

การสร้างภาพความละเอียดสูงจากภาพหลายเฟรมโดยใช้พจนาคู่ค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน

นายอติเทพ เตชะพานิชวิทยา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MULTI-FRAME SUPER-RESOLUTION IMAGE RECONSTRUCTION USING BILATERAL
TOTAL VARIATION

Mr. Adithep Techapanichvitaya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างภาพความละเอียดสูงจากภาพหลายเฟรมโดยใช้
พจน์คู่ค่าแบบการแปรผันร่วมสองด้าน

โดย

นายอดิเทพ เตชะพานิชวิทยา

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียล์ พุ่มรินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารเทคโนโลยี

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียล์ พุ่มรินทร์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สิัญญา มิตรเอม)

อดิเทพ เตชะพานิชวิทยา : การสร้างภาพความละเอียดสูงจากภาพหลายเฟรมโดยใช้พจน์
 คมค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน (MULTI-FRAME SUPER-RESOLUTION IMAGE
 RECONSTRUCTION USING BILATERAL TOTAL VARIATION) อ.ที่ปรึกษา
 วิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย ฟูมรินทร์, 83 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสร้างภาพความละเอียดสูงโดยใช้ชุดภาพจากแฟ้มภาพวีดิ
 ทัศน์ โดยออกแบบและพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C# ซึ่งสามารถเลือกบริเวณที่สนใจเพื่อขยาย
 ความละเอียดได้ และสามารถเลือกสร้างภาพความละเอียดสูงเพียงอย่างเดียว หรือสร้างภาพ
 ความละเอียดสูงร่วมกับการลดสัญญาณรบกวน โดยการสร้างภาพความละเอียดสูงได้เลือกใช้การ
 ประมาณค่าแบบข้อมูลรู้ภายหลังสูงสุดร่วมกับพจน์คมค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน และ
 แก้ปัญหาด้วยการหาค่าเหมาะที่สุดแบบวิธีลาดลงชั้นที่สุด ซึ่งออกแบบให้สามารถคำนวณระยะ
 ก้าวที่เหมาะสมได้โดยอัตโนมัติ และส่วนของการลดสัญญาณรบกวนใช้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์
 โดยออกแบบให้สามารถคำนวณหาค่าคงตัวปรับแต่งได้โดยอัตโนมัติ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2553.....

5270709421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : SUPER-RESOLUTION / MAXIMUM A-POSTERIORI / BILATERAL TOTAL VARIATION / STEEPEST DESCENT OPTIMIZATION METHOD / ADAPTIVE STEP SIZE / TUKEY'S BIWEIGHT / AUTOMATICALLY DETERMINED TUNING CONSTANT.

ADITHEP TECHAPANICHVITAYA : MULTI-FRAME SUPER-RESOLUTION IMAGE RECONSTRUCTION USING BILATERAL TOTAL VARIATION.

ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR SUREE PUMRIN, Ph.D., 83 pp.

This thesis proposes the super-resolution image reconstruction technique using image sequences from a video file. The region of interest based Super-Resolution algorithm is developed in C# programming. An end user can select either Super-Resolution enhancement or Super-Resolution enhancement with noise removal. A single Super-Resolution image is reconstructed from the maximum a-posteriori estimation with a robust regularization, the bilateral total variation. Our technique is to apply the steepest descent optimization method for an optimal step size. In addition, the Tukey's biweight with an automatically determined tuning constant is used to remove noise.

Department...Electrical Engineering..... Student's signature.....
 Field of Study Electrical Engineering..... Advisor's signature.....
 Academic Year.....2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุมรินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และเป็นผู้ให้ความรู้ทางด้านวิชาการ อีกทั้งยังแนะแนวทางในการทำงานวิจัยแก่ผู้เขียนตลอดมา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สัญญา มิตรเอม ที่ให้คำแนะนำ และให้ข้อคิดเห็นในงานเกี่ยวกับงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา อย่างสูง ที่เลี้ยงดู แนะนำแนวทางชีวิต และให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัว และวงจรรวม สำหรับความช่วยเหลือ ข้อคิดเห็น และคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณโครงการ GE12 โรงงานนำร่องเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมอัจฉริยะสำหรับ Green Society ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวคิดและความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนองานวิจัย	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการพื้นฐานในการสร้างภาพความละเอียดสูง	4
2.2 แบบจำลองของปัญหา	6
2.2.1 ตัวดำเนินการบิดโค้ง	7
2.2.2 ตัวดำเนินการพรั่มว	8
2.2.3 ตัวดำเนินการชักตัวอย่างขาลง.....	10
2.2.4 สัญญาณรบกวน.....	11
2.3 เงื่อนไขการขยายความละเอียดภาพ	13
2.3.1 ภาพความละเอียดต่ำมีระยะเลือนไม่เต็มจุดภาพ	13
2.3.2 จำนวนภาพความละเอียดต่ำที่นำมาใช้เป็นข้อมูล	14
2.3.3 ขนาดเคอร์เนลของตัวดำเนินการพรั่มว	14
2.4 วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูง	15
2.4.1 วิธีเชิงโดเมนความถี่.....	15
2.4.2 วิธีเชิงโดเมนพื้นที่.....	16
2.4.2.1 วิธีการประมาณค่าในช่วงแบบไม่เอกรูป	16

หน้า

2.4.2.2	วิธีฉายไปยังเซตคอนเวกซ์	17
2.4.2.3	วิธีฉายกลับแบบทำซ้ำ.....	18
2.4.2.4	วิธีเงื่อนไขบั้งค้ำกำลังสองน้อยสุด.....	19
2.4.2.5	วิธีเฟ้นสุ่ม.....	20
2.4.2.6	วิธีลูกผสม	22
2.5	การประมาณการเคลื่อนที่.....	25
2.5.1	การประมาณการเคลื่อนที่แบบทั้งภาพ	25
2.5.1.1	การแปลงคล้าย	26
2.5.1.2	การแปลงสัมพรรค	26
2.5.1.3	การแปลงทัศนมิติ	27
2.5.2	การประมาณการเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่	28
2.5.2.1	การค้นหาเต็มอัตรา	28
2.5.2.2	การค้นหาสามขั้นตอน	29
2.5.2.3	การค้นหาสามขั้นตอนแบบมีประสิทธิภาพ	31
2.5.2.4	การประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบล็อกร่วมกับ การแปลงสัมพรรค.....	32
2.6	พจน์คุณค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน	34
2.7	สถิติศาสตร์ทันทาน	35
2.7.1	ประสิทธิภาพเชิงเส้นกำกับสัมพัทธ์.....	35
2.7.2	สภาพทันทาน.....	36
บทที่ 3	ระเบียบวิธีที่นำเสนอ	37
3.1	ระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูง	37
3.2	ระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน.....	41
3.3	การกำหนดตำแหน่ง.....	45
3.4	การรวมข้อมูลจุดภาพ.....	48
3.4.1	การรวมภาพแบบเฉลี่ย.....	48
3.4.2	การรวมภาพแบบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก.....	48
3.4.3	การรวมภาพแบบมัธยฐาน.....	49
บทที่ 4	ระเบียบวิธีที่เลือกใช้ในการออกแบบโปรแกรม.....	50
4.1	เงื่อนไขของแฟ้มภาพวีดิทัศน์	50

4.1.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ	50
4.1.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ	51
4.1.3 ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ	51
4.2 ไลบรารีเอ็มจียูซีวี	52
4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	52
4.5 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้	55
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	57
5.1 ดัชนีชี้วัดคุณภาพของผลการทดลอง.....	57
5.2 ผลการทดสอบกับภาพความละเอียดต่ำสังเคราะห์.....	58
5.2.1 กรณีภาพไม่มีสัญญาณรบกวน	58
5.2.2 กรณีภาพมีสัญญาณรบกวน	63
5.3 ผลการทดสอบกับแฟ้มภาพวีดิทัศน์.....	68
5.4 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล	74
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ.....	75
6.1 ข้อเสนอแนะ.....	75
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	83

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 สรุปการวิเคราะห์งานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับวิธีการขยายความละเอียดภาพ	24
ตารางที่ 5-1 ผลการทดลองกับภาพความละเอียดต่ำส่งเคราะห์ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวน..	62
ตารางที่ 5-2 ผลการทดลองกับภาพความละเอียดต่ำส่งเคราะห์ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวน.....	67
ตารางที่ 5-3 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลหนึ่งรอบ	74

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 การขยายรายละเอียดภาพ	4
รูปที่ 2-2 การประมาณค่าในช่วง.....	5
รูปที่ 2-3 การสร้างภาพความละเอียดสูง	5
รูปที่ 2-4 แบบจำลองของปัญหาการสร้างภาพความละเอียดสูง	6
รูปที่ 2-5 การเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียวกันทั้งภาพ	7
รูปที่ 2-6 การเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่	8
รูปที่ 2-7 แสดงตกกระทบฉากมีลักษณะไม่รวมเป็นจุด	8
รูปที่ 2-8 ผลของความพรั่มัว.....	9
รูปที่ 2-9 ตัวดำเนินการพรั่มัวแบบเกาส์	10
รูปที่ 2-10 การชักตัวอย่างขาลงแบบเลือกจุดภาพ	10
รูปที่ 2-11 การชักตัวอย่างขาลงแบบเฉลี่ยเชิงพื้นที่	11
รูปที่ 2-12 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงของสัญญาณรบกวน.....	12
รูปที่ 2-13 แบบจำลองของปัญหาการขยายความละเอียดภาพ	13
รูปที่ 2-14 ระยะเลื่อนของจุดภาพ	13
รูปที่ 2-15 ระยะเลื่อนระหว่างภาพ.....	14
รูปที่ 2-16 การขยายความละเอียดภาพที่มีตัวประกอบการขยาย 2 เท่า	14
รูปที่ 2-17 การกำหนดตำแหน่งจุดภาพ	17
รูปที่ 2-18 การประมาณค่าในช่วง.....	17
รูปที่ 2-19 การฉายไปยังเซตคอนเวกซ์	18
รูปที่ 2-20 ตัวดำเนินการลาปลาซ	19
รูปที่ 2-21 ลักษณะเด่นในภาพ	25
รูปที่ 2-22 การจับคู่ลักษณะเด่นในภาพ	26
รูปที่ 2-23 ตัวอย่างการแปลงภาพ.....	27
รูปที่ 2-24 การคำนวณความผิดพลาดของบล็อกคู่แรก.....	28
รูปที่ 2-25 การคำนวณความผิดพลาดของบล็อกคู่ที่สอง	29
รูปที่ 2-26 การค้นหาสามขั้นตอน	30
รูปที่ 2-27 การค้นหาสามขั้นตอนแบบมีประสิทธิภาพ	31
รูปที่ 2-28 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแต่ละบล็อก	32

รูปที่ 2-29 บล็อกถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วน	33
รูปที่ 2-30 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อก A, H, I.....	33
รูปที่ 3-1 ฟังก์ชันซิกนัม	41
รูปที่ 3-2 ฟังก์ชันกำลังสองน้อยสุด.....	42
รูปที่ 3-3 การรวมข้อมูลจุดภาพ	42
รูปที่ 3-4 ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์.....	43
รูปที่ 3-5 การแจกแจงปกติ	44
รูปที่ 3-6 มัธยฐานของค่าสัมบูรณ์ของเกรเดียนต์ค่าคลาดเคลื่อน	45
รูปที่ 3-7 บล็อกในย่านใกล้เคียง	46
รูปที่ 3-8 พิกัดของแต่ละจุดภาพ	47
รูปที่ 3-9 การรวมภาพแบบเฉลี่ย.....	48
รูปที่ 3-10 การรวมภาพแบบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	49
รูปที่ 4-1 ไบแนมามนุษย์ซึ่งมีการเคลื่อนที่ไม่คงรูป	50
รูปที่ 4-2 การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานทั้งภาพ	51
รูปที่ 4-3 การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานเฉพาะที่.....	51
รูปที่ 4-4 ผังงานขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	54
รูปที่ 4-5 ผังงานขั้นตอนการคำนวณพจน์คุ่มค่า	55
รูปที่ 4-6 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของโปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูง.....	55
รูปที่ 5-1 ผลการทดลองที่ 1.....	58-59
รูปที่ 5-2 ผลการทดลองที่ 2.....	59-60
รูปที่ 5-3 ผลการทดลองที่ 3.....	60-61
รูปที่ 5-4 ผลการทดลองที่ 4.....	61-62
รูปที่ 5-5 ผลการทดลองที่ 5.....	63
รูปที่ 5-6 ผลการทดลองที่ 6.....	64
รูปที่ 5-7 ผลการทดลองที่ 7.....	65
รูปที่ 5-8 ผลการทดลองที่ 8.....	66
รูปที่ 5-9 ผลการทดลองที่ 9.....	68
รูปที่ 5-10 ผลการทดลองที่ 10.....	69
รูปที่ 5-11 ผลการทดลองที่ 11.....	70

หน้า

รูปที่ 5-12 ผลการทดลองที่ 12.....	71
รูปที่ 5-13 ผลการทดลองที่ 13.....	72
รูปที่ 5-14 ผลการทดลองที่ 14.....	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและความเป็นมา

ในปัจจุบัน มีการประยุกต์ใช้ภาพเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การถ่ายภาพทางอากาศด้วยดาวเทียมหรือเครื่องบิน การใช้ภาพถ่ายในการวินิจฉัยโรค การบันทึกภาพของเครื่องกราดวิเคราะห์ (Scanner) หรือการใช้กล้องวิดีโอที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ เพื่อบันทึกภาพเหตุการณ์ในรูปของแฟ้มภาพวิดีโอ ซึ่งในการประยุกต์ใช้ภาพเหล่านี้ ต้องการภาพที่มีความละเอียดสูง (High-resolution) กล่าวคือ ภาพที่ได้มีรายละเอียดต่างๆชัดเจน และมีความหนาแน่นของจุดภาพ (Pixel density) สูง แต่โดยทั่วไป ภาพหรือแฟ้มภาพที่บันทึกได้ มักมีความละเอียดต่ำ (Low-resolution) และไม่สามารถให้ข้อมูลที่สำคัญบางอย่าง เช่นตัวหนังสือบนป้ายทะเบียนของยานพาหนะ เนื่องจากภาพมีความพร่ามัว (Blur) หรือภาพมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ต่ำ มีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ในระบบรับภาพ เช่นตัวตรวจจับภาพ (Imaging sensor) หรือระยะทางของวัตถุอยู่ห่างจากอุปกรณ์รับภาพเกินไป การเพิ่มความหนาแน่นจุดภาพอาจทำได้โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบรับภาพ [1] เช่นการลดขนาดของอุปกรณ์ถ่ายภาพประจุ (Charge Couple Device, CCD) ให้มีขนาดเล็กกลง โดยอุปกรณ์ถ่ายภาพประจุในปัจจุบันมีขนาดประมาณ 40 ตารางไมโครเมตร ซึ่งถึงขีดจำกัดในการลดขนาดอุปกรณ์ อีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มความหนาแน่นจุดภาพ คือการเพิ่มขนาดชิป แต่จะทำให้มีค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) สูงขึ้น ทำให้ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลลดลง ดังนั้นการแก้ปัญหาโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการเพิ่มความหนาแน่นจุดภาพ

การขยายความละเอียดภาพ (Super-resolution) เป็นวิธีการเพิ่มความหนาแน่นของจุดภาพอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นการปรับปรุงภาพโดยใช้ซอฟต์แวร์ และวิธีการขยายความละเอียดภาพก็ได้เป็นที่สนใจแก่นักวิจัยมาเป็นเวลานาน โดยวิธีการขยายความละเอียดภาพโดยใช้ความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood, ML) [2] และวิธีข้อมูลรู้ภายหลังสูงสุด (Maximum A-Posteriori, MAP) [3] เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม ซึ่งในงานวิจัยส่วนใหญ่ [2], [4-9] มักใช้ระเบียบวิธีการหาค่าตอบโดยให้ระยะก้าว (Step-size) มีค่าคงตัวตลอดทุกรอบการประมวลผล ซึ่งในความเป็นจริงการคำนวณแต่ละรอบมีค่าระยะก้าวที่เหมาะสมแตกต่างกันไป งานวิจัย [4-5], [7-9] ให้มีความสำคัญกับการขยายความละเอียดภาพโดยลดสัญญาณรบกวน โดยงานวิจัย [8] ได้ประยุกต์ใช้สถิติศาสตร์แบบทนทาน (Robust Statistics) ในการลดสัญญาณรบกวน แต่จำเป็นต้องกำหนดค่าคงตัวปรับแต่ง (Tuning Constant) เอง ซึ่งค่าคงตัวปรับแต่งเป็นค่าแบ่ง

ขอบเขตระหว่างข้อมูลและสัญญาณรบกวน และมีค่าที่เหมาะสมแตกต่างกันในแต่ละภาพหรือในแต่ละประเภทของสัญญาณรบกวน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อขยายความละเอียดภาพ ที่สามารถเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution), เพิ่มความเปรียบต่างและความคมชัด (Contrast & Sharpness) หรือสามารถบูรณะภาพโดยลดสัญญาณรบกวน โดยการขยายความละเอียดภาพจะเลือกใช้วิธีข้อมูลรู้ภายหลังสูงสุด ซึ่งใช้ข้อมูลภาพความละเอียดต่ำจากแฟ้มภาพวีดิทัศน์ การขยายความละเอียดภาพโดยวิธีนี้มีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ต่างๆของระบบบันทึกภาพ และเป็นการใช้ข้อมูลภาพความละเอียดต่ำที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบรับภาพทั่วไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

- 1) วิจัยและออกแบบขั้นตอนวิธีการขยายความละเอียดภาพ
- 2) พัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อขยายความละเอียดภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ใช้ข้อมูลชุดภาพจากแฟ้มภาพวีดิทัศน์
- 2) ผู้ใช้สามารถเลือกตัวประกอบการขยายได้
- 3) ผู้ใช้สามารถเลือกขยายความละเอียดภาพหรือขยายความละเอียดภาพร่วมกับลดสัญญาณรบกวน
- 4) ทดลองเขียนโปรแกรมขยายความละเอียดภาพ และเปรียบเทียบผลการทดลองกับระเบียบวิธีต่างๆ ด้วยโปรแกรม MATLAB
- 5) ใช้โปรแกรมภาษา C/C++/C# ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ขยายความละเอียดภาพ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาการขยายความละเอียดภาพแบบ Super Resolution
- 2) ศึกษาระเบียบวิธีต่างๆในการขยายความละเอียดภาพแบบ Super Resolution
- 3) ทดลองเขียนโปรแกรมทดสอบผลของระเบียบวิธีต่างๆ
- 4) พัฒนาระเบียบวิธีขยายความละเอียดภาพ
- 5) ทดลองเขียนโปรแกรมขยายความละเอียดภาพโดยใช้ระเบียบวิธีที่พัฒนา
- 6) ศึกษาการใช้โปรแกรม C/C++/C#

- 7) ออกแบบซอฟต์แวร์ขยายความละเอียดภาพ
- 8) ทดสอบขยายความละเอียดภาพจากซอฟต์แวร์ที่ออกแบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ขยายความละเอียดภาพที่ใช้งานได้จริง
- 2) ได้ความรู้ในการแก้ปัญหาสมการเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทำซ้ำ
- 3) ได้ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม MATLAB , โปรแกรมภาษา C/C++/C#
- 4) สามารถขยายความละเอียดภาพได้โดยไม่ต้องปรับแต่งส่วนของอุปกรณ์รับภาพ
- 5) สามารถพัฒนาระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูง

1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนองานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้แบ่งออกเป็น 6 บท โดยบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการขยายความละเอียดภาพ แบบจำลองของปัญหา เงื่อนไขของการขยายความละเอียดภาพ วิเคราะห์งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการขยายความละเอียดภาพและการประมาณการเคลื่อนที่ อธิบายเกี่ยวกับพจน์คุ่มค่าที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย และสถิติศาสตร์ทันทาน บทที่ 3 กล่าวถึงระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูงและระเบียบวิธีในการลดสัญญาณรบกวนที่ใช้ในงานวิจัย อธิบายถึงขั้นตอนการกำหนดตำแหน่ง และขั้นตอนการรวมข้อมูลจุดภาพ บทที่ 4 อธิบายเกี่ยวกับการออกแบบโปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูง โดยอธิบายเงื่อนไขของแฟ้มภาพวีดิทัศน์ ไลบรารี อีเอ็มซียูซีวีและฟังก์ชันต่างๆที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม บรรยายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบ และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ บทที่ 5 จะกล่าวถึงผลการทดลองต่างๆ และบทที่ 6 จะกล่าวสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะต่างๆ

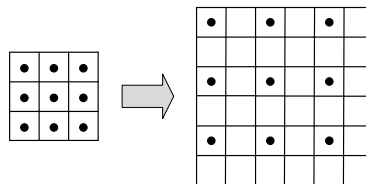
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการขยายความละเอียดภาพซึ่งกล่าวถึงแบบจำลองของปัญหา รวมถึงเงื่อนไขที่ทำให้การขยายความละเอียดภาพมีความเป็นไปได้ มีการวิเคราะห์งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการขยายความละเอียดภาพและวิธีต่างๆที่ใช้ในการประมาณการเคลื่อนที่ อีกทั้งอธิบายถึงพจน์ค่าที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย และการวิเคราะห์เกี่ยวกับสถิติศาสตร์ทันทาน

2.1 หลักการพื้นฐานในการสร้างภาพความละเอียดสูง

ในปัจจุบันภาพความละเอียดสูง (High Resolution Image) เป็นที่ต้องการอย่างมากในการประยุกต์ทางภาพ แต่โดยทั่วไปภาพที่ได้มักจะเป็นภาพที่มีความละเอียดต่ำ (Low Resolution Image) กล่าวคือมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ต่ำ ทำให้รายละเอียดที่จำเป็นในภาพมีไม่เพียงพอ จึงต้องมีการขยายความละเอียดภาพ



รูปที่ 2-1 การขยายความละเอียดภาพ

จากรูปที่ 2-1 เป็นการขยายความละเอียดจากภาพที่มีตัวประกอบการขยาย (Enhancement Factor) เท่ากับ 2 จะเห็นได้ว่ามีจุดภาพบางจุดที่ไม่มีข้อมูลซึ่งจำเป็นต้องเติมข้อมูลที่หายไปด้วยค่าที่เหมาะสม โดยทั่วไปการขยายความละเอียดภาพสามารถทำได้โดยการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) เช่นการประมาณค่าในช่วงแบบย่านใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbour) แบบไบลิเนียร์ (Bilinear) และแบบไบคิวบิก (Bicubic)



(ก) ภาพความละเอียดต่ำ



(ข) การประมาณค่าในช่วงแบบย่านใกล้เคียงที่สุด



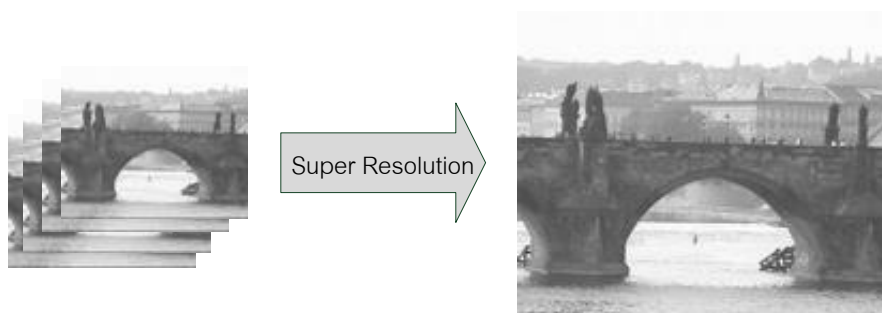
(ค) การประมาณค่าในช่วงแบบโบลีเนียน์



(ง) การประมาณค่าในช่วงแบบไบควิบิค

รูปที่ 2-2 การประมาณค่าในช่วง

วิธีการขยายความละเอียดภาพด้วยการประมาณค่าในช่วงมีข้อดีที่ความเรียบง่าย อย่างไรก็ตามวิธีนี้ใช้ข้อมูลจุดภาพจากภาพเพียงภาพเดียวทำให้รายละเอียดในภาพไม่เพิ่มขึ้น จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างภาพความละเอียดสูง (Super Resolution Image Reconstruction) โดยเป็นการประมวลผลทางสัญญาณเพื่อสร้างภาพที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงจากชุดภาพความละเอียดต่ำ



รูปที่ 2-3 การสร้างภาพความละเอียดสูง

การสร้างภาพความละเอียดสูงมีข้อดีที่สามารถใช้ข้อมูลจากภาพความละเอียดต่ำหลายภาพให้เป็นประโยชน์ ซึ่งภาพความละเอียดต่ำเหล่านี้ต้องเป็นภาพจากฉากเดียวกัน แต่อาจถ่ายจากหลายมุมหรือถ่ายจากอุปกรณ์รับภาพหลายๆตัว หรือเป็นชุดภาพจากแฟ้มภาพวิดีโอ

2.2 แบบจำลองของปัญหา

กำหนดให้ภาพความละเอียดต่ำจำนวน N ภาพ แทนด้วยตัวแปร Y และภาพความละเอียดสูงแทนด้วยตัวแปร X มีความสัมพันธ์กันโดยที่ภาพความละเอียดต่ำแต่ละภาพ ได้จากการนำภาพความละเอียดสูง ผ่านตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพดังนี้

- ตัวดำเนินการบิดโค้ง (Warp, W_k)
- ตัวดำเนินการพรมัว (Blur, B_k)
- ตัวดำเนินการซั๊กตัวอย่างขาลง (Down-Sample, D_k)
- สัญญาณรบกวน (Noise, η_k)

