

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิมเมจรีจิสเตรชันที่ความละเอียดหลายระดับ

MULTI-RESOLUTION IMAGE REGISTRATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974 - 9680 - 70 - 7

จน.

2/361๑

2547

๘๐.1

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **51642**

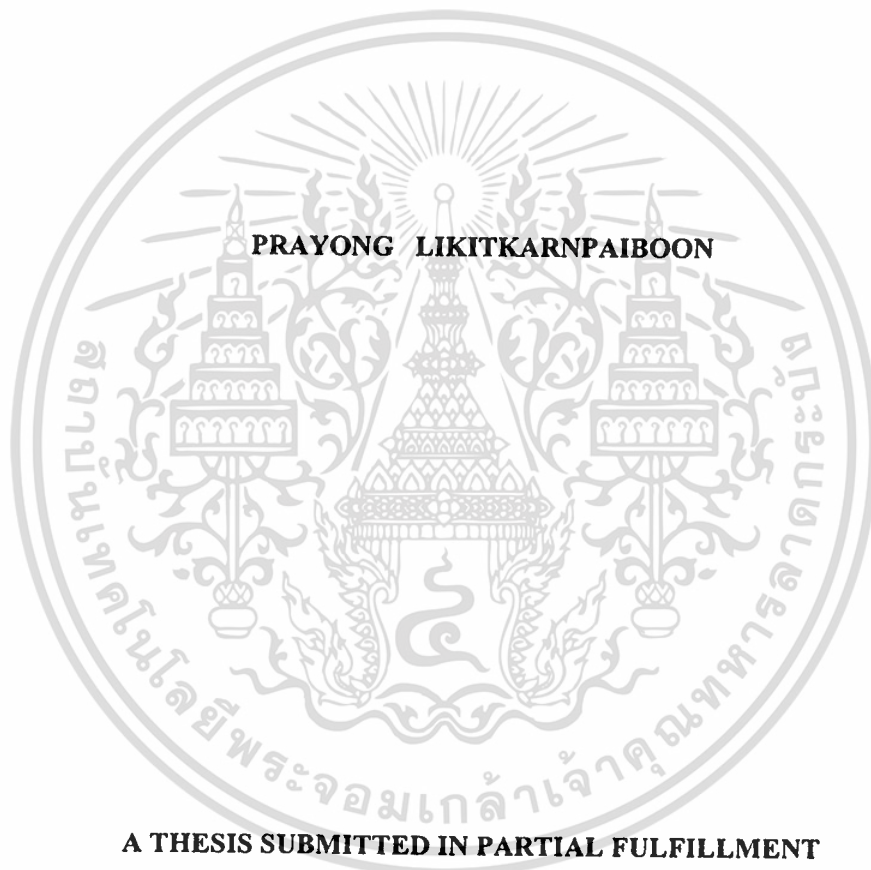
วัน,เดือน,ปี **26 ก.ค. 2547**

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก

11400687
b.....
i.....

MULTI-RESOLUTION IMAGE REGISTRATION



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2004

ISBN 974 – 9680 – 70 - 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิมเมจรีจิสเตรชันที่ความละเอียดหลายระดับ

นักศึกษา

นายประยงค์ ลิขิตการไพบูลย์

รหัสนักศึกษา

45061153

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

พ.ศ.

2546

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์

บทคัดย่อ

อิมเมจรีจิสเตรชัน คือการหาการแปลงที่ดีที่สุดระหว่างภาพอ้างอิงกับภาพอินพุทที่ซึ่งอาจจะแตกต่างกันเนื่องจากสัญญาณรบกวนและมีการเปลี่ยนตำแหน่งหรือความสูงของตัวตรวจจับที่อาจจะเกิดความผิดพลาดทั้งที่เป็นระบบและไม่เป็นระบบ อิมเมจรีจิสเตรชันเป็นขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากระยะไกลและต้องการแหล่งข้อมูลและเวลาในการประมวลผลสูง ค่าใช้จ่ายในการประมวลผลจะมีผลโดยการค้นหาขนาดและค้นหาพื้นที่ วิทยานิพนธ์นี้อธิบายถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมอิมเมจรีจิสเตรชัน โดยใช้เวฟเลตที่มีความละเอียดหลายระดับ ทำการแยกภาพเพื่อที่จะลดการค้นหาขนาดของข้อมูลภาพ ตัวอัลกอริทึมจะทำการค้นหาสหสัมพันธ์ที่ความละเอียดต่ำบนแบนด์ย่อยความถี่ต่ำผ่านของเวฟเลตและสร้างหน้ากากสำหรับความละเอียดสูงกว่าให้เป็นส่วนหนึ่งของอัลกอริทึมของการบันทึกอย่างหยาบให้เป็นละเอียด ความแม่นยำของกระบวนการพิสูจน์โดยการชดเชยขนาดของสหสัมพันธ์และเทคนิคการจัดสำหรับข้อมูลที่กระจายและรวมเป็นกลุ่มที่แต่ละความละเอียดตามลำดับค่า gray level ที่เหมาะสมจะถูกใช้สำหรับการวัดความคล้ายที่ความละเอียดอย่างหยาบ ในขณะที่ Mutual Information(MI) จะถูกใช้ที่ค่าความละเอียดสูงกว่า ผลที่ได้จะแสดงถึงประสิทธิภาพอัลกอริทึมใหม่บนพื้นฐานของหน้ากากที่จะแก้ไขประสิทธิภาพของการประมวลผลและให้ผลของ อิมเมจรีจิสเตรชันมีความสมบูรณ์และสอดคล้องตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Multi-resolution Image Registration
Student	Mr.Prayong Likitkarnpaiboon
Student ID.	45061153
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Fusak Cheevasuvit

ABSTRACT

Image registration is to find the best transform between a reference and input image that may be difference due to noise and change in position or altitude of sensors in both systematic and nonsystematic geometric errors. It is one of the first step in the analysis of remote sensed images and requires high computational resource and time. The computation cost is affected by searching data size and space. This paper describes an efficient image registration algorithm that uses multi-resolution wavelet decomposed image to reduce the search data size. The algorithm determines the correlation detection at low resolution on low-pass subband of wavelet and generate mask for higher resolution as part of a coarse to fine registration algorithm. The process accuracy is improving by magnitude correlation compensation and elimination technique for spread and cluster data at each resolution, respectively. The gray-level matching is defined for coarse resolution similarity measurement, while MI is used at fine resolution. The results show that the new efficient mask-based algorithm improves computational efficiency and yields robust and consistent image registration results.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการทำวิจัยจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์ ซึ่งอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา กระทั่งทำให้ผู้เขียนสามารถทำงานวิจัยได้อย่างดีและประสบผลสำเร็จในที่สุด

ขอขอบคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ คุณสมปอง วิเศษพานิชกิจ และ ท่านรองศาสตราจารย์ สักกรียา ชิตวงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และ ความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ของผู้เขียนที่ได้ให้กำลังใจอย่างมากตลอดเวลาในขณะที่ศึกษาอยู่และในการทำวิทยานิพนธ์นี้สุดท้ายขอขอบคุณท่าน นายแพทย์จุฬาเกษม ชินะผา อาจารย์และเพื่อนๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งคอยเป็นกำลังใจให้โดยตลอดมา

ประยงค์ ลิขิตการไพบุลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	2
1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ความผิดเพี้ยนบนภาพสัญญาณดาวเทียม.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ความเพี้ยนเชิงคลื่น.....	4
2.3 การปรับแก้ความเพี้ยนเชิงคลื่น.....	5
2.4 การประยุกต์ใช้งานทั่วไป.....	8
2.5 เทคนิคการจัดการรบกวน.....	9
2.6 เทคนิคการปรับฮิสโตแกรม.....	10
2.7 ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต.....	12
2.8 การปรับแก้ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต.....	14
2.9 ระบบพิกัดแผนที่.....	17
บทที่ 3 การชักตัวอย่างภาพและการแทรกค่าข้อมูล.....	20
3.1 การเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน.....	20
3.2 จุดควบคุมภาคพื้นดิน โดยการใช้ เครื่องรับ GPS.....	21
3.3 รูปแบบของการปรับแก้ภาพถ่าย.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

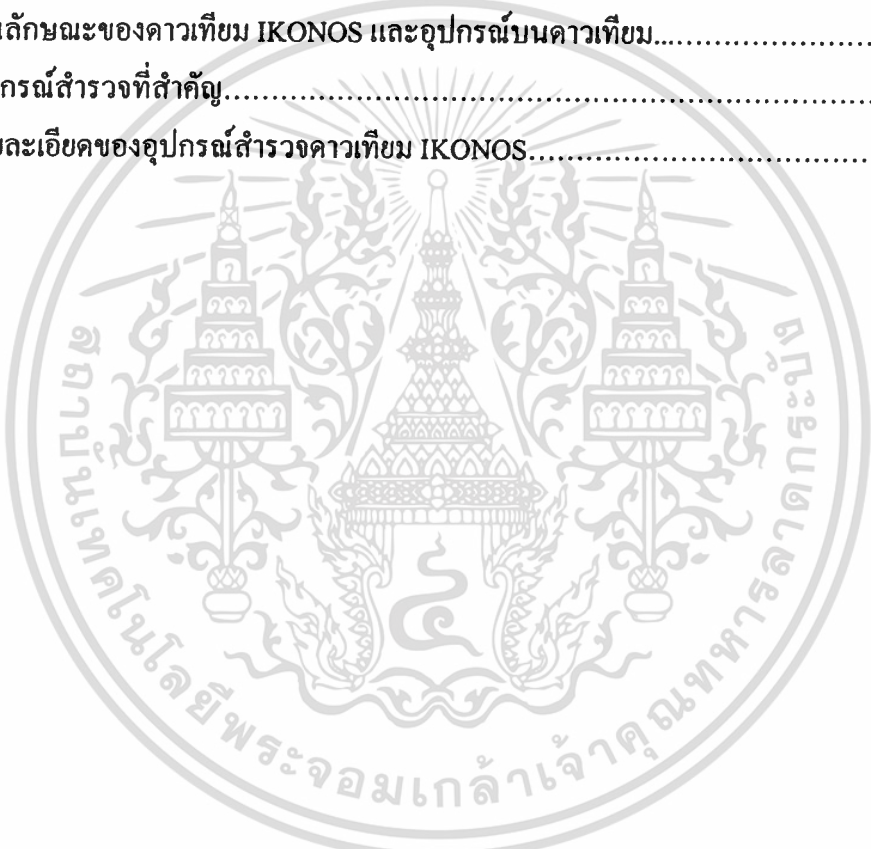
หน้า

3.4 การแปลงพิกัดจุดภาพแบบAffineที่นับได้.....	22
3.5 รูปแบบโพลีโนเมียล	25
3.6 วิธีการชักภาพกลับคืน	32
3.7 การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง 2 มิติ.....	35
3.8 การแปลงเวฟเลตแบบสเตรชันนารี.....	37
3.9 การถ่ายโอนเชิงระนาบ.....	38
3.10 Gray level matching สำหรับการวัดความคล้ายที่ระดับความละเอียดต่ำ	43
3.11 การคำนวณข้อมูลร่วมสำหรับการวัดความคล้ายที่ระดับความละเอียดสูง.....	45
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	47
4.1 กระบวนการอิมเมจรีจิสเตรชันที่ความละเอียดหลายระดับ.....	47
4.2 ทำการทดสอบภาพ รวม 3 ภาพ.....	48
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สาเหตุของความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตและชนิดของความเพี้ยน.....	13
3.1 ตัวอย่างการสอดคล้องกันระหว่างพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดพิกัดบนแผนที่.....	26
3.2 วิธีการเลือกจุดภาพจุดควบคุมพื้นดินและพิกัดของแผนที่ GCP.....	30
3.3 ความผิดพลาดตกค้างจากการแก้ไขแบบเชิงเส้น	30
3.4 ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดความคุมภาพภาคพื้นดิน.....	31
3.5 การแปลงเวฟเลทให้กับภาพอ้างอิงและภาพที่จะนำมาค้นหา.....	43
4.1 คุณลักษณะของดาวเทียม IKONOS และอุปกรณ์บนดาวเทียม.....	49
4.2 อุปกรณ์สำรวจที่สำคัญ.....	49
4.3 รายละเอียดของอุปกรณ์สำรวจดาวเทียม IKONOS.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะตัวอย่างภาพที่เกิดจากความเพี้ยนเชิงคลื่น.....	4
2.2 ระบบตรวจจับ Landsat Thematic Mapper	6
2.3 เส้นที่พกร่องเนื่องจากความผิดพลาดของตัวตรวจจับ # 3.....	6
2.4 จุดต่ำสุดของฮิสโตแกรมที่ได้จาก Landsat TM band 1 scene	11
2.5 ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตภายใน.....	12
2.6 ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตภายนอก.....	12
2.7 การฉายภาพแบบเมอร์เคเตอร์.....	15
2.8 การฉายภาพตัดตามขวางแบบเมอร์เคเตอร์.....	16
2.9 การฉายภาพเฉียงแบบเมอร์เคเตอร์.....	17
2.10 ช่วงตัดตามขวางกริดเมอร์เคเตอร์ แต่ละช่วงกว้าง 6 องศาและสามารถที่จะฉายภาพตัดตามขวางแบบเมอร์เคเตอร์ด้วยตัวเอง	19
3.1 รูปแบบของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) ซึ่งรับมาจาก USGS.....	20
3.2 การวัดค่าเชิงเส้นของรูปแบบการเคลื่อนจาก S, Y	22
3.3 (a) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง : สเกลแกนทั้งสอง ตรงตำแหน่งแกน x และ เปลี่ยนแปลงค่าทางด้านแกน y	25
(b) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: การแปรเปลี่ยนของแกน x และจุดเริ่มต้นของแกน y ถูกเคลื่อนตำแหน่ง	
(c) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: การหมุนภาพแกน x และ แกน y ถูกหมุนจากจุดเริ่มต้น	
(d) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: ภาพเฉียง การหมุนเพียงแกนเดียว	
3.4 รูปแบบการแก้ไขเชิงเส้นที่สมบูรณ์	27
3.5 ภาพดิจิทัลที่แก้ไขปรับปรุงเป็นแผนที่กริด UTM	27
3.6 ค่าที่ว่างเปล่าของกริดแผนที่ UTM ใช้รูปแบบของการปรับแก้	28
3.7 ตัวอย่างของจุดภาพจุดควบคุมพื้นดินและส่วนที่เกี่ยวข้องกับแผนที่.....	29
3.8 การคำนวณรูทกำลังสองค่าความผิดพลาดของระยะเส้นตรงระหว่างค่าที่ทำนาย.....	31
3.9 ภาพต้นแบบวางด้านตะวันออกเหนือแผนที่.....	32
3.10 การชักตัวอย่างภาพค่าที่ใกล้เคียงกันมากเพื่อให้กริดแผนที่ภาพเต็ม.....	33
3.11 การชักตัวอย่างภาพแบบ Bilinear ของพิกัดจุดภาพใกล้เคียงเพื่อเติมในแผนที่กริด.....	34
3.12 แสดงการชักตัวอย่างภาพแบบ Bilinear โดยการแทรกพิกัดจุดภาพที่ทิศทางของ X และ Y	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 การแยกองค์ประกอบของข้อมูลภาพ 1 ระดับ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์แบงก์.....	36
3.14 ภาพเบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเลต.....	36
3.15 การแยกองค์ประกอบด้วยการแปลงเวฟเลตแบบสเตชันนารี.....	37
3.16 แสดงจุดตรงที่ตรงกันระหว่างภาพทั้งสอง.....	39
3.17 เปรียบเทียบเมตริกซ์ทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต.....	41
3.18 การชักตัวอย่างข้อมูลภาพจากพิกัดใกล้เคียง.....	41
3.19 Gray level interpolation บนพื้นฐานของหลักการพิกัดใกล้เคียง.....	43
4.1 อัลกอริทึมของอิมเมจรีจิสเตรชันที่น่าเสนอ.....	47
4.2 แนวการเคลื่อนที่ของดาวเทียม Landsat บริเวณประเทศไทย.....	50
4.3 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat บริเวณทะเลอันดามัน	51
4.4 ภาพเกาะ ที่ต้องการทำ image registration (32x32).....	51
4.5 กระบวนการ gray level matching.....	52
4.6 กระบวนการ MI.....	53
4.7 ผลการทดสอบภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทะเลอันดามันและผลการ registration.....	53
4.8 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat บริเวณอ่าวไทย.....	54
4.9 ภาพบริเวณ ที่ต้องการทำ image registration (32x32).....	55
4.10 กระบวนการ gray level matching.....	55
4.11 กระบวนการ MI.....	56
4.12 ผลการทดสอบภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวไทยและผลการ registration	56
4.13 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS-2 บริเวณท่าอากาศยาน Frankfurt.....	58
4.14 ภาพเครื่องบินที่ต้องการทำ image registration (32x32).....	58
4.15 กระบวนการ gray level matching.....	59
4.16 กระบวนการ MI.....	59
4.17 ผลการทดสอบภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณท่าอากาศยาน Frankfurtและผลของ registration ...	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมต่างเวลาจะถูกรับบันทึกไว้ในลักษณะที่แตกต่างกันทางด้านตำแหน่งและรูปทรง ดังนั้น การนำภาพเหล่านั้นมาวิเคราะห์ ก่อนอื่นต้องทำการหาตำแหน่งซ้อนทับของภาพต่างๆ ที่ถูกต้องก่อน ดังนั้นอิมเมจรีจิสเตรชัน (Image Registration) จึงเป็นกระบวนการเบื้องต้นขั้นต้นแรก สำหรับการประมวลผลภาพใดๆ ซึ่งปริมาณข้อมูลเบื้องต้น ที่มีปริมาณมาก ทำให้กระบวนการนี้ใช้เวลากการประมวลผลสูงปั้งซึ่งที่มีผล โดยตรงคือขนาดของภาพอ้างอิงและภาพที่ต้องการค้นหาวัตถุในภาพ ตลอดจนวิธีการ registration ซึ่งกำหนดโดยระดับความถูกต้องแม่นยำและความสามารถในการทนต่อการบิดเบี้ยว ระหว่างภาพอ้างอิงและภาพที่ต้องการค้นหามากน้อยเพียงใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานสำรวจระยะไกลซึ่งปริมาณข้อมูลอันเป็นตัวกำหนดพื้นที่ครอบคลุมและความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมระยะไกลเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการประมวลผลระดับสูงขึ้นไป

