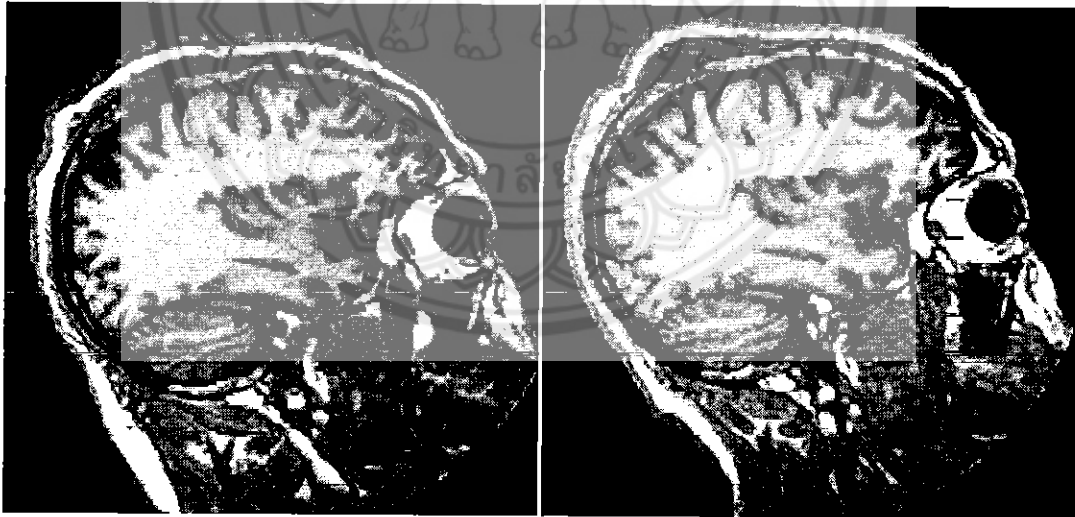
2.1.1 ประเภทของการลงทะเบียนภาพ

2.1.1.1 วัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน

(Intraobject-Intramodality Registration)

เป็นการลงทะเบียนภาพจากวัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน ซึ่งดังตัวอย่างรูป

ที่ 2.1 เป็นภาพถ่ายศีรษะของผู้ป่วยที่ได้จากเครื่อง MRI ที่ถ่ายต่างเวลากัน



รูปที่ 2.1 ภาพ MRI ศีรษะ (ซ้าย) และ ภาพ MRI ศีรษะผู้ป่วย หลังจาก 6 สัปดาห์ (ขวา)

2.1.1.2 วัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน (Intraobject-Intermodality Registration)

เป็นการลงทะเบียนภาพจากภาพถ่ายวัตถุชนิดเดียวกัน แต่ถ่ายภาพต่างวิธีกันซึ่งดังตัวอย่าง เป็นการลงทะเบียนภาพที่ได้จากเครื่อง MRI กับ เครื่อง SPECT แล้วนำทั้งสองภาพมาซ้อนทับกัน



รูปที่ 2.2 ภาพถ่าย MRI และ SPECT

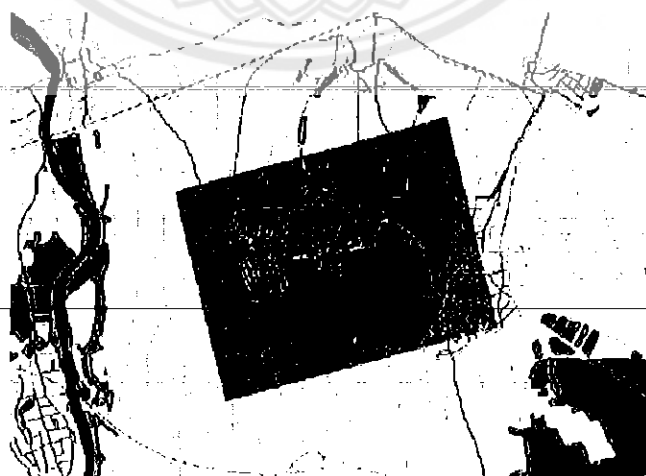
(บนซ้าย) ภาพผลลัพธ์ของการลงทะเบียนภาพ MRI และ SPECT

(บนขวา) ภาพถ่าย MRI ของศีรษะผู้ป่วย

(ล่าง) ภาพถ่าย SPECT ของศีรษะผู้ป่วย

2.1.1.3 วัตถุต่างชนิดกัน (Interobject Registration)

เป็นการลงทะเบียนภาพจากภาพถ่ายวัตถุต่างชนิดกัน และถ่ายภาพต่างวิธีกัน ซึ่งดังตัวอย่าง แสดงภาพถ่ายทางอากาศบนภาพแผนที่

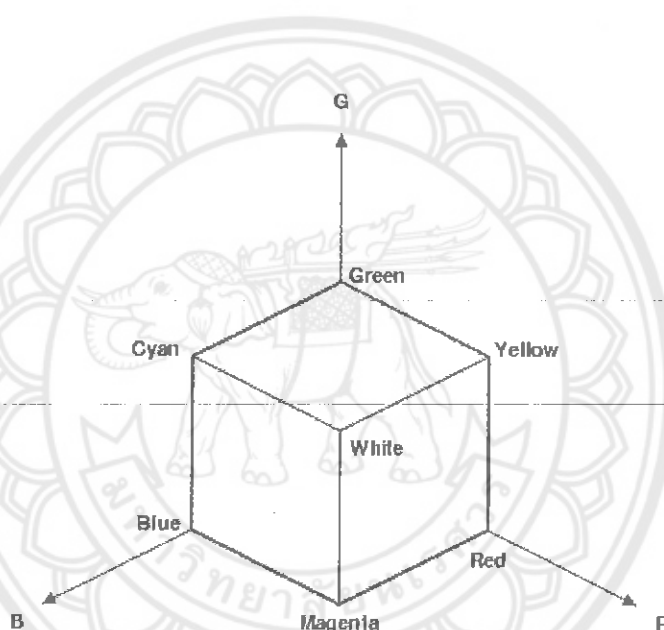


รูปที่ 2.3 ภาพผลลัพธ์ของการลงทะเบียนภาพถ่ายทางอากาศและแผนที่

2.2 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน โดยปกติจะใช้ในจอภาพแบบ CRT และเนื่องจากระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง จึงทำให้ภาพที่ได้ออกมา นั้นมีความสมจริงและยังดูสวยงาม

โมเดลสี หรือ Color Space ประกอบด้วย 3 แม่สีหลัก ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ถ้านำแต่ละแม่สีมาพล็อตกราฟในระดับพิกัด Color Space โดยแต่ละสีมีค่า 0 ถึง 1 (0 แสดงถึงค่าความมืด และ 1 แสดงถึงความสว่าง) จะได้ภาพการผสมสีทางแสงหรือการบวกแม่สีเข้าด้วยกัน (Additive Primary Color) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ภาพการผสมสีทางแสง

2.2.1 พิกเซล (Pixel)

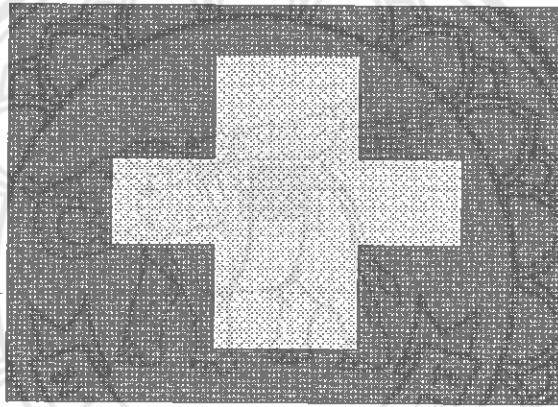
พิกเซล คือ พื้นที่เล็กๆจุดหนึ่งในภาพ โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีค่าตัวเลขกำกับ ซึ่งตัวเลขเหล่านี้จะมาจากค่าของแม่สีสามสี R (สีแดง) G (สีเขียว) B (สีฟ้า) ใช้อธิบายระดับความเข้มของแต่ละเฉดสี หากมีพิกเซลหลาย ๆ จุดมาต่อกันจะกลายเป็นภาพซึ่งมีขนาดจำนวนพิกเซลด้านกว้าง X จำนวนพิกเซลด้านยาว ยกตัวอย่าง เช่น รูปภาพขนาด 800x600 พิกเซล หมายความว่า รูปภาพนี้มี ความกว้าง 800 พิกเซล และมีความยาว 600 พิกเซล เป็นต้น

2.2.2 ระดับเทา (Gray Level)

เป็นค่าซึ่งระบุความสว่างหรือความเข้ม ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-255 (0 คือระดับเข้ม 255 คือระดับสว่าง) รวมทั้งพิกัดแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งใช้ระบุตำแหน่งในแถวลำดับภาพ (Image Array) เช่น จากรูปที่ตัวอย่างที่ 2.5 (ก) และ 2.5 (ข) จุดภาพแนวนอนที่ 3 และแนวตั้งที่ 2 ดังรูปที่ 2.5 (ข) ซึ่งมีค่าระดับเทา 40

วิธีการหาค่าระดับเทา (Gray Level)

$$\text{Gray Level} = \frac{(R+G+B)}{3} \quad (2.1)$$



(ก)

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

(ข)

รูปที่ 2.5 ตำแหน่งในลำดับภาพ

วิธีการหาค่าระดับเทาที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการเฉลี่ยค่าของแม่สีทั้งสาม ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ก็อาจจะมีข้อเสียของสีได้ จึงมีวิธีอีกอย่างหนึ่งซึ่งจะคิดตามความสว่างของแต่ละแม่สี

โดยมีรูปแบบดังสมการ (2.2 - 2.4)

$$R_R = \frac{(R_S + G_S + B_S)}{3} \quad \text{หรือ} \quad R_R = ((0.299 \times R_S) + (0.587 \times G_S) + (0.114 \times B_S)) \quad (2.2)$$

$$G_R = \frac{(R_S + G_S + B_S)}{3} \quad \text{หรือ} \quad G_R = ((0.299 \times R_S) + (0.587 \times G_S) + (0.114 \times B_S)) \quad (2.3)$$

$$B_R = \frac{(R_S + G_S + B_S)}{3} \quad \text{หรือ} \quad B_R = ((0.299 \times R_S) + (0.587 \times G_S) + (0.114 \times B_S)) \quad (2.4)$$

โดยที่

R_R หมายถึง ค่าเอาต์พุต พิกเซล สีแดง

G_R หมายถึง ค่าเอาต์พุต พิกเซล สีเขียว

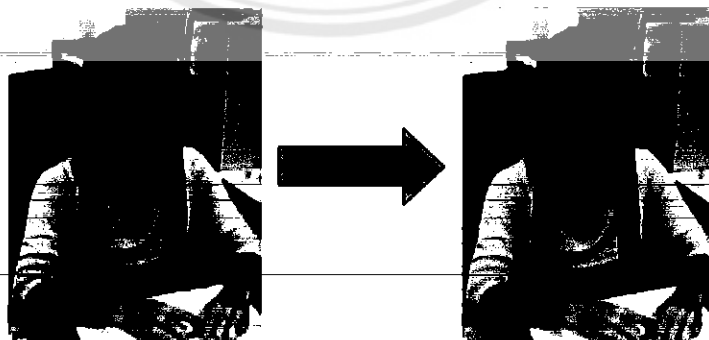
B_R หมายถึง ค่าเอาต์พุต พิกเซล สีน้ำเงิน

R_S หมายถึง ค่าอินพุต พิกเซล สีแดง

G_S หมายถึง ค่าอินพุต พิกเซล สีเขียว

B_S หมายถึง ค่าอินพุต พิกเซล สีน้ำเงิน

จากรูปที่ 2.6 แสดงสำหรับการแปลงภาพระดับสี RGB เป็นภาพระดับเทาแบบทั่วไป



รูปที่ 2.6 การแปลงภาพ RGB เป็นระดับเทา

2.2.3 การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาว - ดำ (Thresholding)

เป็นกระบวนการแปลงภาพสีให้มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับ คือ ขาว และดำ โดยแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพไบนารี (Binary Image) มีกระบวนการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับ (Multilevel Image) ให้เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับ หรือ 1 บิต (bit) คือ 0 และ 1 โดย 0 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีขาว และ 1 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีดำ

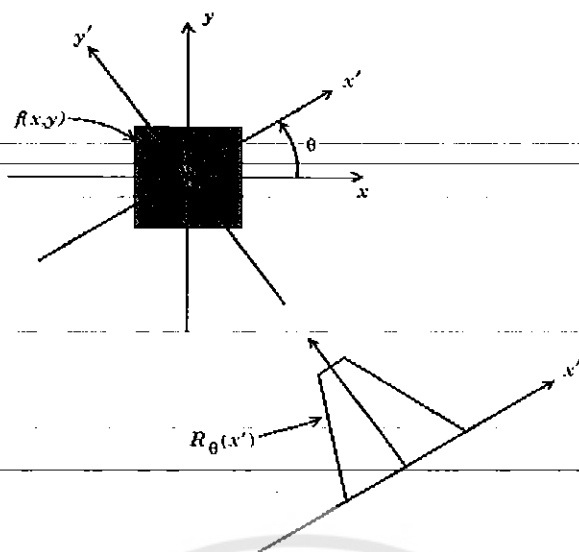
Thresholding Technique คือการพิจารณาจุด พิกเซล ในภาพว่าจุดใดควรจะเป็นจุดขาว หรือจุดใดควรจะเป็นจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 (จุดดำ) โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าของแต่ละพิกเซล ($f(x,y)$) กับค่าคงที่ที่เรียกว่าค่าขีดเริ่ม (Threshold Value) เทคนิคนี้นิยมใช้กันมากในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) ค่า พิกเซล ในภาพที่มีค่าน้อยกว่าค่า Threshold จะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) และถ้าค่าของ พิกเซล ใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มจะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว)

ในการทำภาพ Binary โดยการทำให้ขีดเริ่มให้ได้ภาพดีและคมชัด ต้องเกิดจากการเลือกค่า ขีดเริ่มที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้าเลือกค่าขีดเริ่มไม่เหมาะสม เช่น ค่าขีดเริ่มที่มากหรือน้อยจนเกินไป ภาพที่ได้จะขาดความคมชัดหรืออาจทำให้รายละเอียดของภาพขาดหายไป หรือภาพที่ได้อาจจะมีดเกินไป หรือสว่างเกินไป หรืออาจจะเป็นภาพที่มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้น ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจน

2.3 การแปลงข้อมูลของภาพให้อยู่ในรูปแบบโพล่า (Polar Form)

การแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบโพล่า จะใช้วิธีการแปลงรูปเรขาคณิตแบบ 2 มิติ จะเป็นการเปลี่ยนภาพ-2 มิติ โปรเจกชันลงบนแกน x' ที่ทำมุม θ กับแกน x เดิม ณ ตำแหน่งที่ p ต่างๆ ดังรูปที่ 2.7 จะแสดงการ โปรเจกชันเปลี่ยนแกนภาพ 2 มิติ

$$\mathcal{R}\{p, \theta\} = P(p, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - p) dx dy \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.7 วิธีการแปลงรูปเรดอน

2.4 การแปลงข้อมูลภาพในสองมิติ (Two Dimensional Geometric Transformation)

Transformation เป็นการแปลงข้อมูลภาพซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงสำหรับในสองมิติเท่านั้น การแปลงภาพเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับ Digital Image Processing เนื่องจากเป็นกระบวนการที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ภาพ (Digital Image Analysis)

2.3.1 การแปลงข้อมูลภาพแบบพื้นฐาน

การแปลงข้อมูลภาพพื้นฐาน (Basic Transformation) จะประกอบด้วยข้อมูลหลายชนิดด้วยกันในที่นี่จะนำเสนอ 2 ชนิดคือ

- การเลื่อนภาพ (Translation)

- การหมุนภาพ (Rotation)

2.3.2 การเลื่อนภาพ (Translation)

เป็นการเลื่อนตำแหน่งของภาพตามระยะการจัดทางแนวแกน x (T_x) และตามแนวแกน y (T_y) เมื่อกำหนดให้พิกัดเดิมคือ (x, y) และพิกัดใหม่คือ (x', y') จะได้สมการของการเลื่อนภาพดังนี้คือ

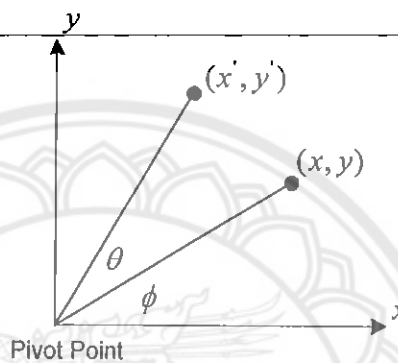
$$\begin{aligned} x' &= x + T_x \\ y' &= y + T_y \end{aligned} \quad (2.6)$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ได้ มีลักษณะดังนี้คือ $P' = P + T$ เมื่อ

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

2.3.3 การหมุนภาพ (Rotation)

เป็นการหมุนตำแหน่งของภาพในระนาบ xy รอบจุด Pivot Point (จุดหมุน)



รูปที่ 2.8 จุด Pivot Point

จากรูปที่ 2.8 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} x &= r \cos(\phi) \\ y &= r \sin(\phi) \end{aligned} \quad (2.8)$$

และ

$$\begin{aligned} x' &= r \cos(\phi + \theta) = r(\cos \phi \cos \theta - \sin \phi \sin \theta) \\ y' &= r \sin(\phi + \theta) = r(\sin \phi \cos \theta + \cos \phi \sin \theta) \end{aligned} \quad (2.9)$$

เพราะฉะนั้นจากสมการที่ (2.8) และ (2.9) จะได้สมการของการหมุนรอบจุด Pivot Point ดังนี้คือ

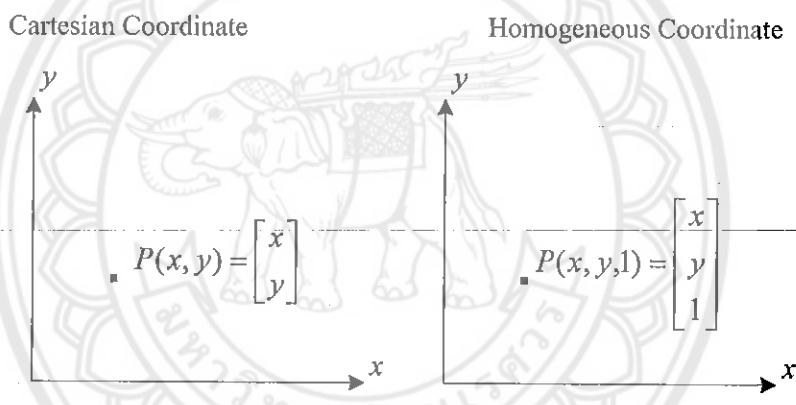
$$\begin{aligned} x' &= x \cos(\theta) - y \sin \theta \\ y' &= x \sin(\theta) + y \cos \theta \end{aligned} \quad (2.10)$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ได้ มีลักษณะดังนี้คือ $P' = R \cdot P$ เมื่อ

$$P = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.3.4 Homogeneous Coordinate

การอ้างอิง โคออร์ดิเนตที่ผ่านมามีลักษณะเป็น 2 ตำแหน่งคือ x และ y ซึ่งเรียกว่า Cartesian Coordinate ข้อเสียของการใช้โคออร์ดิเนตแบบนี้ก็คือ เมื่อมีการแปลงภาพหลาย ๆ อย่างเข้าด้วยกัน จะทำให้ผลลัพธ์ของเมตริกซ์ของการแปลงภาพอยู่ในรูปของการบวกและการคูณกันของเมตริกซ์ ดังนั้นเพื่อให้ผลลัพธ์ของการแปลงภาพอยู่ในรูปของการคูณกันของเมตริกซ์ทั้งหมดจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณจึงกำหนดให้มีโคออร์ดิเนตแบบ Homogeneous ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Cartesian Coordinate และ Homogeneous Coordinate

ดังนั้นเมื่อได้พารามิเตอร์ที่ต้องการแล้ว จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปแทนในสมการ การเลื่อนและการหมุน ในเมตริกซ์ของการแปลงแบบต่าง ๆ จะมีลักษณะเป็นดังสมการ (2.12)

การเลื่อนภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + T_x \\ y + T_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

การหมุนภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์การเลื่อนและการหมุนแล้วสามารถลงทะเบียนภาพได้ดังสมการ (2.14)

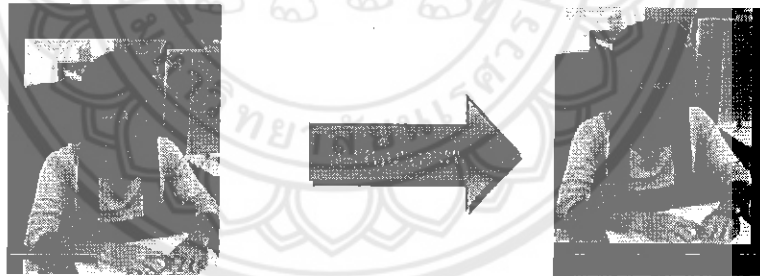
และ(2.15) และแสดงตัวอย่างการเลื่อนและหมุนภาพดังรูปที่ 2.10 และ 2.11

สมการการเลื่อน

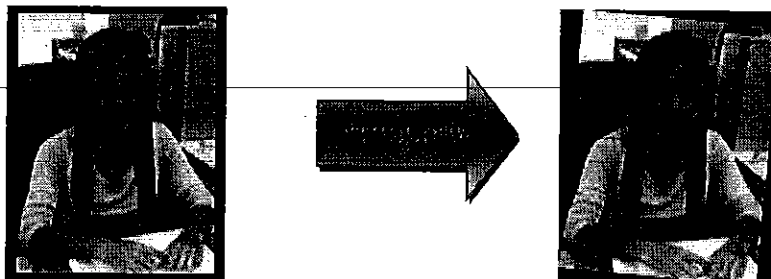
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x+T_x \\ y+T_y \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

สมการการหมุน

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเลื่อนภาพ



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการหมุนภาพ

2.5 การแปลงฟูรีเยร์แบบ 2 มิติ

ในระบบ 2 มิติสำหรับสัญญาณ $h(n, m)$ สำหรับจำนวน N คอลัมน์ และ M แถว สามารถหาค่าการแปลงฟูรีเยร์ของภาพได้ดังสมการ (2.16)

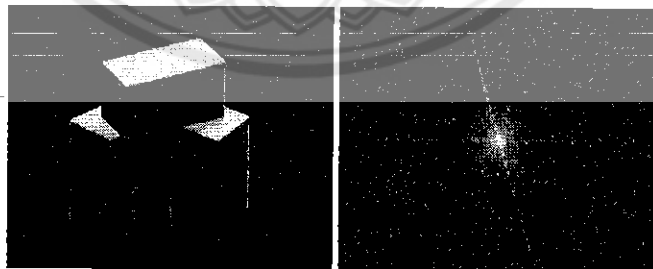
$$\hat{h}(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} e^{-i(w_k n + w_l m)} h(n, m) \quad (2.16)$$

เมื่อกำหนดให้ $\hat{h}(k, l)$ เป็นสมการการแปลงฟูรีเยร์และสามารถหาการแปลงกลับฟูรีเยร์ $h(n, m)$ ดังสมการ (2.17)

$$h(n, m) = \frac{1}{NM} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{M-1} e^{i(w_k n + w_l m)} \hat{h}(k, l) \quad (2.17)$$

โดยที่ $w_k = \frac{2\pi k}{N}$ และ $w_l = \frac{2\pi l}{M}$

ดังรูปที่ 2.12 ด้านซ้ายมือจะเป็นภาพต้นแบบด้านขวามือคือลักษณะแอมพลิจูดของสเปกตรัมของภาพด้านซ้ายมือซึ่งได้จากการแปลงฟูรีเยร์แบบ 2 มิติ



รูปที่ 2.12 แอมพลิจูดของสเปกตรัม

2.6 สหสัมพันธ์เฟส (Phase correlation)

การหาสหสัมพันธ์เฟสนั้นกระบวนการแรกจะต้องหาค่าคอสพาแวนเวอร์สเปกตรัมก่อน ซึ่งขั้นตอนนั้นจะต้องนำภาพระดับเทาที่ได้มาทำการแปลงฟูรีเยร์ 2 มิติซึ่งจากสมการจะสามารถพิสูจน์เพื่อให้ได้ค่าคอสพาแวนเวอร์สเปกตรัมได้