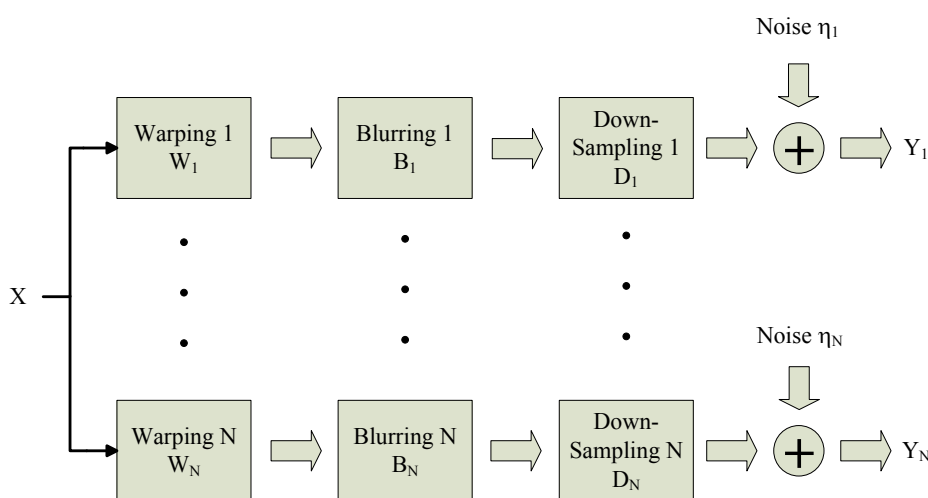
แบบจำลองปัญหา สามารถแสดงได้ตามสมการ

$$Y_k = W_k B_k D_k X + \eta_k \quad ; k = 1, 2, \dots, N \quad (2.1)$$

เราสามารถแทนตัวดำเนินการบิดโค้ง (W_k), พรมัว (B_k), และซั๊กตัวอย่างขาลง (D_k) ด้วยตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพ H_k ดังนั้น สมการ (2.1) จึงสามารถลดรูปได้เป็น

$$Y_k = H_k X + \eta_k \quad ; k = 1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาพความละเอียดต่ำ Y ลำดับที่ k กับภาพความละเอียดสูง X โดยที่ภาพความละเอียดต่ำจำนวน N ภาพเป็นผลมาจากภาพความละเอียดสูง X เพียงภาพเดียว ผ่านตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพ H_k และสัญญาณรบกวน η_k ที่ต่างกันจำนวน N แบบ ปัญหาการสร้างภาพความละเอียดสูงจัดเป็นปัญหาผกผัน (Inverse Problem) สมการ (2.1) สามารถอธิบายให้อยู่ในรูปผังงานได้ตามรูป



รูปที่ 2-4 แบบจำลองของปัญหาการสร้างภาพความละเอียดสูง

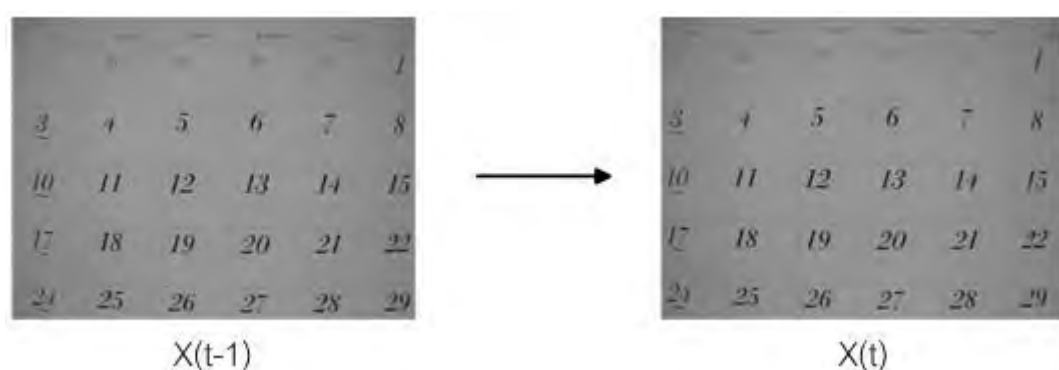
รายละเอียดของตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพต่างๆ มีดังนี้

2.2.1 ตัวดำเนินการบิดโค้ง (Warp, W_k)

เป็นตัวดำเนินการที่ใช้แปลงพิกัดจุดภาพใดๆ ไปสู่จุดภาพอีกตำแหน่งหนึ่ง เพื่อใช้แสดงการเคลื่อนที่ระหว่างภาพความละเอียดสูง (X) กับภาพความละเอียดต่ำ (Y_k) ที่ผ่านการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ให้อยู่ในพิกัดภาพความละเอียดสูง ตัวดำเนินการบิดโค้งใช้ในขั้นตอนการซ้อนทับภาพโดยกำหนดตำแหน่ง (Image registration) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีผลกับลักษณะของภาพผลลัพธ์เป็นอย่างมาก หากเราซ้อนทับภาพโดยกำหนดตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ จะได้ผลลัพธ์เป็นภาพความละเอียดสูงที่มีคุณภาพ ในทางกลับกันหากเราซ้อนทับภาพโดยกำหนดตำแหน่งได้ไม่แม่นยำจะทำให้ภาพผลลัพธ์มีคุณภาพแย่ง การสร้างแบบจำลองของตัวดำเนินการบิดโค้งทำได้โดยการประมาณการเคลื่อนที่ (Motion estimation) โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ระหว่างภาพสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ

1) การเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียวทั้งภาพ (Global Motion)

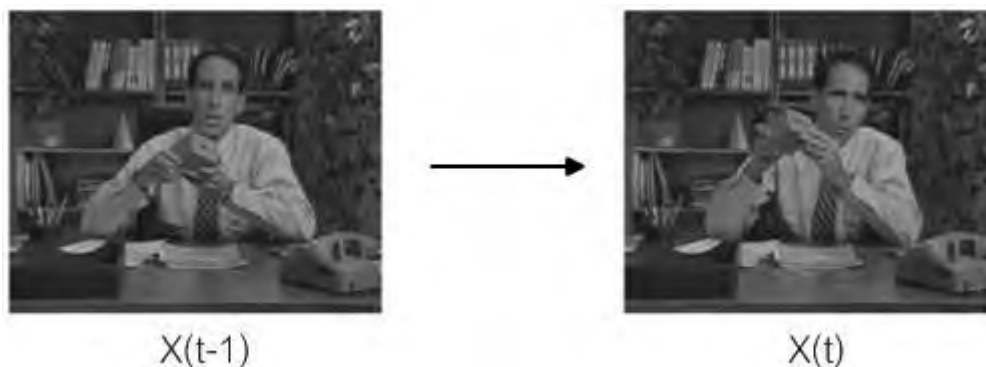
เป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะที่วัตถุและฉากหลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียวกันทั้งภาพแสดงดังรูป



รูปที่ 2-5 การเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียวกันทั้งภาพ

2) การเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่ (Local Motion)

เป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะที่วัตถุในภาพเคลื่อนที่ในขณะที่ฉากหลังอยู่นิ่ง หรือทั้งวัตถุและฉากหลังเคลื่อนที่ในทิศทางที่แตกต่างกัน ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่แสดงดังรูป



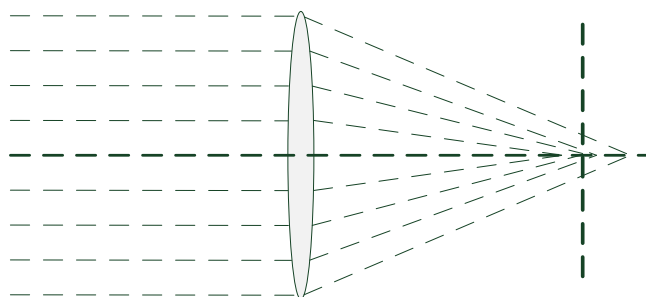
รูปที่ 2-6 การเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่

2.2.2 ตัวดำเนินการพรั่มัว (Blur, B_k)

ตัวดำเนินการพรั่มัวมีผลทำให้ภาพขาดความคมชัด เนื่องจากแสงที่ตกกระทบตัวรับรู้ภาพ (Imaging Sensor) มีลักษณะไม่เป็นจุดสมบูรณ์ กล่าวคือแสงมีลักษณะกระจายตัวไปรอบๆ จุดภาพ ในปัญหาการขยายความละเอียดภาพ สามารถอธิบายความพรั่มัวได้ด้วยฟังก์ชันแผ่กระจายจุด (Point Spread Function, PSF) โดยทั่วไปสามารถแยกความพรั่มัวได้เป็น 3 ประเภท [1] ดังนี้

1) ความพรั่มัวเชิงแสง (Optical Blur)

ความพรั่มัวเชิงแสงเกิดจากการที่เลนส์อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม หรือเกิดจากเลนส์คลาดทรงกลม (Aspherical Lens) อันเนื่องมาจากการผลิต ทำให้แสงตกกระทบที่ฉากรับแสงไม่อยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ (Out of Focus) และอาจเกิดจากการเลี้ยวเบนของแสง ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการเพิ่มความละเอียดของตัวรับรู้ภาพ ผลลัพธ์จากความพรั่มัวเชิงแสงคือแสงตกกระทบที่ฉากในลักษณะไม่รวมกันเป็นจุด ทำให้ภาพขาดความคมชัด



รูปที่ 2-7 แสงตกกระทบฉากมีลักษณะไม่รวมเป็นจุด

2) ความพรั่มัวจากการเคลื่อนที่ (Motion Blur)

ความพรั่มัวจากการเคลื่อนที่เกิดจากเวลาในการเปิด-ปิดช่องรับแสงที่ไม่เป็นศูนย์ (Nonzero Aperture Time) เมื่อวัตถุในภาพหรืออุปกรณ์รับภาพมีการเคลื่อนที่ขณะ

บันทึกภาพและอุปกรณ์รับภาพมีความไวชัตเตอร์ต่ำ ทำให้มีการรวมภาพที่มีวัตถุเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆ เข้าด้วยกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือวัตถุในภาพจะเกิดความพร่ามัวหรือมีลักษณะลากยาวไปตามทิศทางการเคลื่อนที่

3) ความพร่ามัวจากตัวรับรู้ภาพ (Sensor Blur)

ในการบันทึกภาพอุปกรณ์รับภาพจะบันทึกข้อมูลจากฉากเป้าหมายที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่แบบต่อเนื่อง จากนั้นตัวรับรู้ภาพจะชักตัวอย่างขาลงข้อมูลดังกล่าวและบันทึกไว้เป็นข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นลักษณะการบันทึกข้อมูลของกล้องดิจิทัลทุกชนิด หากอุปกรณ์รับภาพมีความหนาแน่นของตัวรับรู้ภาพต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่ำจะไม่สามารถบันทึกรายละเอียดของภาพได้มากเพียงพอ ทำให้ภาพขาดความคมชัด อุปกรณ์รับภาพที่มีความหนาแน่นของตัวรับรู้ภาพต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูงกว่าจะทำให้บันทึกรายละเอียดของภาพได้มากกว่า กล่าวคือภาพที่บันทึกได้มีความหนาแน่นเชิงพื้นที่สูงกว่า

ตัวอย่างผลของความพร่ามัวชนิดต่างๆ แสดงได้ดังรูป 2-8



(ก) ภาพปกติ



(ข) ความพร่ามัวเชิงแสง



(ค) ความพร่ามัวจากการเคลื่อนที่



(ง) ความพร่ามัวจากตัวรับรู้ภาพ

รูปที่ 2-8 ผลของความพร่ามัว

ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะทราบค่าฟังก์ชันแผ่กระจายจุดของอุปกรณ์รับภาพทุกตัว ดังนั้นการขยายความละเอียดภาพจึงประมาณค่าของตัวดำเนินการพร่ามัว ด้วยฟังก์ชันความพร่ามัวแบบเกาส์ 2 มิติ (2D Gaussian Blur) ตามสมการ

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

เมื่อ σ^2 คือความแปรปรวนของการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian distribution)

ตัวอย่างตัวดำเนินการพรมัวแบบเกาส์แสดงดังรูป

$$\begin{bmatrix} 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \\ 0.1238 & 0.2042 & 0.1238 \\ 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0232 & 0.0338 & 0.0383 & 0.0338 & 0.0232 \\ 0.0338 & 0.0492 & 0.0558 & 0.0492 & 0.0338 \\ 0.0383 & 0.0558 & 0.0632 & 0.0558 & 0.0383 \\ 0.0338 & 0.0492 & 0.0558 & 0.0492 & 0.0338 \\ 0.0232 & 0.0338 & 0.0383 & 0.0338 & 0.0232 \end{bmatrix}$$

(ก) $\sigma^2 = 1$

(ข) $\sigma^2 = 4$

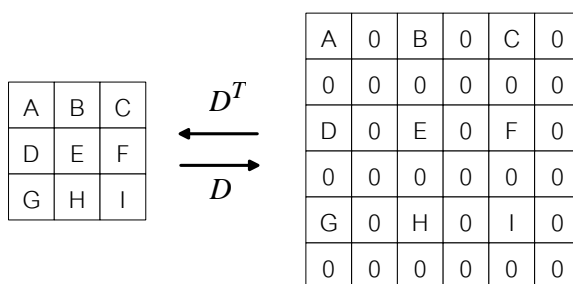
รูปที่ 2-9 ตัวดำเนินการพรมัวแบบเกาส์

2.2.3 ตัวดำเนินการชักตัวอย่างขาลง (Down-Sample, D_k)

เป็นตัวดำเนินการที่ใช้แทนการลดจำนวนจุดภาพที่บันทึกได้โดยตัวรับรู้ภาพ ซึ่งตัวดำเนินการชักตัวอย่างขาลงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าคงตัว กล่าวคือในทุกๆภาพความละเอียดต่ำได้มาจากภาพความละเอียดสูงผ่านการชักตัวอย่างขาลงด้วยอัตราที่เท่ากันในทุกภาพ $D_k = D$ การชักตัวอย่างขาลงสามารถแบ่งเป็นสองประเภทคือ

1) แบบเลือกจุดภาพ (Pixel-selection) [4-5]

เป็นการชักตัวอย่างขาลงโดยจุดภาพของภาพความละเอียดต่ำแต่ละจุดได้มาจากการเลือกจุดภาพบางจุดของภาพความละเอียดสูง ดังแสดงในรูป

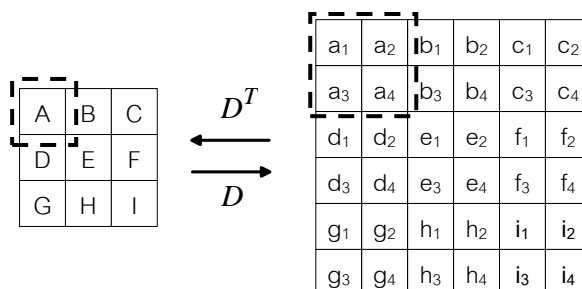


รูปที่ 2-10 การชักตัวอย่างขาลงแบบเลือกจุดภาพ

2) การชักตัวอย่างขาลงแบบเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial Average) [2]

เป็นการชักตัวอย่างขาลงโดยจุดภาพของภาพความละเอียดต่ำแต่ละจุดได้มาจากการนำจุดภาพของภาพความละเอียดสูงในย่านใกล้เคียงมาหาค่าเฉลี่ย ในรูปที่ 2-11

แสดงการชักตัวอย่างขาลงจากภาพที่มีขนาด 6x6 จุดภาพ ให้มีขนาดเหลือเพียง 3x3 จุดภาพ (ลดขนาดลง 2 เท่า)



รูปที่ 2-11 การชักตัวอย่างขาลงแบบเฉลี่ยเชิงพื้นที่

โดยความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพความละเอียดต่ำ (ยกตัวอย่างเช่นจุดภาพ A) กับจุดภาพความละเอียดสูง (จุดภาพ a₁-a₄) ในย่านใกล้เคียงแสดงดังสมการ

$$A = \sum_{i=1}^4 a_i \quad (2-4)$$

2.2.4 สัญญาณรบกวน (Noise, η_k)

สัญญาณรบกวนโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ สัญญาณรบกวนแบบบวก (Additive Noise) และสัญญาณรบกวนแบบคูณ (Multiplicative Noise) ซึ่งในการสร้างภาพความละเอียดสูง จะพิจารณาสัญญาณรบกวนแบบบวก ตัวอย่างสัญญาณรบกวนมีดังนี้

1) สัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (Gaussian Noise)

สัญญาณรบกวนแบบเกาส์มีฟังก์ชันการแจกแจงตามสมการ

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.5)$$

2) สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ (Impulse Noise)

สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ หรือสัญญาณรบกวนแบบเกลือและพริกไทย (Salt & Pepper Noise) มีฟังก์ชันการแจกแจงดังสมการ

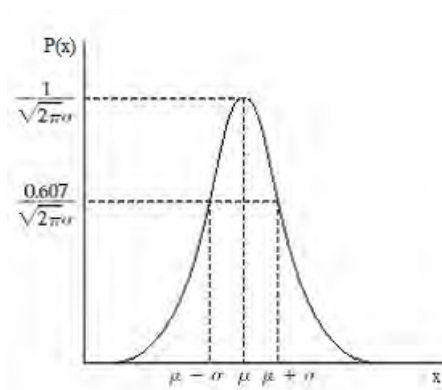
$$P(x) = \begin{cases} P_a & ; x = a, \\ P_b & ; x = b. \end{cases} \quad (2.6)$$

3) สัญญาณรบกวนแบบเอกรูป (Uniform Noise)

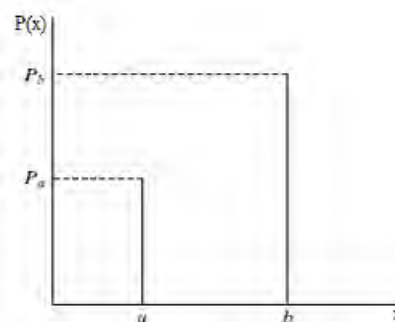
สัญญาณรบกวนแบบเอกรูปมีฟังก์ชันการแจกแจงตามสมการ

$$P(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & ; a \leq x \leq b, \\ 0 & ; otherwise. \end{cases} \quad (2.7)$$

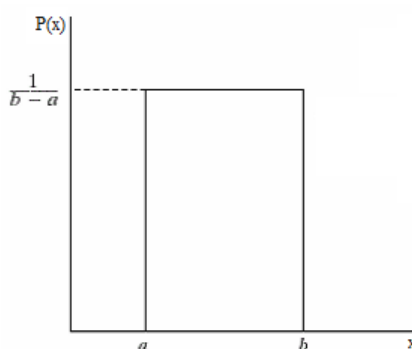
กราฟฟังก์ชันการแจกแจงของสัญญาณรบกวนทั้งสามแบบแสดงดังรูป



(ก) สัญญาณรบกวนแบบเกาส์



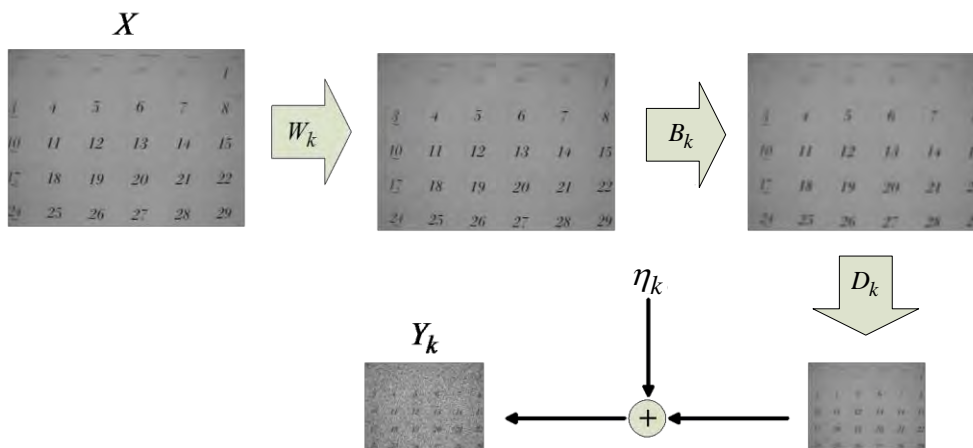
(ข) สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์



(ค) สัญญาณรบกวนแบบเอกรูป

รูปที่ 2-12 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงของสัญญาณรบกวน

แบบจำลองของปัญหาการขยายความละเอียดภาพ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-13 โดยเริ่มจากภาพความละเอียดสูง (X) ผ่านตัวดำเนินการบิดโค้ง W_k ซึ่งจะเห็นว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการเลื่อนตำแหน่ง จากนั้นภาพที่เลื่อนตำแหน่ง ผ่านตัวดำเนินการพัวมัว B_k จากนั้นลดขนาดภาพด้วยตัวดำเนินการซั๊กตัวอย่างขาลง D_k และบวกด้วยสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2-13 แบบจำลองของปัญหาการขยายความละเอียดภาพ

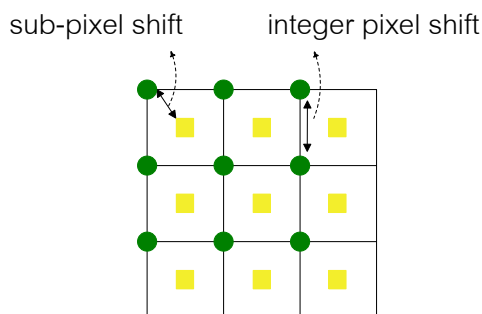
2.3 เงื่อนไขของการขยายความละเอียดภาพ

การขยายความละเอียดภาพมีความเป็นไปได้เนื่องจากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

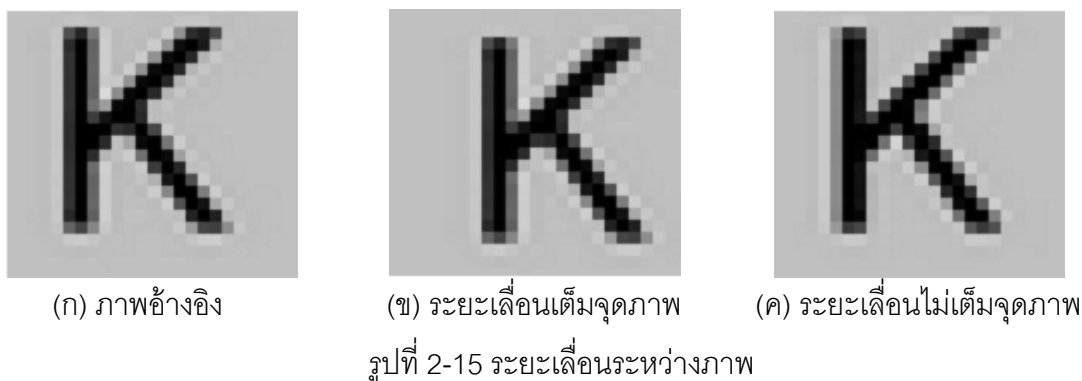
2.3.1 ภาพความละเอียดต่ำมีระยะเลื่อนไม่เต็มจุดภาพ

การสร้างภาพความละเอียดสูงจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในภาพความละเอียดต่ำ ซึ่งภาพความละเอียดต่ำแต่ละภาพต้องมีข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแหล่งข้อมูลที่สำคัญมาจากความผิดเพี้ยนภาพ (Aliasing) [9] ซึ่งเกิดจากการซัดตัวอย่างขาด และภาพความละเอียดต่ำมีระยะเลื่อนไม่เต็มจุดภาพ (Sub-pixel shift) [1] ดังรูปที่ 2-14

หากระยะเลื่อนระหว่างภาพมีค่าเต็มจุดภาพ เมื่อผ่านการซัดตัวอย่างขาด ทำให้ภาพความละเอียดต่ำแต่ละภาพมีข้อมูลที่เหมือนกัน ดังรูปที่ 2-15 (ก) และ (ข) แต่ถ้าระยะเลื่อนระหว่างภาพมีค่าไม่เต็มจุดภาพ เมื่อผ่านการซัดตัวอย่างขาด ทำให้ภาพความละเอียดต่ำมีข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-15 (ก) และ (ค)



รูปที่ 2-14 ระยะเลื่อนของจุดภาพ

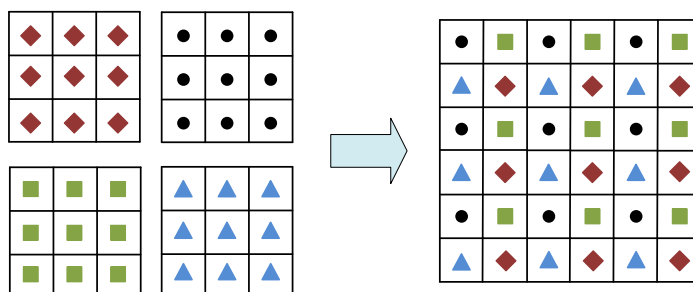


2.3.2 จำนวนภาพความละเอียดต่ำที่นำมาใช้เป็นข้อมูล

เนื่องจากการสร้างภาพความละเอียดสูง เป็นการนำข้อมูลที่มีอยู่ในภาพความละเอียดต่ำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ดังนั้นหากภาพความละเอียดต่ำที่มีข้อมูลแตกต่างกันมีจำนวนน้อย จะทำให้การสร้างภาพความละเอียดสูงมีข้อมูลที่ไม่เพียงพอ โดยการขยายความละเอียดภาพความละเอียดต่ำขนาด $M_1 \times M_2$ จุดภาพ ให้มีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น $rM_1 \times rM_2$ จุดภาพ ต้องใช้จำนวนภาพความละเอียดต่ำที่มีความสัมพันธ์กับตัวประกอบการขยายดังนี้

$$N \geq r^2 \quad (2.8)$$

เมื่อ N คือจำนวนภาพและ r คือตัวประกอบการขยาย



รูปที่ 2-16 การขยายความละเอียดภาพที่มีตัวประกอบการขยาย 2 เท่า

จากรูปที่ 2-16 เป็นการขยายความละเอียดภาพจากภาพความละเอียดต่ำขนาด 3×3 จุดภาพ ให้มีขนาดเป็น 6×6 จุดภาพ (ตัวประกอบการขยายเท่ากับ 2) ดังนั้น ต้องใช้ภาพความละเอียดต่ำอย่างน้อย 4 ภาพ

2.3.3 ขนาดเคอร์เนลของตัวดำเนินการพรมัว

เงื่อนไขจำเป็นอีกอย่างหนึ่งในการสร้างภาพความละเอียดสูงขนาด $rM_1 \times rM_2$ จุดภาพ จากภาพความละเอียดต่ำขนาด $M_1 \times M_2$ จุดภาพ คือขนาดเคอร์เนลของตัวดำเนินการพรมัว โดยเงื่อนไขนี้จำเป็นสำหรับการสร้างภาพความละเอียดสูงแบบที่ไม่มีการเคลื่อนที่ในภาพ ซึ่งข้อมูล

ส่วนใหญ่ได้มาจากภาพหลายๆภาพที่ผ่านตัวดำเนินการพรั้มัวที่แตกต่างกัน ขนาดเคอร์เนลของตัวดำเนินการพรั้มัวกับตัวประกอบการขยาย r มีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$r^2 \leq (2p+1)^2 - 2 \quad (2.9)$$