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

อิมเมจรีจิสเตรชันอันเป็นกระบวนการเกี่ยวพันถึงการวางแผนของภาพ 2 ภาพที่ได้มาจากบริเวณเดียวกัน แต่จากมุมที่แตกต่างกัน ตัวตรวจจับที่แตกต่างกัน หรือต่างเวลากัน สำหรับการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น การรวมข้อมูลแบบหลายแหล่งกำเนิด การวิเคราะห์ภาพบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ภาพโมเสส การตรวจจับภาพเคลื่อนไหวและการจำได้ของข้อมูล การประยุกต์งานด้านการประมวลผลข้างต้น จำเป็นต้องเริ่มอิมเมจรีจิสเตรชันทั้งสิ้น เพื่อกำหนดบริเวณและวางแผนภาพให้สอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำหรับการปรับปรุงความแม่นยำและประสิทธิภาพของการบันทึก ภาพถ่ายคือค่าใช้จ่ายในการประมวลผลจะมีค่ามากขึ้นเมื่อพื้นที่ที่ทำการวางแผนมีขนาดใหญ่ และเทคนิคการบันทึกที่ใช้มีความซับซ้อนมากขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

กระบวนการอิมเมจรีจิสเตรชันบนพื้นฐานของการวิเคราะห์ภาพแบบความละเอียดหลายความละเอียด โดยเริ่มต้นจากอิมเมจรีจิสเตรชันที่ความละเอียดต่ำสุด และกำหนดบริเวณที่อาจเป็นไปได้จากนั้นจึงทำซ้ำที่ความละเอียดที่สูงขึ้นเฉพาะบริเวณที่กำหนดจากความละเอียดต่ำก่อนซึ่งกระบวนการบันทึก จะถูกปรับปรุงให้ถูกต้องมากขึ้นในแต่ละความละเอียด จนกระทั่งได้ความละเอียดที่ได้ความสอดคล้องกันสูงสุดระหว่างภาพอ้างอิงและภาพค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกระบวนการอิมเมจีสเตรชัน จะเริ่มต้นที่ความละเอียดต่ำสุด ด้วยการกระจายภาพตามความละเอียด DWT (Discrete Wavelet Transform) เพื่อให้ได้องค์ประกอบด้านความถี่ของภาพค้นหา และภาพอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ ทำการกำหนดบริเวณในภาพอ้างอิงด้วย 2 ตัวแปร คือ gray level matching โดยการวัดสหสัมพันธ์ และ Mutual Information (MI) เพื่อสร้างหน้ากากสำหรับกำหนดขอบเขตบริเวณในการวิเคราะห์ในความละเอียดสูงขึ้นไป หน้ากากนี้ใช้วางซ้อนทับกับภาพอ้างอิง โดยค่า "1" ในหน้ากากไบนารีแสดงถึงบริเวณภายในภาพอ้างอิงซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสอดคล้องกับภาพค้นหามากที่สุด ในขณะที่ค่า "0" ใช้ระบุตำแหน่งซึ่งภาพอ้างอิงและภาพค้นหาไม่สอดคล้องกันตามกระบวนการอิมเมจีสเตรชัน และจะไม่ถูกนำมาประมวลผลอีกในระดับความละเอียดขั้นถัดไป การบวนการจะเริ่มจากการวัดความสอดคล้องด้วยการวัดค่าสหสัมพันธ์ของระดับสีเทา gray level matching และสลับไปยังการวัดความคล้าย MI เมื่อการจำกัดบริเวณในการวิเคราะห์ในแต่ละระดับความละเอียดลดลงน้อยกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งพิจารณาได้จากค่า "1" ในหน้ากากที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระดับก่อนหน้า กระบวนการบันทึกจะเสร็จสมบูรณ์ ที่ค่าความละเอียดที่สุด ด้วยการวัดสหสัมพันธ์ปกติ

1.4 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

อิมเมจีสเตรชันด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพหลายระดับความละเอียด ที่ถูกเสนอก่อนหน้านี้ โดยการวัดความคล้ายคลึง ด้วยปริมาณเชิงสถิติต่างๆ ซึ่ง กระบวนการดังกล่าวจะได้ผลถูกต้องก็ต่อเมื่อกลุ่มประชากรหรือข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ มิได้เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิมและยังคงแสดงลักษณะเด่นเชิงสถิติของกลุ่มข้อมูล ทำให้การวิเคราะห์ภาพแบบหลายระดับความละเอียดถูกจำกัดที่ความละเอียดค่าหนึ่งแม้ว่าการใช้เทคนิค Genetic algorithm จะสามารถใช้ในการแก้ไขบริเวณอิมเมจีสเตรชันในความละเอียดขั้นก่อน แต่ก็ยังเป็นกระบวนการที่ยุ่งยากและเกิดโอกาสในอิมเมจีสเตรชันผิดพลาดได้ง่าย ในหลักการใหม่ได้อธิบายถึงประสิทธิภาพ ของอัลกอริทึม อิมเมจีสเตรชันที่ใช้เวฟเลท ที่มีความละเอียดหลากหลาย ทำการแยกภาพเพื่อที่จะลดการค้นหาขนาดของข้อมูลภาพ ตัวอัลกอริทึมจะคำนวณการค้นหา สหสัมพันธ์ที่ความละเอียดบนสับแบนด์ความถี่ต่ำผ่านของเวฟเลทและ สร้างหน้ากากสำหรับความละเอียดสูงกว่าให้เป็นส่วนหนึ่งของอัลกอริทึม ของการบันทึกอย่างหยาบให้เป็นรายละเอียดผลที่ได้จะแสดงถึงประสิทธิภาพอัลกอริทึมใหม่บนพื้นฐานของหน้ากากที่จะแก้ไขประสิทธิภาพของการประมวลผลและให้ผลของอิมเมจีสเตรชันมีความสมบูรณ์และสอดคล้องตรงกัน

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมอิมเมจรีจิสเตรชันโดยใช้เวฟเลทที่มีความละเอียดหลากหลาย ทำการแยกภาพเพื่อที่จะลดการค้นหาขนาดของข้อมูลภาพ ตัวอัลกอริทึมจะทำการค้นหาสหสัมพันธ์ที่ความละเอียดต่ำบนแบนด์ย่อยความถี่ต่ำผ่านของเวฟเลทและสร้างหน้ากาสำหรับความละเอียดสูงกว่าให้เป็นส่วนหนึ่งของอัลกอริทึมของการบันทึกอย่างหยาบให้เป็นละเอียด ความแม่นยำของกระบวนการพิสูจน์โดยการชดเชยขนาดของสหสัมพันธ์และเทคนิคการขจัดสำหรับข้อมูลที่กระจายและรวมเป็นกลุ่มที่แต่ละความละเอียดตามลำดับโดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT บริเวณ ทะเลอันดามัน ส่วนที่ 2 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT บริเวณ ภาคกลางและอ่าวไทย ส่วนที่ 3 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บริเวณ ท่าอากาศยานแฟงก์เฟิร์ต (Frankfurt Airport) ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 1 บทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ และ ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 ความผิดเพี้ยนบนภาพสัญญาณดาวเทียม บทนำ ความเพี้ยนเชิงคลื่น การปรับแก้ความเพี้ยนเชิงคลื่น การประยุกต์ใช้งานทั่วไป เทคนิคการจัดการรบกวน เทคนิคการปรับฮิสโตแกรม ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต การปรับแก้ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต ระบบพิกัดแผนที่การเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน จุดควบคุมภาคพื้นดินโดยการใช้ เครื่องรับGPS รูปแบบของการปรับแก้ภาพถ่าย การแปลง Affine ที่นับได้ รูปแบบโพลีโนเมียล วิธีการชักภาพกลับคืน

บทที่ 3 คุณสมบัติและการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน การวัดสหสัมพันธ์เชิงสถิติ การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง 2 มิติ การแปลงเวฟเลตแบบสเตชันนารี การถ่ายโอนเชิงระนาบ Gray level matching สำหรับการวัดความคล้ายที่ระดับความละเอียดต่ำ การคำนวณข้อมูลร่วมกันสำหรับการวัดความคล้ายที่ระดับความละเอียดสูง

บทที่ 4 ผลการทดลอง กระบวนการอิมเมจรีจิสเตรชันที่ความละเอียดหลายระดับ ทำการทดสอบภาพ รวม 3 ภาพ

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

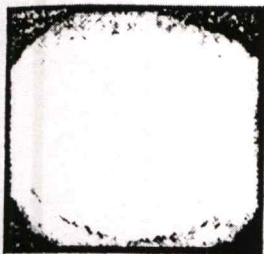
ความผิดเพี้ยนบนภาพสัญญาณดาวเทียม

2.1 บทนำ

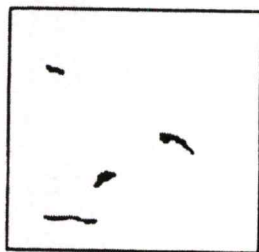
ในบทนี้จะเป็นการพิจารณาถึงธรรมชาติของความเพี้ยนเชิงคลื่น และความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตของข้อมูลภาพจากการสำรวจระยะไกลโดยอุปกรณ์บันทึกภาพบนดาวเทียม ที่สามารถจะเกิดขึ้นได้ในช่วงการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพด้วยอุปกรณ์ตรวจจับบนดาวเทียม โดยจะอธิบายถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความเพี้ยนของทั้ง 2 กรณี รวมทั้งกระบวนการปรับแก้ค่าความเพี้ยนที่เกิดขึ้นกับข้อมูลภาพทั้งความเพี้ยนเชิงคลื่นและความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต ในขณะที่ขบวนการตรวจจับนั้นจะเก็บค่าความผิดพลาดต่างๆเป็นเหตุให้เกิดความเพี้ยนเชิงคลื่น อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) และสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะนั้นรวมถึงความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตที่สามารถเกิดขึ้นได้หลายทาง ทั้งนี้เกิดจาก การเคลื่อนที่ของดาวเทียม เครื่องกวาดหรือสแกนเนอร์(Scanner) และส่วน โถงของโลก

2.2 ความเพี้ยนเชิงคลื่น (Radiometric Distortion)

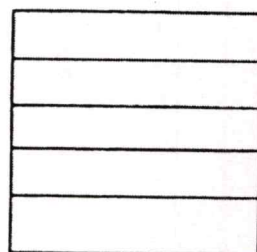
ความเพี้ยนเชิงคลื่นเป็นความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับคลื่นความถี่ที่ถูกส่งออกจากอุปกรณ์เครื่องส่งบนดาวเทียมหรือยานสำรวจไปยังวัตถุต่างๆ ที่ต้องการบนพื้นผิวโลก และคลื่นความถี่ดังกล่าวก็จะสะท้อนกลับมายังเครื่องวัดบนยานสำรวจในลักษณะที่มีความผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นตามความจริง ซึ่งลักษณะของความเพี้ยนเชิงคลื่นเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดต่างๆในข้อมูลภาพดังตัวอย่างเช่น ความเข้มของการกระจายคลื่นที่ไม่เหมาะสม การกรองความถี่เชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพ รอยดำหนิบนภาพ แบนด์ของข้อมูลภาพและอื่นๆ ความผิดพลาดดังกล่าวเนื่องมาจากสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของเครื่องวัด ชั้นบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงและตัวกรองความถี่ของอุปกรณ์ตรวจจับ ความบกพร่องของอุปกรณ์ตรวจจับ ความผิดพลาดที่เกินของอุปกรณ์ตรวจจับในเครื่องวัด ตัวอย่างของความเพี้ยนเชิงคลื่นส่วนหนึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



เงาของภาพ



รอยดำหนิบนภาพ



แบนด์ของภาพ

รูปที่ 2.1 ลักษณะตัวอย่างภาพที่เกิดจากความเพี้ยนเชิงคลื่นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

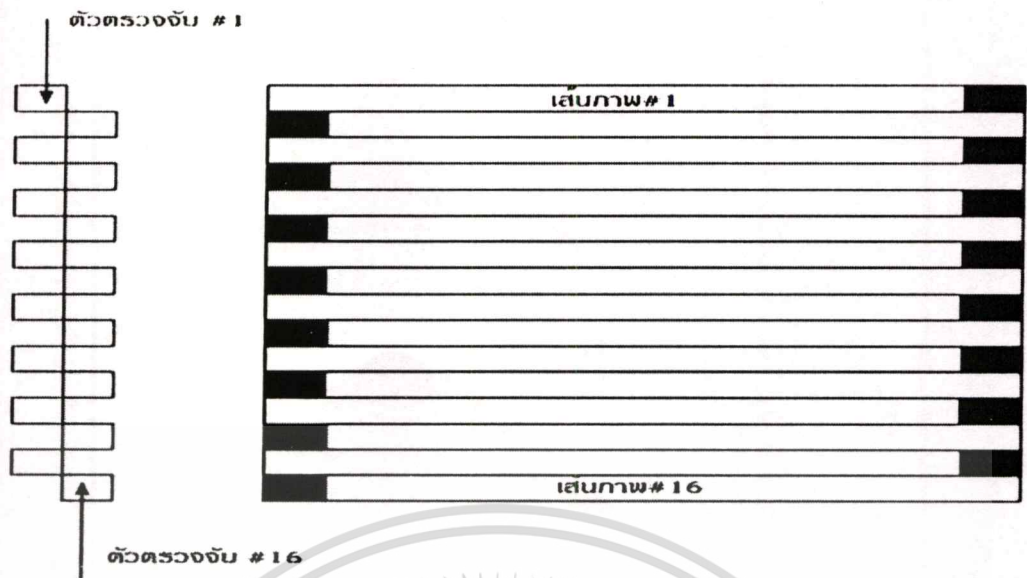
2.3 การปรับแก้ความเพี้ยนเชิงคลื่น

ในขณะที่ภาพถ่ายดาวเทียมโดยทั่วไปภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละภาพอาจจะมีทั้งความเพี้ยนเชิงคลื่นและความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรืออาจจะมีทั้งสองสิ่งหรืออาจจะไม่ปรากฏอยู่ก็ได้ ซึ่งค่าความผิดพลาดเหล่านี้ต้องได้รับการปรับแก้เพื่อที่จะสามารถแสดงผลได้ถูกต้อง ในเมื่อการปรับแก้ความเพี้ยนเชิงคลื่น (Radiometric correction) นั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดหรือความเพี้ยนเชิงคลื่นที่จะทำให้ข้อมูลภาพที่แสดงไม่สมบูรณ์ เช่น เกิดรอยดำหรือเงาที่ไม่พึงประสงค์ปนอยู่ในภาพ ในขณะที่การปรับแก้เชิงเรขาคณิตนั้นเป็นการขจัดค่าความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตที่ทำให้ข้อมูลภาพแสดงผิดรูปร่างไปจากที่ควร จากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกหรือสะท้อนกลับของวัตถุ จะถูกวัดโดยเครื่องวัดที่ติดตั้งไว้บนอากาศยานหรือยานอวกาศ พลังงานที่วัดได้นั้นจะไม่เหมือนกับพลังงานที่ส่งออกหรือสะท้อนกลับจากวัตถุเดียวกัน เมื่อเทียบกับการวัดจากระยะไกลเนื่องมาจากมุมทิศ (azimuth) และมุมยก (elevation) ของดวงอาทิตย์ สภาพบรรยากาศ เช่น หมอกหรือ ละอองลอย การตอบสนองของเครื่องวัด เป็นต้น ซึ่งมีอิทธิพลกับพลังงานที่วัดได้ ดังนั้นเพื่อที่จะได้ค่าพลังงานรังสีตกกระทบ หรือ ค่าการสะท้อนที่แท้จริง จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้เชิงคลื่นเหล่านั้น

การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงคลื่น บางครั้งถูกใช้เพื่อปรับค่าดิจิทัล ซึ่งเป็นขั้นตอนเตรียมกระบวนการก่อนที่จะมีการจัดลำดับภาพ ในบทนี้เราจะได้ศึกษาวิธีพื้นฐานหลายวิธีที่สามารถปรับแก้ความผิดพลาดเชิงคลื่น ซึ่งรวมถึง 1. การทำงานของตัวตรวจจับที่ผิดพลาด และ 2. การกระจายของคลื่นในบรรยากาศ

2.3.1 ความผิดพลาดของตัวตรวจจับ

ในระบบการตรวจจับระยะไกลแบบดิจิทัลส่วนมาก ตัวตรวจจับแต่ละตัวจะตรวจจับการแปลงรังสีของแต่ละเส้น ตัวอย่างเช่น Landsat Thematic Mapper จะมีตัวตรวจจับ 16 ตัว สำหรับแบนด์การสะท้อน และ 4 ตัว สำหรับแบนด์การแผ่รังสี ตัวตรวจจับการสะท้อนจะสร้างภาพเป็น 16 เส้นภาพสำหรับการกวาดเก็บข้อมูลภาพแต่ละครั้ง แสดงตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบตรวจจับของความเพี้ยน Landsat Thematic Mapper

บางครั้ง ภาพถ่ายดิจิทัลประกอบด้วยเส้นที่ไม่ดี คือ เป็นสีดำ (หรือมีค่าจุดภาพเป็นศูนย์) เงื่อนไขที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า “ Line dropout ” ซึ่งมีผลโดยตรงกับ ความผิดพลาดของการตรวจจับ ความผิดพลาดในการส่งข้อมูลภาพ ไปยังสถานีรับภาคพื้นดิน หรือความผิดพลาดในการประมวลผลของข้อมูลภาพและบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ Line dropout สามารถแก้ไขได้โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของจุดภาพด้านบนและด้านล่างของจุดภาพที่เสีย แสดงตามรูปที่ 2.3

การปรับแก้เชิงคลื่น

78	79	74	75	78	79	74	75
77	78	71	73	77	78	71	73
0	0	0	0	76	76	70	71
74	73	69	69	74	73	69	69

รูปที่ 2.3 เส้นที่บกพร่องเนื่องจากความผิดพลาดของตัวตรวจจับ # 3

วิธีนี้เป็นวิธีง่ายๆแต่ก็สามารถช่วยให้ภาพมองดูดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เราควรระลึกว่าข้อมูลที่ถูกต้องแก้ไขจะมาจากการกวาดเส้นรอบ ๆ และไม่ใช้ข้อมูลที่ถูกรับที่ก จากตัวตรวจจับบนดาวเทียม

วิธีการอื่นที่จะใช้แทนที่ตำแหน่งเส้นกวาดที่เสียคือ ใช้ค่าสหสัมพันธ์ค่าจาก Spectral Band เพื่อทำนายค่าของจุดภาพ บนเส้นที่เสีย Fusco และ Trevese ค้นพบว่า วิธีนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการปรับแต่งค่าเฉลี่ยของจุดภาพ