ขั้นตอนแรกนำภาพ 2 ภาพเข้ามา g_a และ g_b หลังจากนั้นคำนวณแบบแยกส่วนด้วยการแปลงฟูรีเยร์ 2 มิติของภาพทั้งสอง

$$G_a = F\{g_a\}, G_b = F\{g_b\} \quad (2.18)$$

คำนวณ คอสพาแวนเวอร์สเปกตรัม โดยการนำค่าสังยุคที่เชิงซ้อน (Complex conjugate) ของทั้งสอง ผลรวมการแปลงฟูรีเยร์ที่ได้ร่วมกันตามคุณสมบัติซึ่งจะเป็นการรวมในภาวะปกติทำได้ผลตามคุณสมบัติดังสมการ (2.19)

จากสมการ

$$R(u, v) = \frac{G_a G_b^*}{|G_a G_b^*|} \quad (2.19)$$

เขียนแทนโดย

$$R(u, v) = \frac{G(u, v) I^*(u, v)}{|G(u, v) I^*(u, v)|} \quad (2.20)$$

จากสมการ

$$I(u, v) = \sum_{n=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{m-1} i(n, m) e^{j(w_u n + w_v m)}$$

$$G(u, v) = \sum_{n=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{m-1} g(n, m) e^{-j(w_u n + w_v m)}$$

$$G^*(u, v) = \sum_{n=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{m-1} g(n, m) e^{j(w_u n + w_v m)}$$

$$G(u, v) = i(n+u_0, m+y_0)$$

$$G(u, v) = \sum_{n=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{m-1} i(n+u_0, m+y_0) e^{-j(w_u n + w_v m)}$$

$$G(u, v) = \sum_{l_1=x_0}^{n-1+x_0} \sum_{l_2=y_0}^{m-1+y_0} i(l_1, l_2) e^{-j(w_u l_1 + w_v l_2)}$$

$$G(u, v) = (e^{jx_0 w_u} + e^{jy_0 w_v}) \sum_{l_1=x_0}^{n-1+x_0} \sum_{l_2=y_0}^{m-1+y_0} i(l_1, l_2) e^{-j(w_u l_1 + w_v l_2)}$$

$$I(u, v) = \sum_{l_1=x_0}^{n-1+x_0} \sum_{l_2=y_0}^{m-1+y_0} i(l_1, l_2) e^{-j(w_u l_1 + w_v l_2)} \tag{2.21}$$

จะได้ $G(u, v) = (e^{jx_0 w_u} + e^{jy_0 w_v}) \cdot I(u, v) \tag{2.22}$

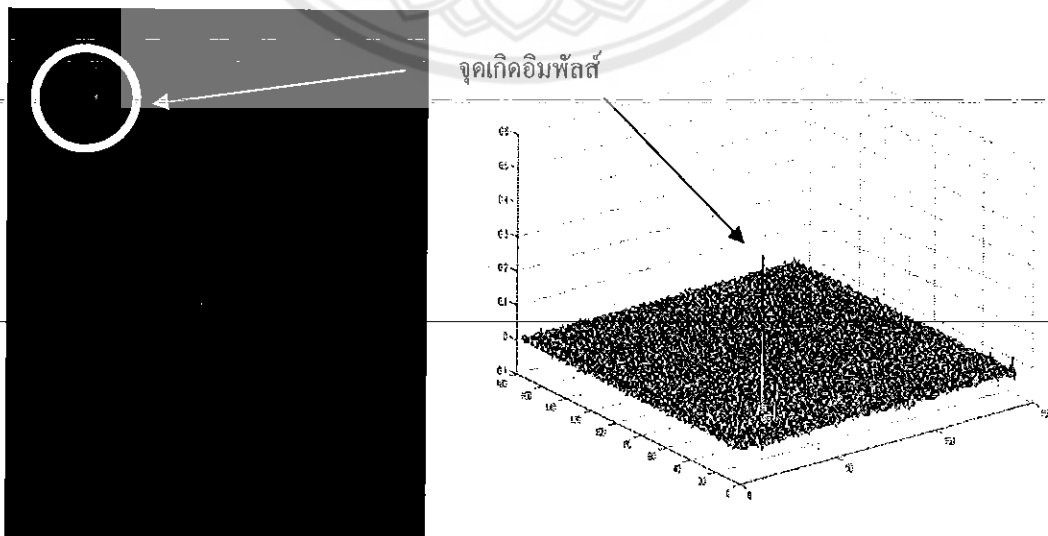
ดังนั้น $\frac{G(u, v) I^*(u, v)}{|G(u, v) \cdot I^*(u, v)|} = \frac{(e^{jx_0 w_u} + e^{jy_0 w_v}) \cdot |I(u, v)|^2}{|G(u, v) \cdot I^*(u, v)|} \tag{2.23}$

โดยที่ $\frac{I^*(u, v)}{|G(u, v) \cdot I^*(u, v)|} = \delta(n + x_0, m + y_0) \tag{2.24}$

จะได้ Cross Power Spectrum = $(e^{jx_0 w_u} + e^{jy_0 w_v}) \delta(n + x_0, m + y_0) \tag{2.25}$

หลังจากนั้นนำคอสพาวเวอร์สเปกตรัม ที่ได้เข้าสู่กระบวนการแปลงอินเวอร์สฟูริเยร์แบบ 2 มิติ และนำค่าเฉพาะค่าจริงมาพิจารณาจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านกระบวนการแปลงกลับแล้วจะเกิดค่าอิมพัลส์ดังสมการ (2.26) ขึ้นซึ่งมีค่าสูงสุดเพียงค่าเดียว

$$r(n, m) = \delta(n + x_0, m + y_0) \tag{2.26}$$



รูปที่ 2.13 ค่าอิมพัลส์ของสหสัมพันธ์เฟส

2.7 สัญญาณรบกวน (noise)

สัญญาณรบกวนในทางการประมวลผลภาพจะมีอยู่ 2 ชนิดคือสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบ

ตายตัว (Uniform noise) และสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบไม่ตายตัว (Gaussian noise)

2.7.1 Uniform noise สร้างโดยฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Uniform ดังสมการ (2.27) และ (2.28)

$$f(x, a, b) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{สำหรับ } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{สำหรับ } x < a \text{ หรือ } x > b \end{cases} \quad (2.27)$$

$$0 \quad \text{สำหรับ } x < a \text{ หรือ } x > b \quad (2.28)$$

ค่า a และ b คือค่าช่วงของสีในช่วง a ถึง b สำหรับแต่ละพิกเซลที่ตำแหน่ง x จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าของฟังก์ชันดังสมการด้านบน โดยจะสังเกตว่า ถ้าอยู่ในช่วง $[a, b]$ แล้วค่าสีแต่ละค่าในช่วงเดียวกันจะให้ผลออกมาเป็นค่าเดียวกัน สัญญาณรบกวนประเภทนี้จึงมีความสม่ำเสมอและมีรูปแบบตายตัว

2.7.2 สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise)

เป็นสัญญาณรบกวนที่มีความสัมพันธ์กับจุดข้างเคียงที่เป็นศูนย์กลางของสัญญาณรบกวนในรูปแบบระฆังคว่ำ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าความเพี้ยนหรือค่าสัญญาณรบกวนต่างๆ ให้กับรูปภาพเพื่อนำมาทดสอบค่าความผิดพลาดของ โปรแกรมว่าสามารถประมาณการความผิดพลาดของการลงทะเบียนภาพว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดในการลงทะเบียนภาพ โดยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนจะมีค่าพลังงานดังสมการ 2.29

$$P = \mu + \sigma^2 \quad (2.29)$$

ซึ่งเขียนในรูปแบบของเดซิเบล (dB) ดังสมการ 2.30 และ 2.31

$$P_{in-dB} = 10 \log_{10} (\mu + \sigma^2) \quad (2.30)$$

$$P_{in-dBm} = (10 \log_{10} (\mu + \sigma^2)) + 30 \quad (2.31)$$

โดยที่ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนและ μ คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนและเมื่อนำค่าสีในพิกเซลที่ตำแหน่งต่างๆ ไปแทนก็จะได้ออกมาดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รูปที่มีสัญญาณรบกวน 16.98 dBm หรือ -13.01 dB

2.8 การวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ

ในการตรวจสอบว่าประมาณการพารามิเตอร์ของการลงทะเบียนภาพที่ได้รับจากอัลกอริทึมว่าถูกต้องหรือไม่ จะวัดค่าเฉลี่ยกำลังสองค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นแบบกับภาพอ้างอิงซึ่งมีนิยามดังสมการ (2.32)

$$MSE = \frac{\sum_n \sum_m |E(m,n)|^2}{\sum_n \sum_m |I(m,n)|^2} \quad (2.32)$$

โดยที่ $I(m,n)$ คือค่าระดับเทาของภาพอ้างอิงขนาด $M \times N$ และ $E(m,n)$ คือค่าความคลาดเคลื่อนระดับเทาระหว่างภาพต้นแบบกับภาพอ้างอิงจากนิยามของ l_2 -Norm สำหรับลำดับ $\{x[n]\}$ สามารถเขียนแทนได้โดยสมการ (2.33)

$$\|x\|_2 = \left(\sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2 \right)^{1/2} \quad (2.33)$$

ดังนั้น

$$\|x\|_2 = \sum_n \sum_m |E(m,n)|^2 \quad (2.34)$$

ค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนการหมุน

$$MSE = \frac{l_2 \text{Norm}(E(m,n))}{l_2 \text{Norm}(I(m,n))} \quad (2.35)$$

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.1 รูปแบบการทดลอง

ในโครงการนี้เป็นศึกษากระบวนการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสทัมพ์ฟังก์เฟส โดยทำการทดสอบการลงทะเบียนภาพกับภาพทั่วไป และทดสอบกับภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืน โดยวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสทัมพ์ฟังก์เฟสนั้นจะกระทำในลักษณะภาพระดับเทา และจะประมาณค่าพารามิเตอร์ในการเลื่อน หลังจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้มาทำการแปลงรูปภาพต้นแบบให้เหมือนกับภาพอ้างอิง ภาพอ้างอิงที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพนั้นจะเป็นภาพต้นแบบที่ผ่านการเลื่อนภาพทั้งแนวตั้งและแนวนอน หมุนภาพมุม $0^\circ - 180^\circ$ และผสมทั้งการเลื่อนภาพและหมุนภาพ ทำการเปรียบเทียบค่าจากผลการเลือกการ Interpolate แบบ Spline, Linear, Nearest, Cubic ทำการวัดและคำนวณหาค่าความผิดพลาดที่ได้จากการลงทะเบียนภาพของภาพทั่วไป และงานท้ายปลอกกระสุนปืน เพื่อเปรียบเทียบผลของการลงทะเบียนภาพ จากนั้นทดสอบการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพสำหรับการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสทัมพ์ฟังก์เฟส

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.3.1 เก็บรวบรวมภาพข้อมูล

3.3.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสทัมพ์ฟังก์เฟส

3.3.3 ทำการศึกษาการสร้างระบบในการจัดเก็บภาพ

3.3.4 จัดสร้างระบบในการจัดเก็บข้อมูลภาพ

3.3.5 สร้างโปรแกรมการหมุนภาพและเลื่อนภาพเพื่อนำไปใช้ในการสร้างภาพอ้างอิงและหมุนหรือเลื่อนภาพกลับ

3.3.6 พัฒนาโปรแกรมการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสทัมพ์ฟังก์เฟส

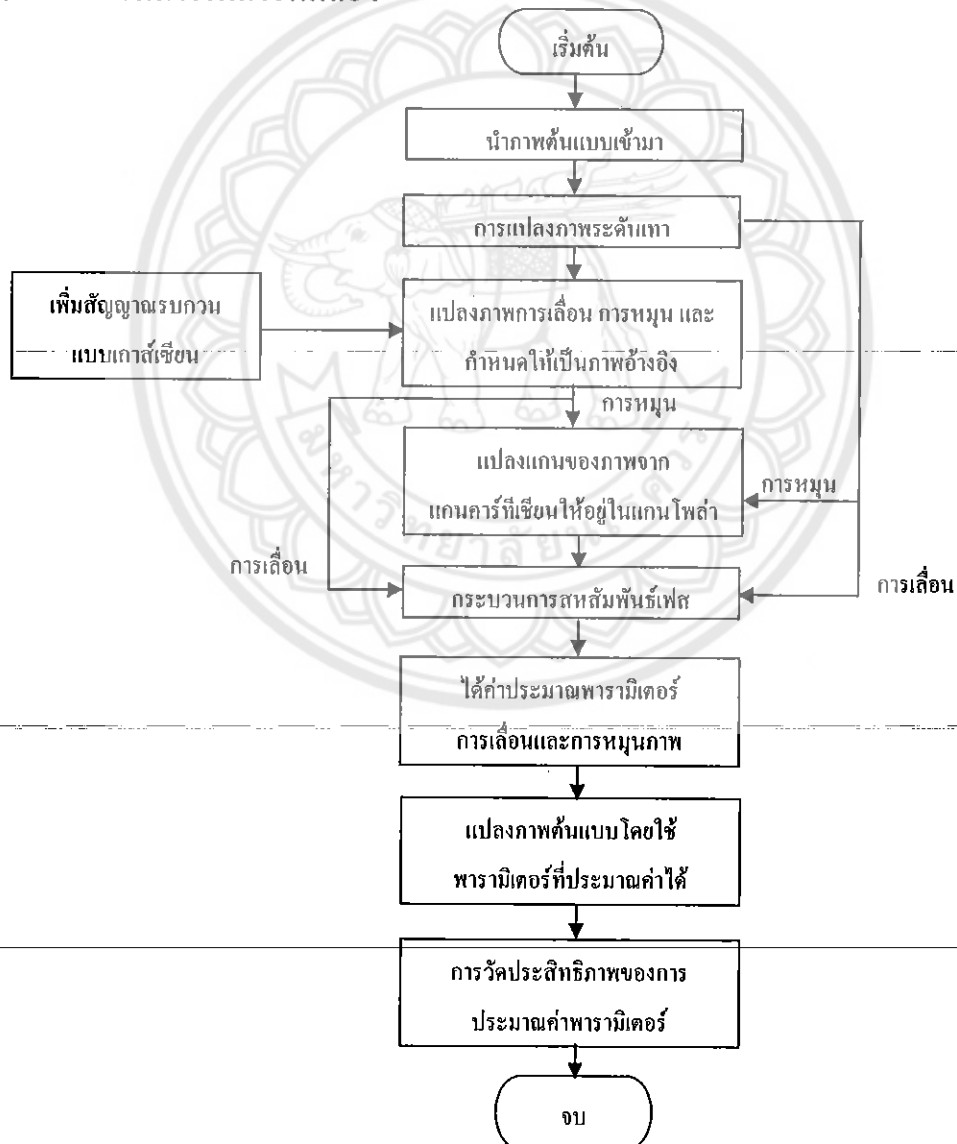
3.3.7 ทำการลงทะเบียนภาพโดยใช้วิธีสทัมพ์ฟังก์เฟสเพื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนภาพและหมุนภาพ

3.3.8 จัดเก็บผลการลงทะเบียนภาพที่ได้และผลค่าประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนการหมุนที่ได้ เพื่อนำไปใช้หาค่าความผิดพลาดโดยการวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพ

3.3.9 ทำการเปรียบเทียบจากค่าพารามิเตอร์จากการลงทะเบียนภาพทั่วไปและภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืน กับภาพที่เพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

3.3.10 สรุปผลและจัดทำรายงาน

3.3 กระบวนการในการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายกระบวนการทดลองของภาพทั่วไปและภาพงานท่ายปลอก
กระสุนปืนได้ดังนี้คือ

1. เริ่มต้นโดยการนำภาพถ่ายทั่วไปและภาพงานท่ายปลอกกระสุนปืนเข้ามาโดยใช้คำสั่ง
imread และกำหนดให้เป็นภาพต้นแบบ
2. ทำการแปลงข้อมูลภาพที่นำเข้ามาให้เป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการ (2.1)
3. นำภาพต้นแบบคือภาพถ่ายทั่วไปและภาพงานท่ายปลอกกระสุนปืน มาทำการเลื่อนภาพ
และหมุนภาพ โดยการประยุกต์การแปลงเชิงเรขาคณิตโดยใช้เมตริกซ์การหมุนในสมการ (2.12)
หรือสมการ (2.13) ที่ใช้ในการเลื่อน จากนั้นจัดเก็บภาพที่ได้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อใช้ในการ
ลงทะเบียนภาพทั่วไปและภาพงานท่ายปลอกกระสุนปืน
4. หากภาพที่อ้างอิงที่กำหนดได้จากขั้นตอนในข้อที่ 3. นั้นมีการแปลงภาพที่มีการหมุนจะ
ทำการแปลงแกนของรูปภาพจากแกนคาร์ทีเซียนให้อยู่ในแกนโพล่า
5. นำภาพต้นแบบและภาพอ้างอิงมาทำการลงทะเบียนภาพ โดยใช้วิธีสหสัมพันธ์เฟส จะ
ทำให้เราได้ค่าประมาณพารามิเตอร์การหมุนและการเลื่อน
6. ทำการแปลงรูปภาพต้นแบบ โดยใช้พารามิเตอร์การเลื่อน และการหมุนภาพที่ประมาณ
ค่าได้
7. ทำการเปรียบเทียบค่าการหมุนและการเลื่อนที่แท้จริงกับค่าประมาณการหมุนและการ
เลื่อนที่ได้จากการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส และหาค่าความผิดพลาดในการ
ลงทะเบียนภาพโดยใช้สมการ (2.35)
8. ทำการวิเคราะห์จากค่าความผิดพลาดและทำการสรุปผล

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายกระบวนการทดลองของภาพทั่วไปและภาพงานท่ายปลอก
กระสุนปืนที่เพิ่มสัญญาณรบกวนได้ดังนี้คือ

1. เริ่มต้น โดยการนำภาพถ่ายทั่วไปและภาพงานท่ายปลอกกระสุนปืนเข้ามาโดยใช้คำสั่ง
imread และกำหนดให้เป็นภาพต้นแบบ
2. ทำการแปลงข้อมูลภาพที่นำเข้ามาให้เป็นภาพระดับเทาโดยใช้สมการ (2.1)
3. ทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน โดยมีค่าพลังงานดังสมการ (2.31)
4. นำภาพต้นแบบคือภาพถ่ายทั่วไปและภาพงานท่ายปลอกกระสุนปืน มาทำการเลื่อนภาพ
และหมุนภาพ โดยการประยุกต์การแปลงเชิงเรขาคณิต โดยใช้เมตริกซ์การหมุนในสมการ (2.12)

หรือสมการ (2.13) ที่ใช้ในการเลื่อน จากนั้นจัดเก็บภาพที่ได้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อใช้ในการ
ลงทะเบียนภาพทั่วไปและภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืน

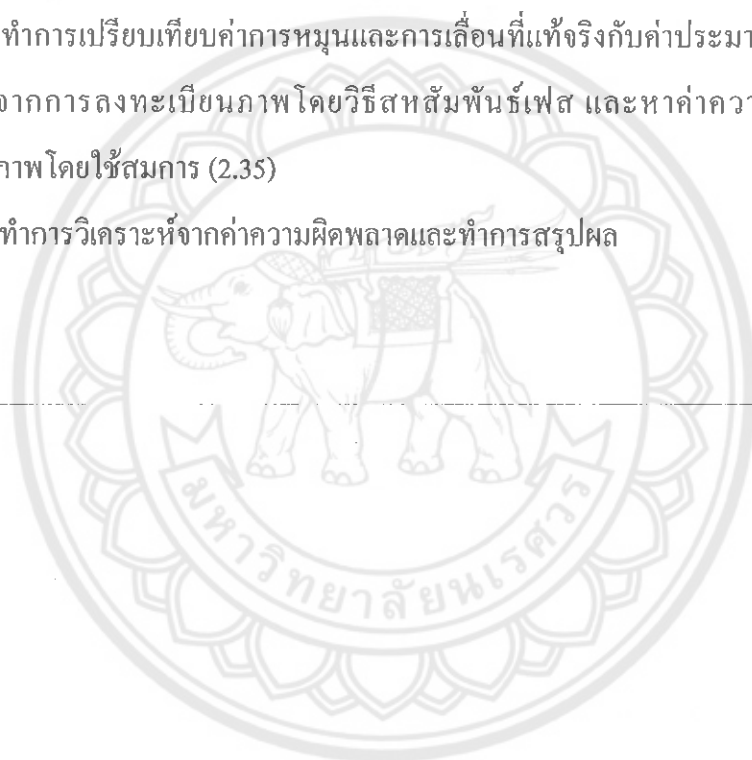
5. หากภาพที่อ้างอิงที่กำหนดได้จากขั้นตอนในข้อที่ 3. นั้นมีการแปลงภาพที่มีการหมุนจะ
ทำการแปลงแกนของรูปภาพจากแกนคาร์ทีเซียนให้อยู่ในแกน โพล่า

6. นำภาพต้นแบบและภาพอ้างอิงมาทำการลงทะเบียนภาพโดยใช้วิธีสหสัมพันธ์เฟส จะ
ทำให้เราได้ค่าประมาณพารามิเตอร์การหมุนและการเลื่อน

7. ทำการแปลงรูปภาพต้นแบบโดยใช้พารามิเตอร์การเลื่อน และการหมุนภาพที่ประมาณ
ค่าได้

8. ทำการเปรียบเทียบค่าการหมุนและการเลื่อนที่แท้จริงกับค่าประมาณการหมุนและการ
เลื่อนที่ได้จากการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส และหาค่าความผิดพลาดในการ
ลงทะเบียนภาพโดยใช้สมการ (2.35)

9. ทำการวิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดและทำการสรุปผล



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการเลื่อนภาพ พารามิเตอร์ของการหมุนภาพ โดยภาพที่ใช้ในการทดลองจะใช้ทั้งภาพทั่วไปและภาพรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน โดยใช้กระบวนการสหสัมพันธ์เฟส การแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างภาพอ้างอิงและภาพที่ได้จากการแปลงรูปโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่หามาได้ และจากนั้นจะใช้ตัวชี้วัดนอร์มแอลสอง ในการวัดค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าพารามิเตอร์

ต่อมาจะทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนในภาพอ้างอิงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะเพิ่มสัญญาณรบกวนทั้งภาพทั่วไปและภาพรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน

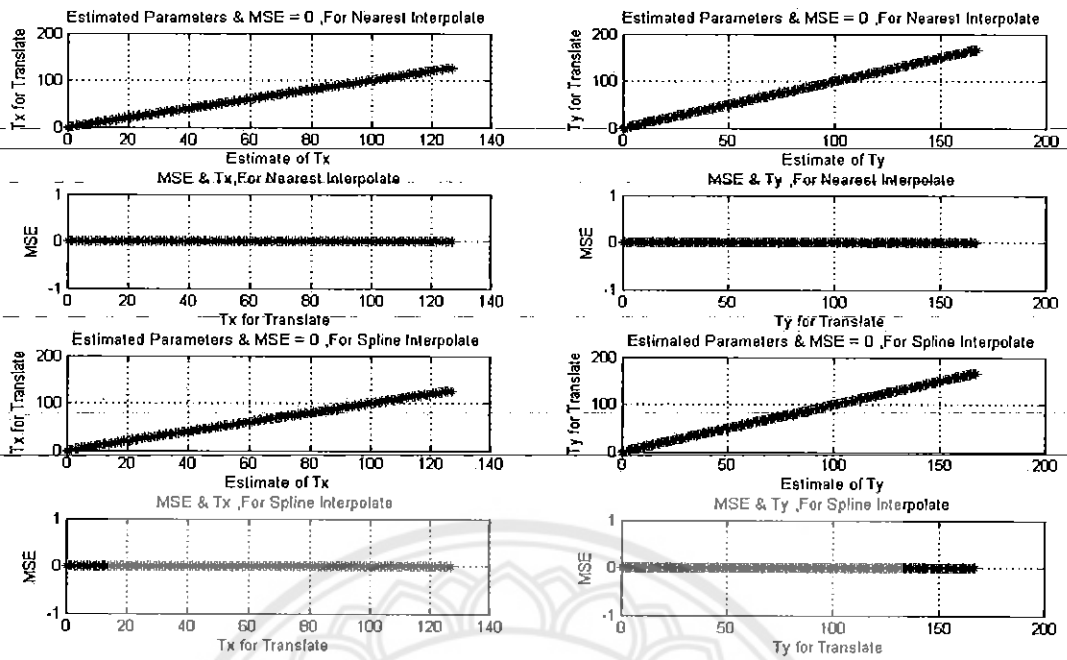
4.1 ผลการทดลองสำหรับภาพทั่วไป

ภาพที่ใช้ทำการทดลองจะเป็นภาพระดับเทาขนาด 138x193 พิกเซล และ 194x209 พิกเซล

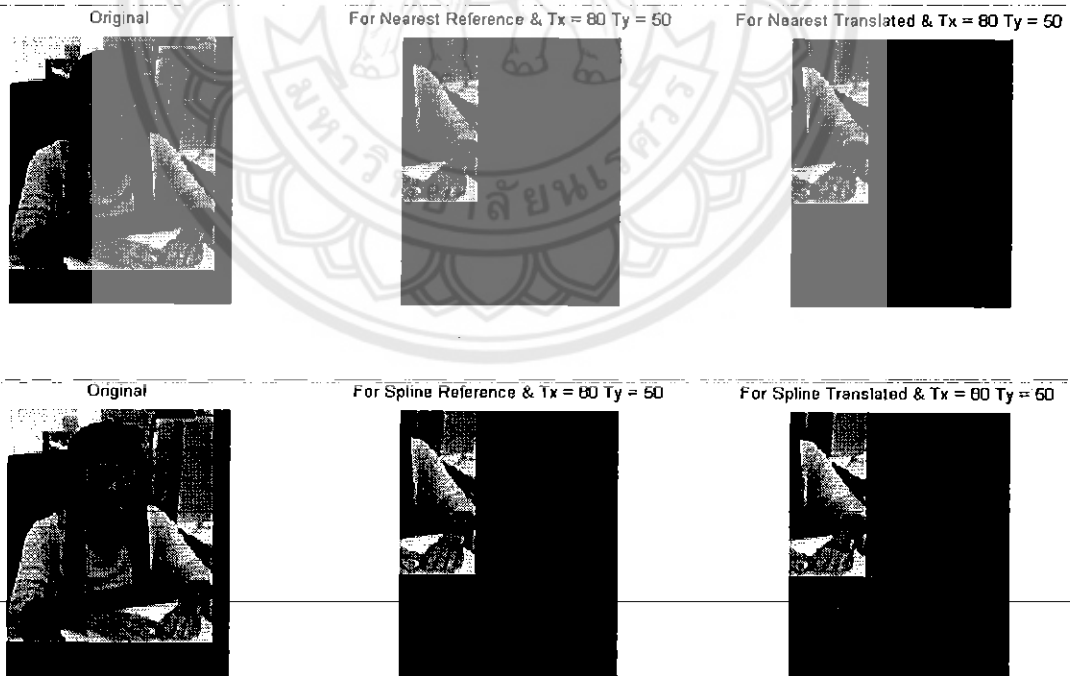


รูปที่ 4.1 ภาพทั่วไปที่ใช้ทำงานทดลองการเลื่อนภาพและหมุนภาพ

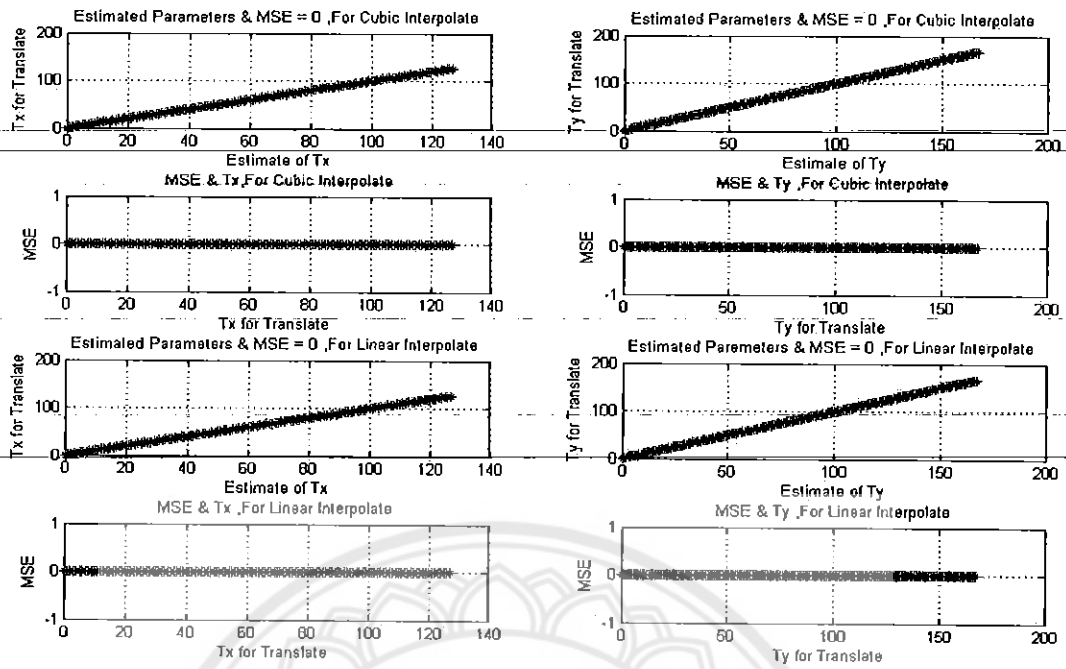
กรณีทีหนึ่ง เป็นการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการเลื่อนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.1 ซ้าย) ไปทางแกน x และ y จากนั้นกำหนดภาพที่ถูกเลื่อนเป็นภาพอ้างอิงเพื่อที่จะนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพต้นแบบ



รูปที่ 4.2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ ในรูปแบบการ Interpolate แบบ Nearest และ Spline



รูปที่ 4.3 ผลการทดลอง พารามิเตอร์การเลื่อน $T_x = 80, T_y = 50$ ในรูปการ Interpolate แบบ Nearest และ Spline



รูปที่ 4.4 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนในรูปแบบการ Interpolate แบบ Cubic และ Linear



รูปที่ 4.5 ผลการทดลองพารามิเตอร์การเลื่อน $T_x = 80, T_y = 50$ ในรูปการ Interpolate แบบ Cubic และ Nearest

ตารางที่ 4.1 ค่าสูงสุดที่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนได้และค่าความผิดพลาด

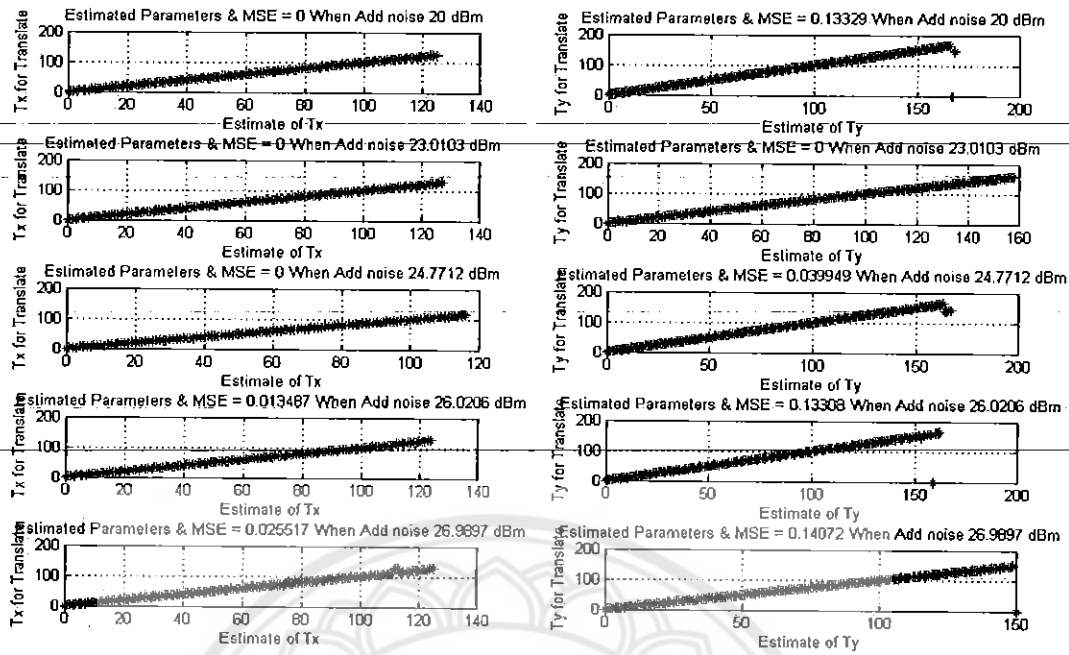
รูปแบบการ Interpolate	ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน x	ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน y	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า (MSE) ของ T_x	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า (MSE) ของ T_y
	(Max T_x)	(Max T_y)		
Cubic	127	167	0	0
Nearest	127	167	0	0
Linear	127	167	0	0
Spline	127	167	0	0

รูปที่ 4.2, รูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.1 แสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส เมื่อภาพอ้างอิงจะเป็นภาพที่ถูกเลื่อนไปทางแกน x และแกน y โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพที่แท้จริง ค่าประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนที่ประมาณได้จากวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ค่าความผิดพลาด (MSE) และค่าสูงสุดที่ประมาณได้ ซึ่งค่าที่แสดงจะแสดงตามรูปแบบของการ Interpolate ด้วย

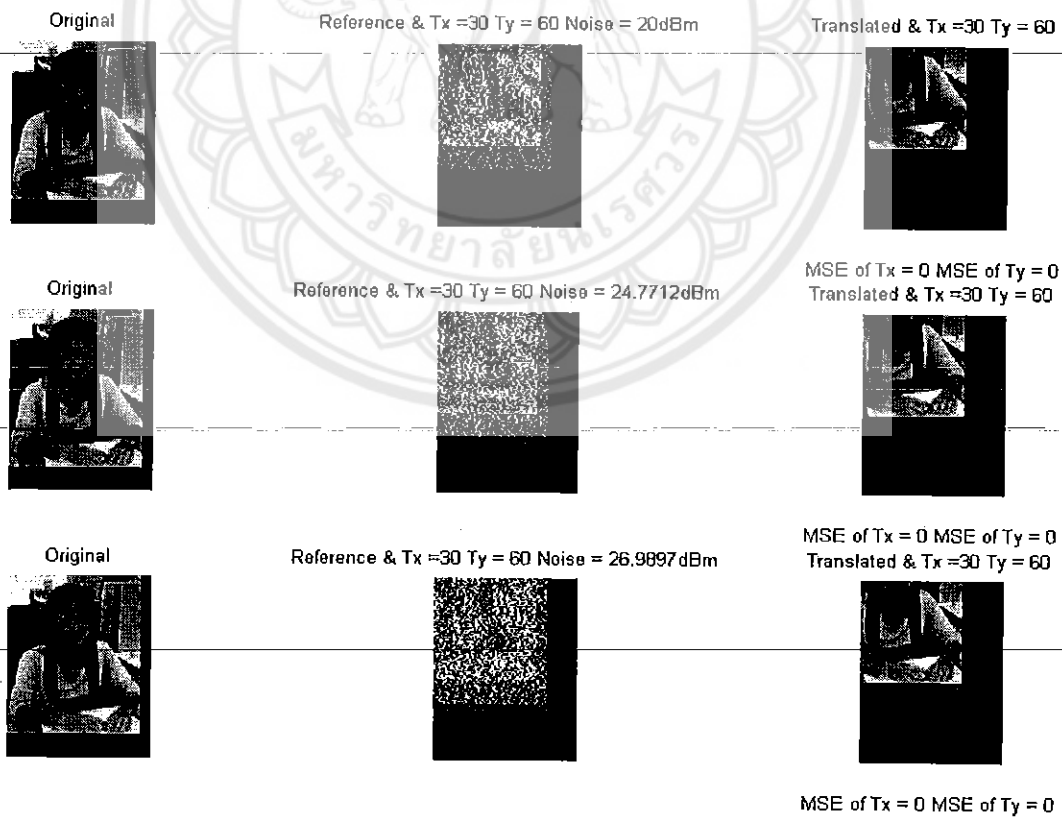
รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างภาพที่ทำการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส เมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกเลื่อน และใช้รูปแบบกระบวนการ Interpolate แตกต่างกันไป ซึ่งรูปแบบการ Interpolate นั้นไม่มีผลต่อการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนเนื่องจาก ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนได้เท่ากัน

ม/ร.
ศ/6847
2551

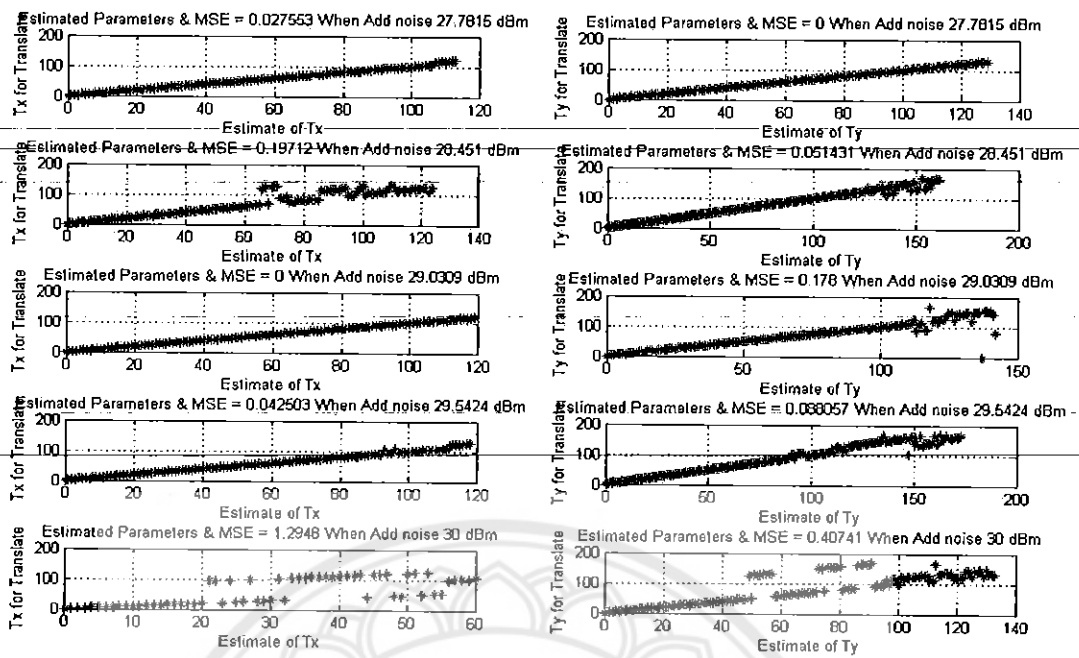
กรณีที่สอง เป็นการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการเลื่อนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.1 ซ้าย) ไปทางแกน x และ y แล้วเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปซึ่งสัญญาณรบกวนที่เพิ่มนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ 20 – 30 dBm จากนั้นกำหนดภาพดังกล่าวให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพต้นแบบ โดยใช้รูปแบบการ Interpolate แบบ Linear



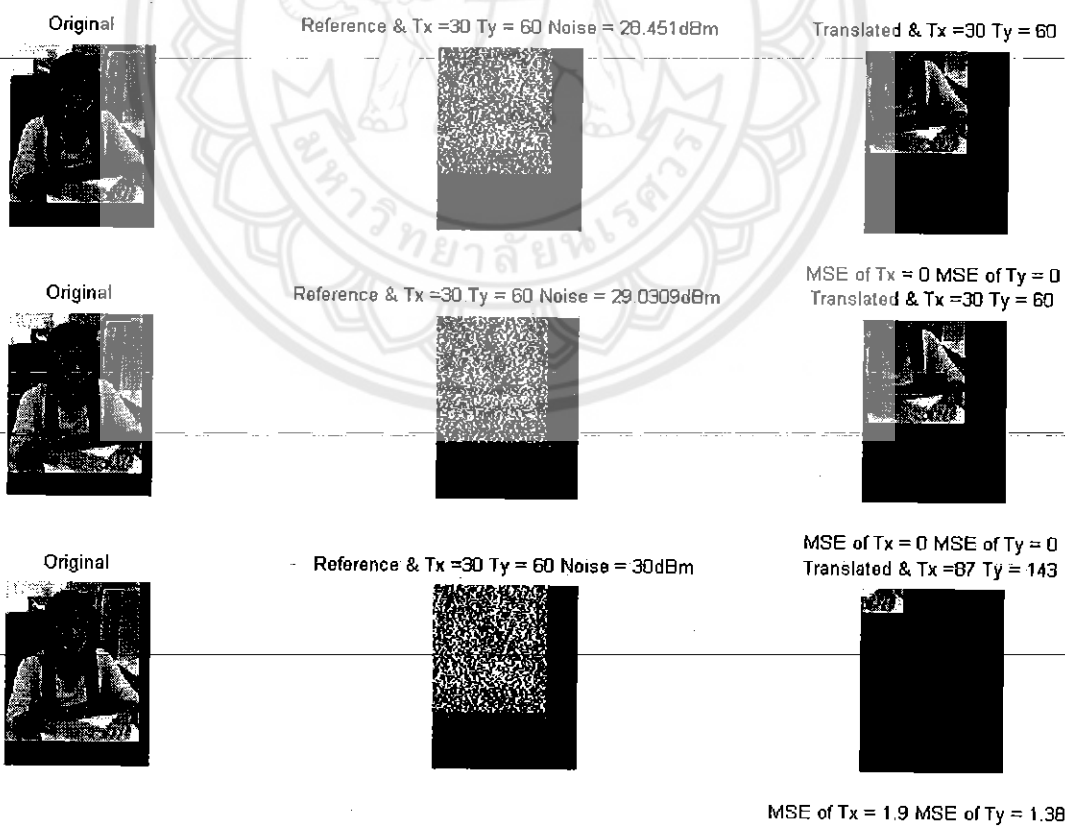
รูปที่ 4.6 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อน เพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 20 – 26.98 dBm



รูปที่ 4.7 การทดลองพารามิเตอร์การเลื่อน $T_x = 30, T_y = 60$ สัญญาณรบกวน 20, 24.77, 26.98 dBm



รูปที่ 4.8 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเคลื่อน เพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 27.78 – 30 dBm



รูปที่ 4.9 การทดลองพารามิเตอร์การเคลื่อน $T_x = 30, T_y = 60$ สัญญาณรบกวน 28.45, 29.03, 30 dBm

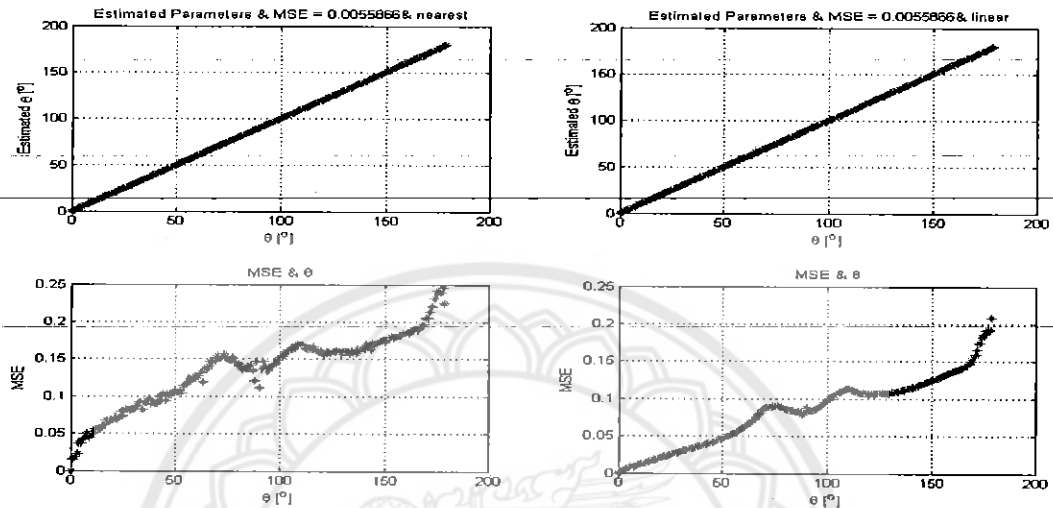
ตารางที่ 4.2 ค่าสูงสุดที่สามารถประมาณได้และค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

Gaussian noise in dBm.	ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน x (Max T_x)	ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน y (Max T_y)	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า(MSE) ของ T_x	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า(MSE) ของ T_y
20	125	167	0	0.14
23.01	125	158	0	0
24.77	116	167	0	0.04
26.02	124	162	0.02	0.14
26.98	125	150	0.03	0.14
27.78	113	130	0.03	0
28.45	124	161	0.20	0.06
29.03	119	142	0	0.18
29.54	118	163	0.04	0.09
30	60	133	0.30	0.41

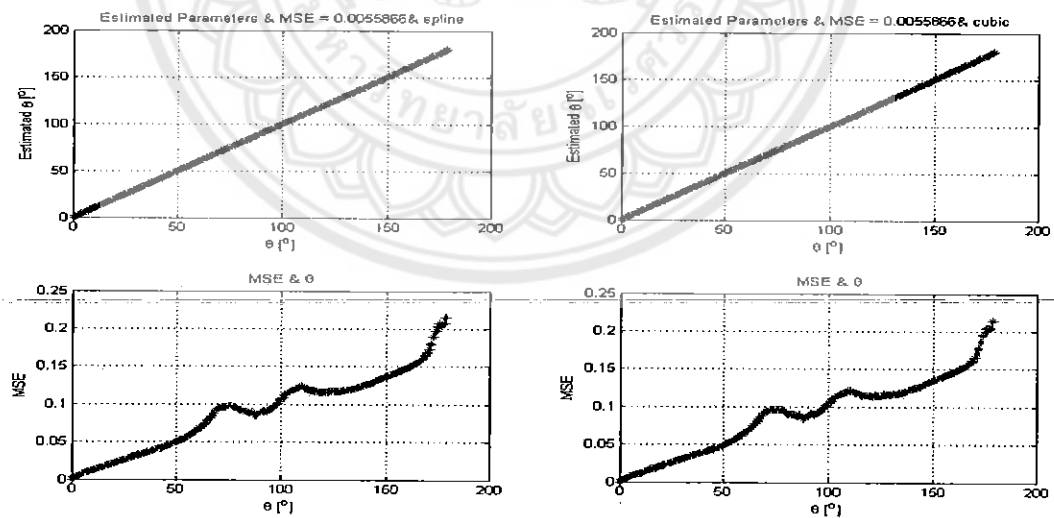
รูปที่ 4.6, รูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.2 แสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงจะเป็นภาพที่ถูกเลื่อนไปทางแกน x และแกน y แล้วเพิ่มสัญญาณรบกวนมากขึ้นเรื่อยๆ โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพที่แท้จริง ค่าประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนที่ประมาณได้จากวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ค่าความผิดพลาด (MSE) และค่าสูงสุดที่ประมาณได้ โดยรูปแบบการ Interpolate ที่ใช้นั้นจะรูปแบบการ Interpolate แบบ Linear เท่านั้นเนื่องจากผลการทดลองที่ผ่านมาในกรณีที่หนึ่งนั้น ผลของการ Interpolate ไม่มีผลมากนักต่อการลงทะเบียนภาพ

รูปที่ 4.7, รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างภาพที่ทำการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกเลื่อนในแกน x โดย $T_x = 30$ และเลื่อนในแกน y โดย $T_y = 60$ และมีสัญญาณรบกวนซึ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะพบว่าเมื่อสัญญาณรบกวนเพิ่มสูงขึ้น ภาพผลการลงทะเบียนที่ได้ไม่ตรงกับภาพอ้างอิงที่มาลงทะเบียนภาพ

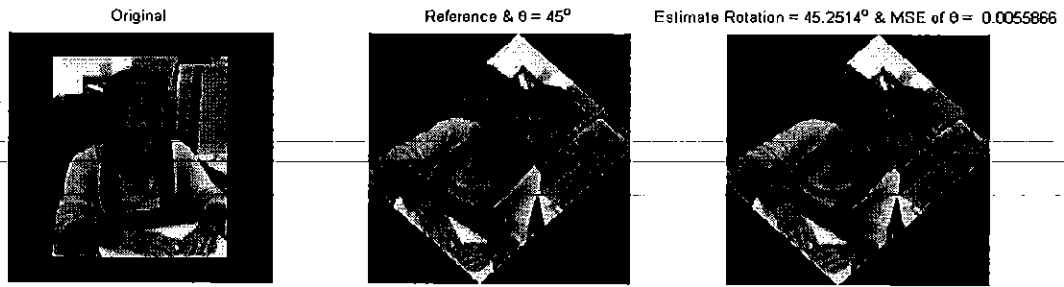
กรณีี่สาม เป็นการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการ หมุนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.1 ขวา) เป็นมุมต่างๆ โดยจะเพิ่มมุมตั้งแต่ 0° - 179° จากนั้นกำหนดภาพ ดังกล่าวให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสลับพื้นที่เฟสกับภาพต้นแบบ