เมื่อ $(2p+1) \times (2p+1)$ คือขนาดเคอร์เนลของตัวดำเนินการพรั้มัว

จากเงื่อนไขในข้อ 2.2.2 และ 2.2.3 สามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการขยายความละเอียดภาพ ด้วยตัวประกอบการขยาย r คือ [2]

$$r^2 \leq \min \left\{ (2p+1)^2 - 2, N \right\} \quad (2.10)$$

ในทางปฏิบัติจำนวนภาพความละเอียดต่ำมักเป็นข้อจำกัดของการขยายความละเอียดภาพ เนื่องจากโดยทั่วไปจำนวนภาพความละเอียดต่ำจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังสองของตัวประกอบการขยาย ซึ่งจัดเป็นกรณีกำหนดขาด (Under-determined) หรือกำหนดพอดี (Square-determined) ซึ่งแต่ละจุดภาพความละเอียดสูง มีข้อมูลจากภาพความละเอียดต่ำเพียงข้อมูลเดียวหรืออาจไม่มีข้อมูลเลย ทำให้ผลลัพธ์ไม่เสถียร เนื่องจากถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนได้โดยง่าย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้พจน์คุมค่า (Regularization) เพื่อเติมข้อมูลจุดภาพที่หายไป ทำให้ผลลัพธ์มีเสถียรภาพ และเพิ่มอัตราการลู่เข้า (Convergence Rate) ของคำตอบ

2.4 วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูง

การสร้างภาพความละเอียดสูงได้รับความสนใจจากนักวิจัยมาเป็นเวลานาน ทำให้มีงานวิจัยออกมาสามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.4.1 วิธีเชิงโดเมนความถี่ (Frequency Domain Methods)

นำเสนอครั้งแรกโดย R.Y. Tsai และ T.S. Huang [1, 10] ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สร้างภาพความละเอียดสูงในโดเมนความถี่โดยใช้ผลการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) วิธีเชิงโดเมนความถี่อาศัยหลักพื้นฐานดังนี้

- 1) คุณสมบัติการเลื่อน (Shifting) ของผลการแปลงฟูเรียร์ ตามสมการ

$$f_s(x, y) = f(x + \Delta x, y + \Delta y) \quad (2.11)$$

เมื่อ $f_s(x, y)$ คือสัญญาณที่มาจากการเลื่อนของสัญญาณต่อเนื่อง $f(x, y)$ เมื่อใช้การแปลงฟูเรียร์กับสมการ (2.11) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$F_s(u, v) = e^{j2\pi(u\Delta x + v\Delta y)} F(u, v) \quad (2.12)$$

2) ความสัมพันธ์การทับซ้อน (Aliasing) ระหว่างผลการแปลงฟูเรียร์ต่อเนื่อง (Continuous Fourier Transform, CFT) ของภาพความละเอียดสูงต้นแบบ กับผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform, DFT) ของภาพความละเอียดต่ำ

3) ข้อสมมุติว่าภาพความละเอียดสูงต้นแบบเป็นสัญญาณแบบจำกัดแถบ (Band-limited)

วิธีเชิงโดเมนความถี่มีข้อดีในเรื่องความเรียบง่าย มีความซับซ้อนในการคำนวณต่ำและสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณแบบขนาน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีเชิงโดเมนความถี่สามารถใช้ได้กับกรณีการเลื่อนขนานทั้งภาพ (Global Translational Motion) เท่านั้น อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการใช้ข้อมูลรู้ก่อน (A-priori Knowledge)

2.4.2 วิธีเชิงโดเมนพื้นที่ (Spatial Domain Methods)

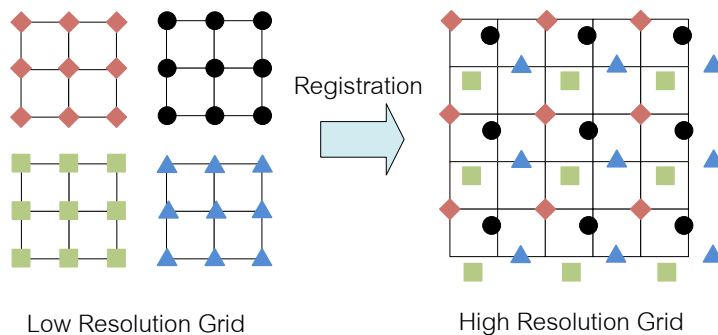
วิธีเชิงโดเมนพื้นที่ (Spatial Domain Methods) เป็นวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงซึ่งการคำนวณทั้งหมดจะกระทำในโดเมนพื้นที่ วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยสามารถใช้กับภาพที่มีการเคลื่อนที่เฉพาะที่ (Local Motion) วิธีเชิงโดเมนพื้นที่สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.4.2.1 วิธีการประมาณค่าในช่วงแบบไม่เอกรูป (Nonuniform Interpolation)

การประมาณค่าในช่วงแบบไม่เอกรูป [1, 10] เป็นวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน ขั้นตอนต่างๆของวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบไม่เอกรูปนับเป็นขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงอื่นๆ โดยประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

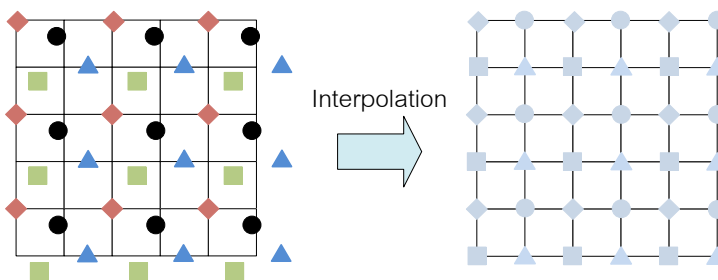
1) การกำหนดตำแหน่ง (Registration)

เป็นการกำหนดตำแหน่งจุดภาพของภาพความละเอียดต่ำทุกภาพไปยังตำแหน่งที่สอดคล้องกันบนพิกัดภาพความละเอียดสูง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation) การกำหนดตำแหน่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการสร้างภาพความละเอียดสูง หากกำหนดตำแหน่งได้อย่างแม่นยำภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี ในทางตรงกันข้ามหากการกำหนดตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้แยกลง เมื่อกำหนดตำแหน่งแล้วจะนำข้อมูลจากภาพความละเอียดต่ำมารวมเป็นภาพๆเดียว



รูปที่ 2-17 การกำหนดตำแหน่งจุดภาพ

2) การประมาณค่าในช่วงไปยังพิกัดความละเอียดสูง (Interpolation onto HR Grid)
 จากขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งและรวมภาพ ตำแหน่งของจุดภาพข้อมูลบนพิกัดภาพความละเอียดสูงอาจไม่เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นจึงต้องมีการประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าของจุดภาพที่เหมาะสมในแต่ละตำแหน่งพิกัดภาพ



รูปที่ 2-18 การประมาณค่าในช่วง

3) การกำจัดความพร่ามัวและสัญญาณรบกวน (Deblurring and Noise Removal)
 เป็นขั้นตอนในการลดความพร่ามัวและสัญญาณรบกวน โดยอาจจะใช้ตัวกรองต่างๆ ทำให้ภาพมีความคมชัดขึ้นและเพิ่มความเปรียบต่าง (Contrast)

วิธีการประมาณค่าในช่วงแบบไม่เอกภูมิมีข้อดีที่ใช้การคำนวณต่ำและมีความเรียบง่าย แต่ในการคำนวณไม่ใช้ข้อมูลรู้ก่อน และผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุด

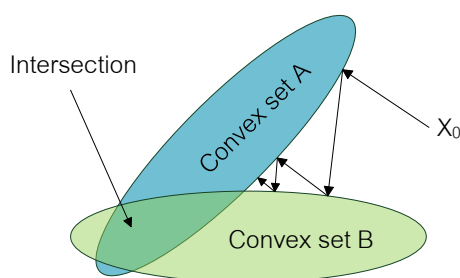
2.4.2.2 วิธีการฉายไปยังเซตคอนเวกซ์ (Projection onto Convex Sets)

การขยายความละเอียดภาพโดยการฉายไปยังเซตคอนเวกซ์ [1, 2, 10] ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย H. Stark และ P. Oskoui วิธีนี้จะใช้เซตคอนเวกซ์ C_i ซึ่งเป็นข้อมูลรู้ก่อน โดยเซตเหล่านี้คือเงื่อนไขบังคับ (Constraint Sets) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่ต้องการของภาพความละเอียดสูง เช่นขอบเขตของพลังงานในภาพ (Bounded Energy) ความถูกต้อง (Fidelity) ของข้อมูล และความเรียบของภาพ (Smoothness) เป็นต้น ภาพความละเอียดสูงคำตอบจะอยู่ภายในเซตที่เป็นส่วนร่วม (Constraint) ของเซตเงื่อนไขบังคับดังกล่าว ($C_s = \cap_i^k C_i$) ดังนั้นการสร้างภาพความ

ละเอียดสูงสามารถทำได้โดยการฉายคำตอบในแต่ละรอบการคำนวณ X^n ไปยังเซตเงื่อนไข บังคับแต่ละเซต และทำซ้ำจนคำตอบเข้าสู่เซตส่วนร่วมของทุกเซตเงื่อนไข วิธีการฉายไปยังเซต คอนเวกซ์เมื่อมีเซตเงื่อนไขบังคับ k เซต แสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

$$X^{n+1} = P_k P_{k-1} \cdots P_2 P_1 X^n \quad (2.13)$$

เมื่อ P_i คือตัวดำเนินการฉายไปยังเซตเงื่อนไขบังคับ C_i ; $i = 1, 2, \dots, k$ และสามารถ อธิบายสมการ (2.13) ได้ดังภาพ



รูปที่ 2-19 การฉายไปยังเซตคอนเวกซ์

วิธีการฉายไปยังเซตนั้นเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเนื่องจากความเรียบง่ายและมี ประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีการใช้ข้อมูลรู้ก่อนให้เป็นประโยชน์ แต่อย่างไรก็ตามคำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับ การเลือกจุดเริ่มต้น ดังนั้นวิธีนี้จึงมีข้อเสียตรงที่คำตอบไม่ได้หลากหลายและอาจไม่ใช่ค่าเหมาะ ที่ที่สุด คำตอบลู่เข้าช้า และใช้การคำนวณที่ซับซ้อน

2.4.2.3 วิธีฉายกลับแบบทำซ้ำ (Iterative Back Projection)

นำเสนอครั้งแรกโดย M. Irani และ S. Peleg [1, 2, 10] เป็นวิธีการสร้างภาพความ ละเอียดสูงโดยประมาณจากการฉายกลับค่าคลาดเคลื่อนระหว่างภาพความละเอียดต่ำข้อมูล Y กับภาพความละเอียดต่ำลอกเลียน (Simulated Low-resolution Images) ซึ่งค่าคลาดเคลื่อน เหล่านี้จะนำไปปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดเพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนให้ น้อยลง วิธีฉายกลับแบบทำซ้ำสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

$$X^{n+1} = X^n + H^{BP} [Y - HX^n] \quad (2.14)$$

- เมื่อ H คือแบบจำลองของการลดทอนคุณภาพ
 HX^n คือภาพความละเอียดต่ำลอกเลียน
 H^{BP} คือตัวดำเนินการฉายกลับซึ่งสามารถกำหนดได้อย่างอิสระ

วิธีหาค่ากลับแบบทำซ้ำมีข้อดีที่ไม่ซับซ้อนและเข้าใจง่าย แต่มีความยุ่งยากในการเลือกใช้ตัวดำเนินการหาค่ากลับที่เหมาะสม ค่าตอบไม่ได้หลากหลายเนื่องจากการสร้างภาพความละเอียดสูงเป็นปัญหาลักษณะเลว (Ill-posed Problem) แต่ไม่มีการใช้ข้อมูลรู้ก่อนเพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ นอกจากนี้ในการทำซ้ำคำตอบยังลู่เข้าช้าหรืออาจจะไม่ลู่เข้าเลย

2.4.2.4 วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด (Constrained Least Square)

วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด (Constrained Least Square, CLS) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วิธีเชิงกำหนด (Deterministic Method) [1] ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาผกผันของสมการ (2.2) โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) ในการหาค่าตอบ X เมื่อให้ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

$$\sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2 \quad (2.15)$$

เมื่อ $\|\cdot\|_2$ คือ نرمอันดับสอง เนื่องจากปัญหาการสร้างภาพความละเอียดสูงเป็นปัญหาลักษณะเลว จึงมีการเพิ่มข้อมูลรู้ก่อนซึ่งก็คือพจน์คุมค่า (Regularization Term) เพื่อปรับปรุงให้เป็นปัญหาลักษณะดี (Well-posed Problem) และสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2 + \beta \|CX\|_2 \quad (2.16)$$

เมื่อ C คือตัวกรองผ่านสูง (High-pass Filter) โดยนิยมใช้พจน์คุมค่าแบบทิคอนอฟ-อาร์เซนิน (Tikhonov-Arsenin Regularization Term) ซึ่งเป็นตัวดำเนินการลาปลาซ (Laplace Operator) ดังแสดงในรูปที่ 2-20

$$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2-20 ตัวดำเนินการลาปลาซ

β คือตัวคูณลากรางจ์ (Lagrange Multiplier) หรือเรียกว่าตัวแปรเสริมพจน์คุมค่า (Regularization Parameter) ทำหน้าที่ควบคุมภาวะถ่วงดุล (Tradeoff) ระหว่างความถูกต้องของข้อมูล ($\sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2$) กับความเรียบของภาพ ($\|CX\|_2$) หาก β มีค่าสูงจะทำให้ภาพผลลัพธ์มีความเรียบมากกว่า ซึ่งเหมาะสมในกรณีที่ภาพความละเอียดต่ำข้อมูลมีจำนวนน้อยหรือมีความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนกำหนดตำแหน่ง ทำให้ข้อมูลขาดความถูกต้อง ในทางกลับกันหาก

มีภาพความละเอียดต่ำข้อมูลจำนวนมาก β มีค่าน้อยจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ในการแก้ปัญหาในสมการ (2.16) ซึ่งเป็นฟังก์ชันคอนเวกซ์และอยู่ในรูปสมการกำลังสอง (Quadratic Function) สามารถใช้วิธีทำซ้ำแบบลาดลงชันที่สุด (Steepest Descent Iterative Method) หรือใช้วิธีทำซ้ำที่อัตราการลู่เข้าเร็วกว่าเช่นวิธีเกรเดียนต์สังยุค (Conjugate Gradient) แต่อาจให้ผลลัพธ์ที่เป็นค่าเหมาะที่สุดย่อย (Suboptimal) ในขณะที่วิธีลาดลงชันที่สุดสามารถลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุด

วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุดมีข้อดีที่สามารถใช้ข้อมูลรู้ก่อนเพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ในกรณีกำหนดขาด คำตอบที่ได้มีหนึ่งเดียว (Unique Solution) อัตราการลู่เข้าและลักษณะของผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับระเบียบวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามวิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุดใช้การคำนวณสูง

2.4.2.5 วิธีเฟ้นสุ่ม (Stochastic Method)

วิธีเฟ้นสุ่ม [1, 2, 3, 10] สามารถเรียกได้อีกอย่างว่าการประมาณค่าแบบเบย์ (Bayesian Estimation) โดยอาศัยสมมุติฐานว่าภาพความละเอียดสูงต้นแบบ X ภาพความละเอียดต่ำ Y และสัญญาณรบกวน η เป็นสัญญาณเฟ้นสุ่ม (Stochastic Signal) การสร้างภาพความละเอียดสูงสามารถทำได้โดยการประมาณค่าสูงสุดของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นภายหลัง (A-posteriori Probability Density Function: $P\{X | Y\}$) เรียกว่าวิธีข้อมูลรู้ภายหลังสูงสุด (Maximum A-Posteriori: MAP) ตามสมการ

$$X_{MAP} = \arg \max P\{X | Y\} \quad (2.17)$$

จากทฤษฎีเบย์

$$P\{X | Y\} = \frac{P\{Y | X\}P\{X\}}{P\{Y\}} \quad (2.18)$$

เนื่องจากความน่าจะเป็นของภาพความละเอียดต่ำ $P\{Y\}$ เป็นอิสระต่อภาพความละเอียดสูง X ดังนั้นสามารถตัดพจน์ $P\{Y\}$ ออกได้ ดังนั้นสมการ (2.17) จึงสามารถลดรูปได้ดังนี้

$$X_{MAP} = \arg \max (P\{Y | X\}P\{X\}) \quad (2.19)$$

เมื่อ $P\{Y | X\}$ คือพจน์ความควรจะเป็น (Likelihood)

$P\{X\}$ คือพจน์ข้อมูลรู้ก่อน (Prior Knowledge)

เมื่อใช้ฟังก์ชันลอการิทึมกับสมการที่ (2.19) จะได้ฟังก์ชันลอการิทึมของความควรจะเป็น (Log-Likelihood Function) ตามสมการ

$$\begin{aligned} X_{MAP} &= \arg \max (\log P\{Y | X\} + \log P\{X\}) \\ &= \arg \min (-\log P\{Y | X\} - \log P\{X\}) \end{aligned} \quad (2.20)$$

เมื่อใช้สมมุติฐานว่าสัญญาณรบกวนเป็นการแจกแจงเอกลักษณะอิสระแบบเกาส์ (Independent Identical Distributed Gaussian Noise) ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณรบกวนมีค่าตามสมการ

$$P\{Y | X\} = \left(\frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{NM_1M_2}{2}}} \right) \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2^2}{\sigma^2} \right) \quad (2.21)$$

เมื่อ σ^2 คือความแปรปรวนของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น
 M_1, M_2 คือจำนวนจุดภาพในแนวตั้งและแนวนอนของภาพความละเอียดต่ำ
 N คือจำนวนภาพความละเอียดต่ำ

การสร้างภาพความละเอียดสูงด้วยวิธีเฟ้นสุ่มเมื่อไม่มีการใช้ข้อมูลรู้ก่อน สมการ (2.20) จะเหลือเพียงพจน์ความควรจะเป็น $P\{Y | X\}$ ในกรณีนี้เรียกการประมาณค่าสูงสุดในสมการ (2.20) เมื่อ $P\{X\} = 0$ ว่าวิธีความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood: ML) แต่เนื่องจากปัญหาการสร้างภาพความละเอียดสูงเป็นปัญหากำหนดขาด วิธีข้อมูลรู้ภายหลังจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

พจน์ข้อมูลรู้ก่อน $P\{X\}$ ที่นิยมใช้คือสนามสุ่มมาร์คอฟ (Markov Random Field: MRF) [1, 3] และอธิบายด้วยข้อมูลรู้ก่อนแบบกิบส์ (Gibbs Prior) ซึ่งมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นดังนี้

$$P\{X\} = \frac{1}{Z} \exp \left\{ -\sum_{c \in C} \varphi_c(X) \right\} \quad (2.22)$$

เมื่อ Z คือค่าคงตัวปรับบรรทัดฐาน $\varphi_c(X)$ คือฟังก์ชันศักย์ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของจุดภาพในบริเวณ c และ C คือเซตของอาณาบริเวณทั้งภาพ ฟังก์ชันศักย์นั้นขึ้นอยู่กับสมมุติฐานของข้อมูลรู้ก่อน โดยทั่วไป [1, 3] มักเลือกใช้เป็นข้อมูลรู้ก่อนแบบเกาส์ (Gaussian Prior) หรือเรียกว่าสนามสุ่มเกาส์-มาร์คอฟ (Gauss-Markov Random Field) ซึ่งเลือกใช้ฟังก์ชันศักย์ให้อยู่ในรูปแบบ

กำลังสอง (Quadratic Form) $\varphi_c(X) = (D^{(n)} X)^2$ เมื่อ $D^{(n)}$ คือผลต่างเชิงอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งหรือสอง เห็นได้ว่าวิธีข้อมูลรู้ภายหลังสูงสุดเมื่อเลือกใช้ข้อมูลรู้ก่อนแบบเกาส์มีความคล้ายคลึงกับวิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองสูงสุด การเลือกใช้ข้อมูลรู้ก่อนแบบเกาส์ทำให้ขั้นตอนวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูงมีความเป็นเชิงเส้นและคำตอบที่ได้มีหนึ่งเดียว อย่างไรก็ตามข้อมูลรู้ก่อนแบบเกาส์มีผลทำให้ภาพผลลัพธ์เกิดความพว้ามัว

ในงานวิจัย [3] นำเสนอสนามสุ่มฮิวเบอร์-มาร์คอฟ (Huber-Markov Random Field) ซึ่งมีคุณสมบัติในการคงสภาพขอบ (Edge-preserving) โดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชันฮิวเบอร์ในการลดผลของความพว้ามัว ดังแสดงในสมการ

$$\varphi_c(X) = \rho_T(D^2 X) \quad (2.23)$$

เมื่อ D^2 คือผลต่างเชิงอนุพันธ์อันดับที่สอง โดยมีทิศทางในแนวตั้ง แนวนอน และแนวทแยงมุม $\rho_T(\cdot)$ คือฟังก์ชันฮิวเบอร์ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\rho_T(z) = \begin{cases} z^2, & |z| \leq T, \\ T^2 + 2T(|z| - T), & |z| \geq T. \end{cases} \quad (2.24)$$

วิธีเฟ้นสุ่มมีข้อดีที่ไม่ซับซ้อนและเข้าใจได้ง่าย มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนหรือค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าตัวแปรเสริมต่างๆ มีความยืดหยุ่นในการเลือกแบบจำลองสามารถใช้ข้อมูลรู้ก่อนช่วยในการปรับปรุงผลลัพธ์ ทำให้คำตอบที่ได้มีหนึ่งเดียว อีกทั้งสามารถเลือกใช้ระเบียบวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามวิธีเฟ้นสุ่มมีข้อเสียที่ใช้การคำนวณสูง

2.4.2.6 วิธีลูกผสม (Hybrid Method)

นำเสนอโดย M. Elad และ A. Feuer [2] โดยมีแนวคิดในการรวมเอาความเรียบง่ายของวิธีเฟ้นสุ่มกับการประยุกต์ใช้เงื่อนไขบังคับที่ไม่อยู่ในรูปกำลังสอง (Nonquadratic Constraints) วิธีลูกผสมเป็นวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงโดยใช้วิธีข้อมูลรู้ภายหลังสูงสุดซึ่งใช้พจน์คัมค่าแบบทริกอนอพอ-อาร์เซนินเป็นฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function) ร่วมกับเงื่อนไขบังคับแบบไม่เป็นทรงรี (Nonellipsoid Constraints) ของวิธีการฉายไปยังเซตคอนเวกซ์ ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{minimize } e^2 &= \{ [Y - HX]^T W^{-1} [Y - HX] + \beta [SX]^T V [SX] \} \\ \text{subject to } &\{ X \in C_k; 1 \leq k \leq M \} \end{aligned} \quad (2.25)$$

เมื่อ W คือเมทริกซ์สหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation Matrix) ของสัญญาณรบกวนในสมการ (2.2) S คือตัวดำเนินการลาปลาซซึ่งใช้เป็นพจน์คุมค่าที่สามารถปรับตัวเฉพาะที่ (Locally Adaptive Regularization) โดยใช้เมทริกซ์ถ่วงน้ำหนัก V ในการควบคุมความเรียบของแต่ละจุดภาพ และ C_k คือเงื่อนไขบังคับที่เพิ่มเข้าไปเพื่อปรับปรุงผลลัพธ์

วิธีลูกผสมสามารถใช้ข้อมูลรู้ก่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเพิ่มข้อมูลรู้ก่อนได้หลากหลายโดยใช้เซตเงื่อนไขบังคับจากวิธีการฉายไปยังเซตคอนเวกซ์ และใช้ข้อดีของวิธีเฟ้นสุ่มที่คำตอบมีหนึ่งเดียวและมีค่าเหมาะสมที่สุด

จากการวิเคราะห์งานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูง สามารถสรุปคุณสมบัติของแต่ละงานวิจัยได้ดังตาราง

ตารางที่ 2-1 : สรุปการวิเคราะห์งานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับวิธีการขยายความละเอียดภาพ

ระเบียบวิธี	แบบจำลองการเคลื่อนที่	ข้อมูลผู้ก่อน	ความซับซ้อนในการคำนวณ	อัตราการลู่เข้าของคำตอบ	ลักษณะเฉพาะของคำตอบ
วิธีเชิงโดเมนความถี่ [1, 10]	เลื่อนขนานทั้งภาพ	ไม่มี	ต่ำ	-	คำตอบมีหนึ่งเดียว
วิธีการประมาณค่าในช่วงแบบไม่เอกรูป [1, 10]	เคลื่อนที่แบบทั้งภาพหรือเฉพาะที่	มี	ต่ำ	-	คำตอบอาจไม่ใช่ค่าเหมาะที่สุด
วิธีการฉายไปยังเซตคอนเวกซ์ [1, 2, 10]	เคลื่อนที่แบบทั้งภาพหรือเฉพาะที่	มี	สูง	ช้า	มีหลายคำตอบและอาจไม่ใช่ค่าเหมาะที่สุด
วิธีฉายกลับแบบทำซ้ำ [1, 2, 10]	เคลื่อนที่แบบทั้งภาพหรือเฉพาะที่	ไม่มี	ต่ำ	ช้าหรืออาจไม่ลู่เข้าเลย	มีหลายคำตอบ
วิธีเงื่อนไขบั้งค้ำกำลังสองน้อยสุด [1]	เคลื่อนที่แบบทั้งภาพหรือเฉพาะที่	มี	สูง	ขึ้นอยู่กับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด	คำตอบมีหนึ่งเดียวแต่อาจไม่ใช่ค่าเหมาะที่สุด
วิธีเฟ้นสุ่ม [1, 2, 3, 10]	เคลื่อนที่แบบทั้งภาพหรือเฉพาะที่	มี	สูง	เร็ว	คำตอบมีหนึ่งเดียว
วิธีลูกลม [2]	เคลื่อนที่แบบทั้งภาพหรือเฉพาะที่	มี	สูง	เร็ว	คำตอบมีหนึ่งเดียว