ปัญหาอีกแบบคือ เกิดแถบที่เป็นระบบ หรือแบบที่เป็นทางยาว บางครั้งสามารถพบบนภาพได้ เกิดจาก กระจกกวาดภาพเชิง ระบบ MSS หรือ Thematic Mapper ซึ่งลักษณะของแถบแบบนี้ จะเห็นชัดเจน ในพื้นที่ที่มีความมืดของภาพ เช่น พื้นน้ำหรือที่ชุกชุม ปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อการตอบสนองคลื่นวิทยุของตัวตรวจจับแต่ละตัวขับเปลี่ยนออกจากค่าเริ่มต้นที่ตั้งไว้ ตัวอย่างเช่น แถบความถี่ของระบบ MSS จะมีตัวตรวจจับ 6 ตัว ถ้าหนึ่งในตัวตรวจจับเช่นตัวที่ 3 มีความไวในการรับคลื่นสัญญาณที่เข้ามาน้อย ค่าตัวเลขดิจิทัล ตามแนวเส้นก็จะถูกค่าน้อยกว่าค่าตัวเลขจากตัวตรวจจับอีก 5 ตัวที่เหลือ ซึ่งภาพที่เกิดขึ้น ก็จะเกิดแถบที่เข้มกว่า บนแถวที่ 3, 9, 15, 21 เป็นต้น ทั่วๆ ไป กระบวนการ แก้ปัญหาเส้นแถบเหล่านี้ทำได้โดยจะสร้างฮิสโตแกรม จากเส้นสแกนที่สัมพันธ์กับตัวตรวจจับแต่ละตัว อย่างเช่น เราอาจจะสร้างฮิสโตแกรมสำหรับตัวตรวจจับที่ 1 โดยใช้ค่าดิจิทัลจากบรรทัด 1, 7, 13 เป็นต้น และทำซ้ำสำหรับตัวตรวจจับตัวที่ 2 ที่บรรทัด 2, 8, 14 เป็นต้น หลังจากที่ทำครบทั้ง 6 ตัว ฮิสโตแกรมก็จะถูกใช้เปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองของตัวตรวจจับที่ไม่ปกติกับตัวตรวจจับอื่นๆ แล้วหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย การแก้ไขค่าดิจิทัลจากการตอบสนองของตัวตรวจจับที่ไม่ปกติได้ โดยการนำค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยไปบวกรวมกับจุดภาพจากตัวตรวจจับที่ผิดปกติเพื่อเลื่อน ฮิสโตแกรมให้สอดคล้องกับฮิสโตแกรมของตัวตรวจจับปกติ

2.3.2 การปรับแก้สำหรับการแตกกระจายของบรรยากาศ

เมื่อข้อมูลดาวเทียมถูกรับที่ก จากระยะห่างเป็นร้อย ๆ ไมล์ จากพื้นผิวโลก บรรยากาศและก๊าซในชั้นบรรยากาศสามารถกระจัดกระจาย, ดูดซับ และหักเหขณะจากพื้นผิวโลกไปยังตัวตรวจจับ ผลที่สำคัญคือ มักจะมีการกระจัดกระจายของคลื่น โดยเฉพาะช่วงคลื่นที่มองเห็น (Chavez, 1988) ดังนั้น ภาพถ่ายดาวเทียมบางครั้งจะต้องผ่านกระบวนการเตรียม เพื่อที่จะปรับผลกระทบของบรรยากาศ

แปลงนี้ทำงาน จุดภาพที่ประกอบด้วยสิ่งที่ปกคลุมเหมือนกันในปี 1972 และ 1990 จะต้องมิตำตัวเลขทางดิจิทัลใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม การรบกวนของบรรยากาศจาก ปี 1972 และ 1990 บางทีอาจเป็นไปได้ที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้น มันเป็นเรื่องที่ต้องการจะประยุกต์การปรับแก้ของการกระจายของบรรยากาศของภาพถ่ายทั้ง 2 ภาพ ถ่ายก่อนการใช้วิธีการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงจะถูกใช้งาน

2.4.4 การประยุกต์ใช้งานหลายตัวตรวจจับ (Multi – Sensor Applications)

บางงานวิจัยจะรวมภาพถ่ายจากตัวตรวจจับที่แตกต่างกัน เช่น เราต้องการจะใช้ภาพจาก SPOT HRV และ Landsat เพื่อให้ได้จำนวนที่มากที่สุดที่สุดในภาพที่ไม่มีหมวกปกคลุม สำหรับการศึกษเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำ เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความถูกต้องระหว่างภาพ 2 ภาพ เราจะต้องปรับแก้ความแตกต่างระหว่างภาพถ่ายอันเนื่องมาจากการจัดกระจายของบรรยากาศ

2.5 เทคนิคการจัดการรบกวน

การกระจายของบรรยากาศที่แตกต่างกัน หรือ เทคนิคการจัดการรบกวน ได้ถูกพัฒนา โดยทั่วไป เทคนิคเหล่านี้สามารถรวบรวมได้เป็น 3 กลุ่มคือ 1.วิธีการส่งผ่านชั้นบรรยากาศเชิงซ้อนที่ต้องการข้อมูลของชั้นบรรยากาศ ระหว่างเวลาที่ความถี่เคลื่อนที่ผ่าน 2.วิธีที่ใช้ภาพถ่ายจาก 2 วันหรือมากกว่า สำหรับการปรับแก้ผลกระทบจากบรรยากาศ และ 3.วิธีที่ประมาณผลของการกระจายของบรรยากาศ โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่าย

อิทธิพลต่างๆของบรรยากาศก็เป็นสาเหตุให้เกิดการดูดกลืน และการจัดกระจายของรังสีสุริยะ จึงควรที่จะปรับแก้คลื่นที่สะท้อนกลับหรือเปล่งออกจากวัตถุ ตลอดจนค่าการกระจายแสงในเส้นทางแผ่รังสี (path radiance) รังสีจะถูกดูดกลืนหรือการจัดกระจายโดยบรรยากาศระหว่างการเดินทางสู่ผิวพื้นดิน ในขณะที่พลังงานที่สะท้อนหรือเปล่งออกจากวัตถุเป้าหมาย ก็จะถูกดูดกลืนหรือการจัดกระจายโดยบรรยากาศก่อนที่จะถึงเครื่องวัด ผิวพื้นดินไม่เพียงแต่ได้รับรังสีสุริยะโดยตรงเท่านั้น แต่ยังได้รับแสงจากท้องฟ้า หรือคลื่นที่การจัดกระจายจากบรรยากาศอีกด้วย ในทำนองเดียวกันเครื่องวัดได้รับไม่เพียงแต่คลื่นที่สะท้อนหรือเปล่งออกโดยตรงจากวัตถุเป้าหมายเท่านั้น ยังได้รับคลื่นที่การจัดกระจายจากวัตถุเป้าหมาย และคลื่นที่การจัดกระจายจากบรรยากาศอีกด้วย ที่เรียกว่า การกระจายแสงในเส้นทางผ่าน การปรับแก้สัญญาณรบกวนจากบรรยากาศก็เพื่อขจัดผลต่างๆเหล่านี้ การปรับแก้สัญญาณรบกวนจากบรรยากาศนั้นสามารถแบ่งได้เป็น วิธีการที่ใช้สมการถ่ายเทรังสี วิธีการที่ใช้ข้อมูลจริงภาคพื้นดิน และวิธีการอื่นๆ

2.5.1 วิธีการที่ใช้สมการถ่ายเทรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

transfer equation) สำหรับการปรับแก้สัญญาณรบกวนจากบรรยากาศนั้น จะต้องทำการประมาณค่าความหนาแน่นของละอองลอย ในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ และความหนาแน่นของไอน้ำ (water vapor) ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน เนื่องจากค่าเหล่านี้ไม่สามารถหาจากข้อมูลภาพได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ผลลัพธ์ที่แน่นอนได้

2.5.2 วิธีการที่ใช้ข้อมูลจริงภาคพื้นดิน

ณ เวลาที่ถ่ายภาพ จะมีการกำหนดวัตถุเป้าหมายในภาพที่ทราบค่าการสะท้อนหรือที่ทำการวัดค่าการสะท้อนพร้อมๆการถ่ายภาพ การปรับแก้สัญญาณรบกวนจากบรรยากาศสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานสะท้อนกลับที่ทราบมาแล้วของวัตถุเป้าหมายกับข้อมูลภาพ (สัญญาณขาออก) แต่วิธีการนี้สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่ทดลองเฉพาะที่มีวัตถุเป้าหมายหรือในฤดูเฉพาะเท่านั้น

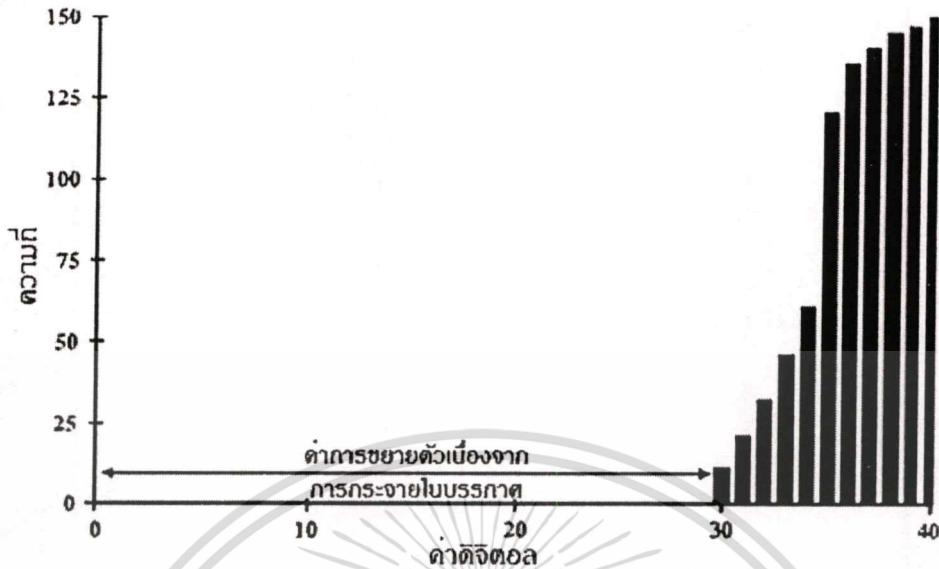
2.5.3 วิธีการอื่นๆ

เครื่องวัดชนิดพิเศษเพื่อวัดความหนาแน่นของละอองลอยหรือความหนาแน่นของไอน้ำจะนำมาใช้ร่วมกับเครื่องถ่ายภาพ สำหรับการปรับแก้สัญญาณรบกวนจากบรรยากาศ ตัวอย่างเช่น ดาวเทียม NOAA ไม่ได้มีเพียงเครื่องถ่ายภาพระบบ AVHRR แต่มีระบบ HIRS สำหรับการปรับแก้สัญญาณรบกวนจากบรรยากาศอีกด้วย

2.6 เทคนิคการปรับฮิสโตแกรม

วิธีการพื้นฐานของการปรับข้อมูลภาพถ่าย อันเนื่องมาจากการผิดพลาดจากการกระจายของบรรยากาศจะถูกเรียกว่า เทคนิคการปรับฮิสโตแกรม วิธีการนี้โดยทั่วไปใช้กับการวิจัยปัจจุบัน ข้อเสนอพื้นฐานพื้นฐานคือ การที่มีความน่าจะเป็นที่สูง ที่อย่างน้อยจุดภาพในภาพถ่ายดาวเทียมจะมีค่าตัวเลขเป็นศูนย์ เนื่องจากจุดภาพจะมีจำนวนมากในภาพ 1 ภาพ หรือบริเวณน้ำลึกในภาพที่ซึ่งค่าของดิจิตอลควรเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลที่ผิดพลาดของการรบกวนของบรรยากาศ ค่าดิจิตอลในพื้นที่นี้แน่นอนว่าจะต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ ตัวอย่างเช่น ถ้าเลขดิจิตอลในความมืดของพื้นที่ของเรามีค่าของภาพจะเป็น 30 เราอาจจะสมมุติว่า เนื่องด้วยจากการกระจายของบรรยากาศและค่าดิจิตอลทั้งหมดในแถบคลื่นพิเศษนี้ จะต้องถูกปรับด้วย -30 วิธีการนี้เรียกว่า การปรับฮิสโตแกรม มันจะเลื่อนฮิสโตแกรมของตัวเลขดิจิตอล ไปด้วยค่าคงที่ ที่ซึ่งถูกสมมุติให้เป็นความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการกระจายของบรรยากาศ แสดงตามรูปที่ 2.4

การตรวจจับภาพพื้นโลกระยะไกลของดาวเทียม



รูปที่ 2.4 จุดค่าสุดของฮิสโตแกรมที่ได้จาก Landsat TM band 1 scene

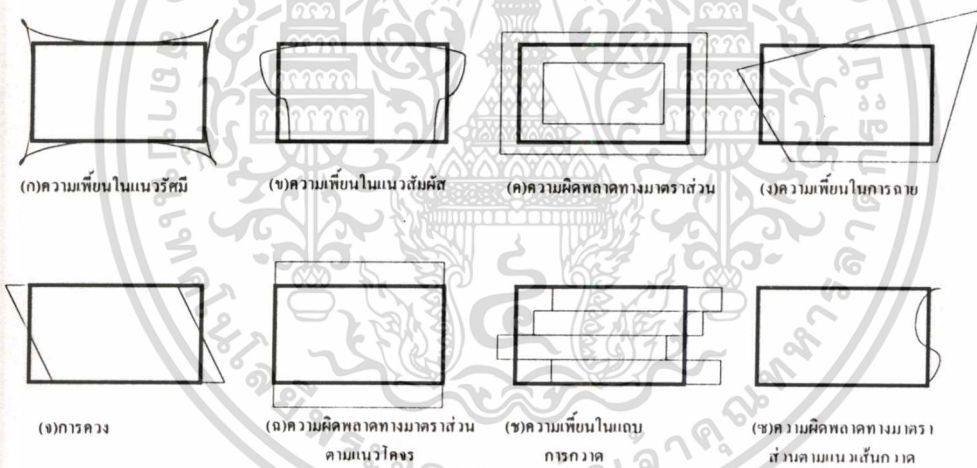
เราจะต้องตรวจสอบหาตำแหน่งของจุดภาพที่มีค ก่อนการสมมุติค่า ซึ่งมันจะประกอบด้วย ค่าดิจิทัลที่มีคจริง ทั้งนี้เนื่องจาก ในบางกรณีตัวตรวจจับ อาจจะได้รับค่าการสะท้อนจากพื้นที่สว่างอย่างเต็มที่ จุดภาพที่อยู่ถัดไปตามแนวเส้นกวาด อาจได้รับการผิดพลาดเชิงลบ (ค่าตัวเลขจะต่ำลง) บางตัวอย่างอาจจะรวมถึง 1.จุดภาพของเมฆที่สว่าง ที่ตามมาด้วยจุดภาพของเงาเมฆ 2.จุดภาพของหาดทรายที่สว่างแล้วตามมาด้วยจุดภาพของน้ำและ 3.ความสว่างของจุดภาพที่มีความชันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ตามด้วยจุดภาพบนความชันด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งตัวอย่างของการผิดพลาดเชิงลบนี้ เป็นเงื่อนไขที่เราอยู่ในลักษณะเป็น “Snow blindness” ถ้าเข้าไปในห้องหลังจากอยู่ในที่สว่างมาก ๆ ตาของเราจะคล้ายกับรีโมทเซนซิง ที่จะผิดพลาดเชิงลบชั่วคราว และห้องจะดูมืดกว่าปกติ

เทคนิคการปรับฮิสโตแกรม เป็นเรื่องไม่ยาก แต่มีปัญหา 2 เรื่อง ถ้าใช้ฮิสโตแกรมจากพื้นที่ศึกษาขนาดเล็ก ค่าดิจิทัลขนาดเล็กจากภาพเต็ม อาจจะไม่ปรากฏบนฮิสโตแกรมของทั้งภาพ ดังนั้น ค่าดิจิทัลที่เล็กที่สุด ที่ถูกเลือก จะเกิดการปรับแก้ความผิดพลาดจากการรบกวนของบรรยากาศ และวิธีการอาจจะเป็นเหตุให้ค่าดิจิทัลบางค่าเกิดการปรับแก้ในบางแถบคลื่น ถ้าเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น ความสัมพันธ์ของแถบแสงระหว่างแถบคลื่นอาจจะถูกทำลายดังนั้น Chavez ได้ทำการพัฒนาการปรับปรุงเทคนิคการเปรียบเทียบวัตถุที่ทึบแสง ที่ซึ่งอยู่นอกเหนือจากขอบเขตขั้นพื้นฐานนี้

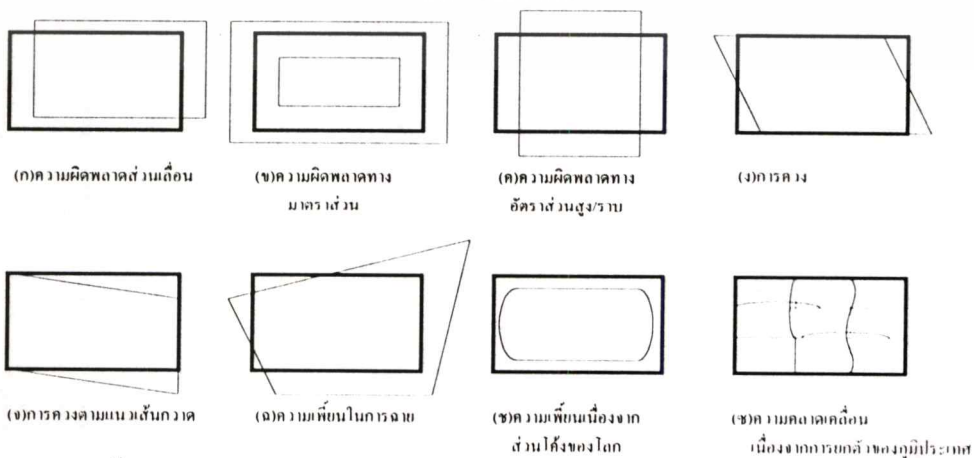
2.7 ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต (Geometric Distortion)

ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต หรือความเพี้ยนทางตำแหน่งของจุดภาพ คือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับข้อมูลภาพระหว่างพิกัดภาพที่เป็นจริงกับพิกัดภาพที่ได้ ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตทำให้เกิดความบิดเบี้ยวหรือความเพี้ยนทางรูปร่าง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเองของโลกขณะที่ดาวเทียมกำลังถ่ายภาพรวมทั้งความไม่สม่ำเสมอในการทรงตัวของดาวเทียมเอง ในลักษณะของการโคจร การถ่ายตัว ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูง และความเร็วในการโคจร

การผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิตของภาพถ่ายระยะไกล อาจเกิดขึ้นได้จาก 2 กรณี คือ ความผิดเพี้ยนภายใน (ความผิดเพี้ยนที่เป็นระบบ) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความกว้างของ beam และการสุมตัวอย่างของตัวตรวจจับ ส่วนความผิดเพี้ยนภายนอก (ความผิดเพี้ยนที่ไม่เป็นระบบ) นั้นหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของสถานที่ ความสูง ตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียม ความโค้งนูนของผิวโลก และการหมุนรอบตัวเองของโลก รูปที่ 2.5 แสดงถึงตัวอย่างของความผิดเพี้ยนภายใน ในขณะที่รูปที่ 2.6 แสดงถึงตัวอย่างของความผิดเพี้ยนภายนอก และตารางที่ 2.1 แสดงถึงสาเหตุของความผิดเพี้ยนทั้งภายในและภายนอกและชนิดของความผิดเพี้ยน



รูปที่ 2.5 ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตภายใน



เอกรูปที่ 2.6 ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตภายนอกเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สาเหตุของความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตและชนิดของความเพี้ยน

สาเหตุของความเพี้ยน	เครื่องวัด			พิสัยเชิง
	ชนิดของการฉายจากศูนย์กลาง			
	เครื่องวัด แบบกรอบ	เครื่องวัด แบบเส้น	เครื่องวัด แบบจุด	
ความเพี้ยนภายใน				
ความเพี้ยนในรัศมีของเลนส์	ก	ก	ก	-
ความเพี้ยนในแนวสัมผัสของเลนส์	ข	ข	ข	-
ความผิดพลาดของความยาวโฟกัส	ค	ค	ค	-
การเอียงของระนาบรับภาพ	ง	ง	ง	-
ความไม่เรียบของระนาบรับภาพ	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	-
ความผิดพลาดทางการจัดแนวของแสงรับภาพ	-	จ	ช	-
ความเปลี่ยนแปลงของอัตราการซูมตัวอย่าง	-	ฉ	ซ	ฉ,ซ
ความผิดพลาดของเวลาในการซูมตัวอย่าง	-	-	ซ	-
การเปลี่ยนแปลงของความเร็วของกระจกกวาด	-	-	ซ	-
ความเพี้ยนภายนอก				
ความผิดพลาดเชิงระนาบของยาน	ก	ก	ก	ก
ความผิดพลาดทางระดับความสูงของยาน	ข	ข	ข	ข
การเคลื่อนที่ของตำแหน่งของวงโคจร	-	ค,ง	ค,ง,จ	ค,ง,จ
ระดับความสูงของยาน	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ
การเปลี่ยนแปลงของการทรงตัว	-	ฉ	ฉ	ฉ
การหมุนของโลก	-	ง	ง	ง
ความโค้งของโลก	ซ	ซ	ซ	ซ
ความสูงของพื้นผิว	ซ	ซ	ซ	ซ
การหักเหของชั้นบรรยากาศ	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การปรับแก้ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต

เมื่อภาพถ่ายดิจิทัลของพื้นผิวโลก ถูกทำให้ผิดเพี้ยน การปรับแก้จะเป็นกระบวนการของการขจัดความผิดเพี้ยนออกไปจากภาพถ่ายโดยการบิดภาพถ่าย เพื่อตรงเข้ากับภาพแผนที่ของแต่ละจุดภาพ ซึ่งแต่ละจุดภาพจะถูกกำหนดพิกัดระหว่างการปรับแก้ หลังจากการปรับแก้แล้วภาพถ่ายจะถูกใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการเปลี่ยนค่าให้เป็นเชิงดิจิทัลด้วย GIS หรือสำหรับการจำแนกภาพต่อไป การปรับแก้ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตที่สำคัญ มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี ในการเลือกวิธีการใดเพื่อนำมาใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและปัจจัยหลายประการ ซึ่งทั้ง 3 วิธีอธิบายได้ดังต่อไปนี้

(ก) การปรับแก้แบบมีระบบ (Systematic correction)

ในกรณีที่ข้อมูลอ้างอิงเชิงเรขาคณิต หรือเรขาคณิตของเครื่องวัดได้กำหนด หรือทำการวัดไว้แล้ว ความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้อย่างมีระบบหรือตามทฤษฎี ตัวอย่างเช่น เรขาคณิตของกล้องถ่ายรูปชนิดเลนส์จะถูกกำหนดโดย สมการร่วมเชิงเส้น ด้วยความยาวโฟกัสที่ปรับเทียบแล้ว ค่าตัวแปรต่างๆ ของความเพี้ยนของเลนส์ พิกัดของจุดดัชนี เป็นต้น การปรับแก้เชิงสัมผัสผิว (Tangent correction) เป็นแบบหนึ่งของการปรับแก้แบบมีระบบ สำหรับเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง โดยทั่วไปแล้วการปรับแก้แบบมีระบบจะเพียงพอสำหรับการขจัดความผิดเพี้ยนทั้งหมด

(ข) การปรับแก้แบบไม่มีระบบ (Non-systematic correction)

สมการโพลีโนเมียล สำหรับการแปลงจากระบบพิกัดภูมิศาสตร์ ไปเป็นระบบพิกัดภาพ หรือในทางกลับกันนั้น จะหาได้จากค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่รู้ค่า โดยความแม่นยำนั้นขึ้นอยู่กับอันดับยกกำลัง (order) ของสมการโพลีโนเมียล และขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

(ค) วิธีผสม (Combined method)

เริ่มต้นด้วยการประยุกต์ใช้การปรับแก้แบบมีระบบ และต่อจากนั้นใช้สมการโพลีโนเมียลที่มีอันดับยกกำลังต่ำๆ เพื่อลดความผิดพลาดที่คงเหลืออยู่ โดยปกติแล้วจุดมุ่งหมายของการปรับแก้เชิงเรขาคณิตนั้น เพื่อที่จะยอมให้มีความผิดพลาดแฝงอยู่ไม่เกินบวกหรือลบหนึ่งจุดภาพของตำแหน่งจริงของจุดๆนั้น

2.8.1 การฉายภาพแผนที่ (Map Projections)

เป็นระบบคณิตศาสตร์ของการฉายภาพที่มีลักษณะของกลมรี(เช่น โลก)บนพื้นระนาบราบ และรักษาไว้ซึ่งคุณสมบัติความแม่นยำของรูปร่าง, พื้นที่, ระยะทางและทิศทางซึ่งมีวิธีการมากมายของการฉายภาพแผนที่ที่เอื้อให้ กับคุณสมบัติของแผนที่เหล่านี้ ตัวอย่างเช่น อาจสังเกตเห็นว่า บางประเทศ เช่นกรีนแลนด์ และแคนาดา ปรากฏขนาดใหญ่บนแผนที่โลกแบบหนึ่งและปรากฏในขนาดเล็กกว่าในแผนที่โลกอีกแบบหนึ่ง แต่ระบบของการฉายภาพแผนที่จะมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แน่นอน ในการฉายภาพแผนที่ในหลายระบบที่ใช้กันอยู่ ในงานดิจิทัลรีโมทเซนซิงของ แหล่งข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งรวมถึง การฉายภาพแบบเมอร์เคเตอร์, การฉายภาพตัดขวางแบบเมอร์เคเตอร์ และการฉายภาพส่วนโค้งแบบเมอร์เคเตอร์ (การฉายภาพแบบเมอร์เคเตอร์ คือ วิธีการเขียนแผนที่แบบหนึ่งเส้นโค้งบนผิวหน้าของลูกทรงกลมจะถูกเขียนเป็นเส้นตรงทั้งหมด ทำให้รูปสัญลักษณ์ผิดไปจากความเป็นจริง)

2.8.2 การฉายภาพแบบเมอร์เคเตอร์ (Mercator Projection)

การฉายภาพแบบนี้ถูกนำมาเผยแพร่ในช่วงปี ค.ศ.1500 โดยมีพื้นฐานของเส้นสัมผัสวงของ ทรงกระบอกไปยังเส้นศูนย์สูตรของโลก แสดงตามรูปที่ 2.7 ซึ่งคล้ายคลึงกับการสมการป้องกันดินบุก ให้กับผลส้มและจะมีเฉพาะเส้นผ่านศูนย์กลางของส้มเท่านั้นที่สัมผัสกับกระป๋องเมอร์เคเตอร์ได้ ออกแบบการฉายภาพนี้ เพื่อให้ใช้งานเกี่ยวกับการนำร่อง เส้นทั้งหมดของขอบเขตคงที่มีทิศทาง ปรากฏเป็นเส้นตรงบนแผนที่

การแก้ปรับแก้เชิงเรขาคณิต

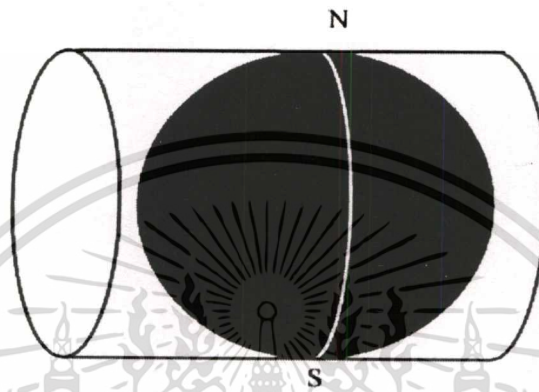


รูปที่ 2.7 การฉายภาพแบบเมอร์เคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 การฉายภาพตัดขวางแบบเมอร์เคเตอร์ (Transverse Mercator Projection)

เนื่องด้วยการฉายภาพแบบจะมีการสัมผัสไปตามแนวเส้นศูนย์สูตร การฉายภาพแบบเมอร์เคเตอร์จะมีสเกลที่ถูกต้อง ณ ตำแหน่งเส้นศูนย์สูตร และมีสเกลที่ใหญ่ขึ้นเมื่อเข้าใกล้ขั้วโลก ดังนั้นจึงมีความแม่นยำสูงในทิศทางตะวันออกและตะวันตก มากกว่าทิศทางด้านเหนือและใต้

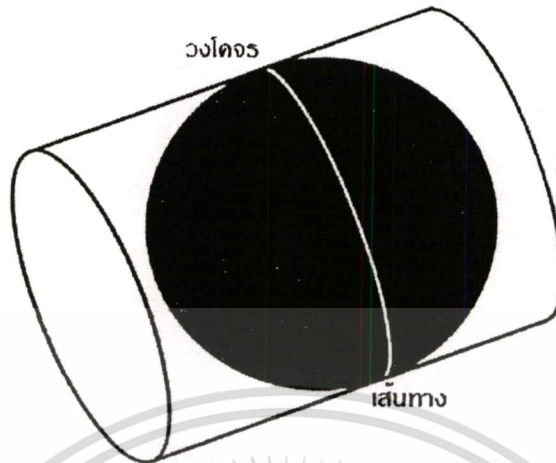


รูปที่ 2.8 การฉายภาพตัดตามขวางแบบเมอร์เคเตอร์

การฉายภาพแบบนี้จะอนุโลมเรื่องความโค้งของโลกในทิศทางด้านเหนือและใต้ ทำให้มีความแม่นยำมากขึ้นในทิศทางนั้น ดังนั้น การฉายภาพแบบนี้จะนิยมใช้ในรัฐที่อยู่ตามความยาวแนวแกนจากเหนือถึงใต้ เช่น ไอดาโฮ, แคลิฟอร์เนีย และฟลอริดา

2.8.4 การฉายภาพเฉียงแบบเมอร์เคเตอร์ (Space Oblique Mercator Projection)

ในอดีตการฉายภาพแผนที่ จะมีพื้นฐานบนเงื่อนไขที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามด้วยวงโคจรของดาวเทียมที่มีการกวาดภาพอย่างต่อเนื่องในขณะที่โลกมีการหมุน วงโคจรดาวเทียมจะต้องการ การฉายภาพ ใหม่ที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ วิธีการหนึ่ง คือ การฉายแบบส่วนเฉียงแบบเมอร์เคเตอร์ แสดงตามรูปที่ 2.9 การฉายภาพแบบนี้ไม่สามารถปฏิบัติตามมาตรฐานที่ Eosat ใช้เตรียมการประมวลผลของข้อมูล Landsat



รูปที่ 2.9 การฉายภาพเฉียงแบบเมอร์เคเตอร์

2.9 ระบบพิกัดแผนที่ (MAP Coordinate systems)

ระบบพิกัดแผนที่คือ ระบบ x, y ที่สามารถใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งของจุดใด ๆ บนพื้นผิวโลก ซึ่งมี 3 ระบบพิกัดที่ถูกใช้ในอเมริกาสำหรับภาพถ่ายดาวเทียมของแหล่งข้อมูลธรรมชาติ นั่นคือ พิกัดภูมิศาสตร์ พิกัดตัดขวางสากลแบบเมอร์เคเตอร์ และพิกัดระบบระนาบรัฐ

2.9.1 พิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate)

พิกัดภูมิศาสตร์ถูกแสดงในลักษณะพิกัดทรงกลม หรือพิกัดขั้วของเส้นรุ้งและเส้นแวง เส้นรุ้งจะถูกแสดงในลักษณะมุมระยะทางด้านเหนือหรือด้านใต้จากเส้นศูนย์สูตร และเปลี่ยนแปลงจากศูนย์องศาที่เส้นศูนย์สูตรถึง 90 องศาที่ขั้วโลก เมื่อโลกจะมีความโค้งมากบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร องศาของเส้นรุ้งจะเพิ่มขึ้นในระยะทางที่จะเข้าถึงโลก ตัวอย่างเช่น 1 องศาของเส้นรุ้งเริ่มต้นที่เส้นศูนย์สูตรจะมีระยะทาง 111.7 กิโลเมตร ถ้าพิจารณาหน่วยของพิกัดภูมิศาสตร์ให้สอดคล้องกับเวลา 1 องศา จะสอดคล้องกับ 1 ชั่วโมง 1 องศาเส้นรุ้งจะเท่ากับ 60 นาที และ 1 นาที จะเท่ากับ 60 วินาที ของเส้นรุ้ง ดังนั้นจุดใด ๆ บนพื้นผิวโลก สามารถแสดงได้เป็นระยะทาง ของเส้นรุ้งในลักษณะขององศา, นาที, วินาที และทิศทางจากเส้นศูนย์สูตรอย่างเช่น มหาวิทยาลัยอาลาสกามีเส้นรุ้ง 64 องศา 1 นาที และ 30 วินาทีเหนือเส้นศูนย์สูตร ขณะที่เส้นแวงจะถูกแสดงด้วยมุมระยะทางจากด้านตะวันออกหรือตะวันตกของเส้นแวงแรก ตัวอย่างเช่น มหาวิทยาลัยอาลาสกา จะมีพิกัด 147 องศา 50 นาที 0 วินาที ตะวันตกเส้นแวงแรกซึ่งเส้นแวงแรกส่วนโค้งที่เริ่มต้นที่ขั้วโลกและผ่าน Greenwich ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศอังกฤษ เมื่อเส้นเวททั้งหมดบรรจบกันที่ขั้วโลก องศาของเส้นเวทจะเปลี่ยนจาก 111.3 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตรถึง 0 กิโลเมตร ที่ขั้วโลก

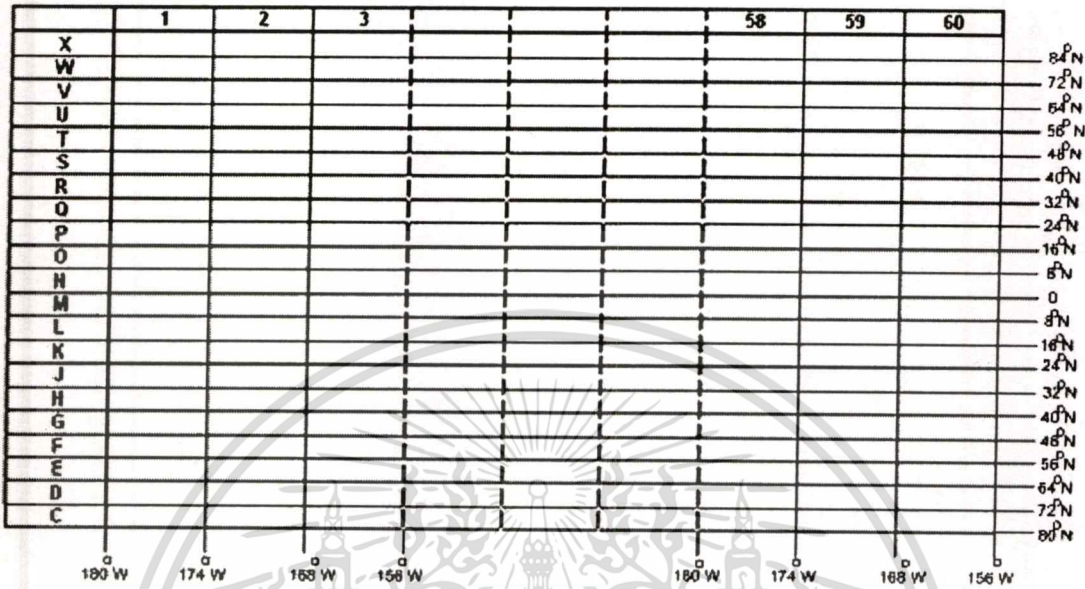
2.9.2 พิกัดตัดขวางสากลแบบเมอร์เคเตอร์ (Universal Transverse Mercator Coordinate)

การคำนวณระยะทางและพื้นที่ จะทำได้ยากหากใช้ระบบพิกัดทรงกลม เช่น เส้นรุ้งและเส้นแวง ดังนั้น พิกัดแนวราบจะถูกใช้งานบ่อยครั้งบนแผนที่ เช่น ระบบพิกัด x, y ในอเมริกา ค่า x จะเพิ่มขึ้นไปทางทิศตะวันออก และค่า y จะเพิ่มขึ้นในทิศทางเหนือ กองทัพอเมริกาได้พัฒนาระบบพิกัดเมตริกซ์ ซึ่งเรียกว่า ระบบพิกัด Universal Transverse Mercator (UTM) โดยระบบประกอบด้วยโซนกว้าง 6 องศา (ตะวันออก - ตะวันตก) เริ่มต้นที่โซน 1 ที่ 180 – 174 องศาตะวันตก โซนจะมีค่า 84 องศาเหนือถึง 80 องศาใต้ ในแนวเส้นรุ้ง แสดงตามรูปที่ 2.10 แต่ละจะมีรูปร่างและขนาดที่เหมือนกัน ซึ่งจะเป็นสากล ด้วยการให้การแยกการฉายภาพของแต่ละโซน ก็จะได้ความแม่นยำขององศาที่สูง ภายในแต่ละโซนจะมีจุดกึ่งกลางสูงสุดที่มีการกำหนด ความผิดพลาดทางด้านตะวันออก (หรือค่า x) ถึง 500,000 เมตร ทางด้านเหนือ (ค่า y) จะกำหนดเป็นมาตรวัดจากหนึ่งถึงเส้นศูนย์สูตร เมื่อค่าโซนสูงสุดสัมผัสกับโลก มันจะไม่มีค่าผิดพลาดไปทางแนวเส้นแวง และมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยใกล้กับขอบทางตะวันออก หรือตะวันตกของแต่ละ UTM โซน