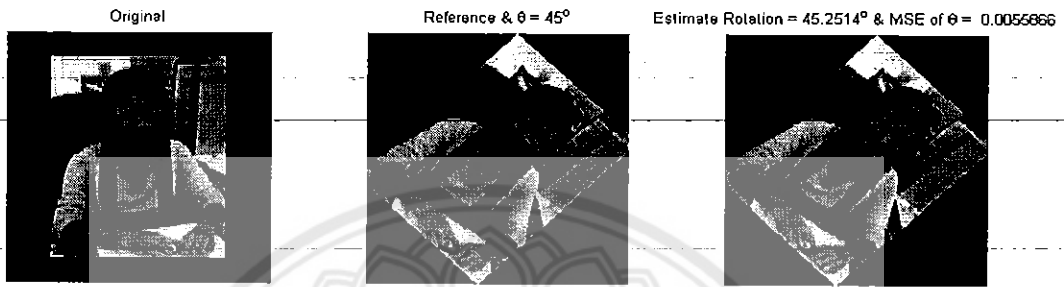
รูปที่ 4.10 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ ในรูปแบบการ Interpolate แบบ Nearest และ Linear



รูปที่ 4.11 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ รูปแบบการ Interpolate แบบ Spline และ Cubic

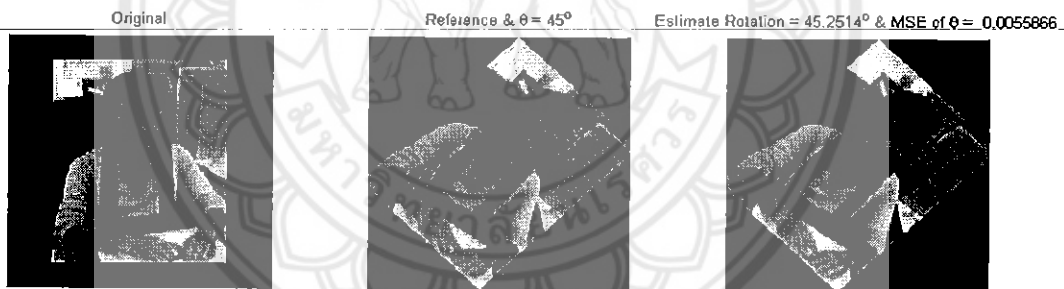


For Cubic Interpolate

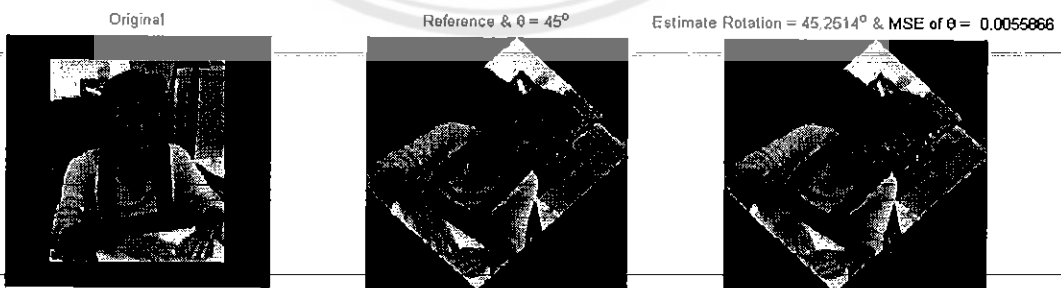


For Nearest Interpolate

รูปที่ 4.12 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 45^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ Nearest และ Cubic

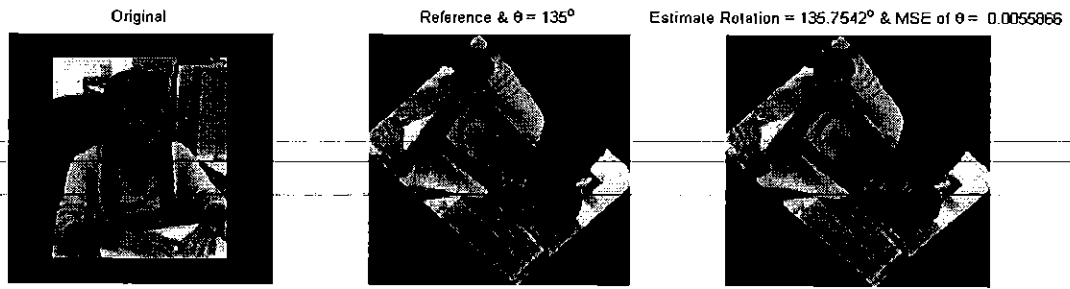


For Linear Interpolate

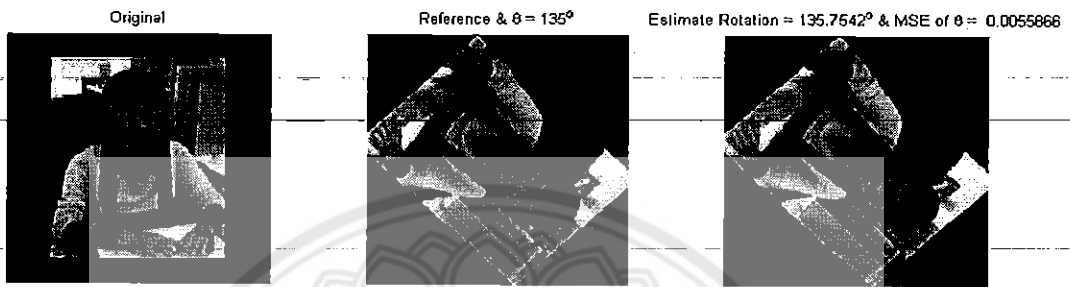


For Spline Interpolate

รูปที่ 4.13 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 45^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ Linear และ Spline



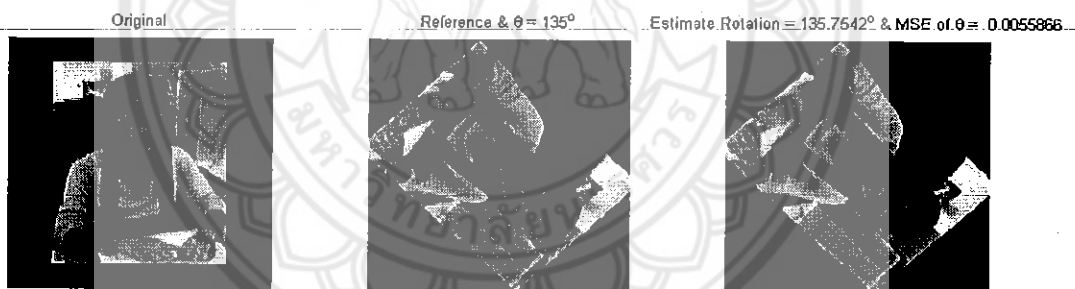
For Cubic Interpolate



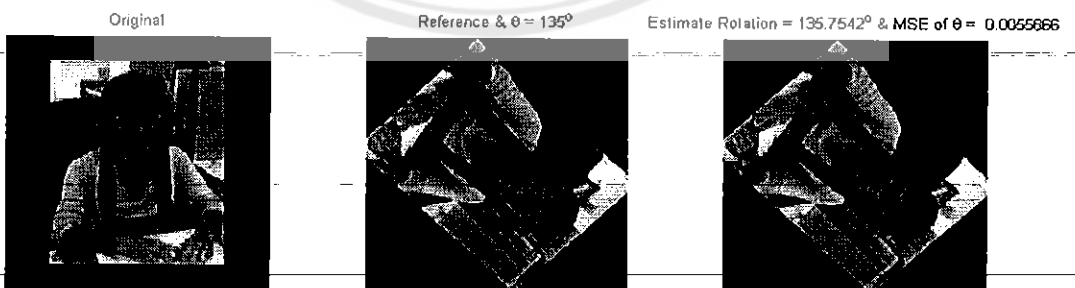
For Nearest Interpolate

รูปที่ 4.14 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 135^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ

Nearest และ Cubic



For Linear Interpolate



For Spline Interpolate

รูปที่ 4.15 ผลตัวอย่างการทดลองให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 135^\circ$ ในรูปการ Interpolate แบบ

Linear และ Spline

ตารางที่ 4.3 ค่ามุมต่างๆ ของตัวแปรจริง ค่าประมาณ และ MSE

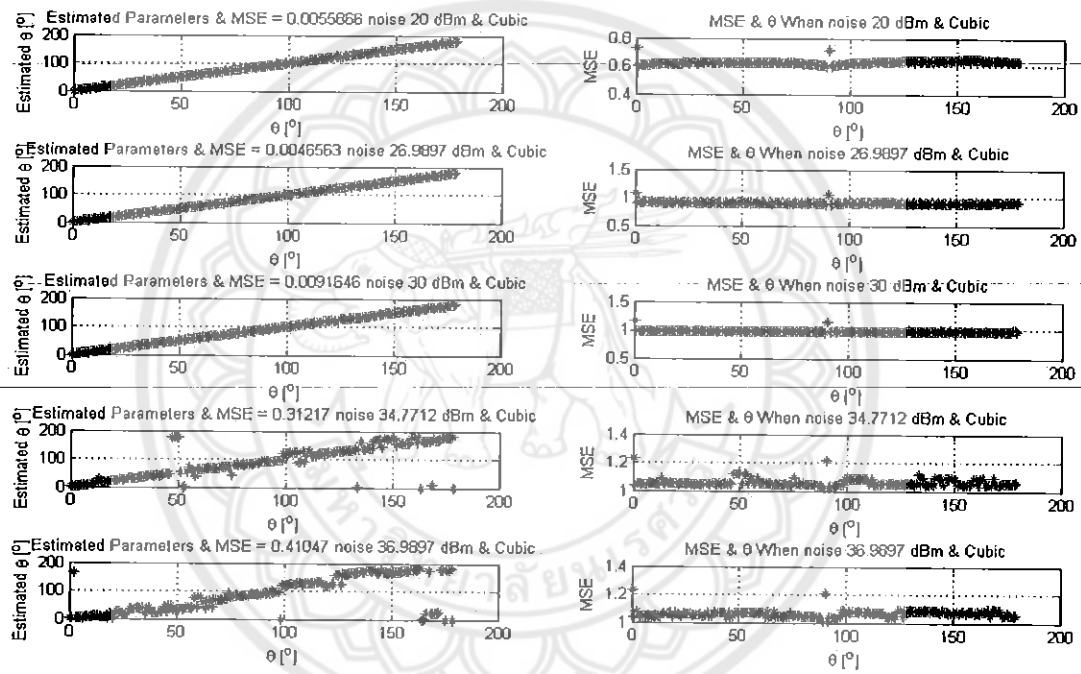
ตัวแปร θ [°]จริง	Spline interpolate		Cubic interpolate		Nearest interpolate		Linear interpolate	
	ค่าประมาณ θ [°]	MSE of Image	ค่าประมาณ θ [°]	MSE of Image	ค่าประมาณ θ [°]	MSE of Image	ค่าประมาณ θ [°]	MSE of Image
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10.06	0.02	10.06	0.02	10.06	0.05	10.06	0.02
20	20.12	0.02	20.12	0.02	20.12	0.07	20.12	0.02
30	30.17	0.03	30.17	0.03	30.17	0.08	30.17	0.03
40	40.23	0.04	40.23	0.04	40.23	0.09	40.23	0.04
50	50.28	0.05	50.28	0.05	50.28	0.11	50.28	0.05
60	60.33	0.06	60.33	0.06	60.33	0.12	60.33	0.06
70	70.39	0.09	70.39	0.09	70.39	0.15	70.39	0.08
80	80.44	0.09	80.44	0.09	80.44	0.14	80.44	0.08
90	90.5	0.08	90.5	0.08	90.5	0.11	90.5	0.08
100	100.55	0.11	100.56	0.11	100.56	0.16	100.56	0.09
110	110.61	0.12	110.61	0.12	110.61	0.16	110.61	0.12
120	120.67	0.11	120.67	0.11	120.67	0.15	120.67	0.11
130	130.72	0.12	130.72	0.12	130.73	0.17	130.72	0.10
140	140.78	0.12	140.78	0.12	140.78	0.16	140.78	0.11
150	150.83	0.13	150.83	0.13	150.83	0.17	150.83	0.12
160	160.89	0.14	160.89	0.14	160.89	0.18	160.89	0.13
170	170.94	0.17	170.95	0.17	170.95	0.21	170.95	0.15
179	180	0.22	180	0.21	180	0.23	180	0.21

รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส เมื่อภาพอ้างอิงถูกหมุนไป 0° - 179° โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพที่แท้จริง ค่าประมาณพารามิเตอร์การหมุนที่ประมาณได้จากวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ค่าความผิดพลาดซึ่งแต่ละรูปแบบการ Interpolate จะพบได้ค่าความผิดพลาด แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 4.3

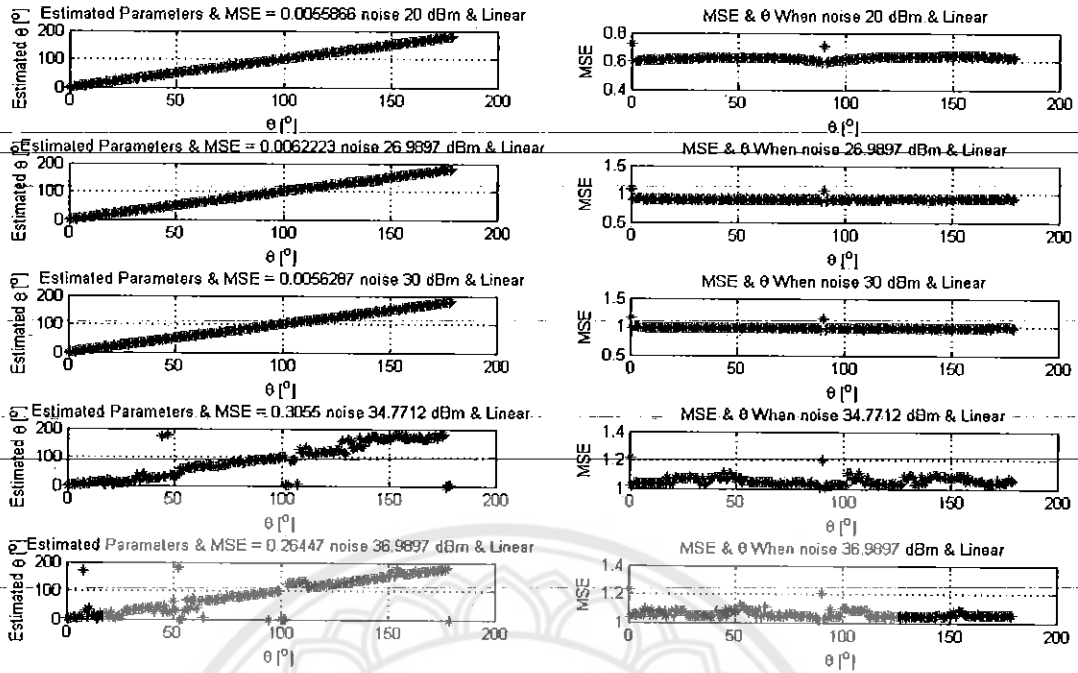
รูปที่ 4.12 – 4.15 แสดงตัวอย่างการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกหมุนไป 45° และ 135° จะแสดงรูปแบบการ Interpolate ที่แตกต่างกันไป ภาพผลการ

ลงทะเบียนที่ได้นั้นถูกต้องตรงกับภาพอ้างอิง แม้จะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นแต่น้อยมากสามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

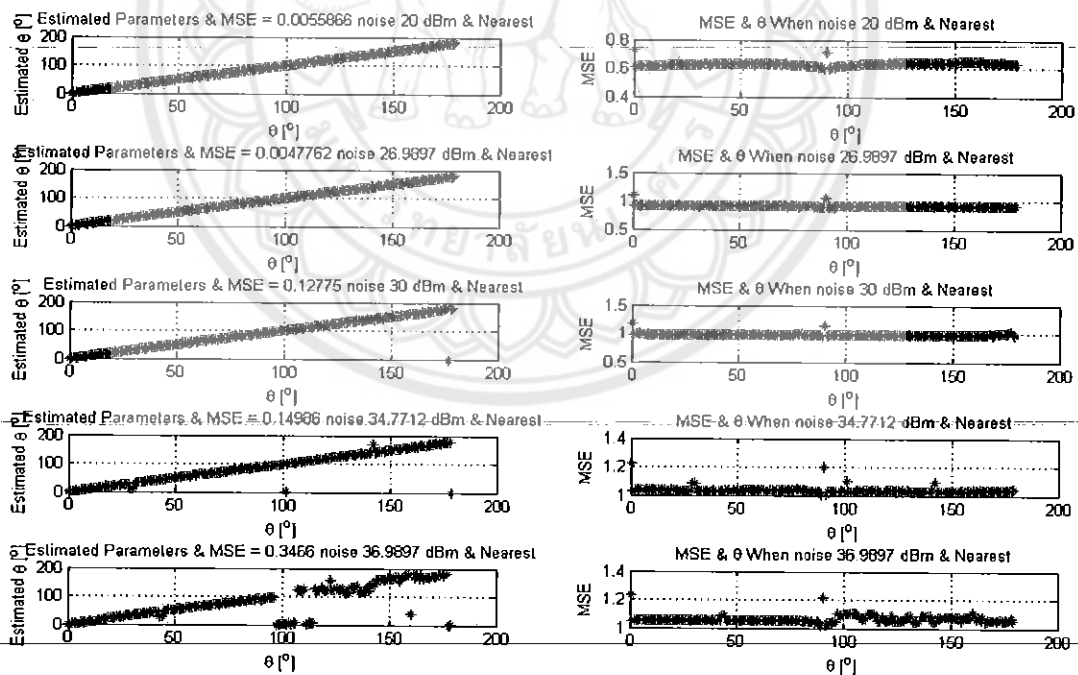
กรณีที่ดี เป็นการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการหมุนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.1 ขวา) เป็นมุมต่างๆ โดยจะเพิ่มมุมตั้งแต่ 0°-180° แล้วเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปซึ่งสัญญาณรบกวนที่เพิ่มนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ 20 – 30 dBm จากนั้นกำหนดภาพดังกล่าวให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพต้นแบบ



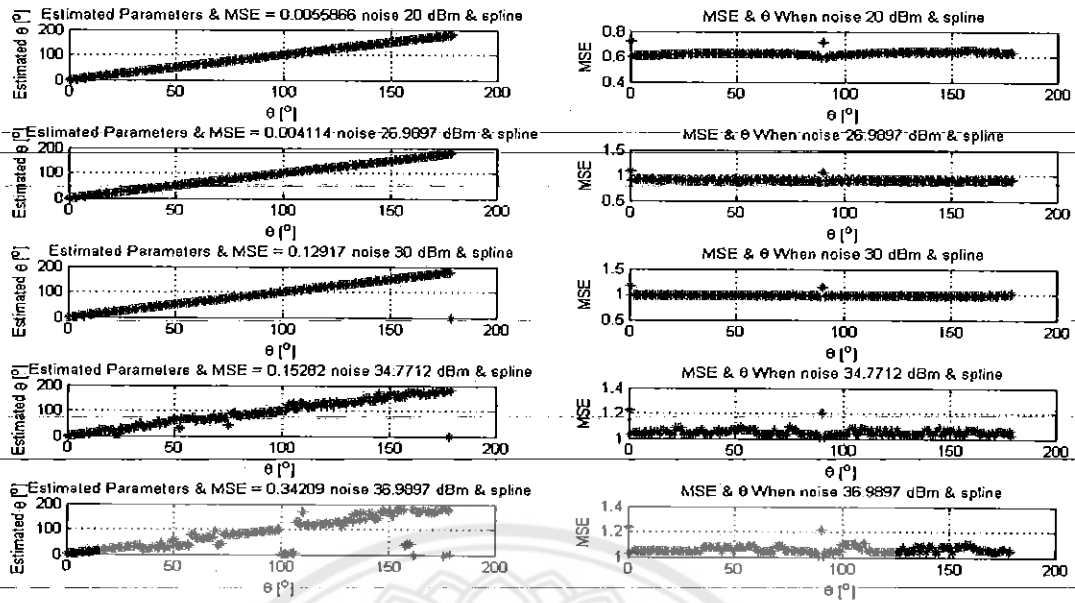
รูปที่ 4.16 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุน เพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 20 –36.98 dBm



รูปที่ 4.17 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุน เพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 20 – 36.98 dBm



รูปที่ 4.18 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุน เพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 20 – 36.98 dBm

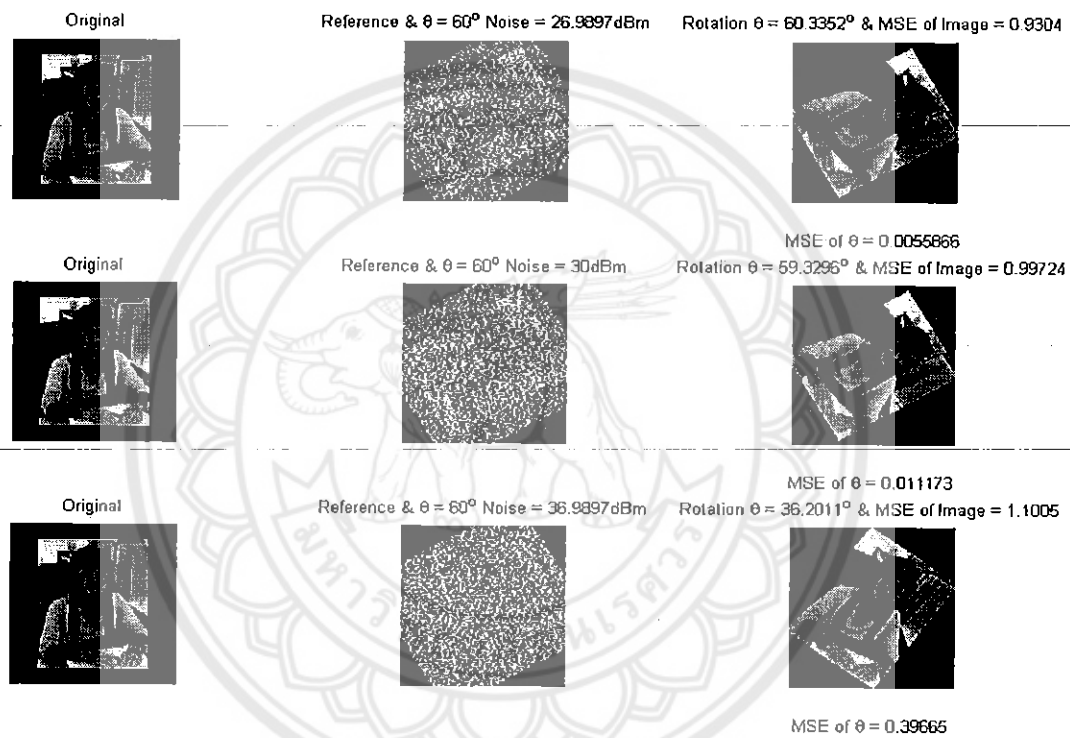


รูปที่ 4.19 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนเพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 20 – 36.98 dBm

ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

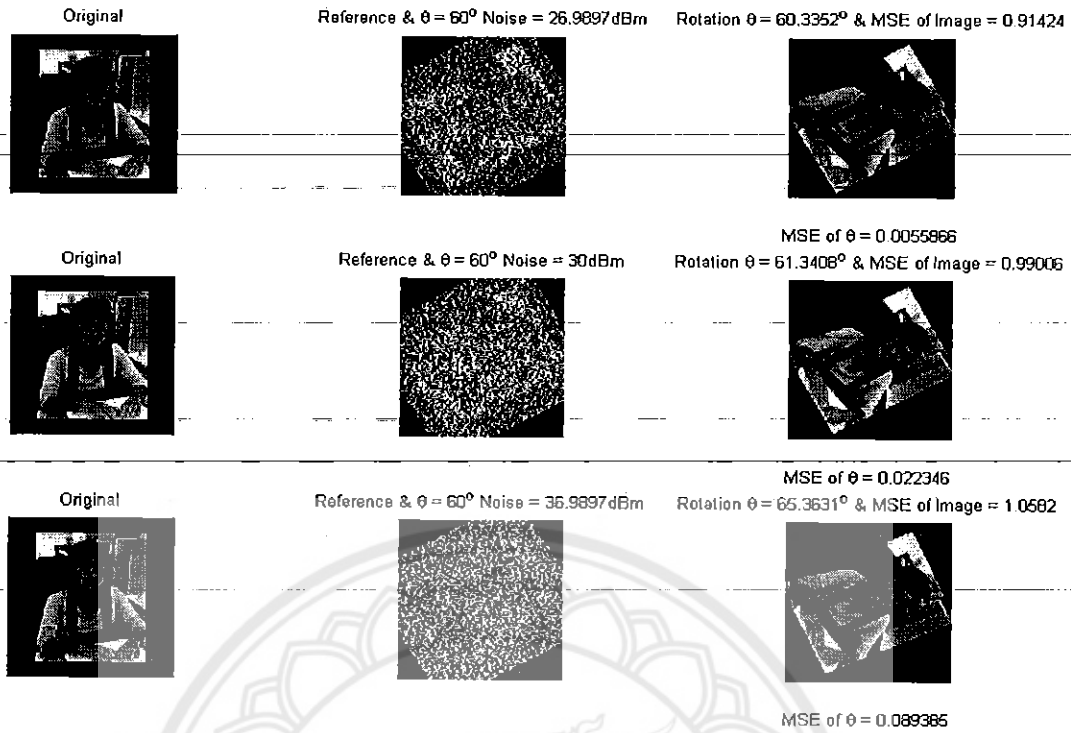
Gaussian Noise in dBm.	Type of interpolate			
	Cubic	Linear	Nearest	Spline
	MSE of θ	MSE of θ	MSE of θ	MSE of θ
20.00	0.01	0.01	0.01	0.01
23.01	0.01	0.01	0.01	0.01
24.77	0.01	0.01	0.00	0.01
26.02	0.01	0.01	0.01	0.01
26.99	0.00	0.01	0.00	0.00
27.78	0.01	0.01	0.13	0.01
28.45	0.01	0.01	0.01	0.01
29.03	0.13	0.01	0.01	0.01
29.54	0.00	0.01	0.01	0.01
30.00	0.01	0.01	0.13	0.13
33.01	0.37	0.25	0.02	0.28
34.77	0.31	0.31	0.15	0.15
36.02	0.42	0.31	0.05	0.40
36.99	0.41	0.26	0.35	0.34