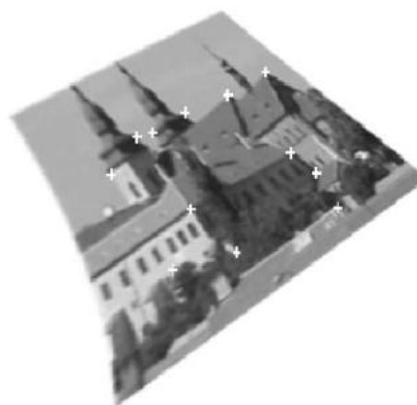
2.5 การประมาณการเคลื่อนที่

การประมาณการเคลื่อนที่เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ (Registration) เพื่อระบุตำแหน่งจุดภาพของเฟรมภาพอ้างอิง (Reference Frame) ไปยังตำแหน่งจุดภาพที่สอดคล้องกันของเฟรมภาพปัจจุบัน (Current Frame) โดยในการสร้างภาพความละเอียดสูง เฟรมภาพอ้างอิงที่ใช้คือภาพที่ความละเอียดสูงค่าตอบ X และเฟรมภาพปัจจุบันที่ใช้คือชุดภาพความละเอียดต่ำ Y_k ที่ผ่านการประมาณค่าในช่วงเพื่อให้มีขนาดเท่ากับภาพความละเอียดสูง การประมาณการเคลื่อนที่สามารถจำแนกได้ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของภาพ โดยแบ่งได้เป็นสองประเภทดังนี้

2.5.1 การประมาณการเคลื่อนที่แบบทั้งภาพ (Global Motion Estimation)

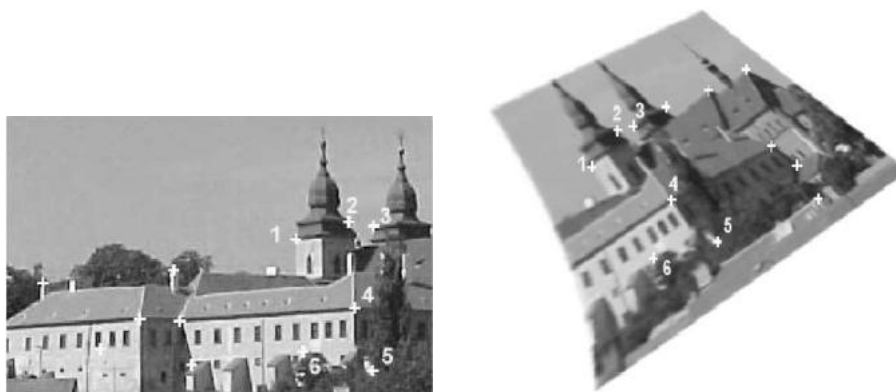
การประมาณการเคลื่อนที่แบบทั้งภาพ [11] ใช้ในกรณีที่วัตถุและฉากหลังมีการเคลื่อนที่แบบเดียวกันทั้งภาพ ซึ่งอาจเกิดจากอุปกรณ์รับภาพตรึงอยู่กับที่และภาพทั้งภาพเคลื่อนที่ไปด้วยกัน หรือเกิดจากวัตถุและฉากหลังอยู่กับที่แต่อุปกรณ์รับภาพเป็นฝ่ายเคลื่อนที่เองก็ได้

วิธีประมาณการเคลื่อนที่แบบทั้งภาพที่ได้รับความนิยมคือการแปลงเรขาคณิต (Geometric Transformation) ซึ่งอิงลักษณะเด่นในภาพ (Feature-based) โดยลักษณะเด่นคือส่วนที่ยื่นเด่นหรือแตกต่างจากวัตถุโดยรอบ ตัวอย่างเช่นส่วนที่เป็นขอบ มุม หรือจุดตัดของเส้น ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2-21 ลักษณะเด่นในภาพ

การแปลงเรขาคณิตจะจับคู่ระหว่างลักษณะเด่นของภาพหนึ่งกับลักษณะเด่นที่สอดคล้องกันในอีกภาพหนึ่ง ดังรูปที่ 2-22 โดยเรียกจุดเหล่านี้ว่าจุดควบคุม (Control Points) และใช้จุดควบคุมเหล่านี้ในการคำนวณเมทริกซ์แปลงภาพ



รูปที่ 2-22 การจับคู่ลักษณะเด่นในภาพ

การแปลงเรขาคณิตสามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

2.5.1.1 การแปลงคล้าย (Similarity Transformation)

การแปลงคล้ายเป็นการแปลงที่มีความเรียบง่ายที่สุดในการแปลงเรขาคณิต โดยสามารถแปลงภาพที่มีการหมุน (Rotation) การปรับมาตราส่วนของภาพ (Scaling) และการเลื่อนขนานภาพ (Translation) ได้เท่านั้น การแปลงชนิดนี้อาจเรียกอีกอย่างว่าการส่งจุดภาพแบบคงสภาพรูปร่าง (Shape-preserving Mapping) เนื่องจากการแปลงจะคงอัตราส่วนลักษณะ (Aspect Ratio) ของภาพไว้ ในการคำนวณตัวแปรเสริมของการแปลงภาพจะใช้จุดควบคุม 2 จุด ดังสมการ

$$\begin{aligned} u &= s(x \cos(\varphi) - y \sin(\varphi)) + t_x \\ v &= s(x \cos(\varphi) + y \sin(\varphi)) + t_y \end{aligned} \quad (2.26)$$

โดย u และ v คือพิกัดใหม่ของภาพที่ได้จากการแปลงพิกัด x และ y ตามลำดับ φ คือมุมของการหมุนและ s คืออัตราขยายของภาพ t_x และ t_y คือระยะเลื่อนขนานของภาพในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

2.5.1.2 การแปลงสัมพรรค (Affine Transformation)

การแปลงสัมพรรคเป็นการแปลงเชิงเส้นที่ใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถแปลงภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลักษณะ แต่จะคงสภาพรูปร่างที่เหลี่ยมด้านขนานของภาพเอาไว้ โดยใช้สมมุติฐานว่าฉากอยู่ไกลจากอุปกรณ์รับภาพมากเมื่อเทียบกับขนาดของภาพ อุปกรณ์รับภาพมีลักษณะเหมือนกล้องรูเข็ม (Pin-hole Camera) หากมีลักษณะแบนราบ การแปลงสัมพรรคใช้จุดควบคุมที่ไม่ใช่จุดร่วมเส้นตรง (Non-collinear Points) จำนวน 3 จุดในการคำนวณตัวแปรเสริมของการแปลงภาพดังสมการ

$$\begin{aligned}u &= ax + by + c \\v &= dx + ey + f\end{aligned}\quad (2.27)$$

เมื่อ a, b, c, d, e, f คือตัวแปรเสริมของการแปลงภาพ

2.5.1.3 การแปลงทัศนมิติ (Perspective Transformation)

การแปลงทัศนมิติเป็นการแปลงไม่เชิงเส้นที่สามารถใช้ได้ในการถ้ระยะห่างระหว่างภาพกับฉากไม่สอดคล้องตามเงื่อนไขของการแปลงสัมพรรค และรองรับการแปลงภาพที่มีการเปลี่ยนรูป (Deformation) หรือแปลงภาพโดยไม่คงอัตราส่วนลักษณะ ซึ่งใช้สมมุติฐานว่าอุปกรณ์รับภาพมีลักษณะเหมือนกล้องรูเข็มเมื่อแกนเชิงแสงของกล้องไม่ตั้งฉากกับฉาก กล่าวคือวัตถุในฉากมีขนาดไม่เท่ากันเนื่องจากผลของระยะห่างจากวัตถุกับอุปกรณ์รับภาพ การแปลงคล้ายใช้จุดควบคุมที่เป็นอิสระต่อกันจำนวน 4 จุดในการคำนวณตัวแปรเสริมของการแปลงภาพตามสมการ

$$\begin{aligned}u &= \frac{a_0x + a_1y + a_2}{c_1x + c_2y + 1} \\v &= \frac{b_0x + b_1y + b_2}{c_1x + c_2y + 1}\end{aligned}\quad (2.28)$$

เมื่อ $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, c_1, c_2$ คือตัวแปรเสริมของการแปลงภาพ ตัวอย่างของการแปลงภาพทั้ง 3 ชนิดสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2-23 ตัวอย่างการแปลงภาพ

การประมาณการเคลื่อนที่แบบทั้งภาพใช้การคำนวณต่ำและไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามในการแปลงภาพจะใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector: MV) เพียงเวกเตอร์เดียวในการบรรยายการเคลื่อนที่ทั้งภาพ ซึ่งไม่สามารถรองรับในกรณีที่วัตถุในภาพเคลื่อนที่ในทิศทางแตกต่างกัน

2.5.2 การประมาณการเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่ (Local Motion Estimation)

การเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่สามารถใช้ในกรณีที่วัตถุในภาพเคลื่อนที่ในทิศทางแตกต่างกันหรือวัตถุในภาพเคลื่อนที่โดยที่ฉากหลังอยู่นิ่งก็ได้

วิธีการประมาณการเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายคือการประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบล็อก (Block-based Motion Estimation) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าขั้นตอนวิธีการจับคู่บล็อก (Block Matching Algorithm) ซึ่งจะแบ่งเฟรมภาพอ้างอิงและเฟรมภาพปัจจุบันออกเป็นบล็อกที่ไม่ซ้อนเหลื่อมกัน (Non-overlapping Block) และจับคู่บล็อกแต่ละบล็อกของภาพปัจจุบันกับบล็อกที่สอดคล้องกันของภาพอ้างอิงโดยใช้การวัดความผิดพลาดของบล็อก (Block Distortion Measure: BDM) โดยตัวอย่างวิธีที่ใช้วัดความผิดพลาดของบล็อกคือวิธีผลบวกของค่าสัมบูรณ์ผลต่าง (Sum of Absolute Differences: SAD) ดังแสดงในสมการ

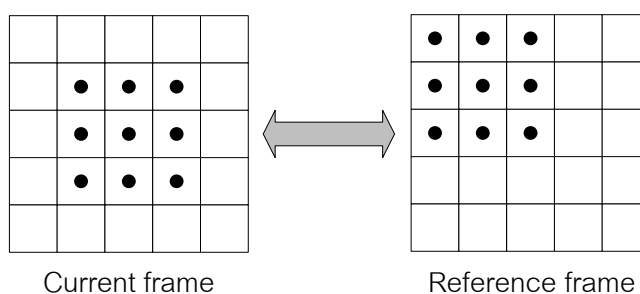
$$SAD = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |I_c(i, j) - I_r(i, j)| \quad (2.29)$$

เมื่อ $I_c(i, j)$ คือค่าของจุดภาพที่พิกัด (i, j) ของเฟรมภาพปัจจุบันและ $I_r(i, j)$ คือค่าของจุดภาพของเฟรมภาพอ้างอิง โดยบล็อกที่ใช้ในการคำนวณมีขนาด $N \times N$ ข้อดีของวิธีผลบวกของค่าสัมบูรณ์ผลต่างคือใช้ตัวดำเนินการเพียงการบวกและลบเท่านั้น ทำให้ลดความซับซ้อนในการคำนวณ

ตัวอย่างวิธีการจับคู่บล็อกสามารถจำแนกได้ดังนี้

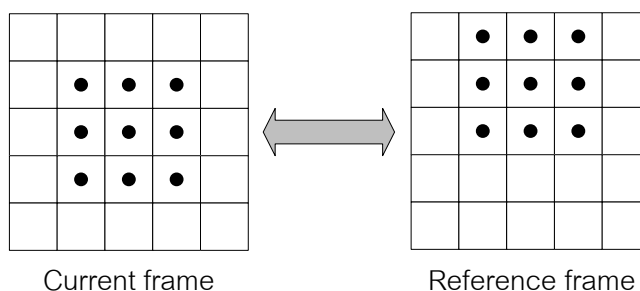
2.5.2.1 การค้นหาเต็มอัตรา (Full Search)

การค้นหาเต็มอัตรา [12] จะแบ่งภาพปัจจุบันและภาพอ้างอิงออกเป็นบล็อกที่ไม่ซ้อนเหลื่อมกัน และจับคู่บล็อกที่สอดคล้องกัน โดยใช้บล็อกทุกบล็อกที่อยู่ภายในหน้าต่างค้นหา (Search Window) ในการคำนวณความผิดพลาดของบล็อก ดังตัวอย่างในรูป 2-24 และ 2-25 ซึ่งแสดงขั้นตอนการจับคู่บล็อก เมื่อใช้บล็อกที่มีขนาด $N = 3$ และขนาดหน้าต่างค้นหาเท่ากับ ± 1



รูปที่ 2-24 การคำนวณความผิดพลาดของบล็อกคู่แรก

รูปที่ 2-24 เป็นการคำนวณความผิดพลาดเพี้ยนบล็อกระหว่างบล็อกตรงกลางของเฟรมภาพปัจจุบันกับบล็อกซ้ายบนสุดของหน้าต่างค้นหาในเฟรมภาพอ้างอิง โดยใช้สมการ (2.29)



รูปที่ 2-25 การคำนวณความผิดพลาดเพี้ยนของบล็อกคู่ที่สอง

รูปที่ 2-25 เป็นการคำนวณความผิดพลาดเพี้ยนบล็อกโดยใช้บล็อกถัดไปของเฟรมภาพอ้างอิง จากนั้นจะคำนวณในทำนองเดียวกันนี้ไปจนครบทุกบล็อกในหน้าต่างค้นหา และแทนจุดภาพทุกจุดในบล็อกของเฟรมภาพปัจจุบันด้วยจุดภาพในบล็อกของเฟรมอ้างอิงที่มีค่าความผิดพลาดที่ต่ำที่สุด โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของบล็อก (i, j) ใดๆ สามารถแสดงในรูปของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ดังนี้

$$\begin{aligned} mv_x(i, j) &= t_x \\ mv_y(i, j) &= t_y \end{aligned} \quad (2.30)$$

เมื่อ $mv_x(i, j)$ และ $mv_y(i, j)$ คือเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อก (i, j) ในทิศทางแนวแกน x และ y ตามลำดับ t_x และ t_y คือระยะเลื่อนขนานในแนวแกน x และ y ตามลำดับ การค้นหาเต็มอัตราสามารถจับคู่บล็อกที่สอดคล้องกันมากที่สุด กล่าวคือคำตอบที่ได้เป็นค่าต่ำที่สุดของทั้งหมด (Global Minima) อย่างไรก็ตามการจับคู่บล็อกด้วยวิธีนี้ใช้การคำนวณสูง และความซับซ้อนในการคำนวณจะยิ่งสูงขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดของหน้าต่างค้นหา

เมื่อเฟรมภาพมีขนาด $M \times M$ จุดภาพ บล็อกที่ใช้ในการคำนวณมีขนาด $N \times N$ จุดภาพ หน้าต่างค้นหาที่มีขนาด $\pm R$ จุดภาพ หากกำหนดให้การดำเนินการหนึ่งครั้งประกอบไปด้วยการบวก การลบ และการหาค่าสัมบูรณ์ ดังนั้นสำหรับภาพหนึ่งเฟรมเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีจับคู่บล็อกแบบค้นหาเต็มอัตราต้องใช้การดำเนินการ $M^2(2R+1)^2$ ครั้ง โดยสังเกตได้ว่าความซับซ้อนในการคำนวณไม่ขึ้นกับขนาดของบล็อก

2.5.2.2 การค้นหาสามขั้นตอน (Three Step Search)

เนื่องจากการค้นหาแบบเต็มอัตรามีข้อเสียในเรื่องความซับซ้อนในการคำนวณ จึงได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีโดยพื้นฐานบล็อกเพื่อพัฒนาความเร็วในการคำนวณให้สูงกว่าเดิม โดย

วิธีที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่งคือการค้นหาสามขั้นตอน [12] นำเสนอโดย T. Koga et. al. โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1) ขั้นตอนที่ 1

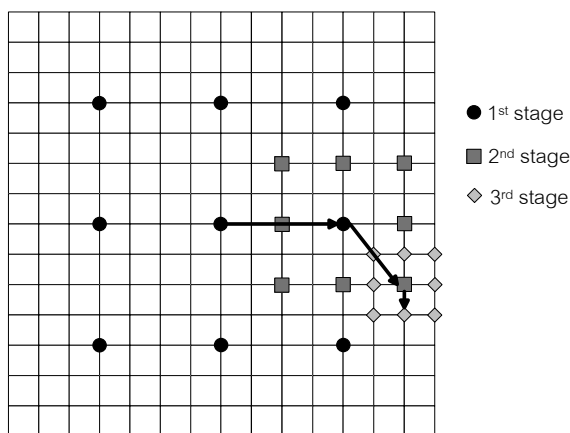
ในขั้นตอนแรกจะเลือกบล็อกทั้งหมด 9 บล็อกเพื่อใช้ในการคำนวณความผิดพลาดของบล็อก โดยมีบล็อกตรงจุดศูนย์กลาง 1 บล็อก และบล็อกรอบๆที่ห่างจากตรงกลางเป็นระยะเท่ากับระยะก้าว (Step Size) จำนวน 8 บล็อก หากบล็อกศูนย์กลางมีความผิดพลาดน้อยสุดให้หยุดการคำนวณ

2) ขั้นตอนที่ 2

ย้ายจุดศูนย์กลางไปยังบล็อกที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด และลดระยะก้าวลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง

3) ขั้นตอนที่ 3

ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 และ 2 ไปเรื่อยๆจนกว่าระยะก้าวในการคำนวณครั้งต่อไปมีค่าน้อยกว่า 1 หรือบล็อกที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือบล็อกตรงจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2-26 การค้นหาสามขั้นตอน

จากรูปที่ 2-26 เป็นการค้นหาสามขั้นตอนโดยมีความกว้างหน้าต่างค้นหาเท่ากับ ± 7 ดังนั้นระยะก้าวเริ่มต้นเท่ากับ 4 โดยจุดแต่ละจุดในรูปคือบล็อกที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการคำนวณความผิดพลาดของบล็อก จากรูปจะเห็นได้ว่าระยะเลื่อนในแนวแกน x และ y มีค่าเท่ากับ 6 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้น $mv_x(i, j) = 6$, $mv_y(i, j) = 3$

การค้นหาสามขั้นตอนมีข้อดีที่ใช้การคำนวณต่ำ โดยพิจารณารูปที่ 2-26 กรณีเลขที่สุดพบว่าใช้การคำนวณทั้งหมด $9+8+8=25$ จุด เปรียบเทียบกับการค้นหาเต็มอัตราที่ใช้การคำนวณ $15 \times 15 = 225$ จุด เห็นได้ว่าจะสามารถลดความซับซ้อนในการคำนวณลงได้อย่างมาก แต่

อย่างไรก็ตามการประมาณการเคลื่อนที่จะมีปัญหาในกรณีที่ว่าตฤมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย กล่าวคือบล็อกที่มีความผิดเพี้ยนต่ำสุดอยู่บริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลางของหน้าต่างค้นหา

2.5.2.3 การค้นหาสามขั้นตอนแบบมีประสิทธิภาพ (Efficient Three Step Search)

นำเสนอครั้งแรกโดย Xuan Jing และ Lap-Pui Chau [13] ซึ่งมีแนวคิดในการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีค้นหาสามขั้นตอนในกรณีที่ว่าตฤในภาพมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย การค้นหาสามขั้นตอนแบบมีประสิทธิภาพอาศัยสมมุติฐานว่าโดยทั่วไปลำดับภาพมีการแจกแจงเวกเตอร์การเคลื่อนที่เอนเอียงบริเวณตรงกลาง (Center-biased) ดังนั้นจึงเพิ่มจำนวนบล็อกเริ่มต้นในการค้นหาขั้นตอนแรกโดยเพิ่มบล็อกจำนวน 4 บล็อกตรงกลางโดยเรียงตัวในลักษณะแบบอย่างเพชร (Diamond Pattern) ขั้นตอนการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ขั้นตอนที่ 1

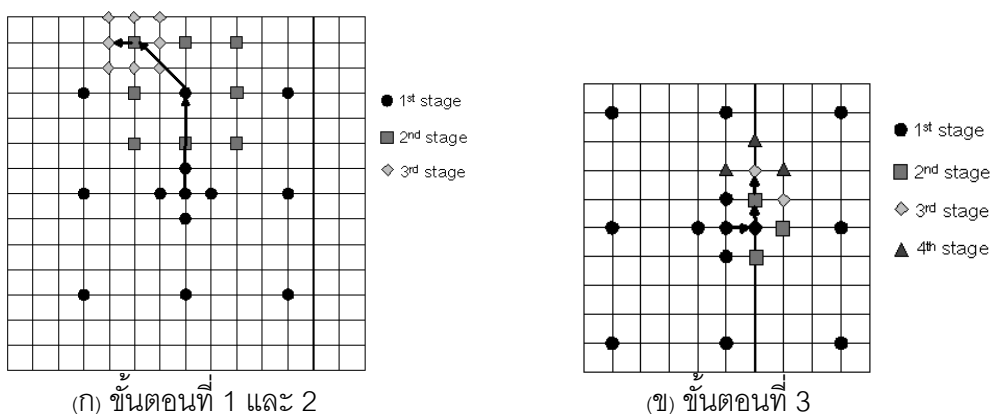
ในขั้นตอนแรกจะเป็นการคำนวณความผิดเพี้ยนบล็อกเช่นเดียวกับขั้นตอนวิธีค้นหาสามขั้นตอนแต่เพิ่มการคำนวณบล็อกตรงกลางจำนวน 4 บล็อก หากความผิดเพี้ยนบล็อกมีค่าน้อยสุดที่ตำแหน่งศูนย์กลางจะหยุดการคำนวณ

2) ขั้นตอนที่ 2

หากหนึ่งใน 8 บล็อกที่อยู่รอบๆศูนย์กลางมีความผิดเพี้ยนบล็อกต่ำสุด การคำนวณที่เหลือจะเหมือนกับขั้นตอนวิธีค้นหาสามขั้นตอน

3) ขั้นตอนที่ 3

หากความผิดเพี้ยนบล็อกมีค่าต่ำสุดที่บริเวณ 4 บล็อกตรงกลาง ย้ายจุดศูนย์กลางไปที่ตำแหน่งที่มีความผิดเพี้ยนต่ำสุด จากนั้นค้นหาต่อไปจนกว่าจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณขอบของหน้าต่างค้นหา หรือจุดศูนย์กลางมีค่าผิดเพี้ยนบล็อกต่ำสุด



รูปที่ 2-27 การค้นหาสามขั้นตอนแบบมีประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 2-27 เป็นการค้นหาโดยมีความกว้างของหน้าต่างค้นหาเท่ากับ ± 7 ดังนั้นขนาดของระยะก้าวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 4 ในรูป 2-27 (ก) แสดงเส้นทางการค้นหาในกรณีที่ว่าวัตถุมีการเคลื่อนที่ไกล รูป 2-27 (ข) แสดงเส้นทางการค้นหาในกรณีที่วัตถุมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาความซับซ้อนในการคำนวณของการค้นหาสามขั้นตอนแบบมีประสิทธิภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังนี้

1) กรณีวัตถุเคลื่อนที่ไกล

พิจารณารูปที่ 2-27 (ก) กรณีเลขที่สูงสุดใช้การคำนวณทั้งหมด $13+8+8=29$ จุด

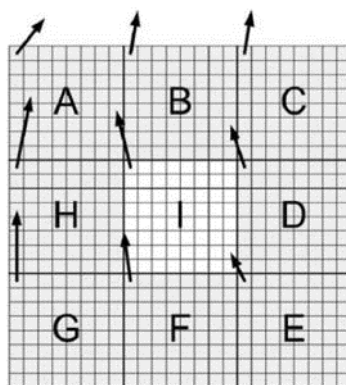
2) กรณีวัตถุเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย

หากวัตถุเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย บล็อกที่มีความผิดพลาดต่ำสุดจะอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ตรงกลางขนาด 5×5 การคำนวณมีค่าอยู่ระหว่าง 16 ถึง 21 จุด

2.5.2.4 การประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบล็อกร่วมกับการแปลงสัมพรรค (Affine Block-based Motion Estimation)

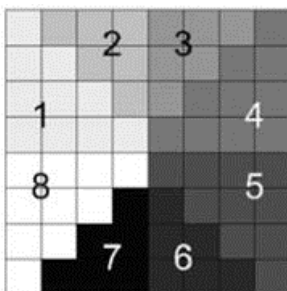
การประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบล็อกสามารถรองรับภาพในกรณีเลื่อนขนานได้เพียงอย่างเดียว และจะมีปัญหาเมื่อวัตถุในภาพมีการเคลื่อนที่ซับซ้อนขึ้นเช่น การหมุน (Rotation) หรือการดัดภาพ (Zooming) เป็นต้น หากใช้การประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบล็อกเพียงอย่างเดียวกับภาพที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าวจะทำให้ผลลัพธ์เกิดสิ่งแปลกปน (Artifact) ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมาณการเคลื่อนที่โดยใช้ขั้นตอนวิธีจับคู่บล็อกร่วมกับการแปลงสัมพรรคเพื่อให้สามารถในกรณีวัตถุมีการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อน

ในงานวิจัย [14] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการประมาณการเคลื่อนที่โดยการแปลงสัมพรรคซึ่งคำนวณตัวแปรเสริมของการแปลงภาพจากระยะเลื่อนขนาน ขั้นตอนการคำนวณจะเริ่มจากแบ่งเฟรมภาพออกเป็นบล็อก จากนั้นคำนวณเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของแต่ละบล็อกโดยใช้ขั้นตอนวิธีการจับคู่บล็อก



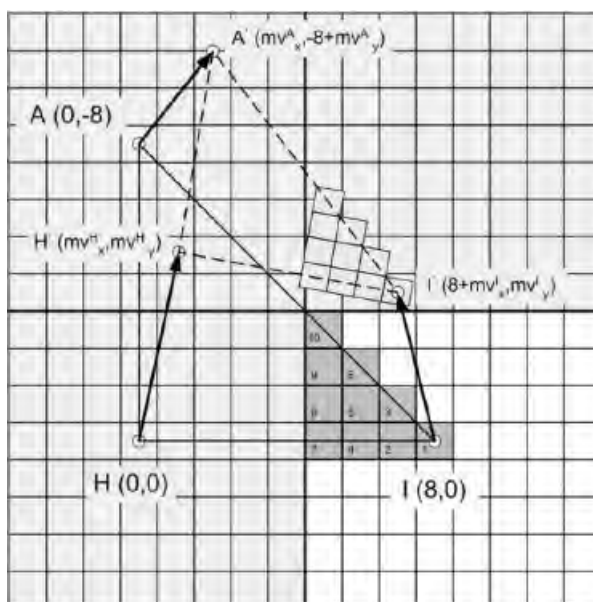
รูปที่ 2-28 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแต่ละบล็อก

จากรูป 2-28 แสดงเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกขนาด 8×8 ซึ่งในแต่ละบล็อกจะแบ่งออกเป็น 8 บริเวณรูปสามเหลี่ยมที่สมมาตรกัน ดังรูป