2.9.3 พิกัดระนาบรัฐ (State Plane Coordinate)

ในปี 1938 การสำรวจทางธรณีวิทยาของอเมริกา ได้จัดทำแผนผังของระบบกริดที่อาจจะพอเหมาะกับรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอของแต่ละรัฐ ระบบนี้จะทำให้การสำรวจพื้นที่ท้องถื่นติดต่อกันได้ รัฐนิวเจอร์ซีย์ เป็นรัฐแรกที่เริ่มใช้ระบบแบบนี้สำหรับการสำรวจที่ดิน ซึ่งระบบนี้จะมีมากกว่า 130 โซน แต่ละโซนจะมีการฉายภาพของตัวเอง รอบต่อของโซนจะแบ่งตามรัฐและประเทศ และแต่ละโซนจะมีค่อนข้างเล็ก ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดภายในแต่ละโซนจะน้อยกว่า 1 ใน 10,000 และระบบนี้จะแสดงในหน่วยเป็น ฟุต

การตรวจจับภาพพื้นโลกระยะไกลของดาวเทียม



รูปที่ 2.10 ช่วงตัดตามขวางกริดเมอร์เคเตอร์ แต่ละช่วงกว้าง 6 องศาและสามารถที่จะฉายภาพตัดตามขวางแบบเมอร์เคเตอร์ด้วยตัวเอง

การชักตัวอย่างภาพและการแทรกค่าข้อมูล

3.1 การเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Selection of Ground Control Points)

ขั้นตอนแรกของกระบวนการปรับแก้ภาพถ่าย คือ การเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point ; GCPs) เป็นตำแหน่งที่สามารถแสดงได้ละเอียดบนภาพถ่ายดาวเทียมและบนระบบพิกัดแผนที่ที่สอดคล้องกัน โดยทั่ว ๆ ไปตำแหน่งเหล่านี้จะเป็นจุดภาพที่ระบุได้ง่าย เช่น มุมของป่าสงวน, สี่แยกหรือรอยตัดของถนน, ชั้นหินที่โผล่พ้นผิวดิน แสดงตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) ซึ่งรับมาจาก USGS

จุดควบคุมภาคพื้นดินจะถูกใช้เพื่อให้การปรับแก้มีความเหมาะสม ยิ่งจุดควบคุมที่เลือกมีคุณภาพดีก็ยิ่งทำให้การปรับแก้ดีขึ้นอย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของการเลือกจุดควบคุมของภาพพื้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินมักจะกลายเป็นเรื่องที่ยากหลังจากจุดที่ชัดเจนส่วนใหญ่ถูกเลือก อย่างเป็นขั้นตอน มันเป็นสิ่งจำเป็นที่จุดควบคุมที่เลือกจะต้องกระจายตลอดทั่วทั้งพื้นที่ตัวอย่าง เช่น หากเราเลือกจุดควบคุมภาพพื้นดินทั้งหมดจากพื้นที่การเกษตรในหุบเขา และใช้จุดเหล่านี้ในการปรับปรุง การปรับแก้ ผลของภาพที่ได้รับการปรับแก้ อาจจะมีค่าความแม่นยำที่ยอมรับได้ในพื้นที่การเกษตรนั้น แต่อาจจะมีผลผิดพลาดในลักษณะสำคัญอื่น ๆ ในเขตผืนป่าบนภูเขา

พิกัดแผนที่ของจุดควบคุมภาพพื้นดิน โดยมากจะถูกคำนวณจากแผนที่การสำรวจทางธรณีวิทยาโดยการใช้การบันทึกทางดิจิทัล และวิธีการอื่นเพื่อที่จะให้ได้พิกัดของตำแหน่งจะเป็นการใช้เครื่องรับระบบตำแหน่งโลก

3.2 จุดควบคุมภาคพื้นดินโดยการใช้ เครื่องรับ GPS

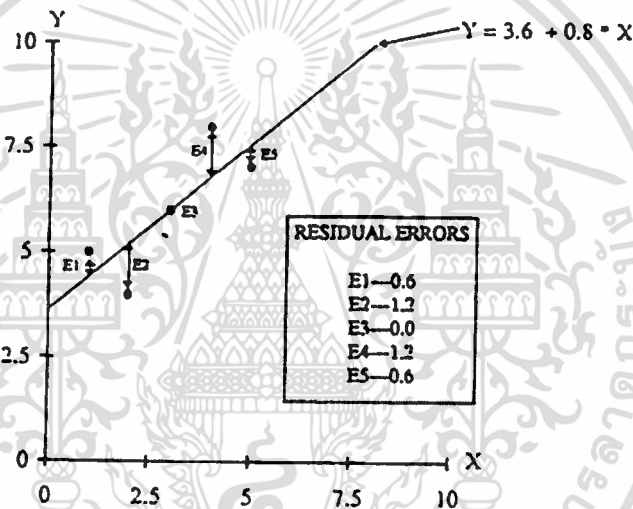
ระบบบอกตำแหน่งโลก(GPS)เป็นระบบนำร่องด้วยดาวเทียมที่จัดทำโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐ โดยจะมีพื้นฐานบนความแม่นยำของเวลาของสัญญาณคลื่นวิทยุจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง ด้วยตัวเครื่องรับ GPS 1 ตัว เราสามารถหา พิกัดแผนที่ของตำแหน่งใด ๆ เกือบทั้งหมดในสนาม ด้วยความแม่นยำของตำแหน่ง ตามทางแนวนอน 15 ถึง 20 เมตร ถ้าตัวรับ GPS ถูกปรับค่าให้สูงกว่าการสำรวจมาตรฐาน เช่น สถานีหลัก และตัวรับ GPS อื่น จะถูกใช้ในสนามก็จะทำให้ความแม่นยำทางแนวนอน 2 ถึง 5 เมตร มีความเป็นไปได้ตามหลักการ ซึ่งถูกเรียกว่า “การระบุตำแหน่งเชิงอนุพันธ์ (differential positioning)” ในความเป็นจริง การสำรวจใช้เครื่องรับ GPS ที่มีราคาแพงและเป็นระบบระบุตำแหน่งเชิงอนุพันธ์ เพื่อบันทึกตำแหน่งที่มีความแม่นยำ และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 cm มีข้อจำกัดหลายอย่างเกี่ยวกับการใช้ GPS ในการกำหนดหาพิกัดแผนที่ตำแหน่งควบคุมพื้นดิน เมื่อเทคโนโลยีตัวนี้ยังเป็นเรื่องใหม่ ค่าใช้จ่ายของเครื่องรับ GPS จึงมีราคาสูง และต้องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 3 สัญญาณ เพื่อที่จะประมาณค่าตำแหน่ง x, y โดยไม่มีอะโรบคั้งดาวเทียม จึงเป็นเรื่องจำเป็น ดังนั้น การรับสัญญาณ GPS ของสัญญาณคลื่นวิทยุ ดาวเทียมในหุบเขาแคบ ๆ อาจจะถูกกำหนดเป็นเพียงไม่กี่ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งจะมีปัญหาในด้านการรับในป่าทึบ (ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการต่อสายอากาศรับ GPS และการขยายสายอากาศเหนือพื้นป่า) เมื่อหน่วยกลาโหมจะควบคุมดาวเทียม NAVSTAR และต้องการที่จะป้องกันผู้ก่อการร้ายที่ใช้เทคโนโลยี GPS ที่ถูกต้องแม่นยำ พวกเขาจะเลือกช่วงเวลาที่ลดระดับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งเรียกว่า Selective availability ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าว กองทัพสามารถใช้ GPS ที่มีความแม่นยำได้ตามปกติ ขณะที่ GPS พลเรือนมีความแม่นยำที่ลดลง และหากว่าพลเรือนมีสถานีหลักที่มีเครื่องรับ GPS เหนือบริเวณที่สำรวจ พวกเขาสามารถใช้เครื่องรับ GPS ตัวที่ 2 ในสนามและใช้ในอีกตำแหน่งที่แตกต่างออกไป เพื่อปรับตำแหน่งการได้รับของ GPS หลังจากสถานีหลักอยู่ในตำแหน่งที่รู้จัก การรวมกันของความผิดพลาด x และ y ใน ย่านข้อมูลดาวเทียมก็จะสามารถคำนวณได้ ขณะที่ข้อมูลสนามสามารถปรับภายหลัง สำหรับการคำนวณค่าผิดพลาด ในช่วงเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมแผนที่ทหารบก การนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 รูปแบบของการปรับแก้ภาพถ่าย (Image Rectification Models)

สมการของเส้นตรงแสดงได้ด้วย $Y = a + bx$ เมื่อ Y คือค่าที่ถูกทำนายจากตัวแปร x และความชันของเส้น b คือ ค่าที่แสดงในเทอมการเปลี่ยนของ Y ต่อการเปลี่ยนของ x จุดตัดบนแกน Y ที่ตำแหน่ง a ของเส้นจะเป็นค่าของ x เมื่อ Y มีค่าเป็นศูนย์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.2 ความชันมีค่าเท่ากับ 0.8 และจุดตัดแกน Y มีค่า 3.6 เราสามารถพัฒนารูปแบบเชิงเส้น โดยให้ค่าข้อมูล (x, y) เมื่อใช้เทคนิคทางสถิติ เรียกว่า “ การถดถอยเชิงเส้น ” (Linear Regression) เมื่อทำการพัฒนารูปแบบ มักจะมีค่าผิดพลาดหลงเหลืออยู่ ระหว่างค่าที่คำนวณ กับค่าจริงของ Y ด้วยกระบวนการถดถอยเชิงเส้น ค่าผิดพลาดที่เหลืออยู่จะมีค่าน้อยที่สุด ในรูปที่ 3.2 ค่าผิดพลาดเท่ากับ 3.6 และนี่เป็นเส้นที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดของค่าผิดพลาดค่าสุด



รูปที่ 3.2 การวัดค่าเชิงเส้นของรูปแบบการเคลื่อนจาก 5 X, Y

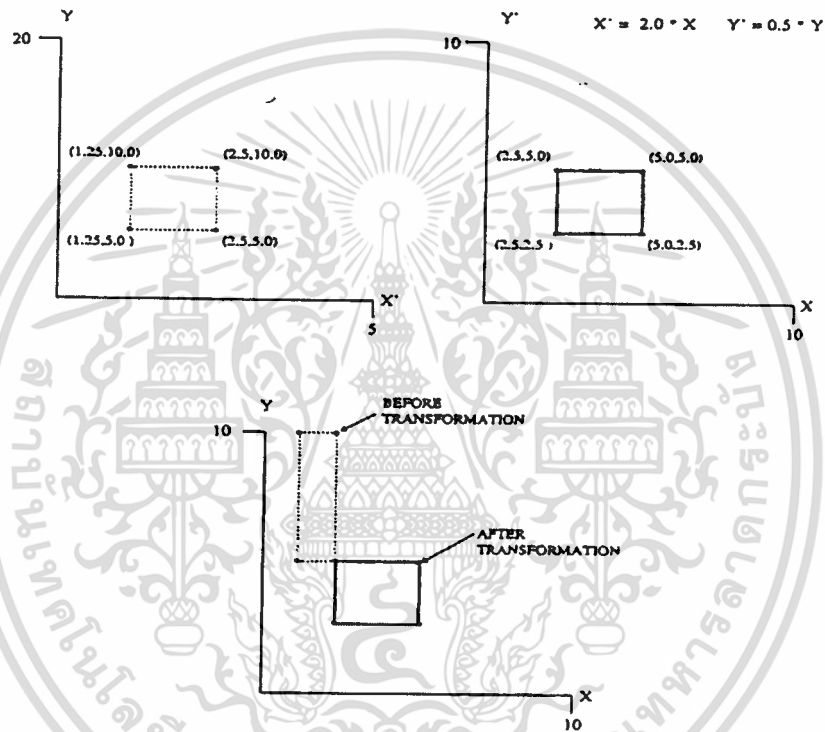
3.4 การแปลงพิกัดจุดภาพแบบ Affine ที่นับได้ (Affine Coordinate Transformations)

การแปลงพิกัดแบบนี้ มักจะถูกใช้สำหรับการปรับแก้ภาพถ่ายดิจิทัลของดาวเทียม ด้วยสเกล, การเลื่อน, การหมุน และ การบิดโค้ง สามารถถูกกำหนดอยู่ในรูปแบบ โดยการใ้รูปแบบเชิงเส้น การแปลงแบบนี้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงค่าแกน X และแกน Y ดังแสดงในรูปการแปลงแบบ Affine สามารถแสดงได้เป็น

$$X' = a_0 + b_1x + b_2y; \quad Y' = a_1 + b_3x + b_4y$$

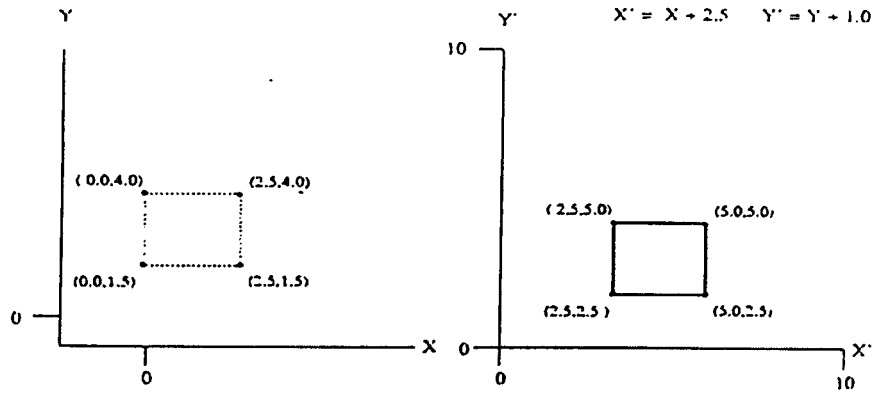
เมื่อ X, Y เป็นค่าพิกัดบนภาพเก่า และ X', Y' คือ พิกัดใหม่ของภาพที่ถูกปรับแก้ โดยทั่ว ๆ แต่ละจุดควบคุมภาคพื้นดิน X และ Y จะเป็นจุดภาพของคอลลัมน์และแถว และค่า X', Y' เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นพิกัดแผนที่ การถดถอยแบบ Least Square จะถูกใช้เพื่อคำนวณหา สัมประสิทธิ์ของการแปลงแบบ Affine (a_0, a_1, b_1, b_2, b_3 และ b_4) เมื่อ b_1 และ b_4 จะเป็นสัมประสิทธิ์ทางของขนาด X และ Y ค่าคงที่ส่วน a_0 และ a_1 คือค่า การแปลความของ X และ Y ในขณะที่ b_2 และ b_3 คือค่าสัมประสิทธิ์ของ X และ Y ที่หมุนหรือบิด ดังนั้น การสมมุติว่าภาพจากพื้นที่ที่แบนราบ มีการปรับแก้เชิงเรขาคณิตสำหรับ สเกล, การเลื่อน, การหมุน และ/หรือ การบิดจะเป็นไปได้โดยใช้ การแปลงแบบ Affine แสดงตามรูปที่ 3.3(a), (b), (c), (d)

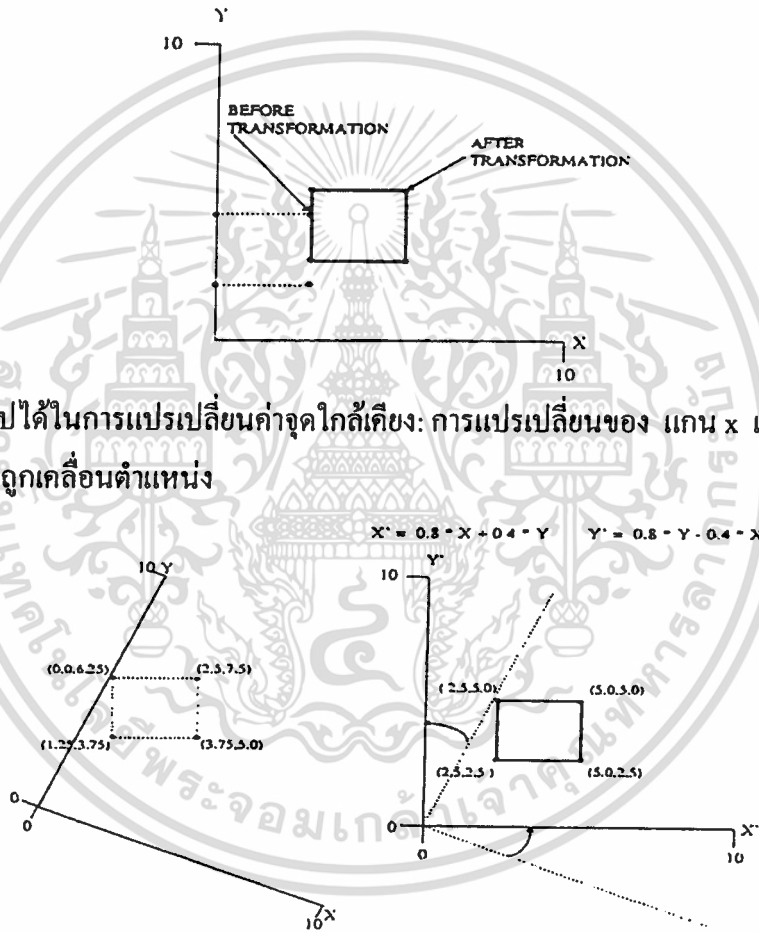


(a) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง : สเกล แกนทั้งสอง ตรงตำแหน่งแกน x และ เปลี่ยนแปลงค่าทางด้านแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

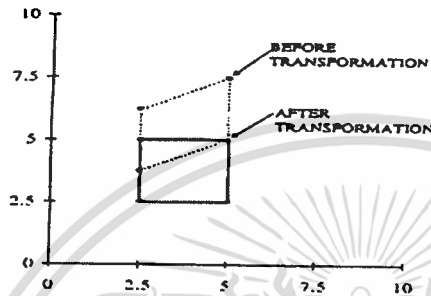
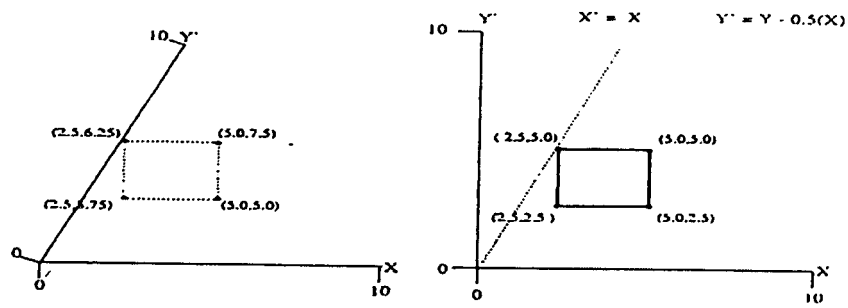