รูปที่ 4.16 – 4.19 แสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงจะเป็นภาพที่ถูกหมุนไป 0° – 180° โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพที่แท้จริง แล้วเพิ่มสัญญาณรบกวนมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ 20 – 36.98 dBm โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพที่แท้จริง ค่าประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนที่ประมาณได้จากวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนั้นจะแตกต่างกันไปตามรูปแบบการ Interpolate ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.4

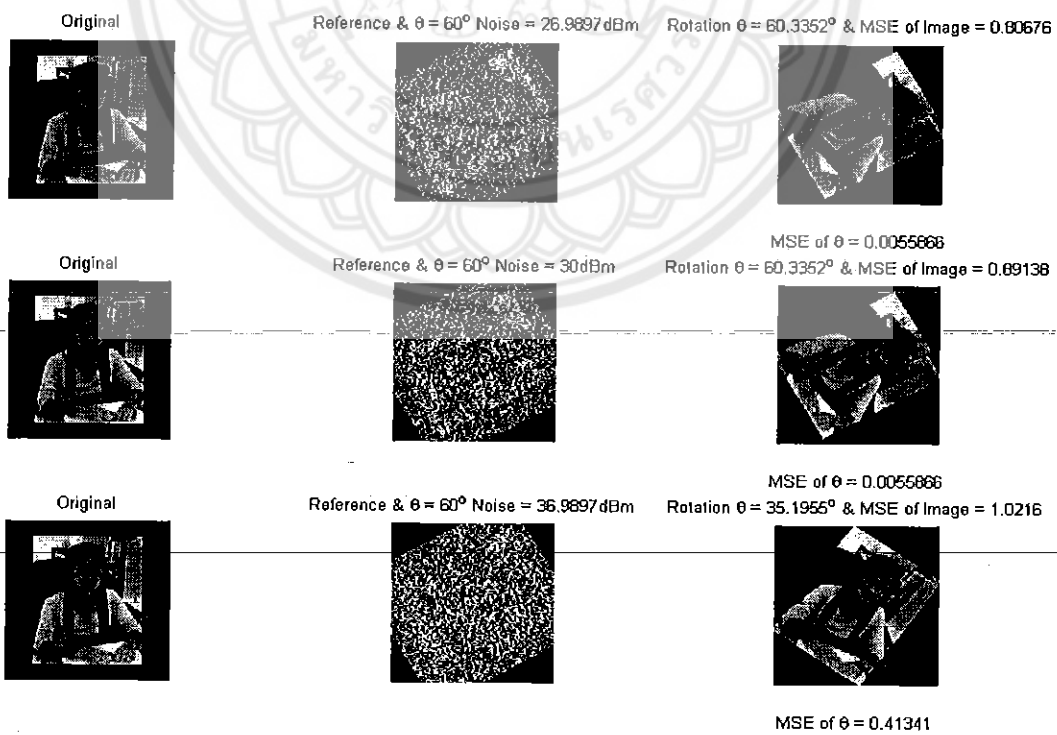


รูปที่ 4.20 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^{\circ}$ Interpolate แบบ Spline เมื่อเพิ่มสัญญาณ

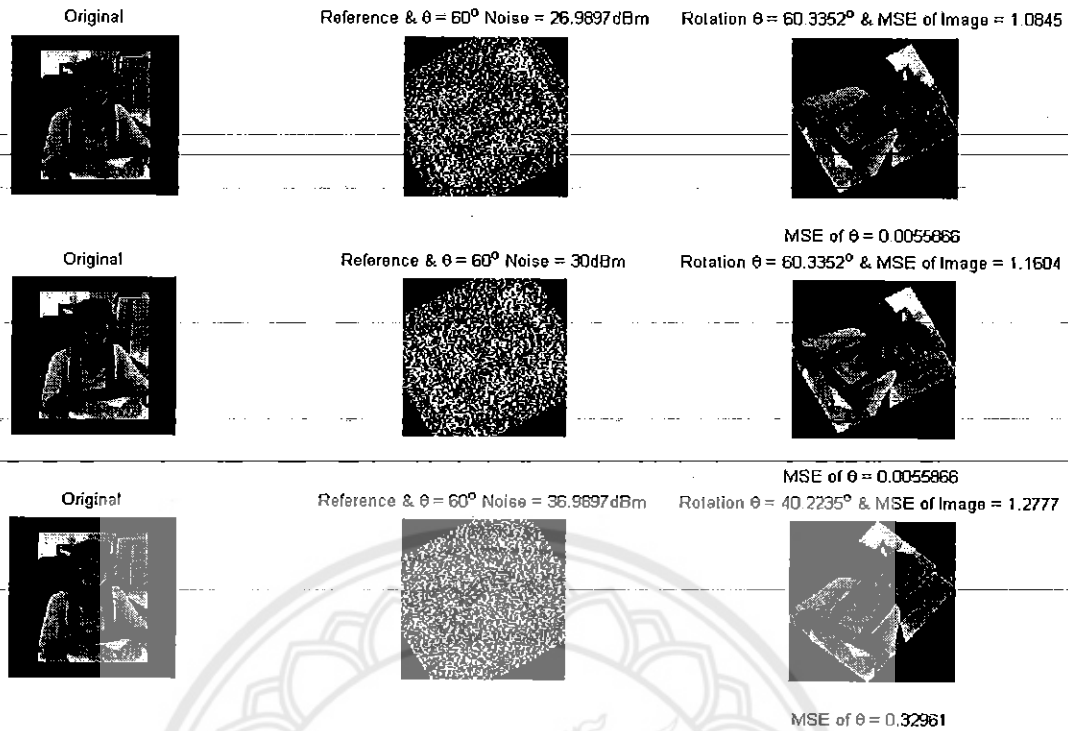
รบกวน



รูปที่ 4.21 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^\circ$ Interpolate แบบ Cubic เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4.22 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^\circ$ Interpolate แบบ Linear เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน

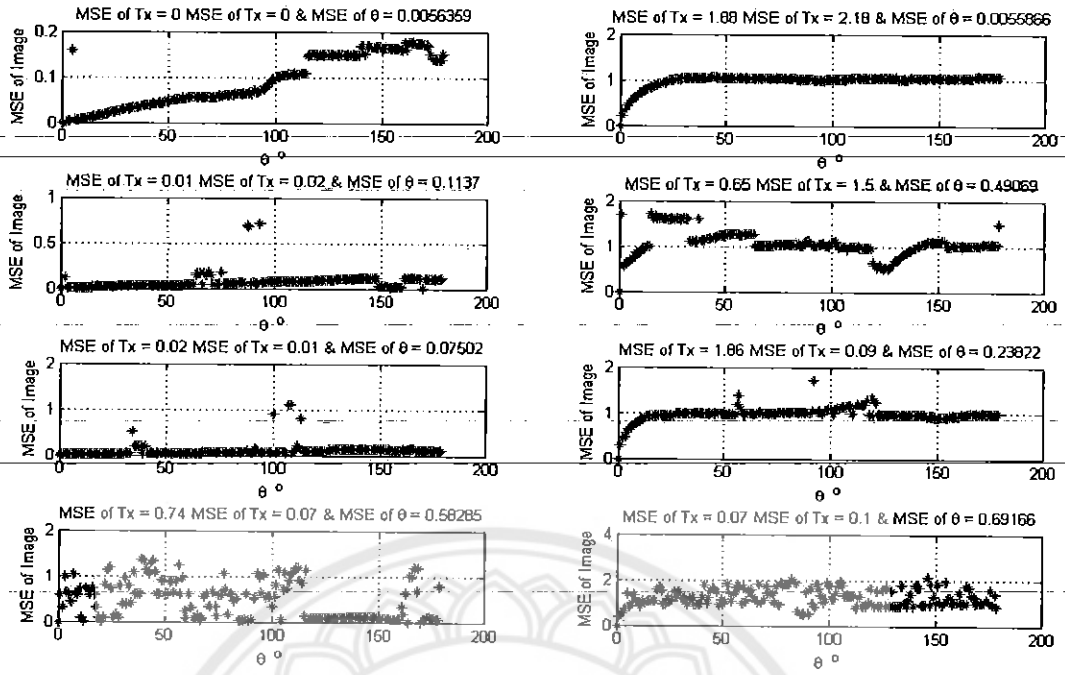


รูปที่ 4.23 ผลตัวอย่างให้พารามิเตอร์การหมุน $\theta = 60^\circ$ Interpolate แบบ Nearest เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน

รูปที่ 4.21– 4.23 แสดงตัวอย่างการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกหมุนไป 60° และเพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 20 – 36.98 dBm จะแสดงรูปแบบการ Interpolate ที่แตกต่างกันไป ภาพผลการลงทะเบียนที่ได้นั้นไม่ตรงกับภาพอ้างอิงเมื่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้น

กรณีที่ทำการทดลองการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่มีการหมุนและเลื่อน เริ่มต้นโดยการนำภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.1 ขวา) มาทำการหมุนโดยมุมตั้งแต่ 0° – 179° จากนั้นนำภาพที่ถูกหมุนมาเลื่อนไประยะต่างๆ แล้วกำหนดให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

จากนั้นเริ่มต้นทำการทดลองใหม่โดยจะนำภาพต้นแบบมาเลื่อนไประยะต่างๆ จากนั้นหมุนภาพเป็นมุมตั้งแต่ 0° – 179° แล้วกำหนดให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส จากนั้นนำผลการลงทะเบียนภาพอ้างอิงทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 4.24 รูปผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนแล้วหมุน และการหมุนแล้วเลื่อน

ตารางที่ 4.5 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 50$, $T_y = 50$ และ $\theta = 80^\circ$

ตัวแปรจริง			Rotation & Translation				Translation & Rotation			
			ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of Image	ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of Image
T_x	T_y	$\theta [^\circ]$	T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$		T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$	
50	50	0	50	50	0	0.00	50	50	0.000	0.000
50	50	20	50	50	20.12	0.02	30	64	20.12	0.93
50	50	40	50	50	40.23	0.04	6	70	40.23	1.04
50	50	60	50	50	60.33	0.06	175	68	60.33	1.05
50	50	80	50	50	80.45	0.06	153	58	80.45	1.03
50	50	100	50	50	100.56	0.1	136	40	100.56	1.01
50	50	120	50	51	120.67	0.15	126	18	120.67	1.04
50	50	140	49	50	140.78	0.17	124	202	140.78	1.03
50	50	160	49	50	160.89	0.16	130	178	160.89	1.04
50	50	179	50	50	180	0.15	144	159	180.00	1.07

ตารางที่ 4.6 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 100$, $T_y = 50$ และ $\theta = 80^\circ$

ตัวแปรจริง			Rotation & Translation				Translation & Rotation			
			ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of	ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of
T_x	T_y	$\theta [^\circ]$	T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$	Image	T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$	Image
100	50	0	100	50	0.00	0.00	50	100	0.000	0.00
100	50	20	100	50	20.11	0.01	13	111	20.11	0.92
100	50	40	100	50	40.22	0.02	168	109	40.22	0.97
100	50	60	100	50	60.33	0.03	132	93	60.33	0.97
100	50	80	100	50	80.44	0.05	104	66	80.44	1.01
100	50	100	100	51	100.56	0.08	87	31	100.56	1.08
100	50	120	100	51	120.67	0.08	147	172	170.95	0.96
100	50	140	100	51	140.78	0.11	92	164	140.78	0.97
100	50	160	100	50	159.89	0.01	113	131	160.89	0.94
100	50	179	99	51	180	0.11	143	109	180.00	0.98

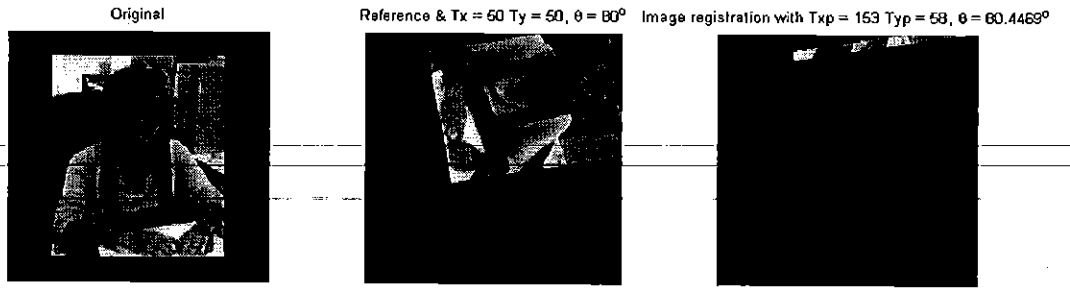
ตารางที่ 4.7 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 50$, $T_y = 100$ และ $\theta = 80^\circ$

ตัวแปรจริง			Rotation & Translation				Translation & Rotation			
			ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of	ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of
T_x	T_y	$\theta [^\circ]$	T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$	Image	T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$	Image
50	100	0	50	100	0.00	0.000	100	50	0.000	0.00
50	100	20	50	100	20.11	0.016	0	32	110.61	1.60
50	100	40	48	100	41.22	0.180	43	103	41.22	1.14
50	100	60	50	100	60.33	0.049	6	111	60.33	1.25
50	100	80	50	100	80.44	0.054	162	107	80.44	1.03
50	100	100	47	40	89.49	0.912	144	112	10.05	1.08
50	100	120	50	100	120.67	0.090	101	61	120.67	0.58
50	100	140	49	100	140.78	0.144	85	25	140.78	1.00
50	100	160	49	100	160.89	0.119	84	195	160.89	1.00
50	100	179	49	101	180.00	0.123	35	125	0.00	1.48

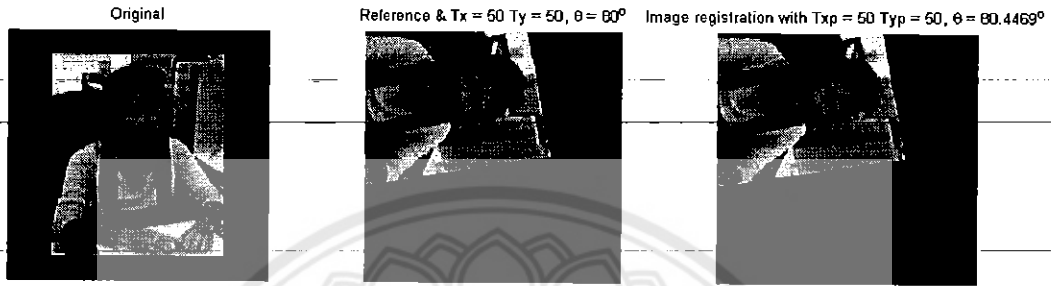
ตารางที่ 4.8 ค่าตัวแปรจริงและตัวแปรประมาณค่าเมื่อ $T_x = 100$, $T_y = 100$ และ $\theta = 80^\circ$

ตัวแปรจริง			Rotation & Translation				Translation & Rotation			
T_x	T_y	$\theta [^\circ]$	ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of Image	ตัวแปรค่าประมาณ			MSE of Image
			T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$		T_{xp}	T_{yp}	$\theta' [^\circ]$	
100	100	0	100	100	0.00	0.00	100	100	0.00	0.00
100	100	20	100	100	20.11	0.01	4	102	85.47	1.67
100	100	40	0	4	130.73	1.33	12	141	40.22	1.23
100	100	60	100	99	59.33	0.08	79	8	173.97	1.69
100	100	80	21	109	83.46	0.61	7	68	117.65	1.81
100	100	100	77	115	10.05	0.34	0	87	134.75	1.75
100	100	120	100	101	120.67	0.07	81	177	16.08	0.90
100	100	140	100	101	140.78	0.10	0	41	126.70	1.76
100	100	160	99	101	160.89	0.07	66	148	160.89	1.01
100	100	179	26	93	5.028	0.79	93	110	180.00	0.84

รูปที่ 4.24 รูปกราฟในด้านขวาแสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่มีการหมุนก่อนจากนั้นนำภาพที่หมุนแล้วมาทำการเลื่อน โดยจะแสดงค่าความผิดพลาดเปรียบเทียบกับค่ามุมที่เพิ่มขึ้น ส่วนรูปกราฟในด้านซ้ายแสดงผลลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่มีการเลื่อนภาพก่อนจากนั้นนำมาทำการหมุนเป็นมุมต่างๆ โดยจะแสดงค่าความผิดพลาดเปรียบเทียบกับค่ามุมที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำค่าผลการทดลองทั้งสองแบบของภาพอ้างอิงมาทำการเปรียบเทียบกันดังแสดงในตารางที่ 4.5 - 4.8

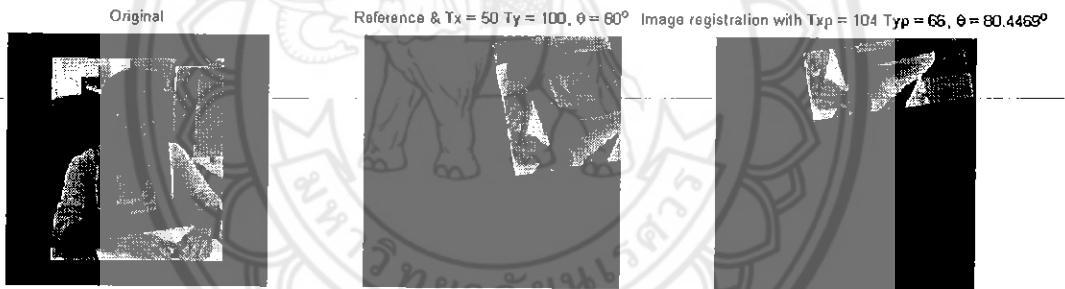


Translation & Rotation MSE of $T_x = 2.06$ MSE of $T_y = 0.16$ & MSE of $\theta = 0.0055866$

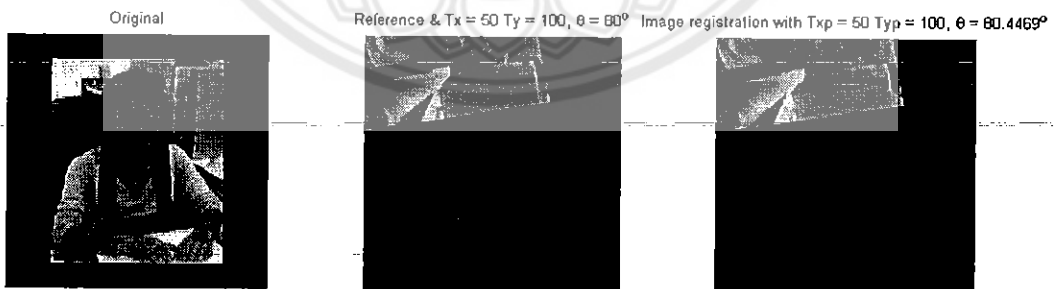


Rotation & Translation MSE of $T_x = 0$ MSE of $T_y = 0$ & MSE of $\theta = 0.0055866$

รูปที่ 4.25 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 50$, $T_y = 50$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$

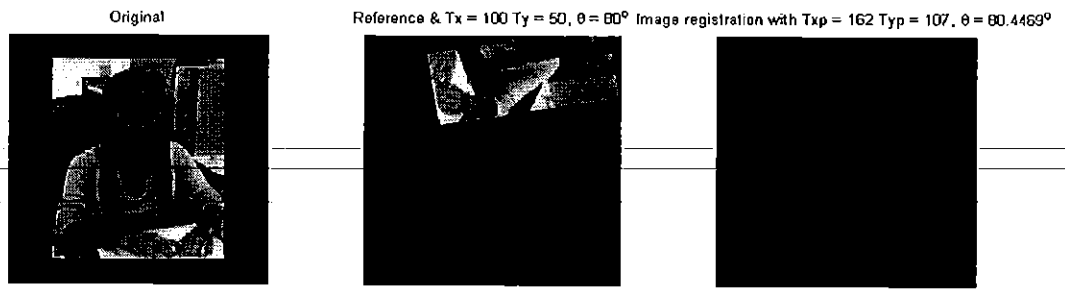


Translation & Rotation MSE of $T_x = 1.08$ MSE of $T_y = 0.34$ & MSE of $\theta = 0.0055866$

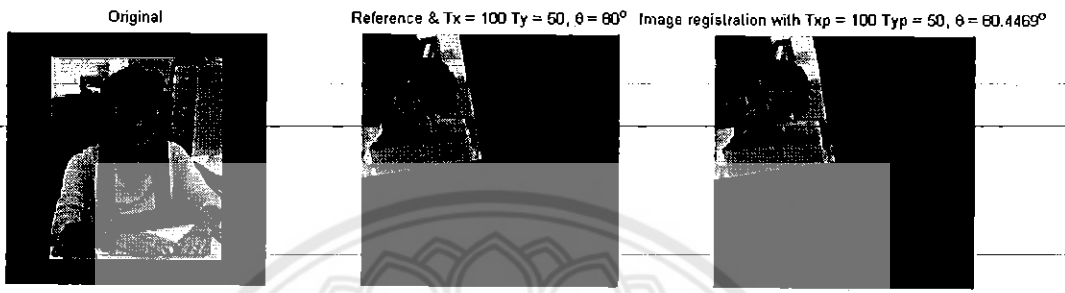


Rotation & Translation MSE of $T_x = 0$ MSE of $T_y = 0$ & MSE of $\theta = 0.0055866$

รูปที่ 4.26 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 50$, $T_y = 100$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$

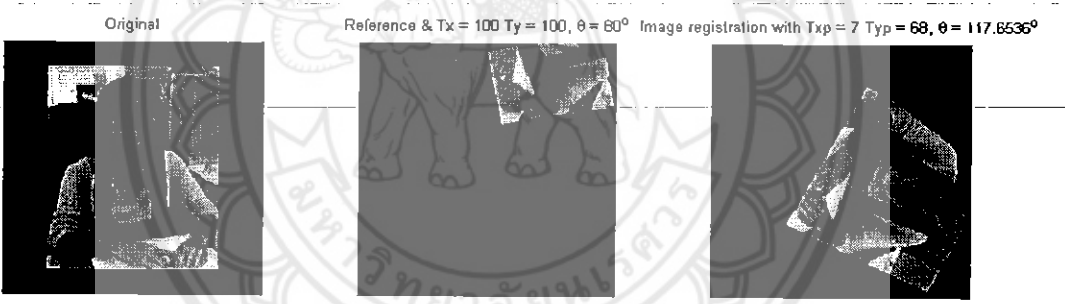


Translation & Rotation MSE of $T_x = 0.62$ MSE of $T_y = 1.14$ & MSE of $\theta = 0.0056866$

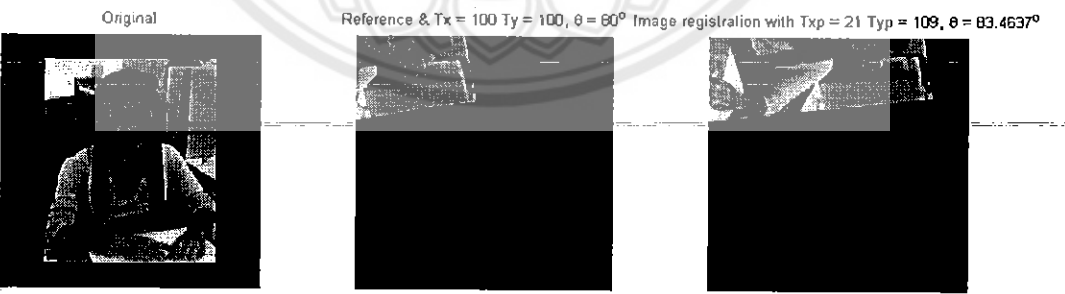


Rotation & Translation MSE of $T_x = 0$ MSE of $T_y = 0$ & MSE of $\theta = 0.0056866$