รูปที่ 2-29 บล็อกถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วน

ในแต่ละบริเวณจะสามารถคำนวณตัวแปรเสริมของการแปลงสัมพัทธ์ได้โดยใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกใกล้เคียง พิจารณ บริเวณที่ 1 ของบล็อก I สามารถวาดรูปสามเหลี่ยมคล้ายโดยให้จุดยอดของรูปสามเหลี่ยมอยู่ที่จุดศูนย์กลางของบล็อก A H และ I ตามลำดับ โดยใช้สมมติฐานว่าค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบล็อกกระจายตัวอยู่บริเวณขอบของบล็อก กล่าวคือการประมาณการเคลื่อนที่ที่มีความแม่นยำที่บริเวณจุดศูนย์กลางของบล็อก



รูปที่ 2-30 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อก A, H, I

จากรูป 2-30 รูปสามเหลี่ยมคล้าย (A, H, I) มีจุดยอด H เป็นจุดศูนย์กลางพิกัด $(0,0)$ ดังนั้นจุดยอด A และ I มีพิกัด $(0,-8)$ และ $(8,0)$ ตามลำดับ จากเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกทั้งสามจะได้ว่าจุดยอดของรูปสามเหลี่ยมเคลื่อนที่จากจุด

$[A, H, I] = [(0, -8), (0, 0), (8, 0)]$ ไปยังจุด

$[A', H', I'] = [(mv_x^A, -8 + mv_y^A), (mv_x^H, mv_y^H), (8 + mv_x^I, mv_y^I)]$ ตามลำดับ

เมื่อ mv_x^A, mv_y^A คือเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวแกน x และ y ของบล็อก A

mv_x^H, mv_y^H คือเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวแกน x และ y ของบล็อก H

mv_x^I, mv_y^I คือเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวแกน x และ y ของบล็อก I

ตัวแปรเสริมของการแปลงสัมพรรคสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.27) โดยใช้จุด $[A, H, I]$ และ $[A', H', I']$ เป็นจุดควบคุม จากนั้นคำนวณตัวแปรเสริมของการแปลงสัมพรรคของอีก 7 บริเวณที่เหลือได้ด้วยวิธีที่คล้ายกัน การประมาณการเคลื่อนที่สามารถทำได้โดยแทนค่าจุดภาพในพิกัด (x, y) ของภาพปัจจุบันด้วยจุดภาพในพิกัด (u, v) ของภาพอ้างอิง ดังสมการ

$$I_c(x, y) = I_r(u, v) \quad (2.31)$$

เมื่อ $I_c(x, y)$ คือค่าของจุดภาพที่พิกัด (x, y) ของภาพปัจจุบัน $I_r(u, v)$ คือค่าจุดภาพที่พิกัด (u, v) ของภาพอ้างอิง โดยคำนวณได้จากสมการ (2.27)

การประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบล็อกมีข้อดีที่สามารถใช้กับภาพที่มีการเคลื่อนที่เฉพาะจุดได้ แต่ข้อเสียคือใช้การคำนวณสูง โดยขนาดของหน้าต่างค้นหาผลกระทบต่อความแม่นยำในการประมาณการเคลื่อนที่และความซับซ้อนในการคำนวณ หากเลือกใช้หน้าต่างค้นหาขนาดเล็ก จะใช้การคำนวณต่ำ แต่จะเกิดความคลาดเคลื่อนในกรณีวัตถุเคลื่อนที่เร็วหรืออุปกรณ์รับภาพมีอัตราเฟรมต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากเลือกใช้หน้าต่างค้นหาที่มีขนาดใหญ่จะทำให้สามารถประมาณการเคลื่อนที่ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่เร็วได้อย่างแม่นยำมากขึ้นแต่ใช้การคำนวณที่สูงกว่า

2.6 พจน์คุมค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน

การสร้างภาพความละเอียดสูงจัดเป็นปัญหาลักษณะเลว กล่าวคือมีจำนวนจุดภาพจากภาพความละเอียดต่ำน้อยกว่าจำนวนจุดภาพของภาพความละเอียดสูงข้อมูล หรือข้อมูลจุดภาพมีสัญญาณรบกวน เมื่อแก้ปัญหการสร้างภาพความละเอียดสูงจะได้คำตอบหลากหลาย หรืออาจไม่ได้คำตอบที่ถูกต้องเลย เนื่องจากข้อมูลจุดภาพมีไม่เพียงพอ แนวทางในการแก้ปัญหาคือการเพิ่มข้อมูลรู้ก่อนหรือพจน์คุมค่าเพื่อชดเชยจุดภาพที่ขาดหายไป หรือปรับปรุงผลลัพธ์ให้มีเสถียรภาพมากขึ้น พจน์คุมค่าที่นิยมใช้คือพจน์คุมค่าแบบทึโคเนอฟ-อาร์เซนินหรือตัวดำเนินการลาปลาซโดยทำหน้าที่เป็นตัวกรองผ่านสูง ข้อเสียของพจน์คุมค่าชนิดนี้คือไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นส่วนที่มีความถี่สูง

งานวิจัย [4, 5] ได้นำเสนอพจน์คุ่มค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน (Bilateral Total Variation) ซึ่งมีคุณสมบัติทนทานต่อสัญญาณรบกวนในขณะที่ยังคงสภาพขอบ โดยสามารถแสดงพจน์คุ่มค่าเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y_{BTIV}(X) = \sum_{\substack{l=-P \\ l+m \geq 0}}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{|m|+|l|} \|X - S_x^l S_y^m X\|_1 \quad (2.32)$$

เมื่อ S_x^l และ S_y^m คือตัวดำเนินการเลื่อนขนานภาพในแนวแกน x และ y เป็นระยะ l และ m จุดภาพตามลำดับ α คือตัวแปรเสริมสเกลาร์ถ่วงน้ำหนัก (Scalar Weight) มีค่าในช่วงระหว่าง $0 < \alpha < 1$ ซึ่งทำให้ผลของพจน์คุ่มค่าลดลงเชิงพื้นที่ กล่าวคือเมื่อระยะเลื่อนมีค่ามากขึ้น ทำให้ผลของพจน์คุ่มค่าน้อยลง

จากงานวิจัย [4, 5] พบว่าสมการ (2.32) ทำหน้าที่เสมือนการหาค่าอนุพันธ์ ซึ่งเป็นการตรวจจับส่วนที่เป็นขอบ มุมของภาพเช่นเดียวกับพจน์คุ่มค่าแบบทีโคโนฟ-อาร์เซนิน แต่จะพิจารณาค่าอนุพันธ์ของจุดภาพในย่านใกล้เคียงด้วย ดังนั้นหากจุดภาพใดเป็นสัญญาณรบกวน พจน์คุ่มค่าแบบการแปรผันรวมสองด้านจะประมาณค่าจุดภาพนั้นใหม่โดยใช้จุดภาพข้างเคียงซึ่งทำให้ผลของสัญญาณรบกวนน้อยลง

2.7 สถิติศาสตร์ทนทาน

โดยทั่วไปข้อมูลทางสถิติประกอบด้วยส่วนที่เป็นข้อมูลในกลุ่ม (Inliers) และข้อมูลนอกกลุ่ม (Outliers) ในบางกรณีข้อมูลนอกกลุ่มอาจเป็นข้อมูลที่ถูกต้องแต่โดยส่วนใหญ่ก็มีผลเสียในทางสถิติ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับสถิติศาสตร์ทนทาน เพื่อพัฒนาวิธีเชิงสถิติให้ได้รับผลกระทบจากข้อมูลนอกกลุ่มน้อยที่สุด ซึ่งจะพิจารณาคูณสมบัติดังต่อไปนี้

2.7.1. ประสิทธิภาพเชิงเส้นกำกับสัมพัทธ์ (Asymptotic Relative Efficiency: ARE) [15, 16]

ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสัมพัทธ์ระหว่างตัวประมาณค่า $\hat{\theta}$ กับตัวประมาณค่า $\tilde{\theta}$ โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$ARE(\hat{\theta}, \tilde{\theta}) = \frac{V_{\tilde{\theta}}}{V_{\hat{\theta}}} \quad (2.33)$$

เมื่อ $V_{\hat{\theta}}$ และ $V_{\tilde{\theta}}$ คือความแปรปรวนของตัวประมาณค่า $\hat{\theta}$ และ $\tilde{\theta}$ ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงเส้นกำกับสัมพัทธ์เป็นค่าที่บอกว่าตัวประมาณค่า $\hat{\theta}$ ต้องใช้ข้อมูลที่มีขนาดตัวอย่างเท่าไรจึงจะมีความเที่ยงเท่ากับตัวประมาณค่า $\tilde{\theta}$ เมื่อกำหนดให้ขนาดตัวอย่างมีค่ามาก

2.7.2. สภาพทนทาน (Robustness)

เป็นสมบัติของตัวประมาณค่าในด้านความทนทานต่อข้อมูลนอกกลุ่ม คุณสมบัติหนึ่งที่น่าสนใจมาพิจารณาสภาพทนทานคือจุดเสียสภาพ (Breakdown Point) [17] ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลนอกกลุ่มต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมดสูงสุดที่ทำให้ตัวประมาณค่าไม่ถูกรบกวน โดยมีค่าสูงสุดคือ 0.5 หรือ 50% เนื่องจากหากข้อมูลมีจำนวนข้อมูลนอกกลุ่มเกิน 50% จะไม่สามารถแยกออกได้ว่าข้อมูลไหนคือข้อมูลในกลุ่มและข้อมูลไหนคือข้อมูลนอกกลุ่ม

จากคุณสมบัติดังกล่าว ตัวประมาณค่าที่ดีควรมีประสิทธิภาพในขณะเดียวกันควรมีจุดเสียสภาพสูง ในงานวิจัย [18] นำเสนอขั้นตอนวิธีที่ใช้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์ (Tukey's Biweight) โดยมีฟังก์ชันอิทธิพลดังสมการ

$$\psi(x) = \begin{cases} x \left[1 - (x/T)^2 \right]^2 & ; |x| \leq T, \\ 0 & ; \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2.34)$$

เมื่อ T คือมาตราส่วนทนทาน (Robust Scale) หรือเรียกอีกอย่างว่าค่าคงตัวปรับแต่ง (Tuning Constant)

บทที่ 3 ระเบียบวิธีที่นำเสนอ

ในบทนี้จะกล่าวถึงระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูงซึ่งเป็นระเบียบวิธีที่ออกแบบให้ใช้กับชุดภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนหรือมีสัญญาณรบกวนน้อยมาก และระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนซึ่งออกแบบให้ใช้กับชุดภาพที่มีสัญญาณรบกวน อีกทั้งอธิบายถึงขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งภาพ และขั้นตอนการรวมข้อมูลจุดภาพ

3.1 ระเบียบวิธีในการสร้างภาพความละเอียดสูง

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ระเบียบวิธีข้อมูลผู้ภายหลังสูงสุดซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่ 2 เป็นระเบียบวิธีในการแก้ปัญหาสร้างภาพความละเอียดสูงด้วยการหาความน่าจะเป็นของสัญญาณรบกวนที่น้อยที่สุด ดังสมการ

$$X_{MAP} = \arg \min (-\log P\{Y | X\} - \log P\{X\}) \quad (3.1)$$

เมื่อใช้สมมุติฐานว่าสัญญาณรบกวนเป็นการแจกแจงเอกลักษณะอิสระแบบเกาส์ (Independent Identical Distributed Gaussian Noise) พจน์ความควรจะเป็นของสัญญาณรบกวนมีค่าตามสมการ

$$P\{Y | X\} = \left(\frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{NM_1M_2}{2}}} \right) \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2^2}{\sigma^2} \right) \quad (3.2)$$

โดย σ^2 คือความแปรปรวนของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น M_1, M_2 คือจำนวนจุดภาพในแนวตั้งและแนวนอนของภาพความละเอียดต่ำและ N คือจำนวนภาพความละเอียดต่ำ

ส่วนของข้อมูลผู้ก่อน $P\{X\}$ จะใช้พจน์คุณค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน (Bilateral Total Variation: BTv) [4-5], [7] ดังสมการ

$$P\{X\} = \frac{1}{Z} \exp \left(-\sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} \|X - S_x^l S_y^m X\|_2 \right) \quad (3.3)$$

เมื่อ Z คือค่าคงตัวปรับบรรทัดฐาน (Normalizing Constant)
 α คือตัวแปรเสริมสเกลาร์ถ่วงน้ำหนัก มีค่าในช่วง $0 < \alpha < 1$
 S_x^l, S_y^m คือตัวดำเนินการเลื่อนขนานภาพในแนวระดับและแนวตั้งเป็นระยะ l
 และ m จุดภาพตามลำดับ
 P คือระยะเลื่อนภาพ โดย $P > 1$

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [5] พบว่าการใช้นอร์มอันดับหนึ่ง (L1 norm) ให้ผลลัพธ์เป็นค่ามัธยฐานของแต่ละจุดภาพ และนอร์มอันดับสอง (L2 norm) ให้ผลลัพธ์เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดภาพ ซึ่งค่ามัธยฐานนั้นมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้มากกว่าค่าเฉลี่ย แต่การสร้างภาพความละเอียดสูงจัดเป็นปัญหาลักษณะเลว (Ill-posed problem) เนื่องจากจำนวนภาพความละเอียดต่ำที่ใช้เป็นข้อมูลมีไม่เพียงพอ ซึ่งทำให้แต่ละจุดภาพมีข้อมูลน้อย ดังนั้นค่ามัธยฐานให้ผลลัพธ์ที่ไม่ต่างจากค่าเฉลี่ย อีกทั้งระเบียบวิธีที่นำเสนอนี้ถูกออกแบบให้ใช้งานกับชุดภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน จึงได้เลือกใช้นอร์มอันดับสองกับทั้งพจน์ความควรจะเป็นและพจน์ข้อมูลรู้ก่อน ซึ่งทำให้สมการอยู่ในรูปฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic Function)

เมื่อแทนพจน์ความควรจะเป็นในสมการ (3.2) และพจน์ข้อมูลรู้ก่อนจากสมการ (3.3) ลงในสมการ (3.1) ได้ผลลัพธ์ดังสมการ

$$f(x) = \arg \min \left\{ -\log \left(\frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{NM_1M_2}{2}}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2^2 - \log \frac{1}{Z} + \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} \|X - S_x^l S_y^m X\|_2^2 \right\} \quad (3.4)$$

เนื่องจากสมการ (3.4) เป็นการหาค่าต่ำสุด ดังนั้นพจน์ $\log \left(\frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{NM_1M_2}{2}}} \right)$ และ

$\log \frac{1}{Z}$ ซึ่งเป็นค่าคงตัวจึงสามารถตัดออกจากสมการได้ ดังนั้นสามารถจัดรูปสมการ (3.4) ใหม่ได้ดังนี้

$$f(x) = \arg \min \left\{ \sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2^2 + \beta \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} \|X - S_x^l S_y^m X\|_2^2 \right\} \quad (3.5)$$

โดย β คือตัวแปรเสริมพจน์คุมค่า (Regularization Parameter) ทำหน้าที่ในการถ่วงดุลระหว่างความถูกต้องของข้อมูล (พจน์ $\sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2$) และความเรียบของภาพ (พจน์ $\sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} \|X - S_x^l S_y^m X\|_2$) การแก้ปัญหาค่าต่ำสุดสามารถทำได้โดยใช้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีลาดลงชันที่สุด (Steepest Descent) [19] จะได้ขั้นตอนวิธีแบบทำซ้ำ (Iterative Algorithm) ดังสมการ

$$x_{n+1} = x_n + \lambda_n s_n \quad ; s_n = -\nabla f(x_n) \quad (3.6)$$

เมื่อ x_n และ x_{n+1} คือคำตอบของรอบการประมวลผลที่ n และ $n+1$ ตามลำดับ s_n คือทิศทางการลู่เข้าของคำตอบซึ่งมีค่าเท่ากับเกรเดียนต์ของฟังก์ชันจุดประสงค์ ($-\nabla f(x_n)$) และ λ_n คือระยะก้าว (Step Size) เป็นตัวแปรเสริมสเกลาร์ที่มีค่าบวก โดยทำหน้าที่กำหนดอัตราการลดลงของฟังก์ชันจุดประสงค์ $f(x)$ หากระยะก้าวมีค่ามากจะทำให้คำตอบลู่เข้าเร็วในช่วงแรกแต่เมื่อถึงจุดหนึ่งคำตอบจะเริ่มอิมิตัวและไม่ลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุด ในทางตรงกันข้ามหากระยะก้าวมีค่าน้อยคำตอบจะลู่เข้าช้า

จากสมการ (3.5) เมื่อหาผลต่างเชิงอนุพันธ์เทียบกับ X และให้ผลต่างเชิงอนุพันธ์มีค่าเท่ากับศูนย์ ได้ผลลัพธ์ดังสมการ

$$\nabla f(x) = -\sum_{k=1}^N H_k^T (Y - H_k X) + \beta \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} [I - S_x^{-l} S_y^{-m}] [X - S_x^l S_y^m X] \quad (3.7)$$

จากสมการ (3.6) และ (3.7) ได้ขั้นตอนวิธีทำซ้ำดังสมการ

$$X_{n+1} = X_n + \lambda_n \left[\sum_{k=1}^N H_k^T (Y_k - H_k X_n) - \beta \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} [I - S_x^{-l} S_y^{-m}] [X_n - S_x^l S_y^m X_n] \right] \quad (3.8)$$

เมื่อ S_x^{-l} , S_y^{-m} คือตัวดำเนินการเลื่อนขนานภาพเช่นเดียวกับ S_x^l , S_y^m ตามลำดับแต่มีทิศทางตรงกันข้าม จากสมการ (3.8) ระยะก้าวเหมาะที่สุดที่ทำให้อัตราการลดลงของฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าสูงสุดในแต่ละรอบการทำซ้ำสามารถคำนวณได้ในกรณีฟังก์ชันกำลังสอง [19] ดังต่อไปนี้

จากสมการ (3.5) เมื่อแทนค่าตัวแปร X ด้วย $X + \lambda s_n$ สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$f(X + \lambda s_n) = \left\{ \sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k(X + \lambda s_n)\|_2 + \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} \|(X + \lambda s_n) - S_x^l S_y^m (X + \lambda s_n)\|_2 \right\} \quad (3.9)$$

และเมื่อกำหนดให้

$$\phi(\lambda) = f(X + \lambda s_n) \quad (3.10)$$

ระยะก้าวที่เหมาะสมที่สุดคือค่าของ λ ที่เป็นคำตอบของอาร์กิวเมนต์ของค่าต่ำสุดของสมการ (3.10) ($\arg \min f(X + \lambda s_n)$) จากนั้นหาค่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ของสมการ (3.9) เทียบกับ λ (ละเครื่องหมาย Σ ออกเพื่อความกระชับ) จะได้ผลลัพธ์ตามสมการ

$$\phi'(\lambda) = \left\{ -Hs_n [Y - H(X + \lambda s_n)] + \beta \alpha^{m+l} [(X + \lambda s_n) - S_x^l S_y^m (X + \lambda s_n)] [s_n - S_x^l S_y^m s_n] \right\} \quad (3.11)$$

เมื่อแทนค่า $s_n = -\nabla f(x)$ สมการ (3.11) สามารถแสดงใหม่ได้เป็น

$$\phi'(\lambda) = H\nabla f(x)[Y - HX + \lambda H\nabla f(x)] + \beta \alpha^{m+l} [X - \lambda \nabla f(x) - S_x^l S_y^m (X - \lambda \nabla f(x))] [-\nabla f(x) + S_x^l S_y^m \nabla f(x)] \quad (3.12)$$

เมื่อให้ค่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ ($\phi'(\lambda)$) มีค่าเท่ากับศูนย์และจัดรูปสมการ (3.12) ใหม่ ได้ความสัมพันธ์ดังสมการ (3.13)

$$\lambda H^T H \nabla f(x)^T \nabla f(x) - \lambda \beta \alpha^{m+l} [\nabla f(x) - S_x^l S_y^m \nabla f(x)] [-\nabla f(x) + S_x^l S_y^m \nabla f(x)] = -[H \nabla f(x) Y - H^T \nabla f(x) H X + \beta \alpha^{m+l} (X - S_x^l S_y^m X) (-\nabla f(x) + S_x^l S_y^m \nabla f(x))] \quad (3.13)$$

จัดรูปสมการ (3.13) ใหม่ได้ผลลัพธ์ดังสมการ (3.14)

$$\lambda = \frac{-\nabla f(x) [H^T (Y - HX) - \beta \alpha^{m+l} (X - S_x^l S_y^m X) (I - S_x^{-l} S_y^{-m})]}{H^T H \nabla f(x)^T \nabla f(x) + \beta \alpha^{m+l} [\nabla f(x) - S_x^l S_y^m \nabla f(x)] [\nabla f(x) - S_x^l S_y^m \nabla f(x)]} \quad (3.14)$$

เมื่อแทนค่า $\nabla f(x) = -H^T (Y - HX) + \beta \alpha^{m+l} [I - S_x^{-l} S_y^{-m}] [X - S_x^l S_y^m X]$ ตามความสัมพันธ์ในสมการ (3.7) และใส่เครื่องหมาย Σ กลับเข้าไปดังเดิม ได้ระยะก้าวที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละรอบการทำซ้ำมีค่าตามสมการ (3.15)

$$\lambda_n = \frac{\|\nabla f(X_n)\|_2}{\|H\nabla f(X_n)\|_2 + \beta \left\| \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} [\nabla f(X_n) - S_x^l S_y^m \nabla f(X_n)] \right\|_2} \quad (3.15)$$

3.2 ระเบียบวิธีในการการสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน

ในกรณีที่ภาพมีสัญญาณรบกวนหรือในขั้นตอนการสร้างภาพความละเอียดสูงมีค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าตัวแปรเสริม ข้อมูลจุดภาพบางจุดจะเป็นข้อมูลนอกกลุ่ม มีผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีคุณภาพแย่ง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดข้อมูลนอกกลุ่มเหล่านี้ออกไป แต่ในขณะเดียวกันต้องไม่กำจัดข้อมูลที่ได้จากความผิดเพี้ยนภาพ (Aliasing) ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างภาพความละเอียดสูง ในการออกแบบระเบียบวิธีเพื่อสร้างภาพความละเอียดสูงและลดสัญญาณรบกวนจะเลือกใช้ระเบียบวิธีข้อมูลรู่ภายหลังสูงสุดร่วมกับพจน์คุมค่าแบบการแปรผันรวมสองด้านโดยใช้ نرمอันดับหนึ่ง เนื่องจากมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวน ระเบียบวิธีที่ใช้มีความสัมพันธ์ตามสมการ

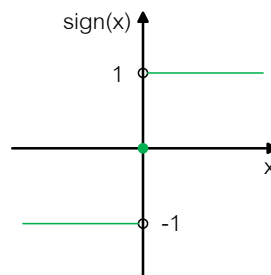
$$X = \arg \min \left\{ \sum_{k=1}^N \|Y_k - H_k X\|_2 + \beta \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} \|X - S_x^l S_y^m X\|_1 \right\} \quad (3.16)$$

เมื่อแก้ปัญหาโดยใช้การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีลาดลงขั้นที่สุดเช่นเดียวกับสมการ (3.6) เมื่อหาค่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ของสมการ (3.16) ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\nabla f(x) = -\sum_{k=1}^N H_k^T (Y - H_k X) + \beta \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} (I - S_x^{-l} S_y^{-m}) \text{sign}(X - S_x^l S_y^m X) \quad (3.17)$$

เมื่อ $\text{sign}(\cdot)$ คือฟังก์ชันซิกนัม (Signum Function) ซึ่งมีคุณสมบัติดังสมการ (3.18)

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1 & ; x < 0, \\ 0 & ; x = 0, \\ 1 & ; x > 0. \end{cases} \quad (3.18)$$

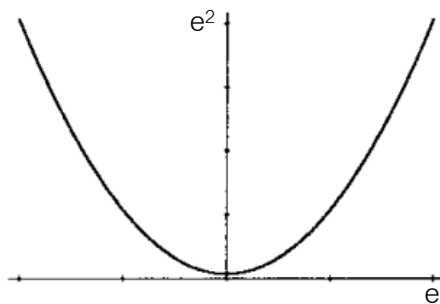


รูปที่ 3-1 ฟังก์ชันซิกนัม

เมื่อแทนสมการ (3.17) ลงในสมการ (3.6) ได้ขั้นตอนวิธีทำซ้ำดังนี้

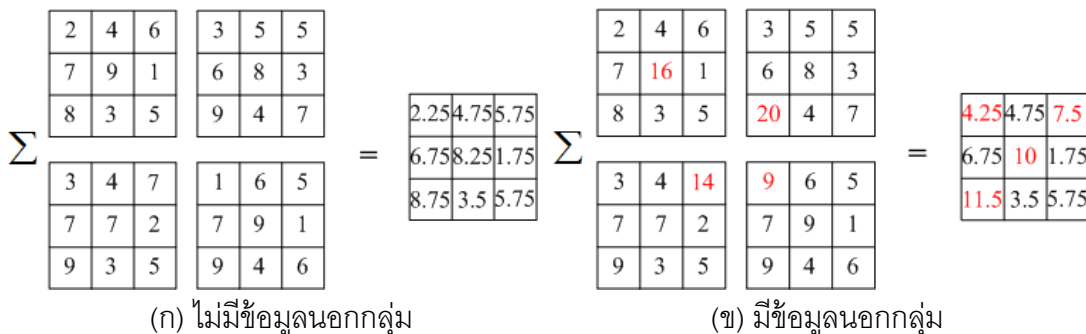
$$X_{n+1} = X_n + \lambda \left[\sum_{k=1}^N H_k^T (Y_k - H_k X_n) - \beta \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} (I - S_x^{-l} S_y^{-m}) \text{sign}(X_n - S_x^l S_y^m X_n) \right] \quad (3.19)$$

จากสมการ (3.16) ได้เลือกใช้นอร์มอันดับสองในการวัดค่าคลาดเคลื่อนระหว่างภาพความละเอียดต่ำข้อมูลกับภาพความละเอียดต่ำจำลอง ($\|Y_k - H_k X\|_2$) หรือเรียกว่าวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least-squares Method)