(b) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: การแปรเปลี่ยนของ แกน x และจุดเริ่มต้นของแกน y ถูกเคลื่อนตำแหน่ง



(c) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: การหมุนภาพ แกน x และ แกน y ถูกหมุน

เอกสารนี้จากจุดเริ่มต้นจำนวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: ภาพเฉียง การหมุนเพียงแกนเดียว

รูปที่ 3.3 (a) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง : สเกลแกนทั้งสอง ตรงตำแหน่ง

แกน x และ เปลี่ยนแปลงค่าทางด้านแกน y

(b) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: การแปรเปลี่ยนของแกน x และจุดเริ่มต้นของแกน y ถูกเคลื่อนตำแหน่ง

(c) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: การหมุนภาพแกน x และ แกน y ถูกหมุนจากจุดเริ่มต้น

(d) ความเป็นไปได้ในการแปรเปลี่ยนค่าจุดใกล้เคียง: ภาพเฉียง การหมุนเพียงแกนเดียว

3.5 รูปแบบโพลิโนเมียล (Polynomial Models)

การแปลงแบบ Affine จะเป็นโพลิโนเมียลลำดับที่ 1 การแปลงด้วยโพลิโนเมียลลำดับสูงๆ จะถูกนำมาใช้เมื่อภาพมีบริเวณที่ขรุขระ หรือเมื่อเกิดการผิดเพี้ยนอย่างมาก แสดงตามตารางที่ 3.1 โดยจำนวนของจุดควบคุมภาคพื้นดินต้องเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับ ลำดับของโพลิโนเมียลที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ต้องการ 2 จุดบนเส้นตรง $Y = a_0 + b_1 x$ และ 3 จุด สำหรับพื้นราบ ($Z = a_0 + b_1 x + b_2 x$) เมื่อลำดับของโพลิโนเมียลสูงขึ้น สัมประสิทธิ์ก็จะมากขึ้นตาม และความต้องการจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่น้อยที่สุดก็เพิ่มขึ้นด้วย

ลำดับที่สูงขึ้นของโพลิโนเมียล มักจะต้องการสำหรับการปรับแก้กรณีที่มีความผิดเพี้ยนมาก ซึ่งความผิดเพี้ยนนี้เกิดบนภาพถ่ายดาวเทียม อันเนื่องด้วยมุมกวาดภาพที่กว้าง (ภาพ AVHRR) หรือจุดตั้งของการมองเห็น (nadir viewing) โพลิโนเมียลลำดับที่ 2 หรือ 3 จะนำมาใช้เพื่อการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ความผิดเพี้ยนที่ซับซ้อนเช่นกัน ในขณะที่การแปลง Affine อย่างง่าย จะเพียงพอต่อการปรับแก้ภาพถ่ายที่มีความผิดเพี้ยนไม่มากนัก และมาจากพื้นที่แบนราบ

เมื่อเราพยายามที่จะพัฒนารูปแบบการปรับแก้เชิงสถิติ จุดควบคุมพื้นดินที่เกิดการสุ่มขนาดใหญ่จะต้องการ ในทางอุดมคติ ยิ่งจุดภาพถูกสุ่มให้มีขนาดใหญ่ ก็ยังสามารถปรับแก้ได้ง่าย สมมุติว่าเรามีจุดควบคุมที่มีคุณภาพดีจำนวนมาก ขนาดจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ขนาดของพื้นภาพถ่ายจากภูมิประเทศที่มีลักษณะแบนราบที่มีมุมกริดของถนนที่มีความคมชัดสูง เราอาจต้องการจำนวนแค่จุดควบคุมเพียงจำนวนน้อย อย่างไรก็ตาม ในบางพื้นที่อาจจำเป็นต้อง จุด GCPs จำนวนมากเพื่อให้ได้รูปแบบ การปรับแก้ที่น่าพอใจ

ภาพถ่ายจากภูมิประเทศที่ขรุขระอาจต้องการ GPS หลายจุด สำหรับพัฒนาให้ได้รูปแบบโพลีโนเมียลของการปรับแก้ที่ยอมรับได้ ภาพที่มีจุด GCPs ที่มีคุณภาพต่ำ อาจเนื่องมีจุดตัดของจำนวนถนนน้อย, และจุด GCPs บางจุด เช่น เกาะ คาบสมุทร หรือช่วงแถบจะเป็นตำแหน่งที่ไม่คงทน อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น กลยุทธ์ที่สำคัญคือ ต้องเลือกจุดภาพของ GCPs หลาย ๆ จุดที่กระจายไปทั่วภาพ คำนวณหาพิกัดของจุดเหล่านี้ พัฒนารูปแบบของการปรับแก้บนพื้นฐานของจุด GCPs ทั้งหมด จากนั้นจึงแยกเอาจุด GCPs ที่ยังคงมีค่าผิดพลาดออก ซึ่งกระบวนการนี้จะกระทำต่อเนื่องจนกระทั่งได้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ (± 1 จุดภาพ) และคงเหลือจำนวนของ GCPs ที่น้อยที่สุดไว้

หลังจากการคำนวณพิกัดของจุดภาพและพิกัดของ GCPs ของภาพถ่าย รูปแบบสามารถพัฒนาไปใช้ในการปรับแก้เชิงเรขาคณิตของภาพถ่าย ดังนั้น มันจะพอดีกับการฉายภาพ กรณีที่ไม่มีความผิดพลาด ภาพที่ถูกเลือกที่มี GCPs 4 จุด บนภาพและมีความเกี่ยวข้องกันดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการสอดคล้องกันที่สมบูรณ์ (ไม่มีค่าความผิดพลาด) ระหว่างพิกัดจุดภาพการควบคุมภาคพื้นดินและพิกัดจุดภาพแผนที่ภาพ

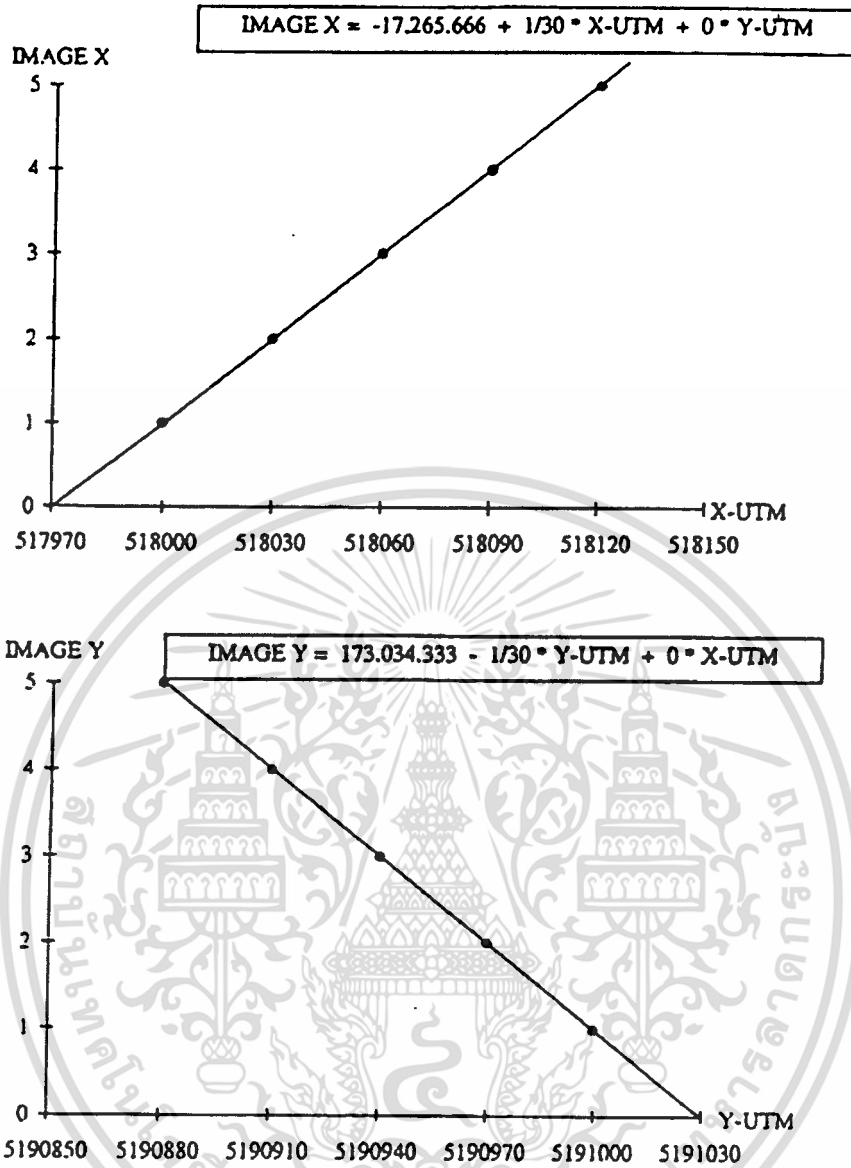
พิกัดภาพ		พิกัด UTM	
จุดภาพ X	จุดภาพ Y	ทางทิศตะวันออก	ทางทิศเหนือ
1	3	518,000	5,190,940
2	1	518,030	5,191,000
3	4	518,060	5,190,910
4	2	518,090	5,190,970
5	5	518,120	5,190,880

การใช้ข้อมูลของจุดควบคุมภาพพื้นดินจากตาราง 3.1 เราสามารถจะพัฒนารูปแบบเชิงเส้นเพื่อที่จะทำนาย UTM ด้านตะวันออกและด้านเหนือจากจุดภาพ X และ Y ใด ๆ แสดงตามรูปที่ 3.4

และใช้รูปแบบการปรับแก้เชิงเส้นทางอุดมคติ เราสามารถปรับแก้ภาพได้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแบบการแก้ไขเชิงเส้นที่สมบูรณ์

	1	2	3	4	5
1	6	5	63	172	17
2	77	37	127	151	39
3	61	35	120	132	38
4	59	58	119	128	113
5	55	54	101	111	112

รูปที่ 3.5 ภาพดิจิทัลที่แก้ไขปรับปรุงเป็นแผนที่กริด UTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้รูปแบบการปรับแก้เชิงเส้นโดยเติมในส่วนที่ว่างบน UTM ที่มีการจัดสรรจุดภาพไว้ แสดงตามรูปที่ 3.6 จากนั้นตรวจสอบโดยการพิจารณาสมการใน คณิต A ตัวอย่างเช่น คอลัมน์ 3 แถว 3

($x - \text{UTM} = 51,800$, $Y - \text{UTM} = 5,190,970$) ดังนั้นจะได้

$$X = -17,256.666 + 1/30 * 518000 = 1$$

$$Y = 173,034.333 + 1/30 * 5,190,970 = 2$$

(จุดภาพ 1,2 จะมีค่าเท่ากับ 77 ดังนั้น กริดบนแผนที่จะถูกใส่ค่านี้ไว้)

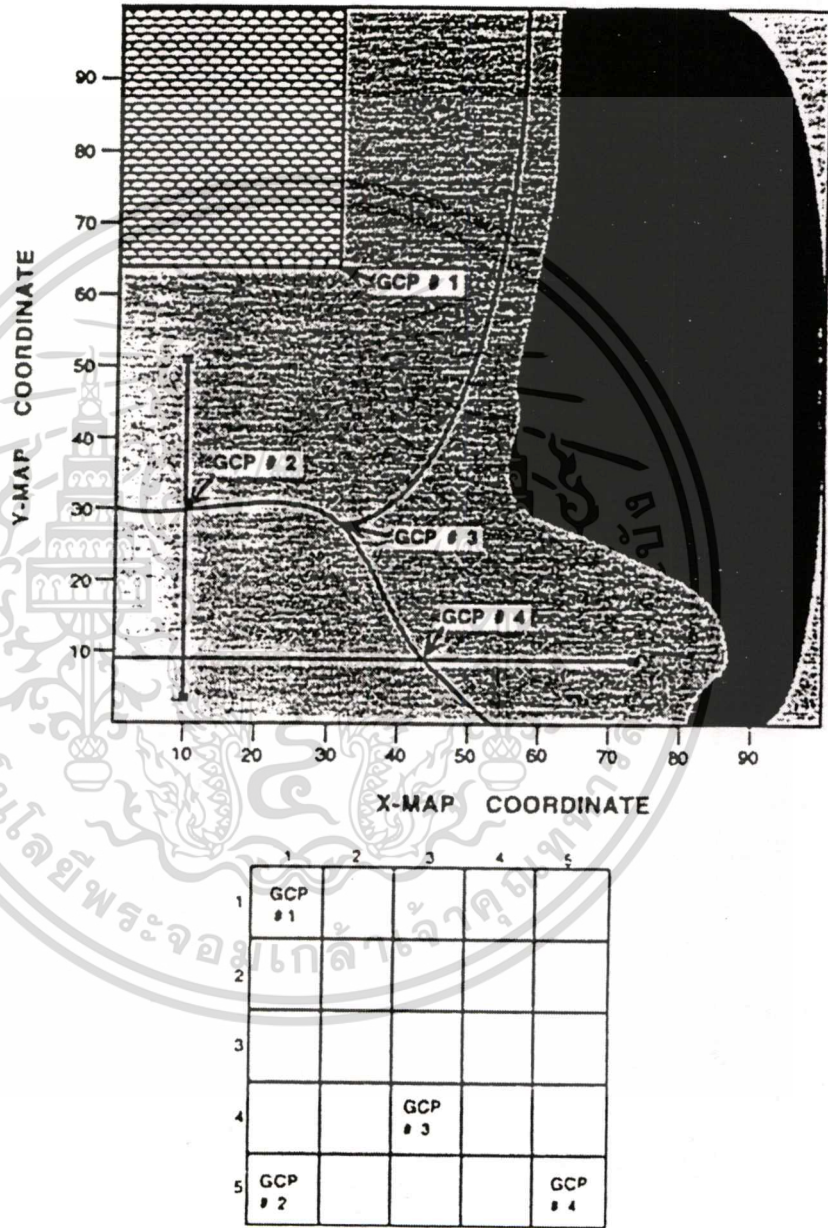
5,191,030							
5,191,000							
5,190,970		77					
5,190,940							
5,190,910							
5,190,880							
5,190,850							
	517,940	517,970	518,000	518,030	518,060	518,090	518,120

รูปที่ 3.6 ค่าที่วางเปล่าของกริดแผนที่ UTM ใช้รูปแบบของการปรับแก้

กรณีตัวอย่างที่มีค่าผิดพลาด ภาพที่เราต้องการจะปรับแก้แสดงในรูปที่ 3.7 และใช้จุดควบคุมภาพพื้นดินที่สำรวจแล้วค่ามีความแม่นยำสูงสุด บนพื้นฐานของจุด GCPs ทั้ง 4 เราสามารถแสดงผลของ GCP ได้ดังตาราง 3.2 เราสามารถใช้วิธีการทางสถิติที่เรียกว่า การถดถอยเชิงเส้น ในการพัฒนารูปแบบของการเปลี่ยนพิกัดจุดภาพไปเป็นพิกัดพื้นดินหรือกล่าวคือ เราพัฒนาสมการ เพื่อทำนายพิกัดจุดภาพสำหรับตำแหน่งบนแผนที่ ดังนั้นการแปลงแบบ Affine จะได้

$$\text{GCPX}_{\text{map}} = 1.731 + 0.0851 (X_{\text{pixel}}) - 0.0526 (Y_{\text{pixel}})$$

$$\text{GCPY}_{\text{map}} = 8.078 - 0.0526 (X_{\text{pixel}}) - 0.0851 (Y_{\text{pixel}})$$



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างของจุดภาพจุดควบคุมพื้นดินและส่วนที่เกี่ยวข้องกับแผนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการเลือกจุดภาพจุดควบคุมพื้นดินและพิกัดของแผนที่ GCP

พิกัด ข้อมูลพิเศษ		พิกัด แผนที่	
X	Y	X	Y
1	1	31	64
1	5	10	30
3	4	32	28
5	3	44	9

เราสามารถคำนวณหาค่าผิดพลาดของ X และ Y ของรูปแบบการปรับแก้สำหรับตำแหน่งของแต่ละ GCP ได้ตามตารางที่ 3.3 ในบางครั้งเป็นการยากที่จะระบุตำแหน่งของจุด GCP อย่างแม่นยำบนภาพ ดังนั้นจุดภาพบางจุดอาจจะไม่พอดีกับรูปแบบการปรับแก้ด้วยการคำนวณค่าความผิดพลาดของแต่ละตำแหน่งของจุด GPC เราสามารถประเมินว่าจุดภาพควบคุมพื้นดินใดที่ไม่พอดีกับรูปแบบการปรับแก้ความผิดพลาดนี้ เรียกว่า ความผิดพลาดที่เหลือตกค้าง หรือ root squared error และจะเป็นพื้นฐานของระยะทางของเส้นตรงระหว่างตำแหน่งจุดภาพที่ทำนายกับจุดภาพจริงแสดงตามรูปที่ 3.8 เราสามารถคำนวณหา root squared error เพื่อเปรียบเทียบว่าจุด GCPs ใดเหมาะสมกับรูปแบบเชิงเส้น ตามตารางที่ 3.4

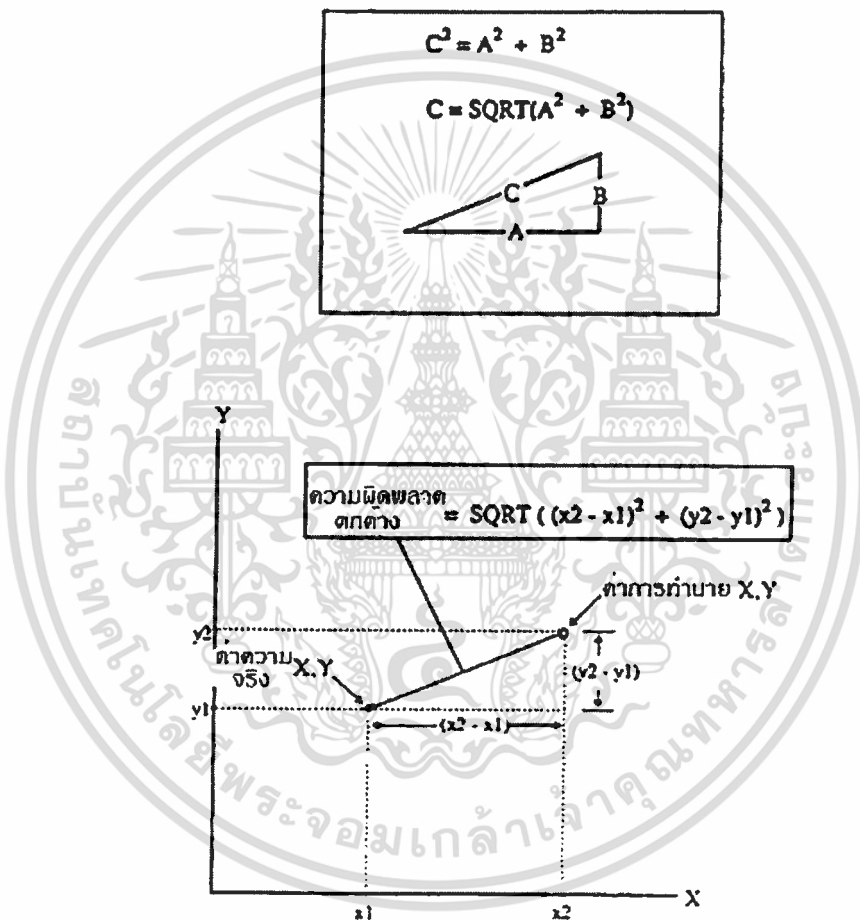
ตารางที่ 3.3 ความผิดพลาดตกค้างจากการแก้ไขแบบเชิงเส้น