รูปที่ 4.27 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 100$, $T_y = 50$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$



Translation & Rotation MSE of $T_x = 0.93$ MSE of $T_y = 0.32$ & MSE of $\theta = 0.47067$



Rotation & Translation MSE of $T_x = 0.79$ MSE of $T_y = 0.09$ & MSE of $\theta = 0.043296$

รูปที่ 4.28 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 100$, $T_y = 100$ และ หมุน $\theta = 80^\circ$

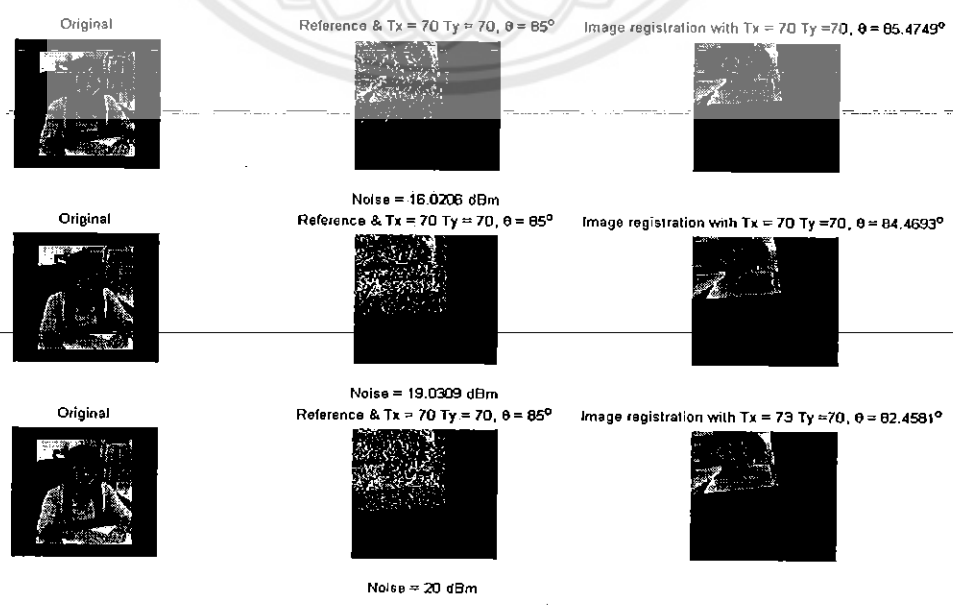
รูปที่ 4.25 - 4.28 จะแสดงตัวอย่างการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกหมุนจากนั้นมาเลื่อน และภาพที่ถูกเลื่อนจากนั้นมาหมุนโดยจะมีระยะการเลื่อนเท่าๆกันและมีมุมของการหมุน 80°

กรณีศึกษา เป็นการทดลองการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพเมื่อภาพอ้างอิง เป็นภาพที่มีการหมุนและเลื่อน เริ่มต้นโดยการนำภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.1 ขวา) มาทำการหมุนโดย มุมตั้งแต่ 0° - 179° จากนั้นนำภาพที่ถูกหมุนมาเลื่อนไประยะ $T_x = 70, T_y = 70$ จากนั้นเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในภาพอ้างอิงตั้งแต่ $10 - 20$ dBm แล้วกำหนดให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

ตารางที่ 4.9 ค่า MSE ของพารามิเตอร์ที่ประมาณค่าได้

Gaussian Noise in dBm	MSE of T_x	MSE of T_y	MSE of θ
10.000	0.0067	0.008	0.006
13.010	0.0238	0.0229	0.0645
16.021	0.1089	0.139	0.1651
17.782	0.1649	0.2507	0.1957
19.031	0.2297	0.3456	0.3663
20.000	0.3034	0.286	0.5265

จากตารางที่ 4.9 แสดงค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์การเลื่อน การหมุน โดยค่าความผิดพลาดนั้นจะแตกต่างกันตามสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเข้ามา

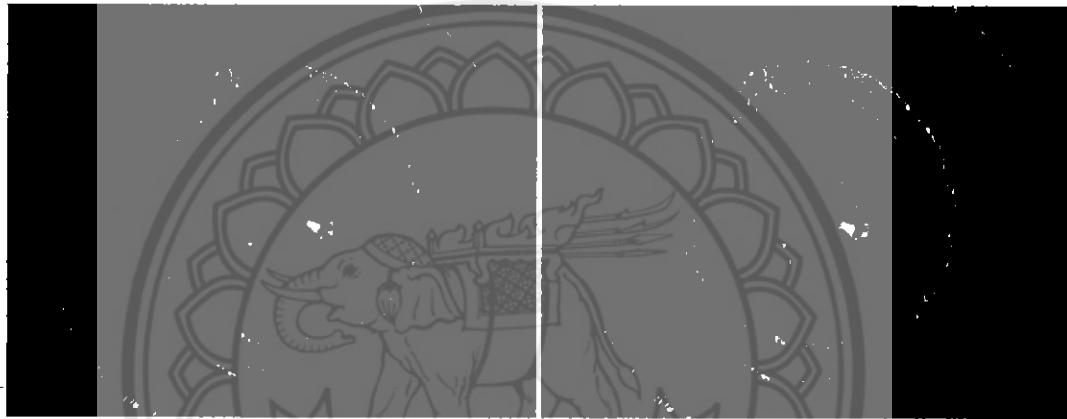


รูปที่ 4.29 รูปตัวอย่างการเลื่อนของภาพ $T_x = 70, T_y = 70$ หมุน $\theta = 85^\circ$ เพิ่มสัญญาณรบกวน

รูปที่ 4.29 แสดงตัวอย่างการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกหมุนไป 85° จากนั้นนำภาพที่ถูกหมุนไปนำมาเลื่อนไปเป็นระยะ $T_x = 70, T_y = 70$ โดยจะเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้ามา

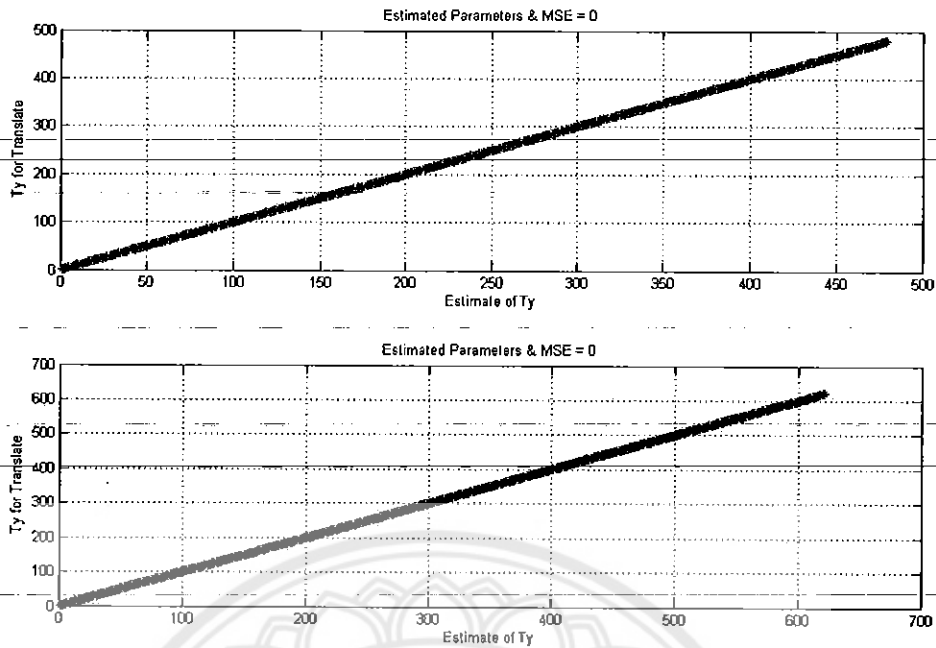
4.2 ผลการทดลองสำหรับภาพงานทำยปลูกกระสุนปืน (ภาพเดียวกัน)

ภาพที่ใช้ทำการทดลองจะเป็นภาพระดับเทาขนาด 640×480 พิกเซล ซึ่งภาพงานทำยปลูกกระสุนปืนที่แท้จริงนั้นเป็นภาพสี ดังนั้นจะต้องนำภาพมาผ่านกระบวนการทำภาพระดับเทาก่อน



รูปที่ 4.30 ภาพรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน (ภาพก่อน - หลังทำภาพระดับเทา) ที่ใช้ทำงานทดลอง

กรณีที่หนึ่ง เป็นการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการเลื่อนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.30 ขวา) ของภาพไปทางแกน x และ y จากนั้นกำหนดภาพที่ถูกเลื่อนเป็นภาพอ้างอิงเพื่อที่จะนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพต้นแบบ ซึ่งรูปแบบการ Interpolate จะใช้รูปแบบ Linear

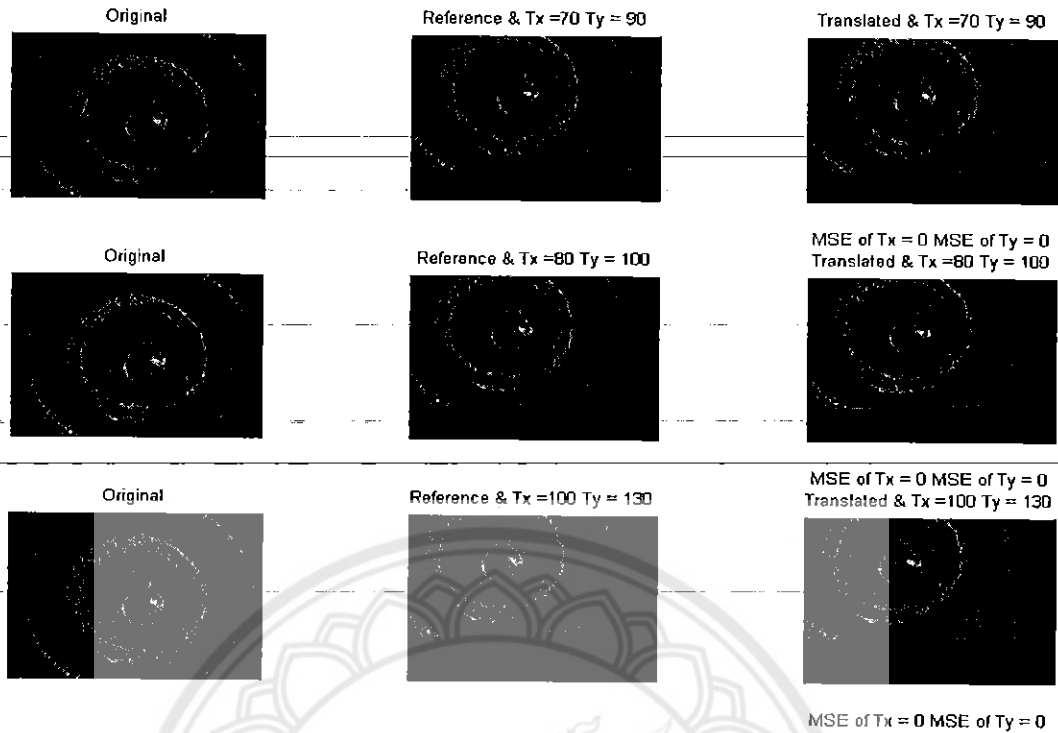


รูปที่ 4.31 รูปผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนภาพรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน

ตารางที่ 4.10 ค่าสูงสุดที่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนได้ และค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า

ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน x (Max T_x)	ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน y (Max T_y)	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า (MSE) ของ T_x	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า (MSE) ของ T_y
639	479	0	0

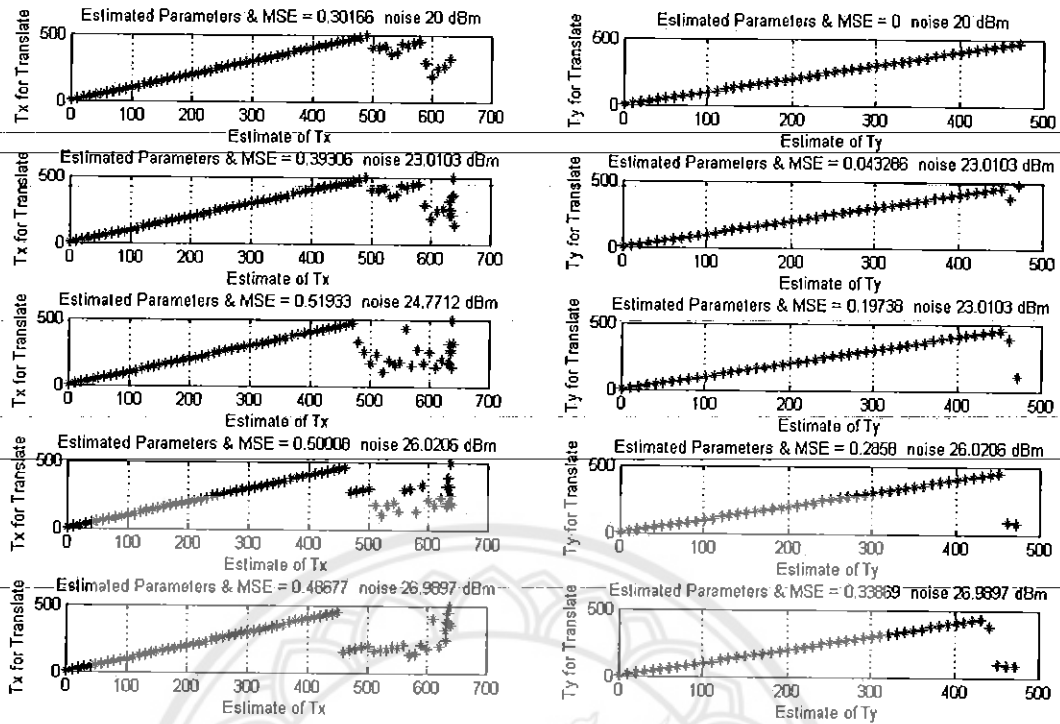
รูปที่ 4.31 แสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงจะเป็นภาพที่ถูกเลื่อนไปทางแกน x และแกน y โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพที่แท้จริง ค่าประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนที่ประมาณได้จากวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส โดยค่าความผิดพลาดและค่าสูงสุดที่ประมาณได้ จะแสดงดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.32 ภาพตัวอย่างรอยลายเส้นฐานที่ถูกเลื่อนไป และการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อน

รูปที่ 4.32 แสดงตัวอย่างภาพที่ทำการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกเลื่อน และใช้รูปแบบกระบวนการ Interpolate แบบ Linear

กรณีที่สอง ทำการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการเลื่อนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.30 ขวา) ไปทางแกน x และ y แล้วเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปซึ่งสัญญาณรบกวนที่เพิ่มนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ 20 – 26.98 dBm จากนั้นกำหนดภาพดังกล่าวให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพต้นแบบ



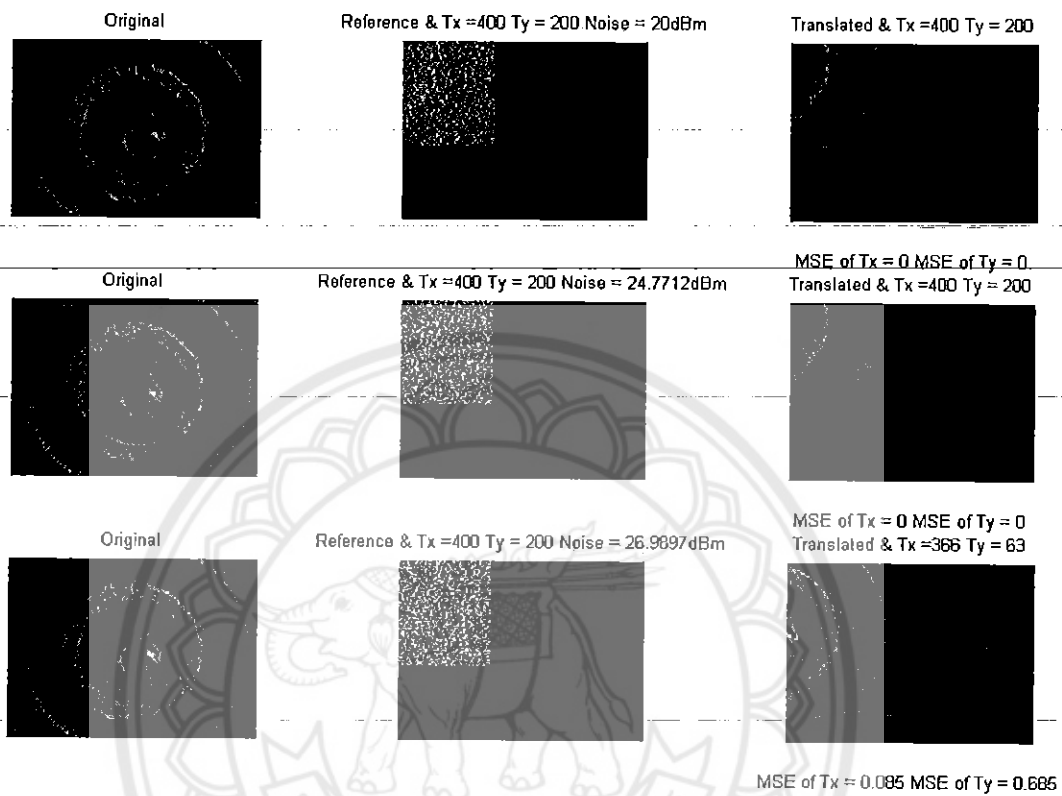
รูปที่ 4.33 รูปผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 4.11 ค่าสูงสุดที่ประมาณได้และค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการเลื่อนของภาพ

Gaussian noise in dBm	ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน x (Max T_x)	ค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ในแกน y (Max T_y)	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า (MSE) ของ T_x	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า (MSE) ของ T_y
20	639	479	0.3017	0.0000
23.0103	639	479	0.3931	0.0433
24.7712	639	479	0.5193	0.1974
26.0206	639	479	0.5001	0.2858
26.9897	639	479	0.4868	0.3387

รูปที่ 4.33 แสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงจะเป็นภาพที่ถูกเลื่อนไปทางแกน x และแกน y แล้วเพิ่มสัญญาณรบกวนมากขึ้นเรื่อยๆ โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพที่แท้จริง ค่าประมาณพารามิเตอร์การเลื่อนที่ประมาณได้จากวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ค่าความผิดพลาดโดยรูปแบบการ Interpolate ที่ใช้นั้นจะ

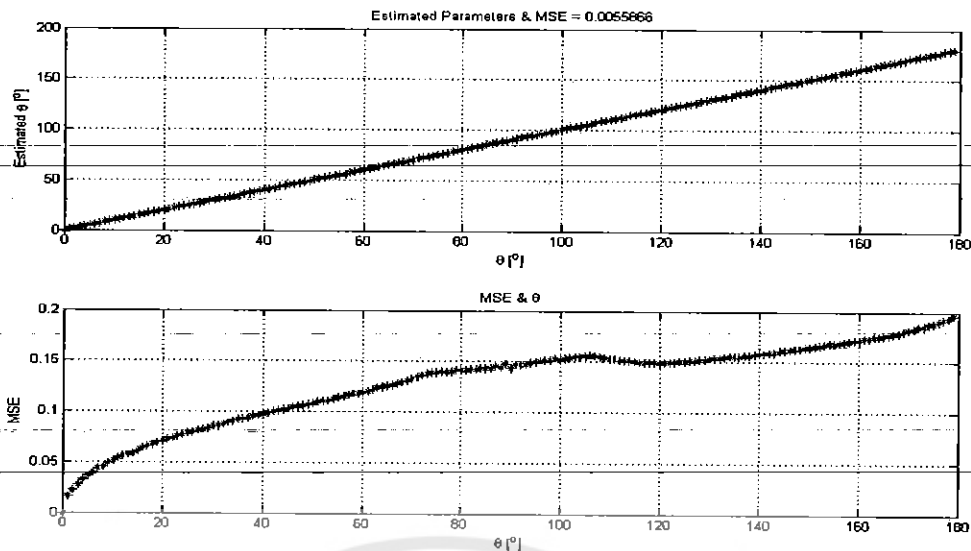
รูปแบบการ Interpolate แบบ Linear และเมื่อสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นสูงขึ้นค่าความผิดพลาดที่ได้ในแต่ละการเลื่อนเมื่อนำมาเฉลี่ยจะพบว่ามีค่าสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.34 ภาพตัวอย่างการให้การเลื่อน $T_x = 400, T_y = 200$ สัญญาณรบกวน 20, 24.77, 26.98 dBm

รูปที่ 4.34 ตัวอย่างภาพที่ทำการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกเลื่อนในแกน x โดย $T_x = 400$ และเลื่อนในแกน y โดย $T_y = 200$ และมีสัญญาณรบกวน 20, 24.77, 26.98 dBm จะเห็นว่าเมื่อสัญญาณรบกวนสูงขึ้นการลงทะเบียนภาพจะได้ภาพที่ลงทะเบียนไม่ตรงกับภาพอ้างอิง

กรณีที่สาม เป็นการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการหมุนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.30 ขวา) เป็นมุมต่างๆ โดยจะเพิ่มมุมตั้งแต่ $0^\circ - 179^\circ$ จากนั้นกำหนดภาพดังกล่าวให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพต้นแบบ โดยใช้รูปแบบการ Interpolate แบบ Linear

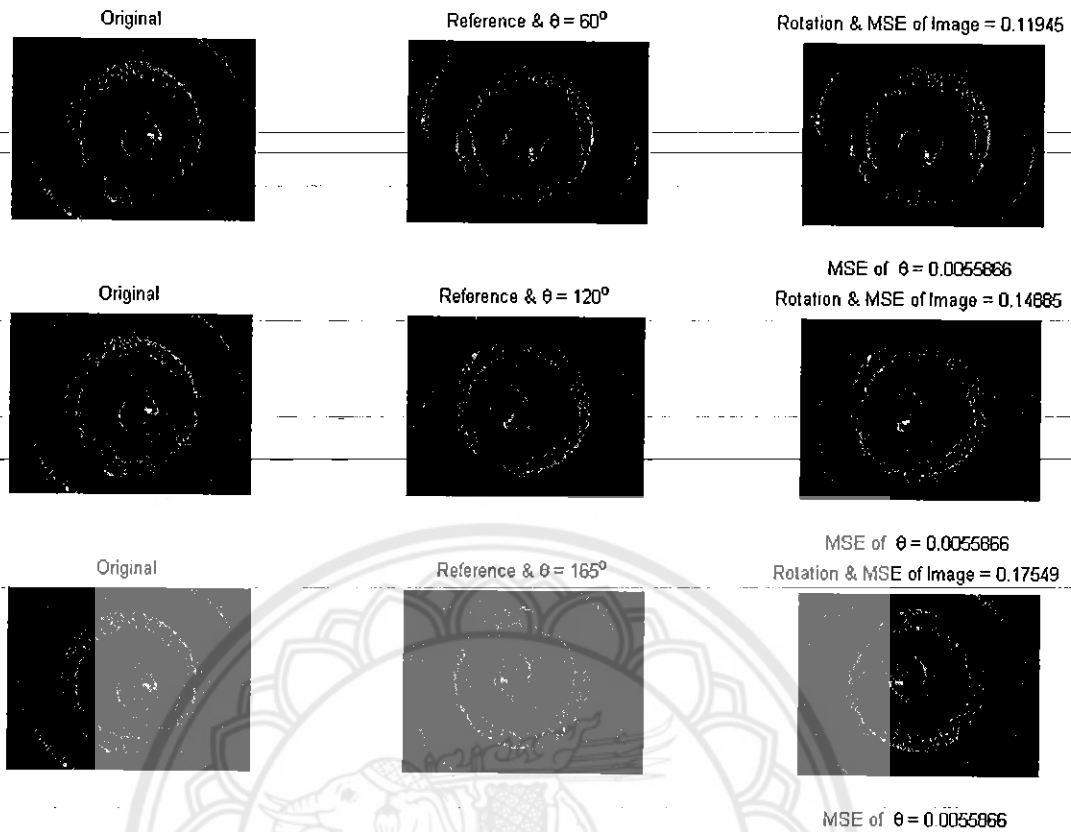


รูปที่ 4.35 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพ

ตารางที่ 4.12 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการหมุนของภาพ

θ [°]	$\hat{\theta}$ [°]	MSE of Image
0	0.0000	0.0000
20	20.1120	0.0216
40	40.2230	0.0399
60	60.3350	0.0661
80	80.4470	0.0919
100	100.5600	0.1070
120	120.6700	0.1162
140	140.7800	0.1257
160	160.8900	0.1486
170	170.9500	0.1686
179	180.0000	0.2153