รูปที่ 3-2 พังก์ชันกำลังสองน้อยสุด

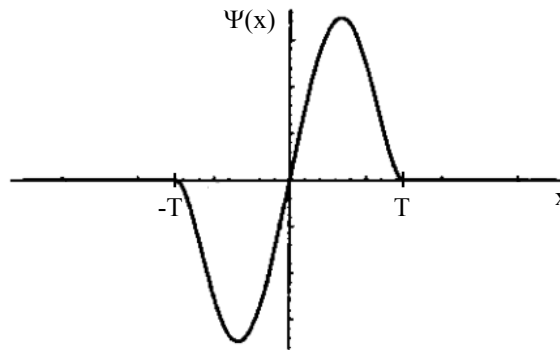
จากรูปที่ 3-2 จะเห็นว่าเมื่อค่าคลาดเคลื่อน (e) เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ (e^2) เปลี่ยนแปลงไปมาก ในทำนองเดียวกันหากข้อมูลจุดภาพบางส่วนเป็นข้อมูลนอกกลุ่ม (Outliers) จุดภาพเหล่านั้นจะมีผลต่อภาพผลลัพธ์อย่างมาก ดังตัวอย่างในรูปที่ 3-3 (ก) และ (ข) จึงสามารถสรุปได้ว่านอร์มอันดับสองไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนและค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประมาณค่าตัวแปรเสริมในแบบจำลอง



รูปที่ 3-3 การรวมข้อมูลจุดภาพ

ดังนั้นในขั้นตอนการรวมข้อมูลจุดภาพ ($\sum_{k=1}^N H_k^T (Y_k - H_k X_n)$) จึงต้องมีการกำจัดข้อมูลนอกกลุ่ม ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์ (Tukey's Biweight Function) [18] ซึ่งมีฟังก์ชันอทธิพลดังนี้

$$\psi(x) = \begin{cases} x \left[1 - (x/T)^2 \right]^2 & ; |x| \leq T, \\ 0 & ; otherwise. \end{cases} \quad (3.20)$$



รูปที่ 3-4 ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์

ฟังก์ชันน้ำหนักคู่สามารถพิจารณาว่าข้อมูลใดเป็นข้อมูลนอกกลุ่มโดยพิจารณาจากค่าคงตัวปรับแต่ง T หากข้อมูลใดมีขนาดมากกว่าค่าคงตัวปรับแต่งจะถูกพิจารณาว่าเป็นข้อมูลนอกกลุ่มและทิ้งข้อมูลนั้นไป เมื่อใช้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์ร่วมกับขั้นตอนการรวมภาพ จะได้ขั้นตอนวิธีทำซ้ำในการขยายความละเอียดภาพโดยลดสัญญาณรบกวนดังนี้

$$X_{n+1} = X_n + \lambda \left[\sum_{k=1}^N \psi(W_k^T B^T D^T [Y_k - DBW_k X_n]) - \beta \sum_{l=0}^P \sum_{m=0}^P \alpha^{m+l} (I - S_x^{-l} S_y^{-m}) \text{sign}(X - S_x^l S_y^m X_n) \right] \quad (3.21)$$

ค่าคงตัวปรับแต่งมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพและสภาพทนทาน หากเลือกค่าคงตัวปรับแต่งให้มีขนาดใหญ่จะทำให้ประสิทธิภาพสูงแต่จะสูญเสียสภาพทนทานไป ในทางกลับกัน หากเลือกค่าคงตัวปรับแต่งให้มีขนาดเล็กจะทำให้มีสภาพทนทานสูงแต่มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นการเลือกค่าคงตัวปรับแต่งที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ นิยามให้เกรเดียนต์ของความคลาดเคลื่อนมีค่าตามสมการ

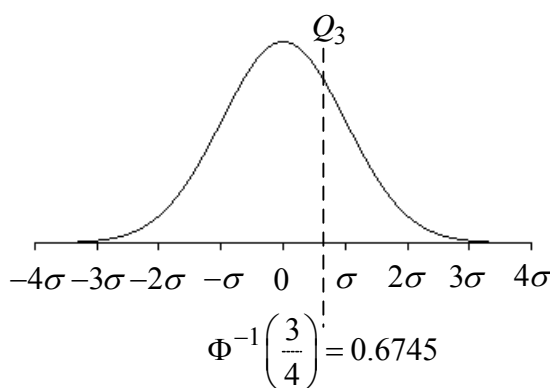
$$G_k = W_k^T B^T D^T [Y_k - DBW_k X_n] \quad ; k = 1, 2, \dots, N \quad (3.22)$$

ในการวิเคราะห์ว่าข้อมูลใดเป็นข้อมูลนอกกลุ่ม [18] จะพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ของเกรเดียนต์ของความคลาดเคลื่อน G_k โดยเลือกใช้ค่ามัธยฐานเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Median Absolute Deviation: MAD) ในการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีความทนทาน ดังแสดงในสมการ

$$\begin{aligned}\sigma &= MAD(G) \\ &= \text{median}[G_k - \text{median}(|G|)]\end{aligned}\quad (3.23)$$

หากใช้สมมติฐานว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติพบว่าค่ามัธยฐานเบี่ยงเบนสัมบูรณ์มีค่าดังสมการ

$$MAD = \Phi^{-1}\left(\frac{3}{4}\right)\sigma = 0.6745\sigma \quad (3.24)$$

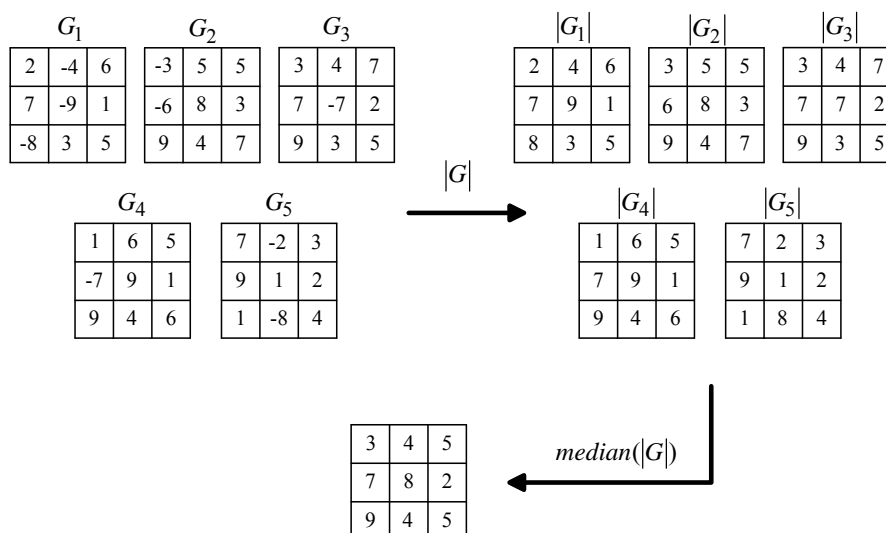


รูปที่ 3-5 การแจกแจงปกติ

เมื่อ Φ^{-1} คือฟังก์ชันการแจกแจงสะสมผกผัน จากสมการ (3.24) สามารถประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีความทนทานได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\hat{\sigma} &= \frac{1}{0.6745} MAD \\ &= 1.4826 \text{median}[G_k - \text{median}(|G|)]\end{aligned}\quad (3.25)$$

จากการศึกษาบทความ [15] พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ประมาณได้จากสมการ (3.25) มีจุดเสียดภาพเท่ากับ 0.5 พจน์มัธยฐานของค่าสัมบูรณ์ของเกรเดียนต์ค่าคลาดเคลื่อน $\text{median}(|G|)$ มีขั้นตอนการคำนวณดังตัวอย่างในรูป



รูปที่ 3-6 มัธยฐานของค่าสัมบูรณ์ของเกรเดียนต์ค่าคลาดเคลื่อน

จากรูป 3-6 การคำนวณเริ่มจากหาค่าสัมบูรณ์ในแต่ละจุดภาพของเกรเดียนต์ค่าคลาดเคลื่อน ($|G|$) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาหาค่ามัธยฐานของแต่ละจุดภาพ ค่าคงตัวปรับแต่งที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T = k\hat{\sigma} \quad (3.26)$$

จาก [20] พบว่าหากเลือกค่าคงที่ $k = 4.685$ ทำให้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์มีประสิทธิภาพเชิงเส้นกำกับสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับตัวประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยสุด จากสมการ (3.25) และ (3.26) ทำให้ได้ตัวประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความทนทาน

3.3 การกำหนดตำแหน่ง

การกำหนดตำแหน่งเป็นขั้นตอนที่ใช้ระบุจุดภาพแต่ละจุดของภาพหนึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่ใดเมื่ออยู่บนอีกภาพหนึ่ง ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญต่อการสร้างภาพความละเอียดสูงอย่างมาก หากกำหนดตำแหน่งได้อย่างแม่นยำจะทำให้ผลลัพธ์ออกมามีคุณภาพดังตัวอย่างในบทที่ 5

ในงานวิจัยนี้จะออกแบบโปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูงที่กำหนดตำแหน่งได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งทำให้โปรแกรมนี้สามารถใช้กับแฟ้มภาพวิดีโอที่คนใดก็ได้โดยไม่ต้องทราบการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ ในการออกแบบโปรแกรมจะเลือกใช้การประมาณการเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งในกรณีที่ภาพทั้งภาพเคลื่อนที่ไปด้วยกันหรือเคลื่อนที่เฉพาะจุดได้ ขั้นตอนวิธีที่เลือกใช้คือการประมาณการเคลื่อนที่โดยพื้นฐานบดบังร่วมกับการแปลงสัมพรรคซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่ 2 โดยการทำงานแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

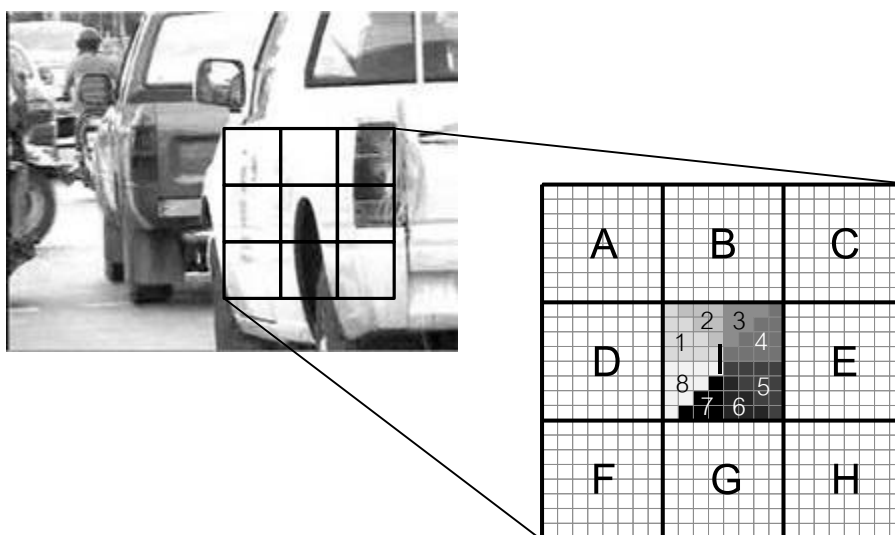
1) คำนวณเวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานของภาพ

ในขั้นตอนนี้เป็นการประมาณการเคลื่อนที่โดยแบ่งภาพออกเป็นบล็อกขนาด 8×8 จุดภาพ จากนั้นใช้ขั้นตอนวิธีจับคู่บล็อกคำนวณเวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานของแต่ละบล็อก

2) คำนวณตัวแปรเสริมการแปลงสัมพรรค

ในแต่ละบล็อกสามารถแบ่งออกเป็น 8 บริเวณดังรูป 3-7 ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคำนวณตัวแปรเสริมการแปลงสัมพรรคของแต่ละบริเวณด้วยขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 โดยใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกในย่านใกล้เคียงเคียงดังนี้

- บริเวณที่ 1 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก A, D, I
- บริเวณที่ 2 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก A, B, I
- บริเวณที่ 3 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก C, B, I
- บริเวณที่ 4 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก C, E, I
- บริเวณที่ 5 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก H, E, I
- บริเวณที่ 6 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก H, G, I
- บริเวณที่ 7 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก F, G, I
- บริเวณที่ 8 ใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อก F, D, I



รูปที่ 3-7 บล็อกในย่านใกล้เคียง

3) ทำนายการเคลื่อนที่ของภาพ

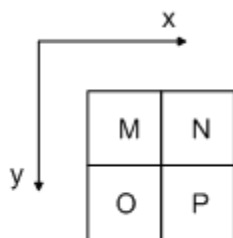
เป็นการแปลงภาพจากภาพอ้างอิง ในขั้นตอนนี้จุดภาพแต่ละจุดของภาพทำนายได้มาจากการค้นตาราง (Look-up) จากภาพอ้างอิงดังสมการ

$$I_p(x, y) = I_r(u, v) \quad (3.27)$$

จากสมการ (3.27) ค่าจุดภาพของภาพทำนาย $I_p(x, y)$ ที่พิกัด (x, y) ใดๆ ได้มาจากค่าจุดภาพของภาพอ้างอิง $I_r(u, v)$ ที่พิกัด (u, v) โดยการใช้การแปลงสัมพรรคเพื่อแปลงพิกัดจาก $(x, y) \rightarrow (u, v)$ ดังสมการ

$$\begin{aligned} u &= ax + by + c \\ v &= dx + ey + f \end{aligned} \quad (3.28)$$

เมื่อ a, b, c, d, e, f คือตัวแปรเสริมของการแปลงภาพ ในการแปลงพิกัดของจุดภาพหนึ่งๆ ใช้การดำเนินการบวก 2 ครั้งและใช้การดำเนินการคูณ 2 ครั้ง ซึ่งเป็นการคำนวณที่ซับซ้อน ดังนั้นในขั้นตอนการแปลงพิกัดจึงเลือกใช้ขั้นตอนวิธีเส้นกราด (Scan Line Algorithm) [14, 21] ดังนี้



รูปที่ 3-8 พิกัดของแต่ละจุดภาพ

จากรูปที่ 8 กำหนดให้จุดภาพ M มีพิกัด (x_M, y_M) ดังนั้นจุดภาพ N และ O มีพิกัด $(x_M + 1, y_M)$ และ $(x_M, y_M + 1)$ ตามลำดับ การแปลงพิกัดสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$\begin{aligned} u_M &= ax_M + by_M + c \\ v_M &= dx_M + ey_M + f \\ u_N &= a(x_M + 1) + by_M + c \\ v_N &= d(x_M + 1) + ey_M + f \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\begin{aligned} u_O &= ax_M + b(y_M + 1) + c \\ v_O &= dx_M + e(y_M + 1) + f \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่า $ax_M + by_M + c = u_M$ และ $dx_M + ey_M + f = v_M$ สมการ (3.29) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 u_N &= u_M + a \\
 v_N &= v_M + d \\
 \\
 u_O &= u_M + b \\
 v_O &= v_M + e
 \end{aligned}
 \tag{3.30}$$

ดังนั้นการแปลงพิกัดจุดภาพสามารถลดความซับซ้อนเหลือแค่การดำเนินการบวกเพียงครั้งเดียว

3.4 การรวมข้อมูลจุดภาพ

การสร้างภาพความละเอียดสูงเป็นการใช้ข้อมูลจุดภาพจากภาพความละเอียดต่ำหลายภาพ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีในการรวมข้อมูลจุดภาพเหล่านั้นโดยสามารถจำแนกวิธีได้ดังนี้

3.4.1 การรวมภาพแบบเฉลี่ย

การรวมภาพแบบเฉลี่ย [6] เป็นการรวมภาพโดยจุดภาพผลลัพธ์จุดหนึ่งๆได้มาจากค่าเฉลี่ยของจุดภาพข้อมูลที่พิกัดเดียวกัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3-9 การรวมภาพด้วยวิธีนี้จะนำข้อมูลมาคำนวณโดยให้มีน้ำหนักเท่ากัน กล่าวคือผลรวมของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ถูกหารด้วยค่าคงที่ๆเท่ากันแม้ว่าบางตำแหน่งจะไม่มีข้อมูลก็ตาม จึงทำให้ผลลัพธ์มีความเรียบต่างน้อยลง

$$\sum \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & 1 & 1 \\ \hline 0 & 3 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 2 & 0 \\ \hline 4 & 1 & 0 \\ \hline 2 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 4/4 & 3/4 & 3/4 \\ \hline 4/4 & 5/4 & 2/4 \\ \hline 2/4 & 3/4 & 4/4 \\ \hline \end{array}$$

รูปที่ 3-9 การรวมภาพแบบเฉลี่ย

3.4.2 การรวมภาพแบบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

การรวมภาพแบบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก [6] เป็นการรวมข้อมูลของแต่ละจุดภาพโดยคำนวณเฉพาะจุดภาพที่มีข้อมูล จุดภาพใดที่ไม่มีข้อมูลให้ถือว่าน้ำหนักเป็นศูนย์ ดังนั้นการรวมภาพด้วยวิธีนี้จะหารผลรวมข้อมูลในแต่ละจุดภาพด้วยค่าคงที่ๆไม่เท่ากัน ดังตัวอย่างในรูป 3-10 วิธีนี้ทำให้ผลลัพธ์มีความเรียบต่างมากขึ้น เนื่องจากจุดภาพใดที่มีข้อมูลจะมีผลต่อภาพผลลัพธ์มากกว่า

$$\sum \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & 1 & 1 \\ \hline 0 & 3 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 2 & 0 \\ \hline 4 & 1 & 0 \\ \hline 2 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 4/3 & 3/2 & 3/2 \\ \hline 4/1 & 5/3 & 2/2 \\ \hline 2/1 & 3/2 & 4/2 \\ \hline \end{array}$$

รูปที่ 3-10 การรวมภาพแบบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

3.4.3 การรวมภาพแบบมัธยฐาน

นำเสนอโดย [9] ซึ่งเลือกใช้การหาค่ามัธยฐานแทนการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดภาพดังสมการ (3.31) โดยอาศัยคุณสมบัติความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของมัธยฐาน อย่างไรก็ตามจุดภาพบางตำแหน่งอาจมีค่ามัธยฐานเท่ากับศูนย์ จึงทำให้จุดภาพที่ตำแหน่งนั้นไม่มีข้อมูล

$$\sum I(x, y) = N \cdot \text{median}\{I_k(x, y)\}_{k=1}^n \quad (3.31)$$

เมื่อ $I(x, y)$ คือผลลัพธ์จากการรวมภาพด้วยการหาค่ามัธยฐานของข้อมูลจุดภาพ $I_k(x, y)$

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การรวมภาพแบบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเป็นหลัก เนื่องจากข้อดีในเรื่องความเปรียบเทียบต่าง

บทที่ 4

ระเบียบวิธีที่เลือกใช้ในการออกแบบโปรแกรม

ในบทนี้จะอธิบายถึงระเบียบวิธีที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของการขยายรายละเอียดภาพ ได้แก่ การซ้อนทับภาพโดยกำหนดตำแหน่งอัตโนมัติ การรวมภาพ และการแก้สมการแบบจำลองของปัญหา รวมถึงการประยุกต์ระเบียบวิธีดังกล่าวเพื่อให้โปรแกรมสามารถประมวลผลภาพสีได้

4.1 เงื่อนไขของแฟ้มภาพวิดีโอ

โปรแกรมที่ออกแบบในงานวิจัยนี้สามารถสร้างภาพความละเอียดสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

4.1.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการจับคู่บล็อกร่วมกับการแปลงสัมพรรคซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพเป็นตัวกำหนดความแม่นยำในการประมาณการเคลื่อนที่ โดยวัตถุควรมีลักษณะการเคลื่อนที่ดังนี้

1) วัตถุมีการเคลื่อนที่คงรูป (Rigid Motion)

เนื่องจากในขั้นตอนของการประมาณการเคลื่อนที่ที่ใช้การแปลงสัมพรรคซึ่งเป็นการแปลงเชิงเส้น (Linear Transformation) และขั้นตอนวิธีการจับคู่บล็อกซึ่งสามารถใช้ได้ดีภายใต้เงื่อนไขที่วัตถุไม่มีสภาพยืดหยุ่น (Elasticity) หรือไม่มีการเปลี่ยนรูป (Deformation) ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบมีการเปลี่ยนรูปเช่นใบหน้ามนุษย์ที่เปลี่ยนตามอารมณ์ ดังตัวอย่างในรูป



รูปที่ 4-1 ใบหน้ามนุษย์ซึ่งมีการเคลื่อนที่ไม่คงรูป

2) วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนาน (Translational Motion)

ในขั้นตอนแรกของการประมาณการเคลื่อนที่จะใช้ขั้นตอนวิธีจับคู่บดักซึ่งใช้ได้ดีกับภาพที่มีการเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานซึ่งอาจเป็นการเลื่อนขนานทั้งภาพ (Global Translational Motion) เช่นในกรณีที่กล้องเคลื่อนที่ไปมาในขณะที่ฉากอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับกล้อง และกรณีภาพถ่ายทางอากาศ หรือเป็นกรณีเลื่อนขนานเฉพาะที่ (Local Translational Motion) ซึ่งวัตถุในภาพเคลื่อนที่ในทิศทางต่างกัันดังตัวอย่างในรูป



รูปที่ 4-2 การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานทั้งภาพ



รูปที่ 4-3 การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานเฉพาะที่

4.1.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ

เงื่อนไขอีกประการหนึ่งคือวัตถุในภาพมีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ เนื่องจากในขั้นตอนการประมาณการเคลื่อนที่หากวัตถุเคลื่อนที่เร็วอาจส่งผลให้วัตถุอยู่นอกหน้าต่างค้นหาทำให้ขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อน เหตุผลอีกข้อหนึ่งคือหากวัตถุมีความเร็วต่ำจะสามารถละเลยผลของความพรั่มา้วจากการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากเวลาในการเปิด-ปิดช่องรับแสงที่ไม่เป็นศูนย์ของอุปกรณ์รับภาพได้

4.1.3 ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ

การสร้างภาพความละเอียดสูงเป็นการใช้ข้อมูลจากภาพความละเอียดต่ำหลายภาพ ซึ่งภาพความละเอียดต่ำเหล่านี้ควรมีความละเอียดเชิงพื้นที่เพียงพอ หากภาพความละเอียดต่ำมีข้อมูลน้อยเกินไปจะเป็นการยากในการขยายความละเอียดภาพ

4.2 ไลบรารีอีเอ็มจียูซีวี

โปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูงในงานวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008 ร่วมกับไลบรารีอีเอ็มจียูซีวี (Emgu CV) ซึ่งเป็นไลบรารีข้ามแพลตฟอร์มเพื่อให้สามารถใช้งานฟังก์ชันต่างๆที่มีอยู่ในไลบรารีโอเพนซีวีผ่านซอฟต์แวร์ภาษาซีชาร์ป (C#) ภายในไลบรารีอีเอ็มจียูซีวีนี้บรรจุฟังก์ชันที่จำเป็นในการประมวลผลภาพซึ่งการใช้งานจะเรียกใช้ผ่านคำสั่งที่เป็นส่วนห่อหุ้มไลบรารี (Library Wrapper) รายละเอียดต่างๆของไลบรารีอีเอ็มจียูซีวีสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [22]

4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบซอฟต์แวร์ขยายความละเอียดภาพที่สามารถให้ผู้ใช้งานเลือกใช้งานได้ 2 แบบ ระหว่างการขยายความละเอียดภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนหรือขยายความละเอียดภาพที่มีสัญญาณรบกวนซึ่งใช้ระเบียบวิธีทำซ้ำตามสมการ (3.8) และ (3.21) ตามลำดับ ขั้นตอนการสร้างภาพความละเอียดสูงเริ่มจากนำภาพความละเอียดสูงต้นแบบ (X_n) มาผ่านตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพตามลำดับต่อไปนี้

1. ตัวดำเนินการบิดโค้ง (Warping, W_k)
2. ตัวดำเนินการพรางมัว (Blurring, B_k)
3. ตัวดำเนินการซัดตัวอย่างขาลง (Down-sampling, D)

ได้ผลลัพธ์เป็นภาพความละเอียดต่ำสังเคราะห์ จากนั้นจะหาผลต่างระหว่างภาพความละเอียดต่ำสังเคราะห์ กับภาพความละเอียดต่ำที่วัดได้ ผลลัพธ์คือค่าคลาดเคลื่อนในกริดภาพความละเอียดต่ำจากนั้นจะนำไปผ่านตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพย้อนกลับ ตามลำดับต่อไปนี้

1. ตัวดำเนินการซัดตัวอย่างขาขึ้น (W_k^T)
2. ตัวดำเนินการพรางมัวย้อนกลับ (B_k^T)
3. ตัวดำเนินการบิดโค้งย้อนกลับ (D^T)

ผลลัพธ์คือค่าคลาดเคลื่อนในกริดภาพความละเอียดสูงโดยจะทำขั้นตอนดังกล่าวกับภาพความละเอียดต่ำที่วัดได้จนครบทุกภาพ ในขั้นตอนต่อไปหากผู้ใช้เลือกขยายความละเอียดภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนจะทำตามขั้นตอนดังนี้

- นำค่าคลาดเคลื่อนบนกริดภาพความละเอียดสูงและพจน์คุ่มค่าไปรวมกับภาพความละเอียดสูงต้นแบบโดยใช้ระยะก้าวที่คำนวณได้จากสมการ (3.15) เป็นการจบการประมวลผลของ

หนึ่งช่องสัญญาณดี และจะทำซ้ำขั้นตอนดังกล่าวจนครบ 3 ช่องสัญญาณดี ($C=3$) ก็จะจบการประมวลผลหนึ่งรอบ จากนั้นจะทำซ้ำไปจนกว่าจะครบจำนวนรอบการทำซ้ำที่กำหนด

หากผู้ใช้เลือกขยายความละเอียดภาพที่มีสัญญาณรบกวนจะทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

- กำจัดข้อมูลนอกกลุ่มโดยใช้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทวิคีย์ตามสมการ (3.20) จากนั้นนำค่าคลาดเคลื่อนบนกริดภาพความละเอียดสูงที่ผ่านการกำจัดข้อมูลนอกกลุ่มแล้วไปรวมกับพจน์คุ่มค่าภาพและความละเอียดสูงต้นแบบ เป็นการจบการประมวลผลของหนึ่งช่องสัญญาณดีและจะทำซ้ำขั้นตอนดังกล่าวจนครบ 3 ช่องสัญญาณดี ก็จะจบการประมวลผลหนึ่งรอบ จากนั้นจะทำซ้ำไปจนกว่าจะครบจำนวนรอบการทำซ้ำที่กำหนด