ค่าความผิดพลาดตกค้างของ X		
ค่าจริงของ X	ค่าที่ถูกทำนายของ X	ค่าผิดพลาดตกค้าง X
1	$1.731 + 0.0851(31) - 0.0526(64) = 1.003$	$1.003 - 1 = 0.003$
1	$1.731 + 0.0851(10) - 0.0526(30) = 1.004$	$1.004 - 1 = 0.004$
3	$1.731 + 0.0851(32) - 0.0526(28) = 1.004$	$2.980 - 3 = -0.020$
5	$1.731 + 0.0851(44) - 0.0526(9) = 5.002$	$5.002 - 5 = 0.002$

ค่าความผิดพลาดตกค้างของ Y		
ค่าจริงของ Y	ค่าที่ถูกทำนายของ Y	ค่าผิดพลาดตกค้าง Y
1	$8.078 - 0.0526(31) - 0.0851(64) = 1.001$	$1.001 - 1 = -0.001$
5	$8.078 - 0.0526(10) - 0.0851(30) = 4.999$	$4.999 - 5 = -0.001$
4	$8.078 - 0.0526(32) - 0.0851(28) = 4.012$	$4.012 - 4 = 0.012$
5	$8.078 - 0.0526(44) - 0.0851(9) = 4.998$	$4.998 - 5 = -0.002$

ตารางที่ 3.4 ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน

จุดควบคุม ภาคพื้นดิน #	ค่าความผิดพลาด
1	$SQRT(0.003^2 + 0.001^2) = 0.003$
2	$SQRT(0.004^2 + 0.001^2) = 0.004$
3	$SQRT(0.020^2 + 0.012^2) = 0.023$
4	$SQRT(0.002^2 + 0.002^2) = 0.003$



รูปที่ 3.8 การคำนวณรูทกำลังสองค่าความผิดพลาดของระยะเส้นตรงระหว่างค่าที่ทำนาย

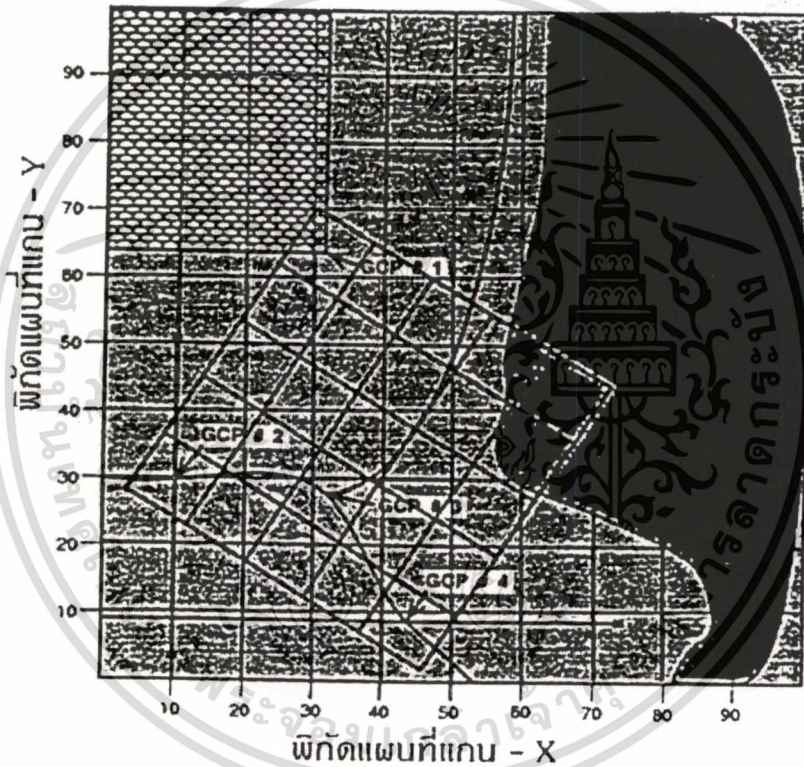
จากตัวอย่างจุด 3 จะมีความเหมาะสมกับรูปแบบน้อยที่สุดในทางปฏิบัติอาจเกิดขึ้น เนื่องจาก ตำแหน่งของ GCPs ขาดต่อการแสดงรายละเอียดบนภาพ ค่าผิดพลาดเฉลี่ย จะเรียกว่า RMS (Root Mean Square) และจะถูกบันทึกเป็นเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของการปรับแก้ เช่น ถ้าเราทำการปรับแก้ ภาพถ่ายที่มีค่าผิดพลาด RMS เท่ากับ 1 โดยทั่วไปเราคาดหวังว่าค่าความแม่นยำของพิกัดจุดภาพของภาพที่ทำการปรับแก้ จะประมาณ ± 1 จุดภาพ อีกนัยหนึ่ง RMS เป็น 1 ของการปรับแก้ ข้อมูล 30 เมตร ของ Landsat เป็นตามความหมายนั้น เช่น สมมติ GCP กระจายได้ดินบนภาพ การไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาดหวังความแม่นยำของตำแหน่งเฉลี่ยของจุดภาพที่ทำการปรับแก้ เท่ากับ ± 30 เมตร จากตำแหน่งจริงบนภาพ ซึ่งค่าผิดพลาด RMS สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\frac{0.003 + 0.004 + 0.0023 + 0.003}{4} = 0.008$$

4

ซึ่งรูปแบบเชิงเส้นที่ทำการพัฒนา จะสามารถแสดงรูปภาพได้ ดังรูปที่ 3.9

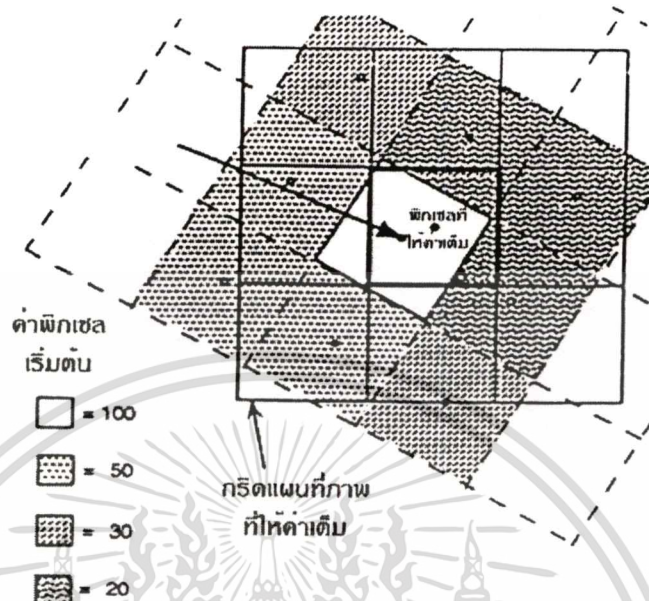


รูปที่ 3.9 ภาพต้นแบบวางด้านตะวันออกเหนือแผนที่

3.6 วิธีการชักภาพกลับคืน (Pixel Resampling Methods)

เราสามารถพิจารณาถึงการปรับแก้ภาพถ่าย ในทำนองเดียวกันกับการค้นพบจุดภาพต้นแบบที่ไม่โค้งงอ จากนั้นทำการคลุมบนส่วนบนของแผนที่ที่กว้าง แต่ละจุดภาพกริดจะถูกกำหนดค่าจุดภาพจากภาพถ่ายอย่างไรก็ตาม ภาพถ่ายจะไม่เมตซ์(Match) กับแผนที่กริด แบบจุดภาพต่อจุดภาพแสดงตามรูปที่ 3.10 ดังนั้น จุดภาพของภาพต้นแบบต้องการถูกชักภาพกลับคืนเพื่อใส่ในจุดภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่ที่ทำกรปรับแก้ ซึ่งการชักภาพกลับคืนมีด้วยกัน 3 วิธี นั่นคือ 1. Nearest Neighbor 2. Bilinear Interpolation และ 3. Cubic Convolution



รูปที่ 3.10 การชักตัวอย่างภาพค่าที่ใกล้เคียงกันมากเพื่อให้กริดแผนที่ภาพเต็ม

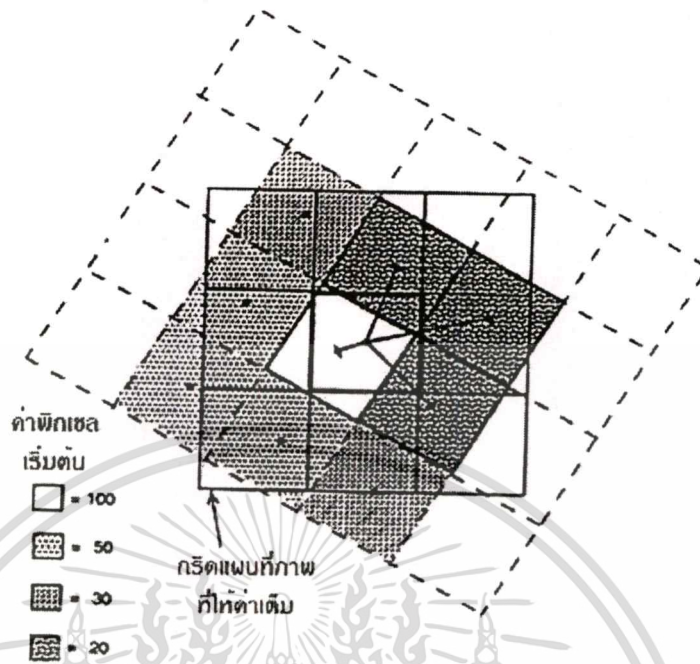
3.6.1 Nearest Neighbor Resampling

การชักตัวอย่างภาพแบบนี้ แต่ละจุดภาพ(ที่ปรับแก้แล้ว) จะแสดงค่าดิจิทัลของจุดภาพใกล้เคียงจากภาพต้นแบบ ในรูปที่ 3.10 ค่าของจุดภาพต้นแบบที่ตำแหน่งของจุดภาพที่ทำการปรับแก้มีค่าดิจิทัลเท่ากับ 100

วิธีการชักตัวอย่างภาพแบบนี้ จะเป็นวิธีที่เร็วที่สุดใน 3 วิธี และจะเหลือค่าจุดภาพต้นแบบที่อาจจะมีควมสำคัญในการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนแถบแยกสี อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะให้ขอบมีลักษณะเป็นฟันเลื่อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริเวณที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น เช่น ถนน และแนวชายฝั่งที่ปรากฏเป็นรูปบันได

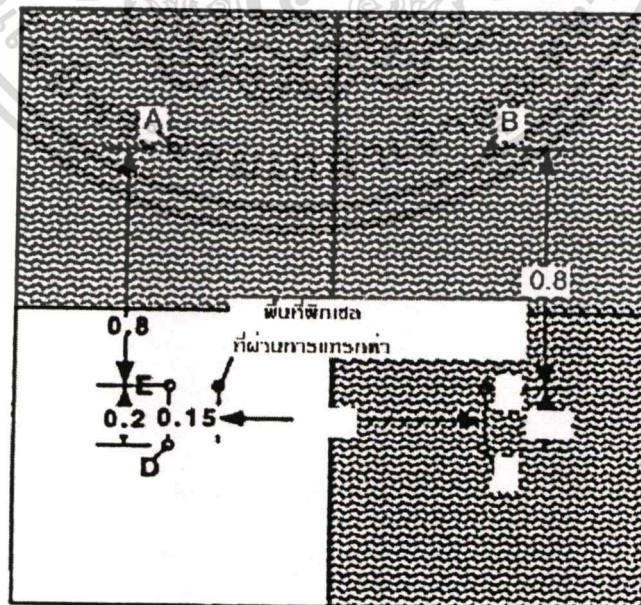
3.6.2 Bilinear Interpolation Resampling

ใน Bilinear Interpolation Resampling ค่าดิจิทัลของเอาต์พุตแต่ละจุดภาพจะเป็นน้ำหนักเฉลี่ยของค่าใกล้เคียงภาพต้นแบบ 4 ค่า แสดงตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การชักตัวอย่างภาพแบบ Bilinear ของพิกัดจุดภาพใกล้เคียงเพื่อเติมในแผนที่กริด

Bilinear interpolation คือ การแทรกข้อมูลใน 2 มิติ ตัวอย่างเช่น ภาพในรูปที่ 3.12 จะเป็นภาพกึ่งกลางของรูป 3.11 ที่ขยายให้มีขนาดใหญ่ พบว่าต้นแบบจากจุดภาพที่ใกล้เคียงทั้ง 4 จุด คือ $A = 20$; $B = 20$; $C = 20$; $D = 100$ ใช้การแทรกค่าแบบเชิงเส้นเพื่อหาค่าที่จุด E และ F



รูปที่ 3.12 แสดงการชักตัวอย่างภาพแบบ Bilinear โดยการแทรกพิกัดจุดภาพที่ทิศทางของ X และ Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเชิงพาณิชย์เท่านั้น เมื่ออยู่ในพื้นที่สาธารณะหรือบนอินเทอร์เน็ต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแทรกค่าข้อมูลในทิศทาง Y

$$\text{ที่จุด E : ย่านของค่าจากจุดภาพ A ไปยัง B} = 100 - 20 = 80$$

$$\text{ค่าจากการแทรกข้อมูล} = 20 + 0.8(80) = 84$$

$$\text{ที่จุด F : ย่านของค่าเท่ากับ} 20 - 20 = 20$$

$$\text{ค่าจากการแทรกข้อมูล} = 20 + 0.8(0) = 20$$

ขั้นตอนสุดท้าย คือ การแทรกค่าในทิศทาง X ระหว่าง จุด E และจุด F

- การแทรกค่าข้อมูลในทิศทาง X

$$\text{พิสัยของค่า} = 84 - 20 = 64$$

$$\text{ค่าจากการแทรกค่าข้อมูล} = 20 + 0.85(64) = 74.4$$

ดังนั้นค่าจุดภาพกริดที่จะพิจารณาคือ 74

พบว่าค่าจุดภาพที่ใกล้กับจุดภาพแผนที่ จะมีอิทธิพลมากในการชักภาพกลับคืนเปรียบเทียบกับจุดภาพที่อยู่ไกลออกไป และพบว่าจะได้ค่าการชักภาพที่มีความแตกต่างมากจากการใช้ การแทรกค่าแบบ bilinear (74) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการชักภาพ แบบ nearest neighbor(100) การแทรกค่าแบบ bilinear จะสร้างภาพที่ปรับแก้แล้ว ที่มีความเรียบมากกว่าภาพที่เกิดจากวิธี nearest neighbor โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บนภาพที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้เป็นการหาค่าเฉลี่ยของค่าที่ใกล้จุดต้นแบบ 4 จุด วิธีการนี้อาจจะไม่ดีพอถ้าปรารถนาจะรักษาค่าของจุดต้นแบบเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

3.6.3 Cubic Convolution Resampling

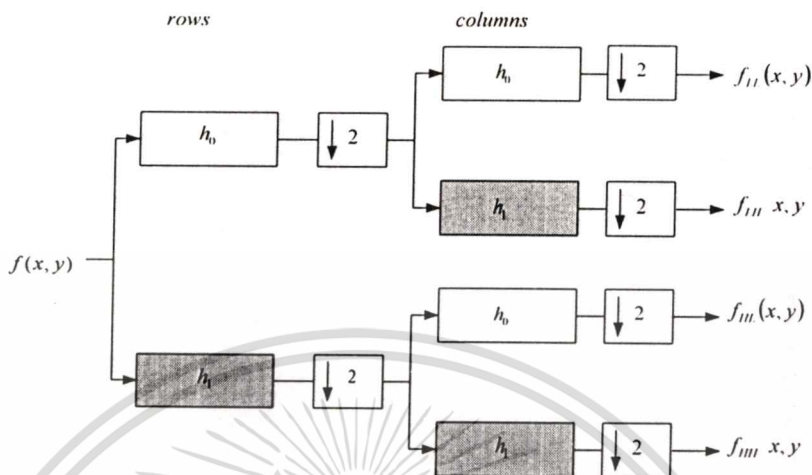
วิธีการนี้จะเป็นการหาค่าเฉลี่ยของจุดที่ใกล้จุดต้นแบบ 16 จุด ดังนั้นจะทำการปรับแก้ขนาดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี nearest neighbor หรือ การแทรกค่าแบบ bilinear ภาพที่ถูกชักภาพกลับคืนด้วยวิธีการนี้ จะมีความเรียบ แต่ค่าของจุดต้นแบบจะหายไปด้วยวิธีการนี้

3.7 การแปลงเวฟเล็ทแบบแบ่งช่วง 2 มิติ

ในการขยายมิติของการแปลงเวฟเล็ทจาก 1 มิติไป 2 มิติ จะมีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณี 1 มิติ ในที่นี้กล่าวถึงการแปลงข้อมูลภาพ 2 มิติ ซึ่งนิยามพิจารณามิติในแนวนอนและแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.13 โดยเริ่มจากภาพต้นแบบ $f(x, y)$ จะถูกกรองไปตามแนวแถว (Row) ด้วยฟิลเตอร์การกรองความถี่ต่ำ h_0 และฟิลเตอร์การกรองความถี่สูง h_1 จากนั้นนำผลที่ได้มาลดจำนวนข้อมูลลง 2 เท่า โดยการเก็บข้อมูล 1 คอลัมน์ (Column) จากข้อมูล 2 คอลัมน์ จะได้เอาต์พุตความถี่สูงและความถี่ต่ำ จากนั้นเอาต์พุตทั้งสองจะถูกกรองตามแนวคอลัมน์และลดจำนวนข้อมูลลง 2 เท่าโดยการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเนื้อหาไปเผยแพร่บนหน้าเว็บไซต์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มา 1 แฉวจากข้อมูล 2 แฉวจะได้ภาพแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ $f_{LL}(x,y)$ จำนวน 1 ภาพและภาพแบนด์ย่อยความถี่สูงจำนวน 3 ภาพคือ $f_{LH}(x,y)$ $f_{HL}(x,y)$ และ $f_{HH}(x,y)$ โดยแต่ละภาพจะมีขนาดลดลงเป็น 1/4 เท่าของภาพต้นแบบจากการแปลงเวฟเล็ทแต่ละระดับ