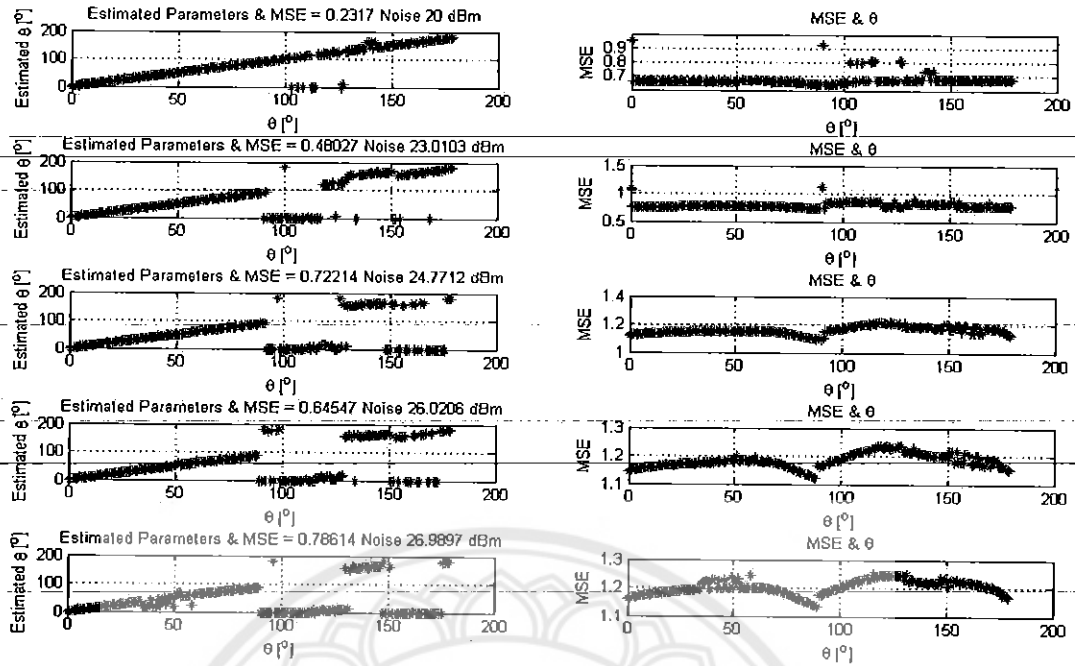
รูปที่ 4.35 แสดงผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส เมื่อภาพอ้างอิงถูกหมุนไป 0° - 179° โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพที่แท้จริง ค่าประมาณพารามิเตอร์การหมุนที่ประมาณได้จากวิธีการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ค่าความผิดพลาดซึ่งจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมุมที่หมุนภาพมีมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.36 รูปตัวอย่างการหมุนของภาพ $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$

รูปที่ 4.36 แสดงผลตัวอย่างการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส เมื่อภาพอ้างอิงมีการหมุน $60^\circ, 120^\circ$ และ 165° ซึ่งจะแสดงค่าความผิดพลาดของการประมาณพารามิเตอร์การหมุนและความผิดพลาดในการลงทะเบียนภาพ ซึ่งมีค่าน้อยมาก

กรณีที่ดี เป็นการทดลองการประมาณพารามิเตอร์การหมุนของภาพ เริ่มต้นโดยทำการหมุนภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.30 ขวา) เป็นมุมต่างๆ โดยจะเพิ่มมุมตั้งแต่ $0^\circ=179^\circ$ จากนั้นเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในภาพที่ถูกหมุนไปตามมุมต่างๆ แล้วกำหนดภาพดังกล่าวให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อทำการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

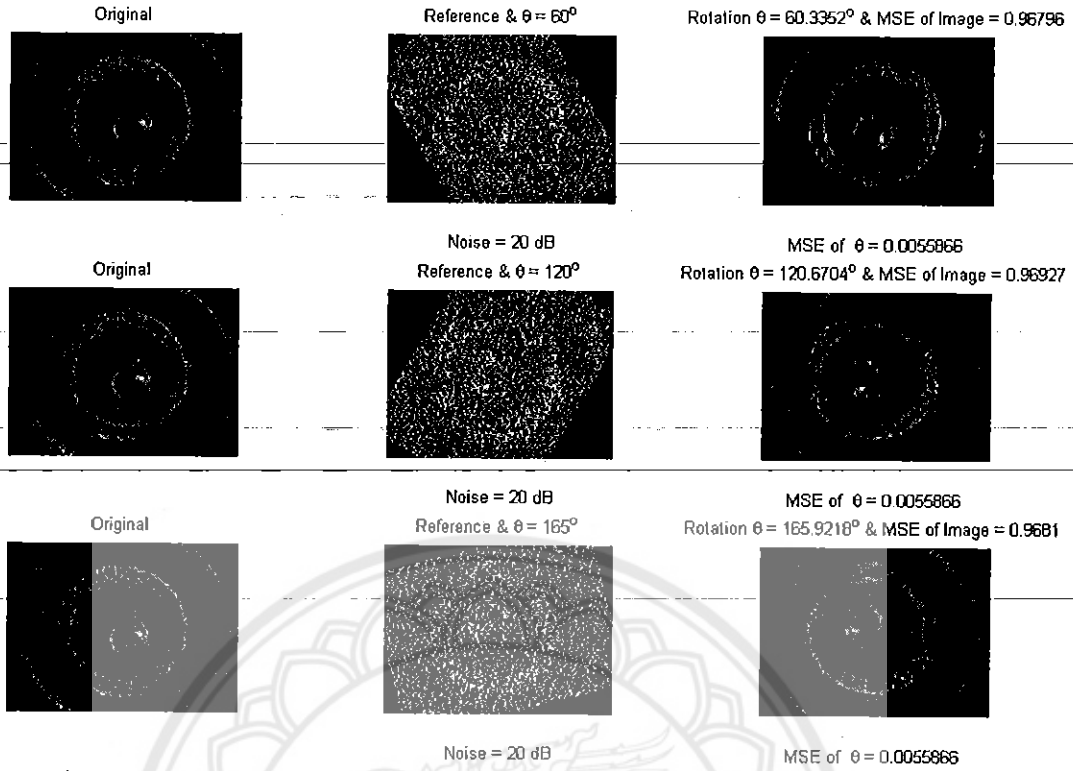


รูปที่ 4.37 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน

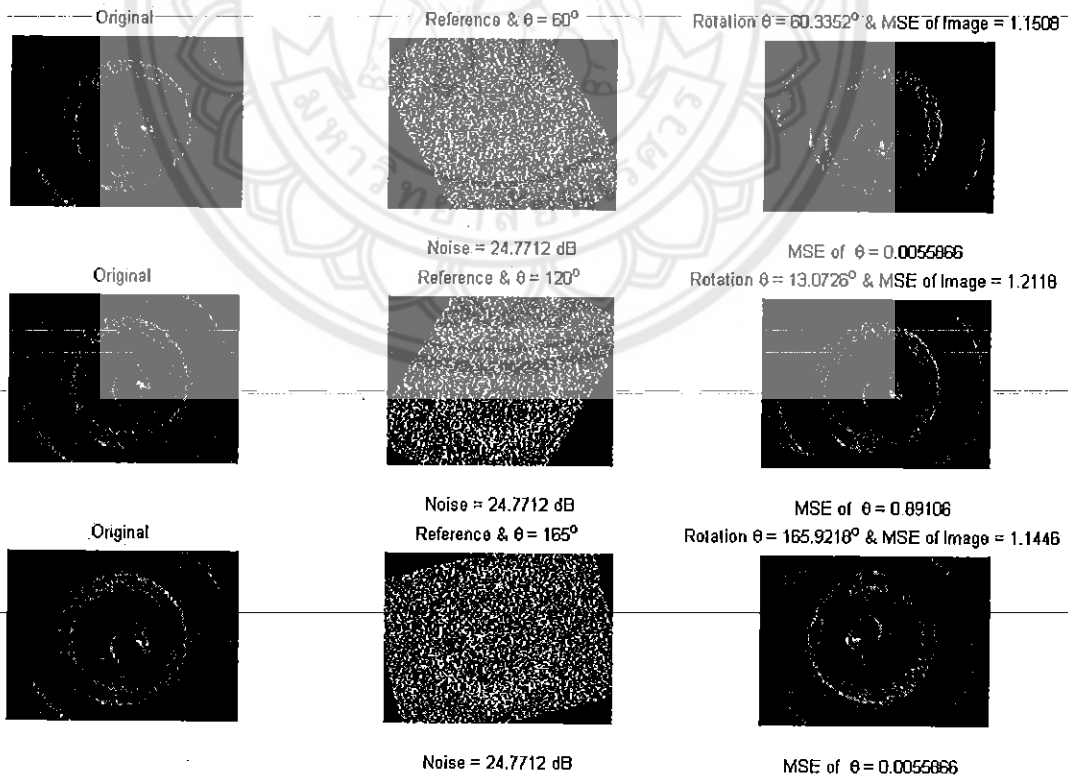
รูปที่ 4.37 ผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์การหมุนที่แท้จริง เปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์การหมุนที่ประมาณได้ และแสดงค่าความผิดพลาดเมื่อมีสัญญาณรบกวนในภาพอ้างอิงตั้งแต่ 20 – 26.98 dBm จะพบว่าค่าความผิดพลาดนั้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการหมุนของภาพเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

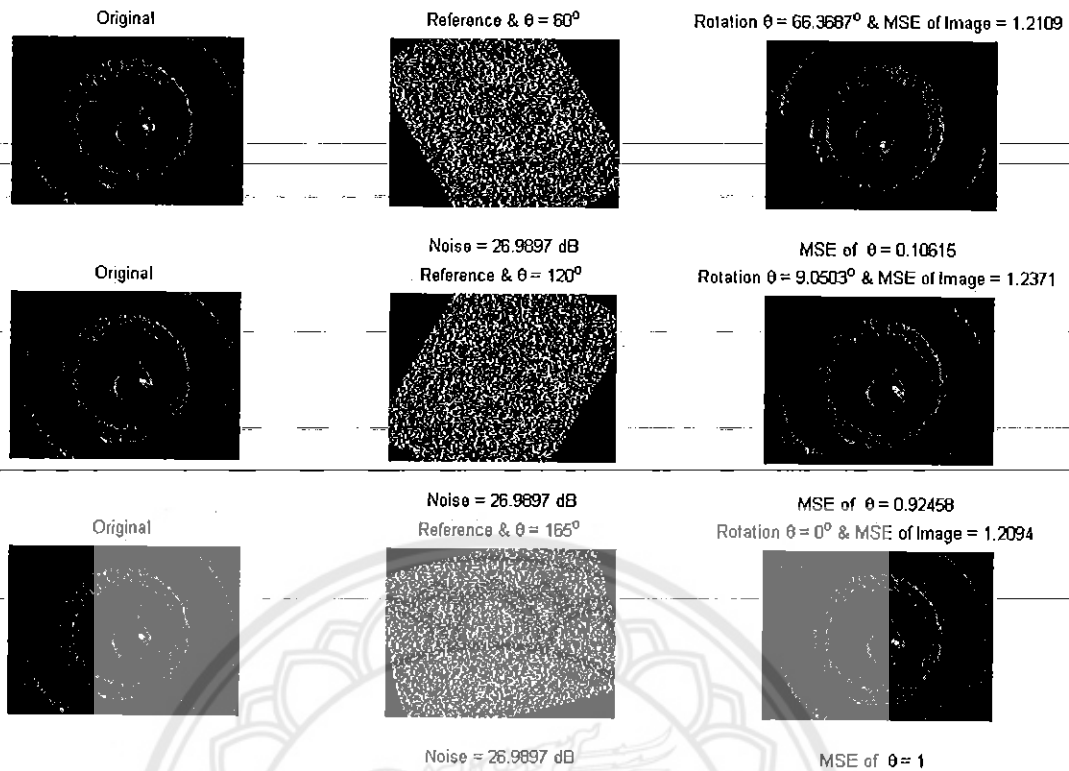
Gaussian noise in dBm	ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า(MSE) ของ θ
20	0.2317
23.0103	0.4803
24.7712	0.7221
26.0206	0.6455
26.9897	0.7861



รูปที่ 4.38 รูปตัวอย่างการหมุนของภาพ $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$ เพิ่มสัญญาณรบกวน 20 dBm



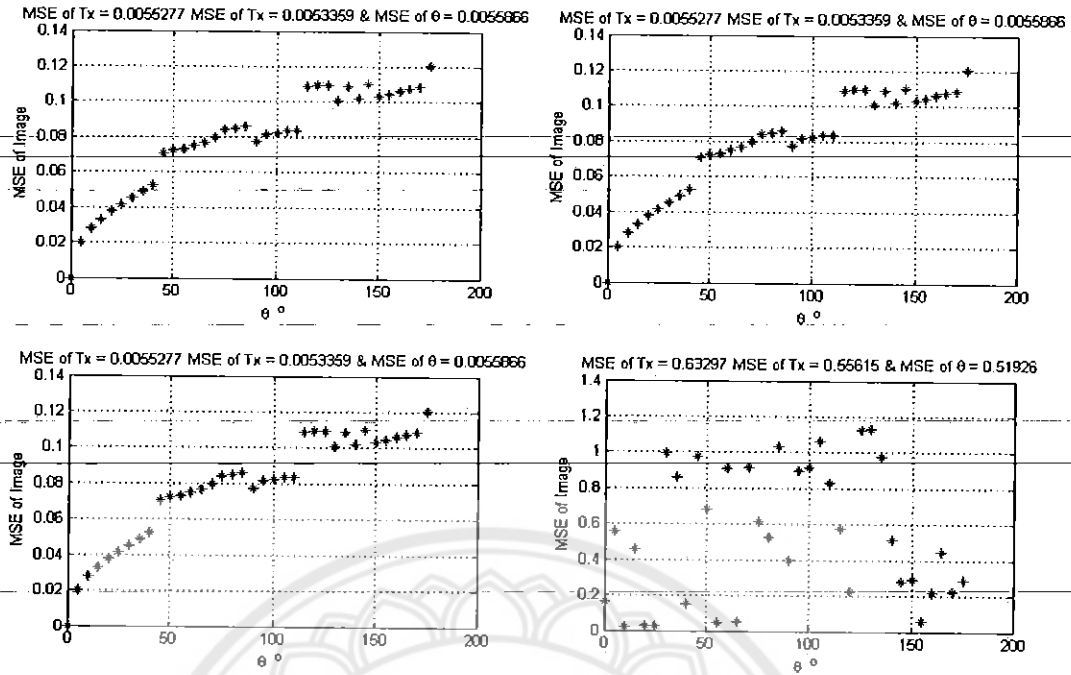
รูปที่ 4.39 รูปตัวอย่างการหมุน $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$ เพิ่มสัญญาณรบกวน 24.7712 dBm



รูปที่ 4.40 รูปตัวอย่างการหมุน $\theta = 60^\circ, 120^\circ, 165^\circ$ เพิ่มสัญญาณรบกวน 26.9897 dBm

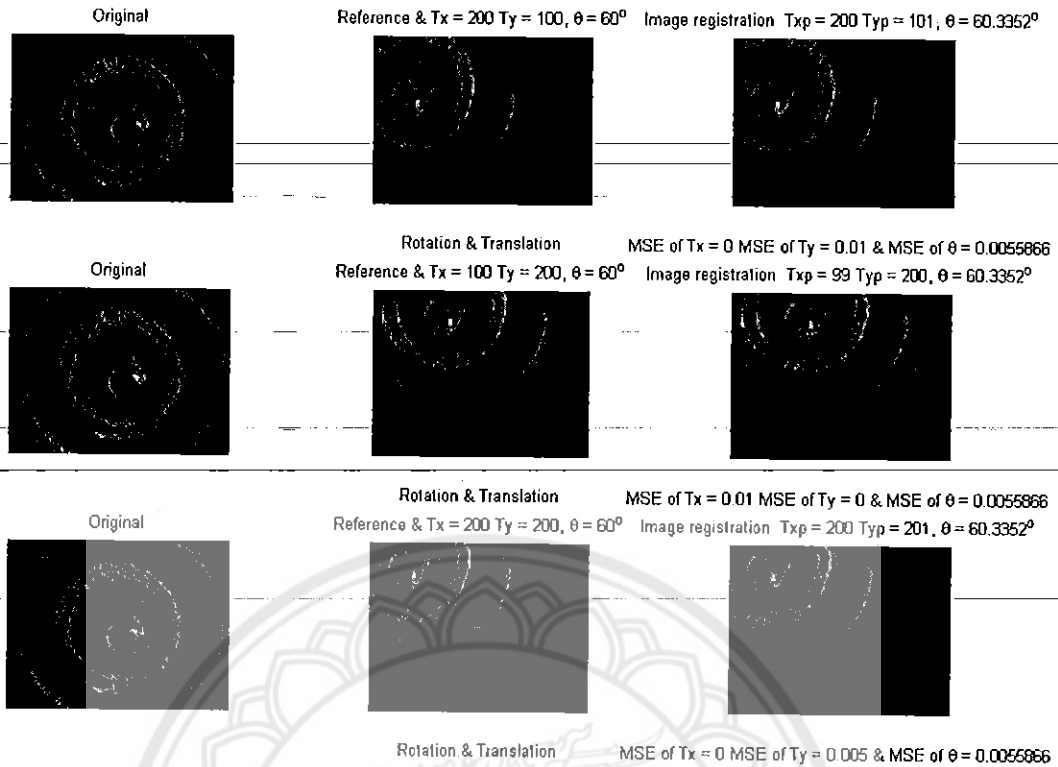
รูปที่ 4.38 – 4.40 แสดงผลตัวอย่างการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส เมื่อภาพอ้างอิงมีการหมุน $60^\circ, 120^\circ$ และ 165° และมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป 20, 24.77, 26.98 dBm จะพบว่าเมื่อมุมสูงขึ้น สัญญาณรบกวนจะมีผลกระทบต่อการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

กรณีที่ทำ เป็นการทดลองการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่มีการหมุนและเลื่อน เริ่มต้นโดยการนำภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.30 ขวา) มาทำการหมุนภาพโดยมุมตั้งแต่ $0^\circ - 179^\circ$ จากนั้นนำภาพที่ถูกหมุนมาเลื่อนไประยะต่างๆ แล้วกำหนดให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

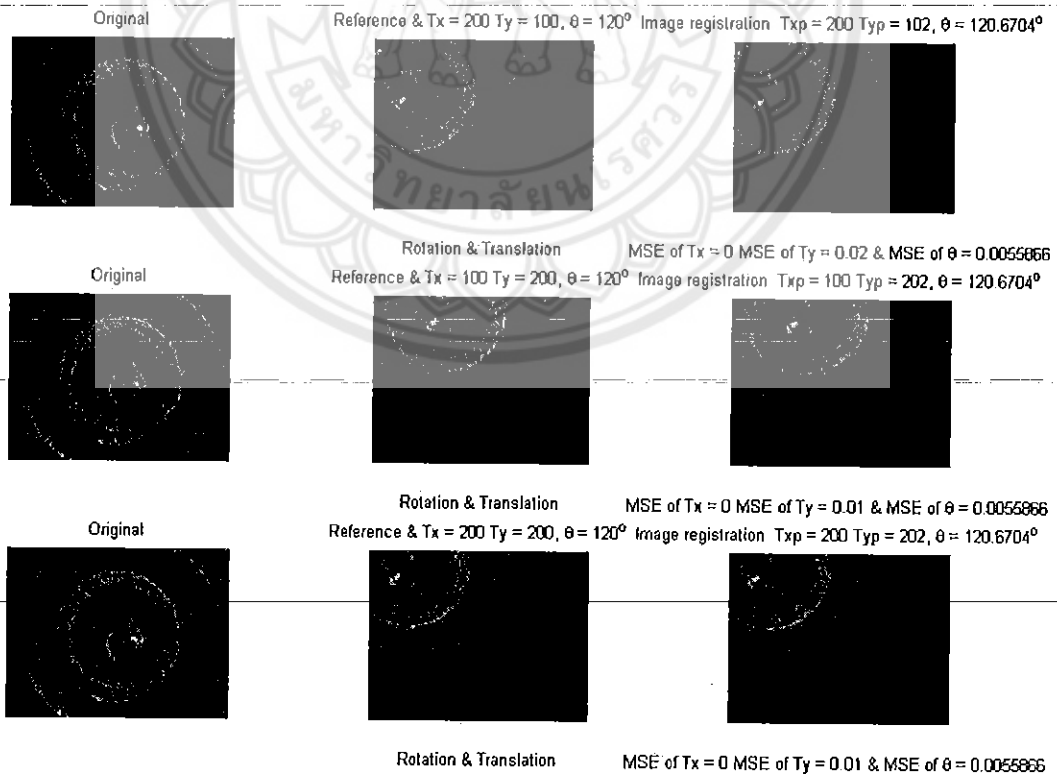


รูปที่ 4.41 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนแล้วเลื่อนของภาพ

รูปที่ 4.41 ในกราฟแรก (ด้านบนซ้าย) นั้น เป็นผลการลงทะเบียนภาพที่มีการเลื่อนภาพไป $T_x = 200, T_y = 100$ ส่วนในกราฟที่สอง (ด้านบนขวา) เป็นผลการลงทะเบียนภาพที่มีการเลื่อนภาพไป การเลื่อนภาพไป $T_x = 100, T_y = 200$ ส่วนในกราฟที่สาม (ด้านล่างซ้าย) เป็นผลการลงทะเบียนภาพที่มีการเลื่อนภาพไป การเลื่อนภาพไป $T_x = 200, T_y = 200$ และกราฟที่สี่ (ด้านล่างขวา) เป็นผลการลงทะเบียนภาพที่มีการเลื่อนภาพไป การเลื่อนภาพไป $T_x = 300, T_y = 300$ โดยทั้งสี่กราฟจะแสดงค่าพารามิเตอร์การหมุนที่แท้จริงเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดของรูปภาพ และแสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการเลื่อน และการหมุน



รูปที่ 4.42 รูปตัวอย่างการเลื่อนภาพไปตำแหน่งต่างๆ แล้ว หมุนของภาพไป $\theta = 60^\circ$



รูปที่ 4.43 รูปตัวอย่างการเลื่อนภาพไปตำแหน่งต่างๆ แล้ว หมุนของภาพไป $\theta = 60^\circ$

รูปที่ 4.42 และรูปที่ 4.43 แสดงตัวอย่างการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกหมุนไป 60° และมุม 120° จากนั้นมาเลื่อนไปเป็นระยะต่างๆ

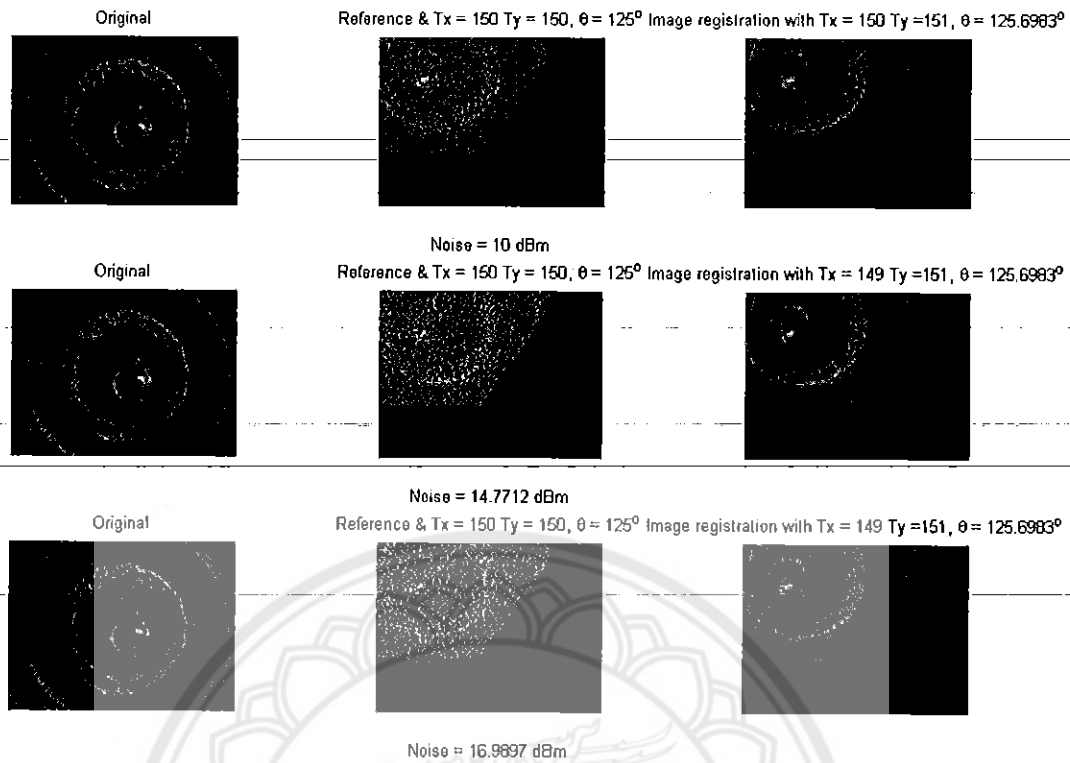
$$T_x = 200, T_y = 100, T_x = 100, T_y = 200 \text{ และ } T_x = 200, T_y = 200$$