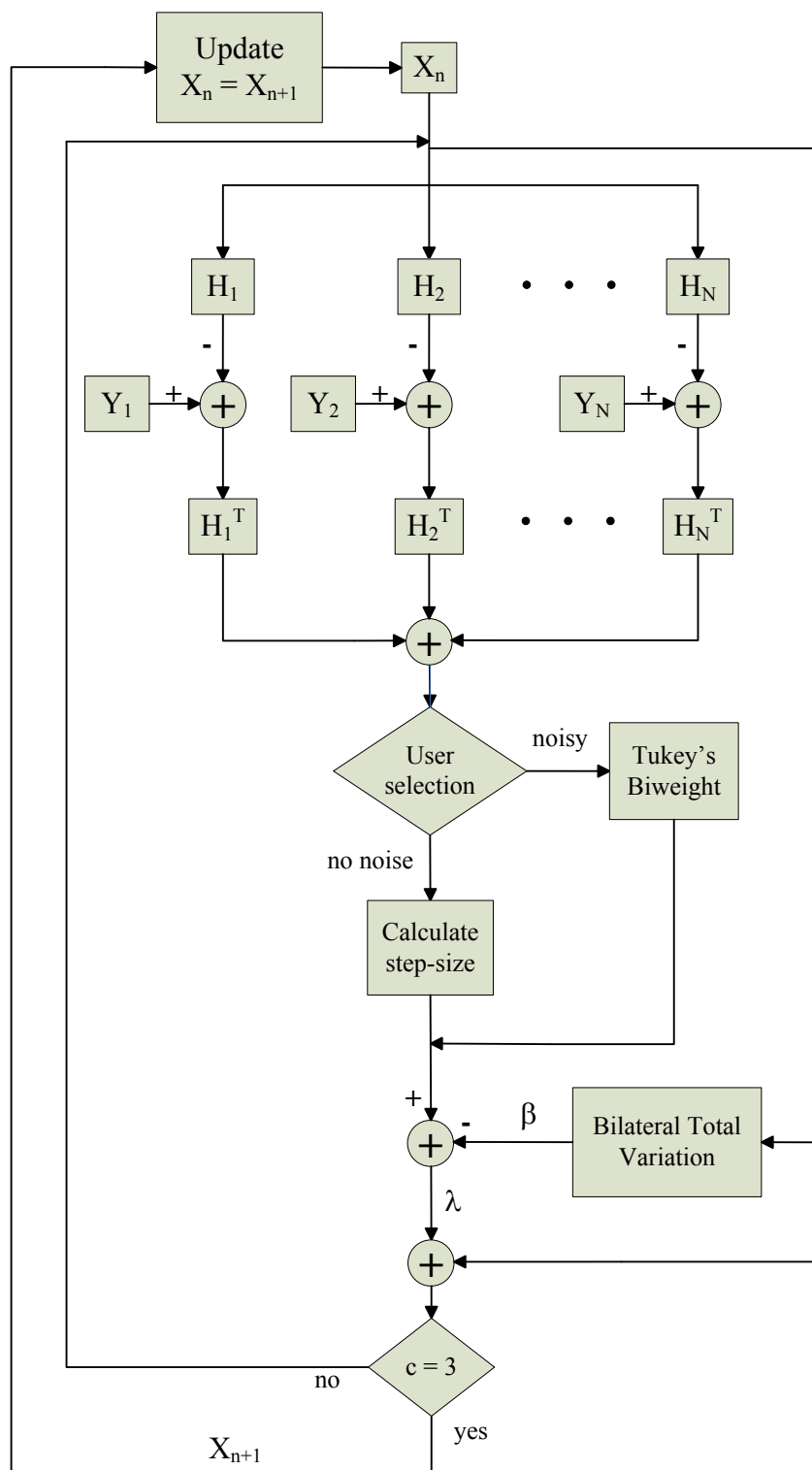
ขั้นตอนการคำนวณพจน์คุ่มค่า เริ่มจากเลื่อนภาพความละเอียดสูงต้นแบบ (X_n) ด้วยตัวดำเนินการเลื่อนภาพในแนวตั้ง S_y^m และแนวนอน S_x^l เป็นระยะ m และ l จุดภาพ ตามลำดับ และหาผลต่างระหว่างภาพความละเอียดสูงต้นแบบกับภาพที่ผ่านการเลื่อน ในขั้นตอนต่อไป หากผู้ใช้เลือกขยายความละเอียดภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน จะทำตามขั้นตอนดังนี้

- เลื่อนภาพผลต่างด้วยตัวดำเนินการเลื่อนภาพย้อนกลับ S_y^{-m} และ S_x^{-l} ตามลำดับ และนำภาพผลต่างไปลบกับภาพผลต่างที่ผ่านการเลื่อนกลับ

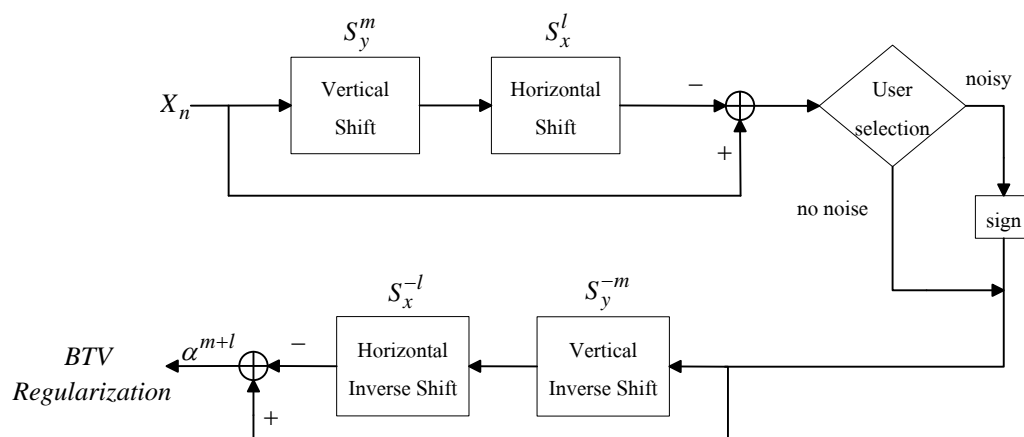
หากผู้ใช้เลือกขยายความละเอียดภาพที่มีสัญญาณรบกวน จะทำตามขั้นตอนดังนี้

- นำภาพผลต่างมาผ่านตัวดำเนินการซิกนัม จากนั้นจึงทำตามขั้นตอนเหมือนกรณีไม่มีสัญญาณรบกวน

ขั้นตอนการทำงานของวิธีทำซ้ำและการคำนวณพจน์คุ่มค่า สามารถแสดงเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 4-4 และ 4-5 ตามลำดับ



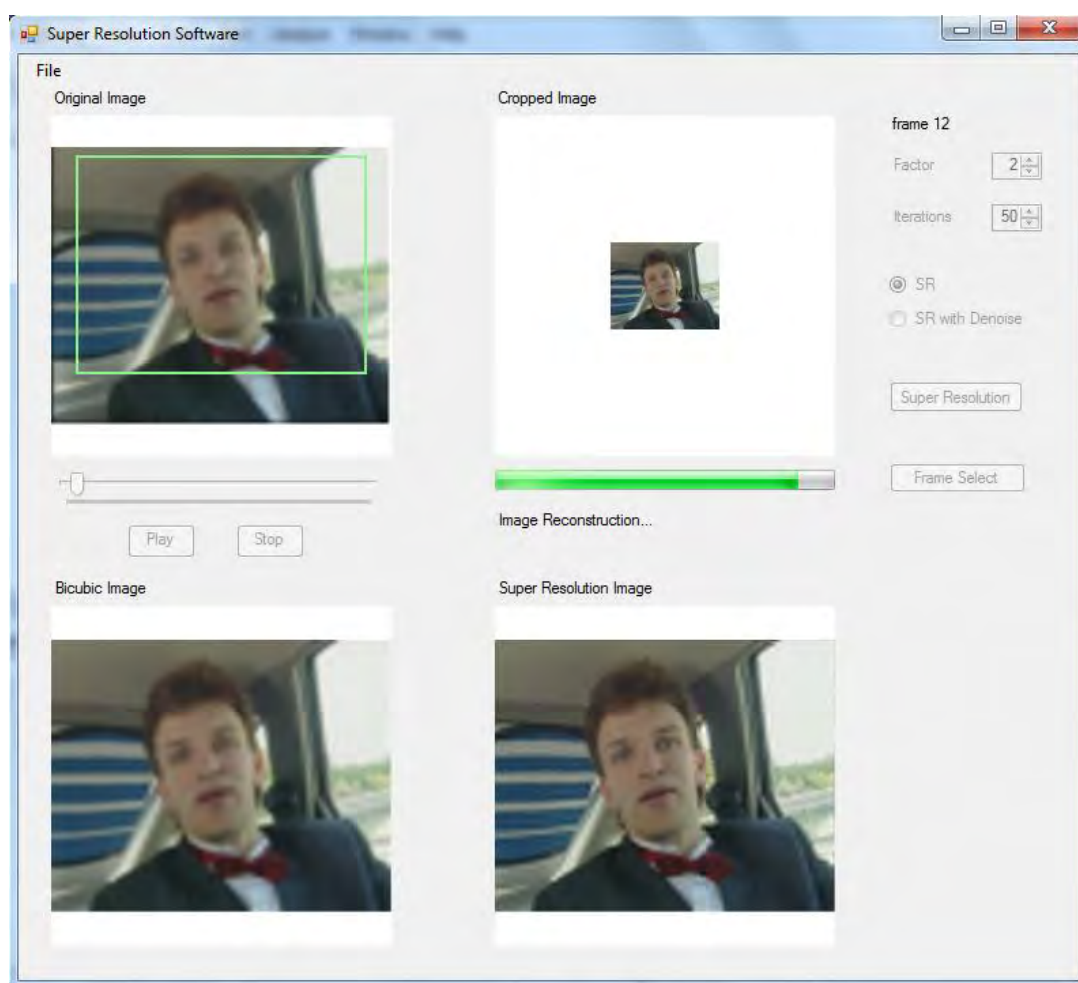
รูปที่ 4-4 ผังงานขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 4-5 ผังงานขั้นตอนการคำนวณพจน์ค่า

4.4 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

โปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูงที่ออกแบบมีรายละเอียดของส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface: UI) ดังรูป



รูปที่ 4-6 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของโปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูง

ผู้ใช้งานสามารถเลือกเพิ่มภาพวีดิทัศน์ที่ต้องการขยายความละเอียดภาพโดยเลือกที่ File>Load จากนั้นโปรแกรมจะแสดงเพิ่มภาพที่เลือกใช้ในหน้าต่าง Original Image โดยสามารถกดปุ่ม Play เพื่อเล่นเพิ่มภาพวีดิทัศน์ เมื่อต้องการขยายความละเอียดภาพเฟรมใดให้คลิกที่ปุ่ม Stop เพื่อหยุดภาพและเลือกบริเวณที่ต้องการขยายความละเอียดโดยการคลิกเมาส์และลากเพื่อสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบบริเวณที่ต้องการ โปรแกรมจะแสดงบริเวณที่เลือกในหน้าต่าง Cropped Image ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูเฟรมภาพใกล้เคียงที่ใช้เป็นภาพความละเอียดต่ำข้อมูลได้โดยคลิกที่ปุ่ม Frame Select จากนั้นผู้ใช้สามารถเลือกอัตราขยายที่ต้องการโดยปรับที่ Factor และเลือกจำนวนรอบทำซ้ำที่ต้องการโดยปรับที่ Iterations หากผู้ใช้งานต้องการขยายความละเอียดภาพเพียงอย่างเดียวให้เลือกตัวเลือก SR หากผู้ใช้งานต้องการขยายความละเอียดภาพร่วมกับลดสัญญาณรบกวนให้เลือกตัวเลือก SR with Denoise เมื่อปรับตัวเลือกที่ต้องการทั้งหมดแล้วคลิกที่ปุ่ม Super Resolution เพื่อเริ่มขยายความละเอียดภาพ ตัวโปรแกรมจะแสดงความก้าวหน้าของการประมวลผลผ่านทางแถบ Progress bar เมื่อโปรแกรมประมวลผลเสร็จสิ้นจะแสดงผลลัพธ์ออกมาในหน้าต่าง Super Resolution Image และเปรียบเทียบกับภาพที่ขยายความละเอียดด้วยการประมาณค่าในช่วงแบบไบคิวบิกในหน้าต่าง Bicubic Image

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงผลของการทดลองสร้างภาพความละเอียดสูงด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อใหญ่ๆคือ ผลการทดลองสร้างภาพความละเอียดสูงภายใต้เงื่อนไขว่าทราบค่าตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพต่างๆเพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ใช้ และผลการทดลองสร้างภาพความละเอียดสูงจากแฟ้มภาพวิดีโอที่ค้นซึ่งไม่ทราบค่าของตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพเพื่อทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบว่ามีประสิทธิภาพเพียงใด

5.1 ดัชนีชี้วัดคุณภาพผลการทดลอง

ดัชนีที่ใช้วัดคุณภาพของผลการทดลองจะทำการวัดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal-to-Noise ratio: PSNR) โดยมีหน่วยเป็นเดซิเบล (Decibel: dB) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{\max}^2}{MSE} \right) \quad (5.1)$$

เมื่อ I_{\max}^2 คือค่ากำลังสองของค่าจุดภาพสูงสุดซึ่งขึ้นกับชนิดของข้อมูลจุดภาพเช่นภาพที่ใช้ข้อมูลชนิด 8 บิตมีค่า $I_{\max}^2 = 255^2$ และ MSE คือค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Square Error) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$MSE = \frac{\sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [I_1(m,n,c) - I_2(m,n,c)]^2}{M \times N \times C} \quad (5.2)$$

เมื่อ M, N คือความกว้างและความสูงของภาพและ C คือจำนวนช่องสัญญาณสีของภาพโดยในกรณีภาพสเกลสีเทา (Grayscale Image) จำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ 1 และในกรณีภาพสีมีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ 3

หากภาพมีค่า PSNR สูงแสดงว่าภาพนั้นมีคุณภาพดีเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ ในทางตรงกันข้ามหากค่า MSE มีค่าต่ำแสดงว่ามีค่าคลาดเคลื่อนน้อย

5.2 ผลการทดสอบกับภาพความละเอียดต่ำสังเคราะห์

เป็นการทดลองสร้างภาพความละเอียดสูงภายใต้เงื่อนไขว่าทราบค่าของตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพ ในการทดลองจะใช้โปรแกรม MATLAB และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีที่นำเสนอกับผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีอื่นซึ่งบังคับกำลังสองน้อยสุด [1] และระเบียบวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9]

5.2.1 กรณีภาพไม่มีสัญญาณรบกวน

การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองกับภาพ Lena ขนาด 255x255 จุดภาพ ซึ่งสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำโดยนำภาพความละเอียดสูงต้นแบบมาผ่านตัวดำเนินการเลื่อนภาพในแนวระดับและแนวตั้ง จากนั้นนำภาพที่ผ่านการเลื่อนมาคูณประสาน (Convolute) กับตัวดำเนินการพรมัวแบบเกาส์ขนาด 3x3 ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 และลดขนาดภาพลง 3 เท่า จากนั้นใช้วิธีดังกล่าวที่มีตัวดำเนินการเลื่อนภาพแตกต่างกัน 8 ชุด เพื่อสร้างภาพความละเอียดต่ำที่แตกต่างกันจำนวน 8 ภาพ ตัวแปรเสริมที่ใช้มีดังนี้ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.0015$ และมีรอบการประมวลผล $n = 50$



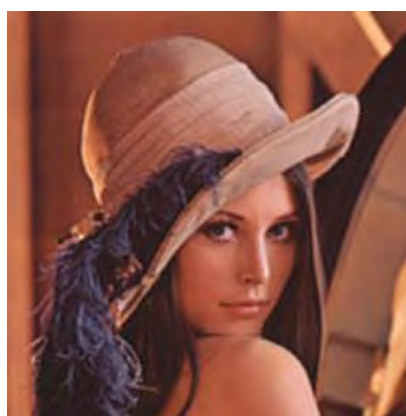
(ก) ภาพต้นแบบ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไปคิวบิก



(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]



(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9] (ฉ) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ
รูปที่ 5-1 ผลการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองกับภาพ Foreman ขนาด 352x288 จุดภาพ ซึ่งสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำที่แตกต่างกันจำนวน 8 ภาพด้วยวิธีเดียวกันกับการทดลองที่ 1 โดยลดขนาดภาพลง 3 เท่า ตัวแปรเสริมที่ใช้มีดังนี้ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.0015$ และมีรอบการประมวลผล $n = 50$



(ก) ภาพต้นแบบ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไบคิวบิก



(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]

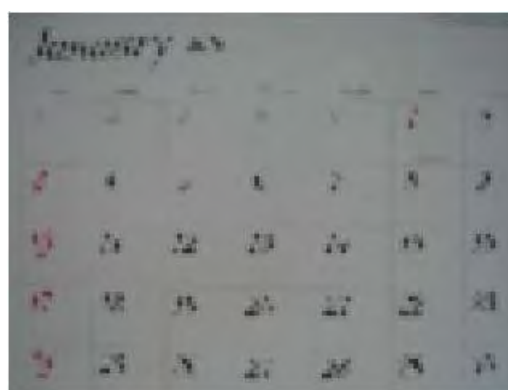


(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9] (ข) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ
รูปที่ 5-2 ผลการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 3 เป็นการทดลองกับภาพปฏิทินความละเอียด 320x240 จุดภาพที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัลเป็นภาพความละเอียดสูงต้นแบบและสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำ 8 ภาพ ที่มีขนาดเล็กลง 3 เท่า ในการทดลองนี้จะไม่นำภาพที่ผ่านการเลื่อนมาคูณประสานกับตัวดำเนินการพรมัว เนื่องจากผลของความพรมัวมาจากตัวกล้องดิจิทัลเอง ตัวแปรเสริมที่ใช้ในการสร้างภาพความละเอียดสูงมีดังนี้ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.0015$ และมีรอบการประมวลผล $n = 30$ จากผลลัพธ์เห็นว่าตัวหนังสือบนปฏิทินสามารถอ่านได้อย่างชัดเจน



(ก) ภาพต้นแบบ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไปคิวิค

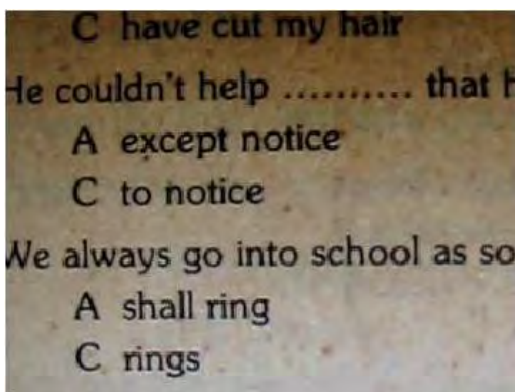


(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]

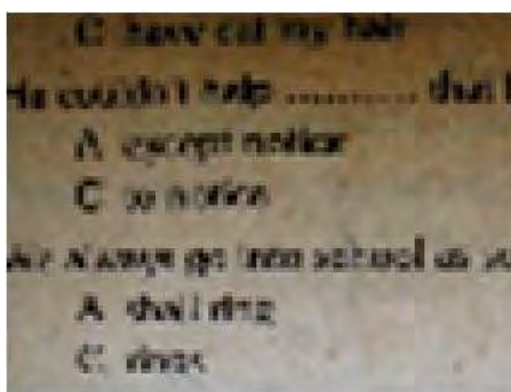


(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9] (ข) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ
รูปที่ 5-3 ผลการทดลองที่ 3

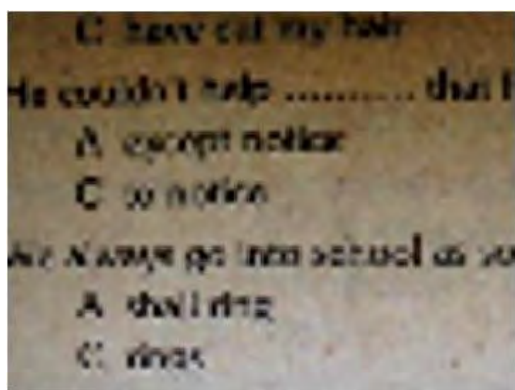
การทดลองที่ 4 เป็นการทดลองโดยใช้ภาพความละเอียด 320x240 จุดภาพที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัลเป็นภาพความละเอียดสูงต้นแบบ และสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำด้วยวิธีเดียวกันกับการทดลองที่ 3 แต่จะลดขนาดภาพต้นแบบลง 4 เท่า ตัวแปรเสริมที่ใช้ในการสร้างภาพความละเอียดสูงมีดังนี้ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.0015$ และมีรอบการประมวลผล $n = 25$ ผลลัพธ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น สังเกตได้จากตัวหนังสือที่สามารถอ่านได้อย่างชัดเจน



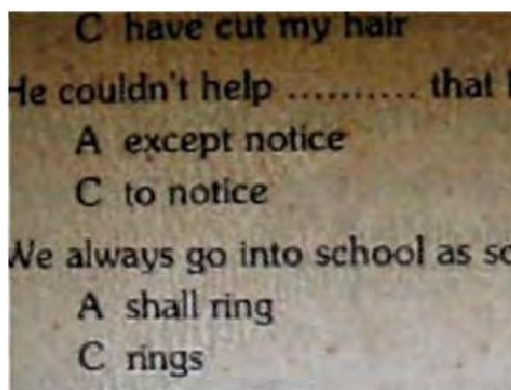
(ก) ภาพต้นแบบ



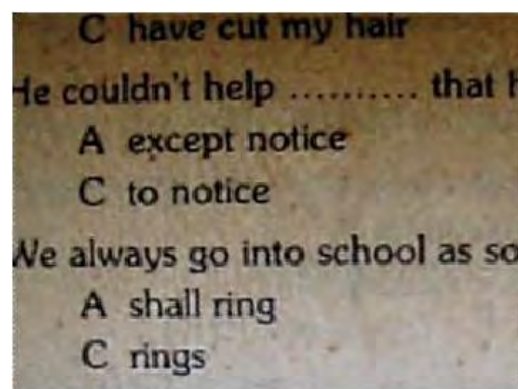
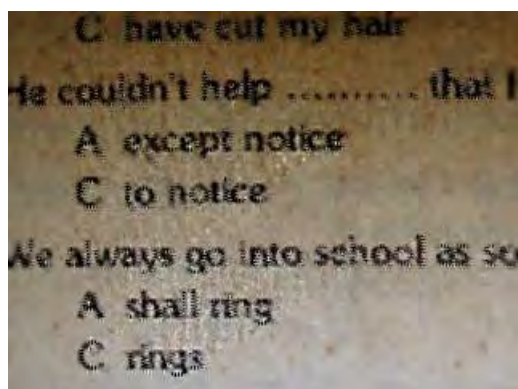
(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไปคิวบิค



(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]



(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9] (ข) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ
รูปที่ 5-4 ผลการทดลองที่ 4

ตารางที่ 5-1 : ผลการทดลองกับภาพความละเอียดต่ำสังเคราะห์ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวน

ภาพ	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (เดซิเบล)			
	วิธีไปคิวบิก	วิธีเงื่อนไข บังคับกำลัง สองน้อยสุด [1]	วิธีการสร้าง ภาพความ ละเอียดสูง ทันทาน [9]	วิธีที่นำเสนอ
Lena (255x255)	25.64	32.80	31.23	34.54
Foreman (352x288)	25.66	33.80	31.42	34.80
Captured Calendar (320x240)	26.63	33.37	32.00	34.98
Captured Text (320x240)	21.44	27.95	24.63	31.00

จากตารางที่ 5-1 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุดของภาพความละเอียดสูงที่สร้างด้วยวิธีที่นำเสนอมีค่าสูงกว่า 30 เดซิเบล และมีผลลัพธ์ดีกว่าระเบียบวิธีของงานวิจัยในอดีต

5.2.2 กรณีภาพมีสัญญาณรบกวน

การทดลองที่ 5 เป็นการทดลองกับภาพ Foreman ที่มีความละเอียด 352x288 จุดภาพ โดยเป็นภาพชนิดสเกลสีเทา และสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำที่มีขนาดเล็กกว่าภาพต้นแบบ 3 เท่าจำนวน 9 ภาพ โดยใช้วิธีการสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่เพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 ตัวแปรเสริมที่ใช้คือ $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.05$ ระยะก้าวที่ใช้คือ $\lambda = 0.5$ และมีรอบการประมวลผล $n = 15$ จากผลการทดลองเห็นได้ว่าผลลัพธ์มีสัญญาณรบกวนน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด



(ก) ภาพต้นแบบ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไบคิวบิก



(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]



(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9]



(ฉ) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ

รูปที่ 5-5 ผลการทดลองที่ 5

การทดลองที่ 6 เป็นการทดลองกับภาพ Suzie ชนิดสเกลสีเทาที่มีความละเอียด 174x144 จุดภาพ และสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำด้วยวิธีเดียวกับการทดลองที่ 5 ตัวแปรเสริมที่ใช้ในการสร้างภาพความละเอียดสูงคือ $\alpha=0.1$, $\beta=0.05$ ระยะก้าวที่ใช้คือ $\lambda=0.5$ และมีรอบการประมวลผล $n=12$ จากผลการทดลองเห็นได้ว่าผลลัพธ์มีสัญญาณรบกวนน้อยลง



(ก) ภาพต้นแบบ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไปคิวบิค



(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]



(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9]



(ฉ) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ

รูปที่ 5-6 ผลการทดลองที่ 6

การทดลองที่ 7 เป็นการทดลองกับภาพ Suzie ชนิดสเกลสีเทาขนาด 174x144 จุดภาพ และสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำที่มีสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ ตัวแปรเสริมที่ใช้ในการสร้างภาพความละเอียดสูงคือ $\alpha = 0.1$, $\beta = 1$ ระยะก้าวที่ใช้คือ $\lambda = 0.5$ และมีรอบการประมวลผล $n = 50$ จากผลการทดลองเห็นได้ว่าระเบียบวิธีที่นำเสนอสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



(ก) ภาพต้นแบบ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไปคิวบิค



(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]



(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9]



(ฉ) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ

รูปที่ 5-7 ผลการทดลองที่ 7

การทดลองที่ 8 เป็นการทดลองกับภาพ Lena ที่มีความละเอียด 255x255 จุดภาพ โดยเป็นภาพชนิดสเกลสีเทาเช่นเดียวกัน และสร้างชุดภาพความละเอียดต่ำด้วยวิธีเดียวกับการทดลองที่ 5 แต่เปลี่ยนเป็นสัญญาณรบกวนแบบการคูณ ตัวแปรเสริมที่ใช้ในการสร้างภาพความละเอียดสูงคือ $\alpha = 0.1$, $\beta = 1$ ระยะก้าวที่ใช้คือ $\lambda = 0.5$ และมีรอบการประมวลผล $n = 50$ จากผลการทดลองเห็นได้ว่าระเบียบวิธีที่นำเสนอสามารถลดสัญญาณรบกวนได้ดี



(ก) ภาพต้นแบบ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพไปคิวิก



(ง) วิธีเงื่อนไขบังคับกำลังสองน้อยสุด [1]



(จ) วิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงทันทาน [9]



(ด) ภาพความละเอียดสูงจากวิธีที่นำเสนอ

รูปที่ 5-8 ผลการทดลองที่ 8

ตารางที่ 5-2 : ผลการทดลองกับภาพความละเอียดต่ำสังเคราะห์ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวน

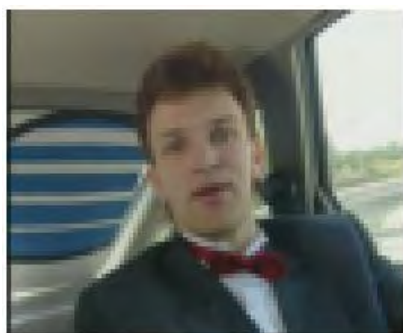
ภาพ	ชนิดของสัญญาณรบกวน	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (เดซิเบล)			
		วิธีไบควบิค	วิธีเอนไซม์ บังคับกำลัง สองน้อยสุด [1]	วิธีการสร้าง ภาพความ ละเอียดสูง ทันทาน [9]	วิธีที่นำเสนอ
Foreman (352x288)	เกาส์	23.76	26.78	27.69	30.52
Suzie (174x144)	เกาส์	24.59	30.62	29.70	31.19
Suzie (174x144)	อิมพัลส์	21.37	26.83	31.01	33.46
Lena (255x255)	การคูณ	24.02	29.94	28.38	30.35

จากตารางที่ 5-2 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุดของภาพความละเอียดสูงที่สร้างด้วยวิธีที่นำเสนอมีค่าเกิน 30 เดซิเบล สามารถลดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ยังคงสภาพขอบ มุมของภาพไว้

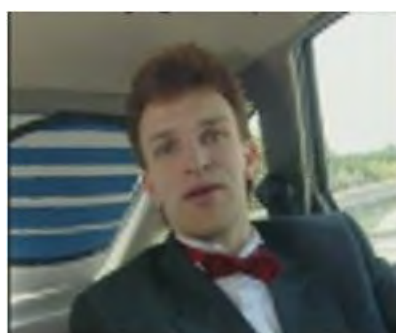
5.3 ผลการทดสอบกับแฟ้มภาพวีดิทัศน์

ในหัวข้อนี้เป็นการทดลองประสิทธิภาพของโปรแกรมขยายความละเอียดภาพที่ออกแบบโดยใช้ชุดภาพจากแฟ้มภาพวีดิทัศน์ ในการทดลองจะไม่สามารถหาภาพความละเอียดสูงมาเปรียบเทียบได้จึงใช้การวัดคุณภาพโดยใช้ความรู้สึกของผู้สังเกต

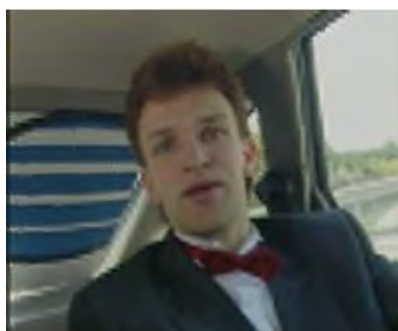
การทดลองที่ 9 เป็นการทดลองขยายความละเอียดของแฟ้มภาพวีดิทัศน์ Carphone ซึ่งมีความละเอียด 88×72 จุดภาพ โดยบุคคลในภาพจะเคลื่อนที่เล็กน้อยในขณะที่ภายในรถยนต์ไม่เคลื่อนที่และบริเวณนอกรถจะจกรถยนต์จะมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา การขยายความละเอียดภาพใช้ตัวแปรเสริมคือ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.05$ จำลองผลของความพรั่มัวโดยเลือกตัวดำเนินการพรั่มัวแบบเกาส์ที่มีขนาดเคอร์เนลเท่ากับ 3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 การขยายความละเอียดมีตัวประกอบการขยายเท่ากับ 3 โดยใช้วิธีที่นำเสนอทั้งสองวิธี สำหรับวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนจะใช้ระยะก้าว $\lambda = 1.5$



(ก) ภาพความละเอียดต่ำ



(ข) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียด



(ค) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดร่วมกับลดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 5-9 ผลการทดลองที่ 9

จากรูปที่ 5-9 เป็นผลการสร้างภาพความละเอียดสูง โดยรูปที่ 5-6 (ข) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูง และรูปที่ 5-6 (ค) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน โดยจะเห็นได้ว่าภาพมีความคมชัดขึ้น

การทดลองที่ 10 เป็นการทดลองขยายความละเอียดของบริเวณที่สนใจจากแฟ้มภาพวิดีโอทัศน์ News โดยบุคคลในภาพจะเคลื่อนที่เล็กน้อยในขณะที่ฉากหลังไม่เคลื่อนที่ การขยายความละเอียดภาพใช้ตัวแปรเสริมคือ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.05$ จำลองผลของความพร่ามัวโดยเลือกตัวดำเนินการพร่ามัวแบบเกาส์ที่มีขนาดคอร์เนลเท่ากับ 3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 การขยายความละเอียดมีตัวประกอบการขยายเท่ากับ 2 สำหรับวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนจะใช้ระยะก้าว $\lambda = 1.5$



(ก) บริเวณที่สนใจ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียด



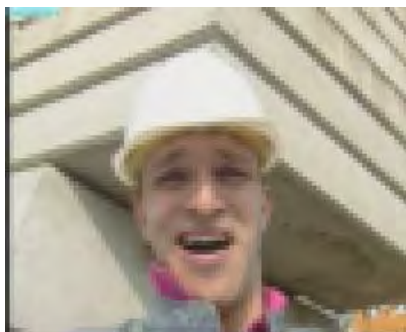
(ง) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดร่วมกับ

ลดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 5-10 ผลการทดลองที่ 10

จากรูปที่ 5-10 เป็นผลการสร้างภาพความละเอียดสูง โดยรูปที่ 5-10 (ค) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูง และรูปที่ 5-10 (ง) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน โดยสังเกตได้ว่าบริเวณใบหน้ามีความคมชัดขึ้น

การทดลองที่ 11 เป็นการทดลองขยายความละเอียดของแฟ้มภาพวิดีโอ Foreman ซึ่งมีความละเอียด 88x72 จุดภาพ โดยบุคคลในภาพมีการเคลื่อนไหวที่บริเวณใบหน้า การขยายความละเอียดภาพใช้ตัวแปรเสริมคือ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.05$ จำลองผลของความพรั่มัวโดยเลือกตัวดำเนินการพรั่มัวแบบเกาส์ที่มีขนาดคอร์เนลเท่ากับ 3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 การขยายความละเอียดมีตัวประกอบการขยายเท่ากับ 3 สำหรับวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนจะใช้ระยะก้าว $\lambda = 1.5$



(ก) ภาพความละเอียดต่ำ



(ข) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียด



(ค) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดร่วมกับลดสัญญาณรบกวน

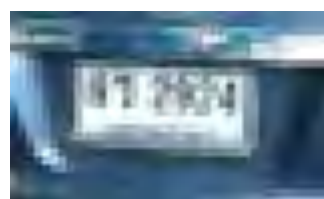
รูปที่ 5-11 ผลการทดลองที่ 11

จากรูปที่ 5-11 เป็นผลการสร้างภาพความละเอียดสูง สังเกตว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการขยายความละเอียดภาพในรูปที่ 5-11 (ข) มีความผิดเพี้ยน (บริเวณปากและขอบหมวก) อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการประมาณการเคลื่อนที่ แต่ผลลัพธ์จากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนในรูปที่ 5-11 (ค) พบว่าสามารถกำจัดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวออกไปได้

การทดลองที่ 12 เป็นการทดลองขยายความละเอียดของบริเวณที่สนใจจากแฟ้มภาพวีดิทัศน์ โดยวัตถุในภาพมีการเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานทั้งภาพ การขยายความละเอียดภาพใช้ตัวแปรเสริมคือ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.05$ จำลองผลของความพรั่มัวโดยเลือกตัวดำเนินการพรั่มัวแบบเกาส์ที่มีขนาดคอร์เนลเท่ากับ 3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 การขยายความละเอียดมีตัวประกอบการขยายเท่ากับ 2 สำหรับวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนจะใช้ระยะก้าว $\lambda = 1.5$



(ก) บริเวณที่สนใจ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียด



(ง) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดร่วมกับ

ลดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 5-12 ผลการทดลองที่ 12

จากรูปที่ 5-12 เป็นผลการสร้างภาพความละเอียดสูง โดยรูปที่ 5-12 (ค) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูง และรูปที่ 5-12 (ง) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน ผลลัพธ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นโดยสังเกตได้จากสามารถอ่านตัวเลขบนป้ายทะเบียนได้

การทดลองที่ 13 เป็นการทดลองขยายความละเอียดของบริเวณที่สนใจจากแฟ้มภาพวิดีโอทัศน์ โดยวัตถุในภาพมีการเคลื่อนที่แบบซุ่มเข้า การขยายความละเอียดภาพใช้ตัวแปรเสริมคือ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.05$ จำลองผลของความพรั่มัวโดยเลือกตัวดำเนินการพรั่มัวแบบเกาส์ที่มีขนาดเคอร์เนลเท่ากับ 3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 การขยายความละเอียดมีตัวประกอบการขยายเท่ากับ 2 สำหรับวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนจะใช้ระยะก้าว $\lambda = 1.5$



(ก) บริเวณที่สนใจ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียด



(ง) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดร่วมกับ

ลดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 5-13 ผลการทดลองที่ 13

จากรูปที่ 5-13 เป็นผลการสร้างภาพความละเอียดสูง โดยรูปที่ 5-13 (ค) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูง และรูปที่ 5-13 (ง) ได้มาจากขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน ผลลัพธ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นสังเกตได้จากตัวเลขบนป้ายทะเบียนมีความคมชัดขึ้นจนสามารถอ่านได้

การทดลองที่ 14 เป็นการทดลองกับแฟ้มภาพชนิด FLV โดยเลือกขยายความละเอียดเฉพาะบริเวณที่สนใจ โดยที่วัตถุภาพมีการเคลื่อนที่แบบซุ่มเข้า การขยายความละเอียดภาพใช้ตัวแปรเสริมคือ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.05$ จำลองผลของความพรั่มัวโดยเลือกตัวดำเนินการพรั่มัวแบบเกาส์ที่มีขนาดเคอร์เนลเท่ากับ 3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 การขยายความละเอียดใช้ตัวประกอบการขยาย 2 เท่า ขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวนจะใช้ระยะก้าว $\lambda = 1.5$



(ก) บริเวณที่สนใจ



(ข) ภาพความละเอียดต่ำ



(ค) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียด



(ง) ภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดร่วมกับลดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 5-14 ผลการทดลองที่ 14

จากรูปที่ 5-14 เห็นได้ว่าภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดในรูปที่ 5-14 (ค) และภาพที่ผ่านการขยายความละเอียดร่วมกับลดสัญญาณรบกวนดังรูปที่ 5-14 (ง) มีความคมชัดขึ้นสังเกตได้จากสามารถอ่านตัวหนังสือได้ โดยรูปที่ 5-14 (ค) มีความคมชัดกว่าเล็กน้อย และผลการทดลองนี้ยังชี้ให้เห็นว่าโปรแกรมที่ออกแบบสามารถใช้งานกับแฟ้มภาพวิดีโอที่ชนิดอื่นที่ไม่ใช่รูปแบบ AVI

5.4 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล

ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel Core 2 Duo ความถี่ 2.0 GHz มีหน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม (RAM) ขนาด 2.0 GB และทดลองกับแฟ้มภาพวีดิทัศน์ขนาด 88x72 จุดภาพ โดยทดลองขยายความละเอียดภาพด้วยตัวประกอบการขยายในช่วง 2-4 เท่า และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ต่อหนึ่งรอบการประมวลผลดังตาราง

ตารางที่ 5-3 : เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลหนึ่งรอบ

ขั้นตอนวิธี	เวลาที่ใช้ (วินาที)		
	ขยาย 2 เท่า	ขยาย 3 เท่า	ขยาย 4 เท่า
การสร้างภาพความละเอียดสูง	0.9	2.8	10.3
การสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน	1.8	5.2	10.8

จากการทดลองพบว่าขนาดของภาพและตัวประกอบการขยายมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยหากภาพที่ต้องการขยายความละเอียดมีขนาดเล็กกลงจะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง ในทำนองเดียวกันหากตัวประกอบการขยายมีค่าน้อยจะใช้เวลาที่น้อยลงเช่นกัน

บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อสรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบขั้นตอนวิธีสร้างภาพความละเอียดสูงด้วยวิธีข้อมูลรู้ภายหลังสูงสุดร่วมกับพจน์คัมค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน โดยแบ่งเป็น 2 แนวทางคือกรณีสร้างภาพความละเอียดสูงเพียงอย่างเดียว ซึ่งการแก้ปัญหาจะเลือกเลือกใช้ออร์มอันดับ 2 เพื่อให้สามารถกำหนดระยะก้าวที่เหมาะสมในแต่ละรอบการประมวลผลได้โดยอัตโนมัติ และกรณีสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับการลดสัญญาณรบกวนโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์ในการกำจัดสัญญาณรบกวน และสามารถกำหนดค่าคงตัวปรับแต่งที่เหมาะสมในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้โดยอัตโนมัติ และงานวิจัยนี้ยังได้ออกแบบโปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูงโดยใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอซึ่งสามารถขยายความละเอียดภาพจากแฟ้มภาพวิดีโอที่ค้นได้หลายชนิดเช่นไฟล์ AVI, FLV, MP4 เป็นต้น

ในส่วนของ การทดลองจะเป็นการทดสอบขั้นตอนวิธีที่นำเสนอโดยสร้างภาพความละเอียดต่ำขึ้นมาจากภาพความละเอียดสูงต้นแบบโดยที่ทราบค่าตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพ (H_k) และทดสอบผลการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบโดยขยายความละเอียดภาพจากแฟ้มภาพวิดีโอที่ค้นซึ่งไม่ทราบค่าตัวดำเนินการลดทอนคุณภาพ จากผลการทดลองพบว่าภาพความละเอียดสูงที่สร้างขึ้นด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีความคมชัดมากขึ้นและมีสัญญาณรบกวนน้อยลง อีกทั้งมีคุณภาพดีทั้งในเชิงอัตวิสัย (Subjective) ซึ่งเป็นการวัดด้วยความรู้สึก และในเชิงวัตถุวิสัย (Objective) ซึ่งเป็นการวัดด้วยค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR)

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) จากการออกแบบโปรแกรมสร้างภาพความละเอียดสูงพบว่ายังมีข้อจำกัดในด้านความเร็วของวัตถุในภาพซึ่งต้องมีความเร็วต่ำและลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบเลื่อนขนาน การพัฒนาขั้นตอนวิธีประมาณการเคลื่อนที่ที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่ง และลดข้อจำกัดในด้านความเร็วของวัตถุในภาพ
- 2) โปรแกรมที่ออกแบบมีความเร็วในการคำนวณที่ขึ้นอยู่กับขนาดของภาพซึ่งมีผลทำให้ใช้เวลานานในการประมวลผลภาพที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งอาจแก้ปัญหาได้โดยการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการประมาณการเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าขั้นตอนวิธีการจับคู่บล็อก

รายการอ้างอิง

- [1] Sung, C.P., Min, K.P., and Moon, G.K. Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview. IEEE Signal Processing Magazine. (May 2003).
- [2] Michael, E., Arie, F. *Restoration of a Single Superresolution Image from Several Blurred, Noisy, and Undersampled Measured Images*. IEEE Transactions on Image Processing. 6, 12 (December 1997).
- [3] Richard, R.S., and Robert, L.S. A Bayesian Approach to Image Expansion for Improved Definition. IEEE Transactions on Image Processing. 3, 3 (May 1994).
- [4] Sina, F., Dirk, R., Michael, E., and Peyman, M. Robust Shift and Add Approach to Super-Resolution. in Proc. SPIE Conf. Applications of Digital Signal and Image Processing. (August 2003).
- [5] Sina, F., Dirk, M.R., Michael, E., and Peyman, M. Fast and Robust Multiframe Super Resolution. IEEE Transactions on Image Processing. 13, 10 (October 2004).
- [6] โกศล ปัญญาโสภณเลิศ. การประยุกต์ใช้เทคนิคการขยายรายละเอียดบริเวณที่สนใจสำหรับระบบวีดิทัศน์ใฝ่ระวาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [7] Vorapoj Patanavijit and Somchai Jitapunkul. An Iterative Super-Resolution Reconstruction of Image Sequences Using a Bayesian Approach and Affine Block-Based Registration. European Signal Processing Conference. (September 2006).
- [8] Vorapoj Patanavijit and Somchai Jitapunkul. A Robust Iterative Multiframe Super-Resolution Reconstruction using a Bayesian Approach with Tukey's Biweight. IEEE Signal Processing. 2 (2006).

- [9] Assaf, Z., Alex, R.A., and Shmuel, P. Robust super resolution. in Proc. Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. 1 (December 2001)
- [10] Sean, B., and Robert, L.S. Super-Resolution from Image Sequences - A Review. Midwest Symposium on Circuits and Systems. (Aug 1998): 374-378.
- [11] Barbara, Z., and Jan, F. Image Registration Methods: A Survey. Image and Vision Computing. (2003): 977-1000.
- [12] Yao, W., Jorn, O., and Ya-Qin Z. Video Processing and Communication. Prentice Hall, Inc, 2001.
- [13] Xuan, J., and Lap, P.C. An Efficient Three-Step Search Algorithm for Block Motion Estimation. IEEE Transactions on Multimedia. 6, 3 (June 2004): 435-438
- [14] Roman, C.K., Michael, D.G., and Shahram, S. Affine Motion Prediction Based on Translation Motion Vectors. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 17, 10 (October 2007).
- [15] Robert, S. Asymptotic Relative Efficiency in Estimation. International Encyclopedia of Statistical Science. (2011): 68-72.
- [16] B. D. Ripley. Robust Statistics.
- [17] Peter, J.H. Robust Statistics. International Encyclopedia of Statistical Science. (2011): 1248-1251.
- [18] Michale, J.B., Guillermo, S., David, H.M., and David, H. Robust Anisotropic Diffusion. IEEE Transactions on Image Processing. 7, 3 (March 1998).
- [19] Edwin, K.P.C., and Stanislaw, H.Z. An Introduction to Optimization. Wiley 3rd edition.
- [20] Olivier, R., and Maria-Pia, V.F. A Robust Coefficient of Determination for Regression. Journal of Statistical Planning and Inference. 140, 7 (July 2010): 1852-1862.

- [21] Karthik, K. An interleaved scanline algorithm for 2-D affine transformations of images. in Proc. 35th Midwest Symp. Circuits Syst. (1992):179-182.
- [22] SourceFourge. Emgu CV [online]. Available from : <http://www.emgu.com> [2010, October 5]

ภาคผนวก

ฟังก์ชันที่จำเป็นในการออกแบบโปรแกรม

1. ฟังก์ชันที่เรียกใช้จากไลบรารีโอเพ่นซีวี

1) cvGetAffineTransform

ทำหน้าที่คำนวณตัวแปรเสริมการแปลงสัมพรรคโดยใช้จุดควบคุม 3 คู่โดยตัวแปรเสริมที่ได้จะนำไปใช้สำหรับแปลงพิกัดจุดภาพในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่ง และใช้สำหรับการเลื่อนขนานภาพของพจน์คุ่มค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน

2) cvWarpAffine

ทำหน้าที่แปลงภาพแบบเลื่อนขนาน ซึ่งเปรียบเสมือนตัวดำเนินการเลื่อนขนาน S_x^l , S_y^m และ S_x^{-l} , S_y^{-m} ในขั้นตอนการคำนวณพจน์คุ่มค่า

3) cvSmooth

ทำหน้าที่เป็นตัวดำเนินการพรมัวและตัวดำเนินการพรมัวย้อนกลับ B และ B^T ตามลำดับ โดยใช้เคอร์เนลความพรมัวแบบเกาส์

4) cvResize

ทำหน้าที่ขยายขนาดของภาพความละเอียดต่ำให้มีขนาดเท่ากับภาพความละเอียดสูงที่ต้องการเพื่อใช้เป็นภาพความละเอียดสูงเริ่มต้นและใช้ในขั้นตอนการประมาณการเคลื่อนที่ โดยการขยายขนาดภาพจะใช้การประมาณค่าในช่วงแบบไบคิวบิก

5) cvSub

ทำหน้าที่หาผลต่างของแต่ละจุดภาพระหว่างภาพความละเอียดต่ำที่วัดได้ Y_k กับภาพความละเอียดต่ำจำลอง $H_k X_n$

6) cvAdd, cvAddweighted

ฟังก์ชัน cvAdd ทำหน้าที่ในการบวกจุดภาพและฟังก์ชัน cvAddweighted จะเป็นการบวกจุดภาพแบบถ่วงน้ำหนัก

7) cvSetImageCOI

ทำหน้าที่ในการเลือกช่องสัญญาณของภาพสีเพื่อใช้ในกรณีที่ต้องการประมวลผลที่ละช่องสัญญาณ

8) cvAbsDiffS

ทำหน้าที่หาค่าสัมบูรณ์ของแต่ละจุดภาพเพื่อใช้ในขั้นตอนการคำนวณค่าคงตัว
ปรับแต่ง

2. ฟังก์ชันที่พัฒนาขึ้นมาใหม่

1) ConvertToAVI

เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับแปลงรูปแบบของไฟล์วิดีโอใดๆให้เป็นไฟล์รูปแบบ AVI
ซึ่งเป็นรูปแบบที่ไลบรารีเอ็มจียูซีวีรองรับ โดยฟังก์ชันนี้จะเรียกใช้โปรแกรมประยุกต์
Ffmpeg เพื่อทำหน้าที่แปลงไฟล์

2) Warp, WarpTranspose

ฟังก์ชันทั้งสองทำหน้าที่เป็นตัวดำเนินการบิดโค้งและบิดโค้งย้อนกลับ W_k และ
 W_k^T ตามลำดับ โดยฟังก์ชัน Warp ทำหน้าที่แปลงพิกัดภาพไปข้างหน้า $(x, y) \rightarrow (u, v)$
และฟังก์ชัน WarpTranspose ทำหน้าที่แปลงพิกัดย้อนกลับ $(u, v) \rightarrow (x, y)$ ด้วยวิธีการ
ค้นตาราง

3) DownSample, UpSample

ฟังก์ชันทั้งสองทำหน้าที่เป็นตัวดำเนินการชักตัวอย่างขาลงและขาขึ้น D และ
 D^T โดยใช้วิธีการเลือกจุดภาพที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

4) BlockMatching

ทำหน้าที่ในการคำนวณเวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนานโดยใช้ขั้นตอน
วิธีการจับคู่บล็อก ในงานวิจัยนี้ออกแบบฟังก์ชันโดยเลือกใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาเต็มอัตรา
และขั้นตอนวิธีการค้นหาสามขั้นตอนแบบมีประสิทธิภาพและใช้การวัดความผิดพลาดเพื่อย
บล็อกแบบวิธีผลบวกของค่าสัมบูรณ์ผลต่าง

5) AffinePredicted

ทำหน้าที่คำนวณตัวแปรเสริมการแปลงสัมพรรคของบริเวณทั้ง 8 ของแต่ละบล็อก
จากเวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบเลื่อนขนาน โดยใช้ขั้นตอนวิธีเส้นกราดเพื่อลดความซับซ้อน
ในการคำนวณ และเก็บค่าพิกัดใหม่ที่ได้จากการแปลงสัมพรรคไว้ในตารางเพื่อใช้ใน
ขั้นตอนการบิดโค้งและบิดโค้งย้อนกลับ โดยฟังก์ชันนี้จะประมาณค่าพิกัดให้เป็นจำนวน
เต็มโดยอัตโนมัติ

6) SuperResolution

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ควบคุมการทำงานให้สอดคล้องกับขั้นตอนวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้

7) TukeySR

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ควบคุมการทำงานให้สอดคล้องกับขั้นตอนวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงร่วมกับลดสัญญาณรบกวน

8) ImAdd

ทำหน้าที่รวมข้อมูลรูปภาพแบบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก โดยจะให้น้ำหนักแก่จุดภาพที่มีข้อมูลเท่านั้น

9) BilateralTV

ทำหน้าที่เป็นพจน์ควมค่าแบบการแปรผันรวมสองด้าน โดยสามารถคำนวณได้ทั้งในกรณีที่ใช้เลือกใช้นอร์มอันดับหนึ่งและนอร์มอันดับสอง

10) GetStepSize

ทำหน้าที่ในการคำนวณค่าระยะก้าวที่เหมาะสมในแต่ละรอบการประมวลผลตามสมการ (3.15) สำหรับขั้นตอนวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูง

11) TukeyBiweight

ทำหน้าที่กำจัดข้อมูลนอกกลุ่มโดยใช้ฟังก์ชันน้ำหนักคู่ของทิวคีย์ และคำนวณค่าคงตัวปรับแต่งที่เหมาะสมจากสมการ (3.25) และ (3.26) โดยอัตโนมัติ

12) Median

เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับหาค่ามัธยฐานของแต่ละจุดภาพเพื่อใช้สำหรับการคำนวณค่าคงตัวปรับแต่ง

13) Signum

ทำหน้าที่เป็นฟังก์ชันซิกนัมตามสมการ (3.18)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอดิเทพ เตชะพานิชวิทยา เกิดเมื่อวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2530 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2552 จากนั้น ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552

ได้รับการตีพิมพ์บทความ การสร้างภาพความละเอียดสูงโดยใช้พจน์คุ่มค่าแบบการแปรผันรวมสองด้านร่วมกับระยะก้าวแบบปรับตัวได้ ในวารสาร การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 ฉบับที่ 2 ตีพิมพ์ในปี 2553 หน้า 1221-1224

และได้รับการตีพิมพ์บทความ Robust Statistic-Based Super-Resolution using Bilateral Total Variation Prior ในวารสาร IcoSoc 2010 Proceedings ฉบับที่ 1 ตีพิมพ์ในปี 2553 หน้า 117-121