กรณีที่หก เป็นการทดลองการประมาณค่าพารามิเตอร์การลงทะเบียนภาพเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่มีการหมุนและเลื่อน เริ่มต้นโดยการนำภาพต้นแบบ (รูปที่ 4.30 ขวา) มาทำการหมุนภาพโดยมุมตั้งแต่ 0° - 179° จากนั้นนำภาพที่ถูกหมุนมาเลื่อนไประยะ $T_x = 150, T_y = 150$ จากนั้นทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 10 – 16.99 dBm เข้าไปในภาพที่ผ่านการหมุนและเลื่อน แล้วกำหนดให้เป็นภาพอ้างอิงเพื่อนำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

ตารางที่ 4.14 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าการหมุนแล้วเลื่อนของภาพเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

Gaussian Noise in dBm	MSE of T_x	MSE of T_y	MSE of θ
10.000	0.0060	0.0047	0.0056
13.010	0.4015	0.4275	0.2341
14.771	0.2906	0.4415	0.3460
16.021	0.4853	0.4486	0.2848
16.990	0.9735	0.538	0.3559

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมาณพารามิเตอร์การหมุน การเลื่อนเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน ซึ่งจะพบว่าสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเข้าไวนั้นมีค่าน้อยกว่าการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมาแต่ค่าความผิดพลาดที่ได้นั้นก็กลับมีค่าสูงกว่า

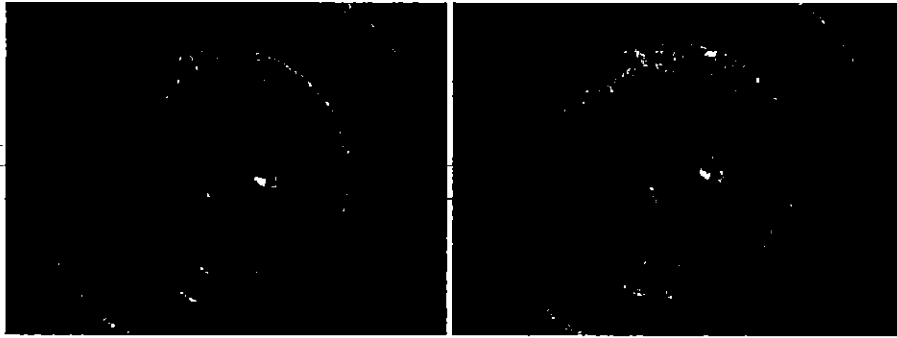


รูปที่ 4.44 รูปตัวอย่างการเลื่อนแล้วหมุนภาพไป $\theta = 125^\circ$ และเพิ่มสัญญาณรบกวน

รูปที่ 4.44 แสดงตัวอย่างการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกรotate 125° และมีสัญญาณรบกวน 10, 14.77 และ 16.98 dBm ซึ่งผลการลงทะเบียนภาพจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งภาพผลการลงทะเบียนภาพที่ได้ไม่ตรงกับภาพอ้างอิง

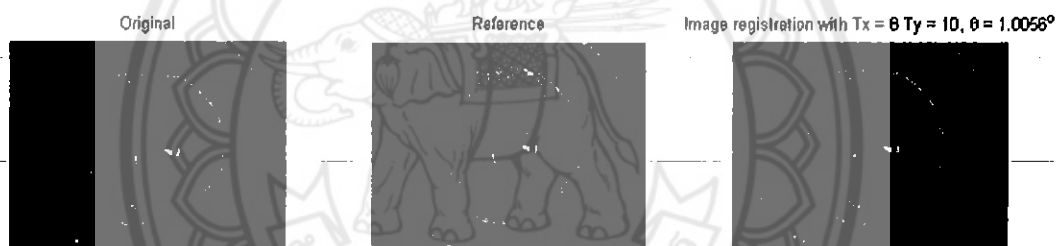
4.3 ผลการทดลองสำหรับงานย้ายปลอกกระสุนปืน (ภาพกระสุนชนิดเดียวกันแต่ถ่ายคนละครั้ง)

เริ่มต้นด้วยการนำภาพงานย้ายปลอกกระสุนปืน 2 ภาพที่เป็นปลอกกระสุนปืนชนิดเดียวกันแต่เป็นปลอกกระสุนปืนที่ผ่านการยิงกันคนละนัด ซึ่งภาพที่นำมาเป็นภาพสีต้องผ่านการแปลงภาพทั้งสองให้เป็นระดับเทาก่อน จากนั้นนำภาพทั้งสองมาทำการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส



รูปที่ 4.45 ภาพงานถ่ายปลอกกระสุนปืนที่นำมาลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส

รูปที่ 4.45 เป็นภาพงานถ่ายปลอกกระสุนปืนที่จะนำมาลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ซึ่งจะพบว่าภาพทั้งสองมีความใกล้เคียงกันแต่จะมีบางจุดที่รายละเอียดฐานปลอกกระสุนปืนนั้นไม่เหมือนกัน



รูปที่ 4.46 รูปตัวอย่างการลงทะเบียน ภาพรอยลายเส้นฐานปลอกกระสุนปืน

รูปที่ 4.6 แสดงผลการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส เมื่อภาพต้นแบบและภาพอ้างอิงเป็นภาพที่ถูกถ่ายคนละครั้งกันและ เป็นภาพวัตถุคนละชิ้นกันแต่ลักษณะของวัตถุนั้นมีข้อมูลใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการประมาณค่าพารามิเตอร์นั้นได้พารามิเตอร์การเลื่อนในแกน x โดย $T_x = 8$ พารามิเตอร์การเลื่อนในแกน y โดย $T_y = 10$ และพารามิเตอร์การหมุน $\theta = 1.01^\circ$ ซึ่งจะจัดให้ภาพต้นแบบอยู่ในระนาบเดียวกับภาพอ้างอิง

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองผลการทดลองสำหรับภาพทั่วไป

ในรูปที่ 4.2, 4.4, และตารางที่ 4.1 แสดงถึงการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ ด้วยการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพมีขนาด 138×193 พิกเซล และจากการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดและค่าสูงสุดที่ประมาณได้ในตารางที่ 4.1 จะพบว่าการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพได้สูงสุด 127 ในทางแกน x และ 167 ในทางแกน y ซึ่งแม้จะมีรูปแบบการ Interpolate ที่แตกต่างกัน ผลที่ได้ในแต่ละรูปแบบการ Interpolate นั้นมีค่าเท่ากันและค่าความผิดพลาด (MSE) = 0 ทุกๆระยะการเลื่อน ซึ่งค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้นั้นจะขึ้นอยู่กับข้อมูลของภาพอ้างอิง หากภาพอ้างอิงนั้นมีข้อมูลภาพเหลืออยู่จะสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนได้ (กรณีที่ไม่มีข้อมูลภาพคือภาพจะเป็นสีดำทั้งหมด) ดังตารางที่ 4.1 ที่ค่าสูงสุดนั้นมีค่าน้อยกว่าขนาดของภาพ

เมื่อทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเข้าไปในภาพอ้างอิงที่มีการเลื่อน ผลการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสนั้นยังคงประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ แต่จะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งสามารถยอมรับได้ไม่เกิน 0.5 ซึ่งผลการทดลองนั้นสามารถเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ไม่เกิน 30 dBm และค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้นั้นจะลดลงเมื่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นผลการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพด้วยการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส และเปรียบเทียบค่าในตารางที่ 4.3 พบว่ารูปแบบของการ Interpolate และมุมที่หมุนไปของภาพอ้างอิงนั้นมีผลต่อการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ซึ่งเมื่อมุมที่หมุนไปของภาพอ้างอิงมีค่าสูงขึ้นค่าความผิดพลาด ก็สูงขึ้นเช่นกันแต่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติจริงเนื่องจากมีค่าความผิดพลาดสูงสุดเพียง 0.2 เท่านั้น ซึ่งรูปแบบการ Interpolate นั้นมีค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกัน แต่รูปแบบการ Interpolate แบบ Nearest จะมีค่าความผิดพลาดมากที่สุด ดังนั้นการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสจะไม่ใช้รูปแบบการ Interpolate แบบ Nearest ในการลงทะเบียนภาพ

เมื่อทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเข้าไปในภาพอ้างอิงที่มีการหมุน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.16 – 4.19 พบว่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนสามารถเพิ่มได้ถึง 36.99 dBm

ซึ่งมีการเพิ่มได้สูงกว่าการทดลองการเลื่อนภาพ ถึงแม้จะมีค่าความผิดพลาดสูงถึง 0.4 (ดังตารางที่ 4.3) แต่ก็สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติจริง ซึ่งดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสนั้นสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ได้มีประสิทธิภาพสูงเมื่อภาพอ้างอิงมีการหมุนภาพเพียงอย่างเดียว

เมื่อทดสอบการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพที่มีการหมุนและเลื่อน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.5 – 4.8 พบว่าการลงทะเบียนภาพด้วยวิธีนี้สามารถใช้ลงทะเบียนภาพกับภาพอ้างอิงที่ผ่านการหมุนแล้วเลื่อนได้ดีกว่าใช้กับภาพอ้างอิงที่ผ่านการเลื่อนแล้วหมุน โดยการเปรียบเทียบตารางที่ 4.5 – 4.8 แม้จะมีการเลื่อนไปในระยะที่เท่ากันและหมุนไปเป็นมุมที่เท่ากัน การประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภาพที่ผ่านการหมุนแล้วเลื่อนจะมีค่าความผิดพลาด น้อยกว่าภาพที่ผ่านการเลื่อนแล้วหมุน และเมื่อระยะของการเลื่อนของภาพเพิ่มมากขึ้นค่าความผิดพลาด ก็จะยิ่งสูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังทำการทดลองสอบ โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเข้าไปในภาพอ้างอิงที่ผ่านการหมุนแล้วเลื่อน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.9 พบว่าการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนสามารถเพิ่มได้สูงสุด 20 dBm เนื่องจากค่าความผิดพลาด สูงกว่า 0.5

4.4.2 ผลการทดลองสำหรับภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืน (ภาพเดียวกัน)

เมื่อทำการทดลองใหม่โดยเปลี่ยนภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้น คือมีขนาด 480x640 พิกเซล ซึ่งเป็นภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืนที่มีข้อมูลภาพมากกว่าภาพที่ใช้ในการทดลองก่อนหน้านี้ พบว่าผลการทดลองประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนนั้น ได้ผลการทดลองตรงกับผลการทดลองของภาพทั่วไป นั่นคือค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0 และประมาณค่าได้สูงสุดถึง 479 ในแกน x และ 639 ในแกน y จะพบว่าค่าสูงสุดที่ประมาณได้นั้นจะน้อยกว่าขนาดของภาพ หากการเลื่อนมากกว่านี้จะไม่สามารถประมาณค่าได้เนื่องจากภาพถูกเลื่อนจนหลุดกรอบออกไป

จากนั้นทำการทดลอง โดยเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเข้าไปในภาพอ้างอิงที่เป็นภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืนที่ผ่านการเลื่อน พบว่าสามารถเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้สูงสุดเพียง 26.98 dBm เท่านั้นดังรูปที่ 4.33 ตารางที่ 4.11 โดยประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนนั้น จะเริ่มประมาณค่าผิดไปจากค่าแท้จริงเมื่อระยะการเลื่อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองจะเริ่มผิดไปจากค่าแท้จริงเมื่อภาพมีการเลื่อนไป 450 ทางแกน x และ 650 ทางแกน y ซึ่งค่าความผิดพลาดเริ่มสูงขึ้นเมื่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจะมีค่าความผิดพลาดสูง สุด 0.4 ซึ่งยังสามารถยอมรับได้

เมื่อทำการทดลองประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืน พบว่าเมื่อมุมของการหมุนเพิ่มมากขึ้นค่าความผิดพลาด สูงสุด 0.2 เมื่อมุมถูกหมุนไป 180° แต่เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน จะพบว่ามีความผิดพลาด เพิ่มสูงสุดถึง 0.7 เมื่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนมีกำลัง 26.98 dBm ซึ่งสูงกว่าการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อน เมื่อพิจารณาที่รูปที่ 4.37 จะพบว่ายิ่งมุมของการหมุนกว้างมากกว่า 80° ค่าที่ประมาณได้จะผิดพลาดไปจากค่าจริงมาก

เมื่อทดสอบการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพที่มีการหมุนและเลื่อนของภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืนจะพบว่าหากมีการเลื่อนภาพไปมากขึ้น การประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะผิดพลาดไปจากค่าจริงมากขึ้น ซึ่งมุมที่หมุนภาพไปก็มีผลเช่นกัน ค่าความผิดพลาด จะเริ่มเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมการหมุนกว้างเกิน 60°

เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเข้าไปในภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืนที่ผ่านการหมุนและเลื่อนนั้น จะพบว่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนจะเพิ่มได้สูงสุด ประมาณ 17 dBm ค่าความผิดพลาด ในการประมาณค่านั้นสูงเกิน 0.5 ทั้งหมดดังตารางที่ 4.14

4.4.3 ผลการทดลองสำหรับงานท้ายปลอกกระสุนปืน (ภาพกระสุนชนิดเดียวกันแต่ถ่ายคนละครั้ง)

ซึ่งจะพบว่าผลการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสนั้นสามารถลงทะเบียนภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืนชนิดเดียวกันแต่เป็นคนละปลอกกันได้ ซึ่งภาพผลการลงทะเบียนภาพนั้นจะทำการแปลงรูปภาพต้นแบบให้อยู่ในระดับเดียวกันกับภาพอ้างอิง ทั้งในทางแกน x แกน y และมุมของการหมุนก็เท่ากับภาพอ้างอิง โดยสังเกตด้วยตาเปล่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพด้วยการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อใช้กับภาพทั่วไปที่มีขนาด 138x193 พิกเซล สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนได้สูงสุด 127 ในทางแกน x และ 167 ในทางแกน y ค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนนั้นมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0 ในทุกจุดของการเลื่อน แต่เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเข้าไปในอ้างอิงจะพบว่าค่าสูงสุดที่ประมาณค่าได้ลดลง โดยจะขึ้นอยู่กับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนหากมีค่าสูงสุดที่ประมาณได้ลดลง โดยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเพิ่มได้มากที่สุดไม่เกิน 30 dBm ในภาพที่มีการเลื่อน ซึ่งจะได้ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อน 0.3 ในทางแกน x และ 0.41 ในทางแกน y ซึ่งรูปแบบการ Interpolate ไม่มีผลต่อการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพ

การประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนของภาพด้วยการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อใช้กับภาพทั่วไปที่มีขนาด 194x209 พิกเซล 3 พบว่ารูปแบบการ Interpolate ที่ดีที่สุดคือแบบ Linear และที่แย่ที่สุดคือแบบ Nearest มุมของการหมุนภาพมากขึ้นค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าการหมุนจะสูงขึ้นซึ่งสูงสุด 0.21 ที่มุมการหมุน 179° แต่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติจริง เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปจะพบว่าสามารถเพิ่มสัญญาณรบกวนได้สูงสุด 36 dBm โดยมีค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุน 0.26 เมื่อใช้รูปแบบการ Interpolate แบบ Linear

การประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนและหมุนภาพด้วยการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสนั้นจะมีประสิทธิภาพของการลงทะเบียนภาพที่มีการหมุนภาพก่อนเลื่อนภาพมากกว่าการเลื่อนภาพก่อนหมุนภาพเนื่องจากความความผิดพลาดน้อยกว่า และสามารถเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนสูงสุดคือ 20 dBm ค่าความผิดพลาดการเลื่อนในแกน x การเลื่อนในแกน y การหมุนของภาพอ้างอิงที่มีการหมุนภาพก่อนเลื่อนภาพมีค่า 0.3, 0.28, 0.52

การประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนของภาพด้วยการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อใช้กับภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืนที่มีขนาดพิกเซล 640x480 พิกเซล สามารถประมาณ

ค่าพารามิเตอร์การหมุนและการเลื่อนได้ถูกต้องโดยมีค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนเท่ากับ 0 ประมาณค่าได้สูงสุด 639 ในแกน x และ 439 ในแกน y ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อน 0.2 เมื่อมีมุม 179° ซึ่งผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับภาพทั่วไป จะพบว่าได้ผลใกล้เคียงกัน ดังนั้นการลงทะเบียนภาพโดยวิธีนี้สามารถลงทะเบียนภาพที่มีข้อมูลภาพสูงได้

หากเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเข้าไปในภาพงานท้ายปลอกกระสุนปืน การประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อน และการหมุน จะสามารถเพิ่มสัญญาณรบกวนได้สูงสุด -26-dBm ซึ่งได้น้อยกว่าการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสกับภาพทั่วไป แต่ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าพารามิเตอร์การเลื่อนได้ 0.48 ในทางแกน x และ 0.33 ในทางแกน y ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าพารามิเตอร์การหมุนได้ 0.78 ซึ่งสูงกว่าการลงทะเบียนภาพทั่วไป ดังนั้นสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนจะมีผลต่อการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสเมื่อภาพที่ใช้ลงทะเบียนเป็นภาพที่มีข้อมูลภาพสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในรายงานโครงการนี้ได้ศึกษาและทำการทดลองการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟส ซึ่งจะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลงทะเบียนภาพ โดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสนั้นจะเป็นสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน ยิ่งภาพมีข้อมูลภาพมาก สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนยิ่งมีผลมาก ดังนั้นก่อนที่จะทำการลงทะเบียนภาพควรจะมีการปรับปรุงภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนก่อน เพื่อให้ประสิทธิภาพในการลงทะเบียนภาพโดยวิธีสหสัมพันธ์เฟสมีเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Reddy, B.S.; Chatterji, B.N., "An FFT-based technique for translation, rotation, and scale invariant image registration"
- [2] Bentoutou, Y.; Taleb, N.; Kpalma, K.; Ronsin, J., "An Automatic Image Registration for Applications in Remote Sensing"
- [3] Keller, Y.; Averbuch, A.; Israeli, M., "Pseudopolar-based estimation of large translations, rotations, and scalings in images"
- [4] Qin-Sheng-Chen; Defrise, M.; Deconinck, F., "Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-Mellin transforms for image registration and recognition "
- [5] Eustice, R.; Pizarro, O.; Singh, H.; Howland, J."Underwater Image Toolbox for optical image processing and mosaicking in MATLAB", Proc. IEEE Int. Sympos. on Underwater Technology, 2002
- [6] Liu, H.; Guo, G.; Feng, Z., "Pseudo-log-polar Fourier transform for image registration" Signal Processing Letters, IEEE, 2006
- [7] McGuire, M.; "An image registration technique for recovering rotation, scale and translation parameters", NEC Research Institute Technical Report TR, 1998
- [8] นายเพชร นันทิวัดนา, "การลงทะเบียนภาพไม่เป็นเชิงเส้นด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยและทินเพลทสไปล์", พ.ศ. 2551

ภาคผนวก

```
function [Bxy] = translatedimage(Axy,tx,ty);  
  
% BXY = TRANSLATEDIMAGE(AXY, TX, TY) transforms the image "AXY" by  
  
% translation parameters "TX" and "TY" along with x-axis and y-axis  
  
% Notes:  
  
% x-axis is the horizontal line originating from left to right  
  
% y-axis is the vertical line originating from top to bottom  
  
% Date: January 9, 2009  
  
if tx < 0 | ty < 0; error('Translation is out of range!'); end;  
Axy = double(Axy);  
[Ny, Nx] = size(Axy);  
[X, Y] = meshgrid([1:1:Nx], [1:1:Ny]);  
T = [1 0 tx; 0 1 ty; 0 0 1]*[X(:)'; Y(:)'; ones(size(Y(:)'))];  
XI = reshape(T(1,:), size(X));  
YI = reshape(T(2,:), size(Y));  
Bxy = interp2(X, Y, Axy, XI, YI, '*nearest'); % spline/linear/nearest/cubic  
mask = (XI > max(X(:))) | (XI < min(X(:))) | (YI > max(Y(:))) | (YI < min(Y(:)));  
Bxy(mask) = 0; % any pixels outside warp, pad with black  
if abs(Bxy(:)) == 0; error('Translation is out of range!'); end;  
Bxy = uint8(Bxy);
```

```

function [Bxy] = rotatedimage(Axy,theta);

% BXY = ROTATEDIMAGE(AXY,THETA) rotates the image "AXY" by "THETA"
% degrees in a clockwise direction.

% Notes:
% x-axis is the horizontal line originating from left to right
% y-axis is the vertical line originating from top to bottom

% Date: January 6, 2009

[Ny, Nx] = size(Axy);
cenx = round(Nx/2);
ceny = round(Ny/2);
[X,Y] = meshgrid([1:1:Nx]-cenx,[1:1:Ny]-ceny);
th = (theta)*(pi/180); R = [cos(th) sin(th) 0; -sin(th) cos(th) 0; 0 0 1];
T = R*[X(:)'; Y(:)'; ones(size(Y(:)))];
XI = reshape(T(1,:), size(X));
YI = reshape(T(2,:), size(Y));
Bxy = interp2(X,Y,double(Axy),XI,YI,'*nearest'); %spline/linear/nearest/cubic
mask = (XI>max(X(:)) | (XI<min(X(:))) | (YI>max(Y(:))) | (YI<min(Y(:))));
Bxy(mask) = 0; % any pixels outside warp, pad with black

Bxy = uint8(Bxy);

```

```

function [tx,ty,indx,indy] = imtranslationpar(Axy,Bxy);

% [TX, TY] = IMTRANALATIONPAR(AXY,BXY) creates the translation parameters
% "TX" and "TY" along with x-axis and y-axis, respectively.
% "AXY" is the registered image and "BXY" is the target image.
% Notes:
% x-axis is the horizontal line originating from left to right
% y-axis ia the verticle line originating from top to bottom
% Date: January 9, 2009

[Ny, Nx] = size(Bxy);
% Correlate the magnitude components by doing the FFT2 of each image by
% using the cross power spectrum index. The IFFT can then be used to find
% the maximum index, which represents the translation-invariant shift
% between the frames.
I1uv = fft2(double(Axy),Ny,Nx);
I2uv = fft2(double(Bxy),Ny,Nx);
CPS = exp(i*(angle(I1uv)-angle(I2uv)));
cps = real(iff2(CPS));
[indy,indx] = find(cps == max(max(cps)));

tx = (indx-1);
ty = (indy-1);

```



```

function [theta] = imrotationpar(Axy,Bxy);

% [THETA] = IMROTATIONPAR(AXY,BXY) creates the rotation angle "THETA"
% in degree between the image "AXY" and image "BXY" in a clockwise
% direction.
% Notes:
% x-axis is the horizontal-line originating from left to right
% y-axis ia the verticle line originating from top to bottom
% Date: January 6, 2009
% Only pay attention to 0 to 180 degrees of FFT

thetas = linspace(0, 180, 180);
% Polar transform the images and get the magnitude information,
% which should only be different by a translation
[FR1,XP1] = radon(Axy, thetas); F1 = abs(fft(FR1));
[FR2,XP2] = radon(Bxy, thetas); F2 = abs(fft(FR2));
% Correlate the magnitude components by doing the FFT2 of each image by
% using the cross power spectrum index. The IFFT can then be used to find
% the maximum index, which represents the translation-invariant angle of
% rotation between the frames.

I1uv = fft2(F1);
I2uv = fft2(F2);
CPS = exp(i*(angle(I1uv)-angle(I2uv)));

cps = real(ifft2(CPS));
[indy,indx] = find(cps == max(max(cps)));
theta = thetas(indx(1));

```

ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายสุภชัย อินทร์สวาท
ภูมิลำเนา 348/2 ม.10 ต.วังโบสถ์ อ.หนองไผ่ จ.เพชรบูรณ์
67140

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองไผ่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: buleg_121@hotmail.com



ชื่อ นายณิธย์ พันสันเทียะ
ภูมิลำเนา 351/25 ถนนไชยานุภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง
จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: asakura_hikaru@hotmail.com