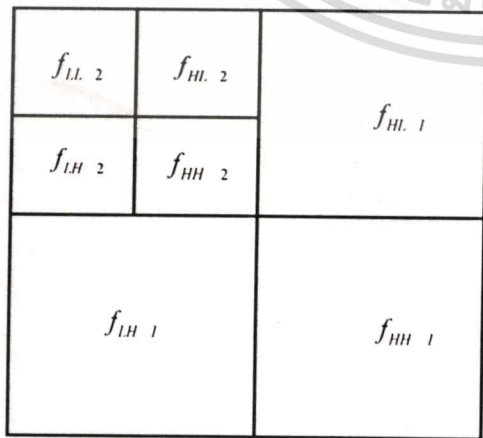
รูปที่ 3.13 การแยกองค์ประกอบของข้อมูลภาพ 1 ระดับโดยใช้หลักการของฟิลเตอร์แบงด์

การแปลงเวฟเล็ทของภาพ 1 ครั้ง (Stage) จะได้รูปที่มีขนาดเท่ากันจำนวน 4 ภาพ และการแปลงเวฟเล็ทที่สามารถกระทำกับข้อมูลภาพที่องค์ประกอบความถี่ต่ำไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 3.14

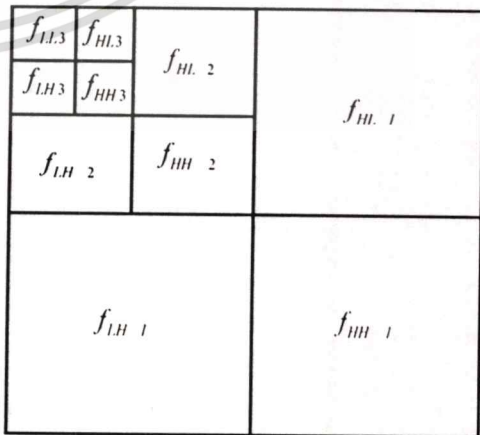


(ก) ข้อมูลภาพต้นแบบ

(ข) การแปลงเวฟเล็ท 1 ระดับ



(ค) การแปลงเวฟเล็ท 2 ระดับ

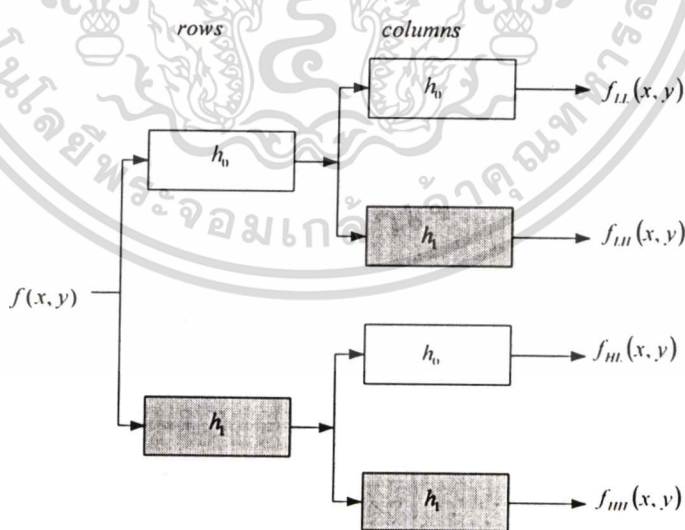


(ง) การแปลงเวฟเล็ท 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การแปลงเวฟเล็ทแบบสเตชันนารี

โดยทั่วไปแล้วการแปลงเวฟเล็ทแบบคิสคริทจะใช้ในจุดประสงค์ของการบีบอัดสัญญาณ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ทได้ถูกจัดตัวอย่างเริ่มต้นที่เกณฑ์ Nyquist การแทนความไม่ซ้ำซ้อน (non-redundant) สัมประสิทธิ์เวฟเล็ท และ จำนวนผลรวมของแซมปลิงในการแทนเท่ากับจำนวนผลรวมของพิกเซลภาพ การแปลงเวฟเล็ทแบบคิสคริทนี้ไม่เป็นที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา หรือการตรวจจับปัญหา ข้อเสียที่สำคัญของการแทนความไม่ซ้ำซ้อนสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทนี้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโดยการแปลงคุณสมบัติที่นอนั้น ระดับที่แสดงในภาพจะถูกแทนด้วยระดับเวฟเล็ทที่เป็นอิสระต่อกันจากตำแหน่งในภาพของระดับเวฟเล็ท เพื่อที่จะรักษาการเปลี่ยนแปลงโดยการแปลงจะต้องไม่มีการทำคาน์แซมปลิง (Downsampling) และภาพที่ได้จากการแยกส่วนจะรักษาขนาดเท่ากับภาพเดิม และ เรียกว่าการแปลงเวฟเล็ทแบบสเตชันนารี (stationary wavelet transform) การแยกภาพต้นแบบออกเป็นองค์ประกอบย่อยทางความถี่ได้แสดงดังรูปที่ 3.15 โดยเริ่มจากภาพต้นแบบ $f(x,y)$ จะถูกกรองไปตามแนวแถว (Row) ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ h_0 และด้วยตัวกรองความถี่สูง h_1 จะได้เอาต์พุตความถี่ต่ำและความถี่สูง จากนั้นเอาต์พุตทั้งสองจะถูกกรองตามแนวคอลัมน์ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ h_0 และตัวกรองความถี่สูง h_1 อีกครั้งหนึ่ง ก็จะได้ภาพแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ $f_{LL}(x,y)$ จำนวน 1 ภาพและภาพแบนด์ย่อยความถี่สูงจำนวน 3 ภาพคือ $f_{LH}(x,y)$ $f_{HL}(x,y)$ และ $f_{HH}(x,y)$ ตามลำดับ โดยแต่ละภาพจะมีขนาดเท่ากับขนาดของภาพต้นแบบเนื่องจากว่าไม่ต้องการลดจำนวนข้อมูลลง 2 เท่า กล่าวคือไม่มีการทำคาน์แซมปลิง (Downsampling)



รูปที่ 3.15 การแยกองค์ประกอบด้วยการแปลงเวฟเล็ทแบบสเตชันนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การถ่ายโอนเชิงระนาบ

Geometric Transformation บางครั้งจะถูกเรียกว่าเป็น Rubber sheet transformation เพราะสามารถกระบวนการการทำงานคล้ายกันกับการพิพภาพบนแผ่นยางแล้วทำการตรึงแผ่นยางนี้ไว้ การทำงานทางด้านดิจิตอลอิมเมจโปรเซสซึ่ง Geometric Transformation ประกอบด้วยการทำงานพื้นฐาน 2 ส่วนคือ 1 Spatial Transformation ที่ซึ่งอธิบายการจัดการของจุดภาพบนภาพแนวราบใหม่ และส่วนที่ 2 คือ Gray Level Interpolation ซึ่งเป็นการกำหนด ระดับสีเทา ของจุดภาพบนภาพ spatial transformation

3.9.1 Spatial Transformation

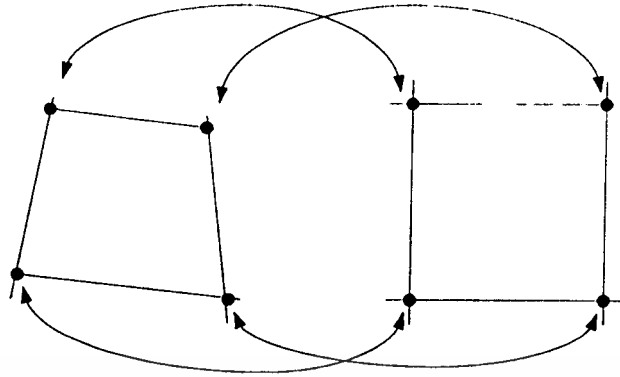
สมมติให้ภาพ f ที่มีพิกัด (x, y) เกิดความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต ทำให้เกิดภาพ g ที่มีพิกัด (x', y') สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$x' = r(x, y) \quad (3.1)$$

และ

$$y' = s(x, y) \quad (3.2)$$

เมื่อ $r(x, y)$ และ $s(x, y)$ เป็น spatial transformation ที่ทำให้เกิดภาพที่ผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต $g(x', y')$ ถ้า $r(x, y) = x/2$ และ $s(x, y) = y/2$ ความผิดเพี้ยนจะทำให้ขนาดของ $f(x, y)$ หดตัวลงเท่าครึ่งใน spatial ทั้งสอง ถ้ารู้การวิเคราะห์ $r(x, y)$ และ $s(x, y)$ การชดเชย $f(x, y)$ จากภาพที่ผิดเพี้ยน $g(x', y')$ โดยการใช้ส่วนกลับของการถ่ายโอนอาจจะเป็นไปได้ แต่ในทางปฏิบัติ การคำนวณหาค่าเซ็ทของฟังก์ชัน $r(x, y)$ และ $s(x, y)$ ที่อธิบายกระบวนการผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิตที่ได้รับอาจเป็นไปได้ วิธีการที่ถูกใช้บ่อยครั้งเพื่อแก้ปัญหานี้ คือการกำหนดตำแหน่ง spatial ของจุดภาพใหม่โดยใช้จุดตรึง (tiepoint) ซึ่งเป็น subset ของจุดภาพที่รู้ตำแหน่งที่แน่นอน โดยจะกำหนดในภาพอินพุตที่ผิดเพี้ยนกับภาพเอาต์พุตที่ได้รับการแก้ไขแล้ว รูปที่ 3.16 แสดงพื้นที่ของสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าในภาพที่เกิดการผิดเพี้ยนกับตำแหน่งเดียวกันในภาพที่ได้รับการแก้ไข มุมของสี่เหลี่ยมจะเป็นตำแหน่งของจุดตรึงที่ตรงกัน สมมุติว่ากระบวนการการผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต ภายในพื้นที่สี่เหลี่ยมถูกลบด้วยสมการ bilinear คู่หนึ่ง



รูปที่ 3.16 แสดงจุดตรึงที่ตรงกันระหว่างภาพทั้งสอง

ดังนั้น

$$r(x, y) = C_1x + C_2y + C_3xy + C_4 \quad (3.3)$$

และ

$$s(x, y) = C_5x + C_6y + C_7xy + C_8 \quad (3.4)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.13 และ 3.14 จะได้

$$x' = C_1x + C_2y + C_3xy + C_4 \quad (3.5)$$

$$y' = C_5x + C_6y + C_7xy + C_8 \quad (3.6)$$

จะพบว่าจะมีตำแหน่งของจุดตรึงทั้งหมด 8 ตำแหน่งซึ่งสมการนี้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 8 ตัวแปรได้ ซึ่งสัมประสิทธิ์จะประกอบขึ้นเป็นแบบจำลองความคิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิตเพื่อใช้ถ่ายโอนจุดภาพทั้งหมดภายในพื้นที่สี่เหลี่ยมซึ่งกำหนดโดยจุดตรึง โดยทั่วไปจำนวนของจุดตรึงที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างขอบเขตรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งครอบคลุมภาพที่ได้รับทั้งหมด ซึ่งแต่ละกรอบสี่เหลี่ยมก็จะมีสัมประสิทธิ์เฉพาะของตัวเอง

หลังจากที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์แล้ว กระบวนการที่จะใช้เพื่อสร้างภาพที่ถูกต้องจะไม่ยุ่งยาก ถ้าเราต้องการหาค่าของภาพที่ไม่ผิดเพี้ยนที่จุดใดๆ (x_0, y_0) เราจำเป็นต้องจะต้องรู้ตำแหน่งบนภาพ $f(x_0, y_0)$ ที่ผิดเพี้ยนที่ตรงกัน ซึ่งทำได้โดยการแทน (x_0, y_0) ในสมการที่ 3.5 และ 3.6 เพื่อให้ได้พิกัดของภาพที่ผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต (x'_0, y'_0) และค่าของจุดบนภาพที่ผิดเพี้ยนที่ตรงกันกับ (x'_0, y'_0) ก็คือ $g(x'_0, y'_0)$ ดังนั้นเราสามารถที่จะหาค่าของภาพที่สร้างกลับคืนได้โดยการให้ $\hat{f}(x_0, y_0) = g(x'_0, y'_0)$ ดังตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการสร้าง $\hat{f}(0,0)$ เราแทนที่ (x, y) ด้วย $(0,0)$ ในสมการที่ 3.2 และ 3.3 เพื่อให้ได้ คู่ของพิกัด (x', y') จากนั้นเราให้ $\hat{f}(0,0) = g(x', y')$ ที่ซึ่ง x' และ y' ก็คือค่าพิกัดที่เพิ่งได้มา ขั้นตอนต่อมาคือแทนที่ $(x, y) = (0,1)$ ในสมการที่ 3.2 และ 3.3 ก็จะได้คู่ของพิกัด (x', y') อีกค่าหนึ่ง และ ให้ $\hat{f}(0,1) = g(x', y')$ เป็นค่าของพิกัดเหล่านี้

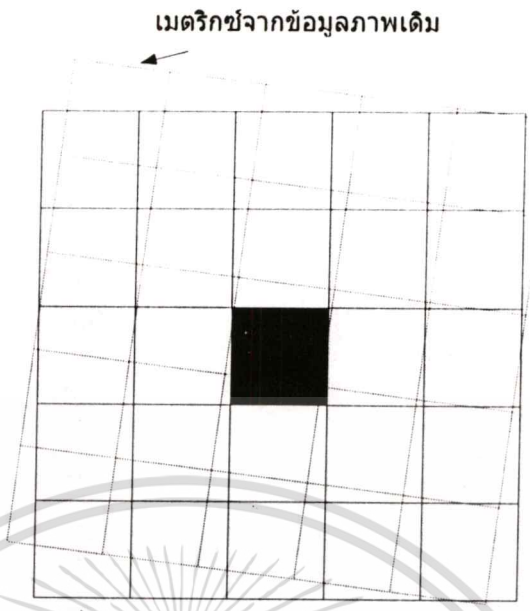
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่น กระบวนการนี้จะต่อเนื่องในรูปแบบจุดภาพต่อจุดภาพและแถวต่อแถว จนกว่าจะได้อะเรย์ซึ่งจะมีขนาดที่ไม่ใหญ่กว่าขนาดของภาพ g ส่วนการสแกนในแนวคอลัมน์ก็จะให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุไว้เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อที่จะรักษากรอบสีเหลืองและให้ได้ตำแหน่งของจุดภาพที่ต้องการ จุดตรงจะต้องมีความมั่นคงและแน่นอน ในการประยุกต์ใช้งานอย่างเช่นระบบการเกิดภาพบางอย่างมีลักษณะทางกายภาพเป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (เช่นจุดที่เป็นโลหะ) ทำให้เกิดกลุ่มของจุดที่ทราบค่าแน่นอน โดยตรงบนภาพที่ได้รับมานั้น หากภาพเกิดความผิดเพี้ยนด้วยกระบวนการใดๆก็ตามหลังจากนั้น เช่นกระบวนการการแสดงผลภาพหรือกระบวนการสร้างภาพกลับคืน ภาพก็จะสามารถได้รับการแก้ไขเชิงเรขาคณิต ด้วยการใช้เทคนิคที่ได้อธิบายข้างต้น

3.9.2 Resampling และ Gray-Level Interpolation

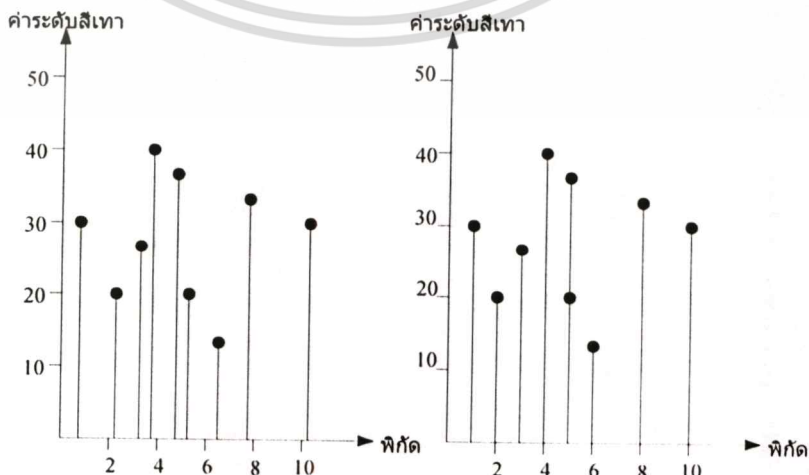
ภายหลังจากที่ได้มีการกำหนดพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points) ทั้งของภาพอ้างอิงและภาพที่ต้องปรับแก้ให้สอดคล้องหรือสัมพันธ์กันในแต่ละตำแหน่งของข้อมูลภาพ สำหรับการปรับแก้ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิต ซึ่งผลที่ได้ทำให้จุดภาพจำนวนมากมีพิกัดของข้อมูลอยู่ในตำแหน่งเป็นทศนิยมไม่สามารถที่จะแสดงผลออกทางจอภาพได้ และในพิกัดที่เป็นจำนวนเต็มบางตำแหน่งกลับไม่มีข้อมูลอยู่เลยและด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องนำข้อมูลภาพที่ได้มาทำการชักตัวอย่างข้อมูลภาพใหม่ (Resampling) เพื่อที่จะได้ปรับพิกัดของข้อมูลภาพให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม กล่าวคือได้พิกัดภาพที่เป็นจำนวนเต็ม จนกระทั่งแสดงผลหน้าจอได้ แต่การจัดข้อมูลภาพดังกล่าวจะต้องอาศัยวิธีการแทรกค่า (Interpolation) ของข้อมูล ในตำแหน่งที่ไม่มีข้อมูลภาพปรากฏอยู่เพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์มากขึ้น ถือได้ว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นวิธีการหนึ่งภายหลังการปรับแก้ความผิดเพี้ยนของข้อมูลภาพเชิงเรขาคณิตที่ใช้กันทั่วไป

เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่สามารถแสดงผลทางจอภาพและเพิ่มเติมข้อมูลภาพบางส่วนที่ขาดหายไป ภายหลังจากการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิตของข้อมูลภาพเพื่อให้ได้ลักษณะข้อมูลภาพเหมือนกับต้นฉบับมากที่สุด ซึ่งในการชักตัวอย่างข้อมูลภาพสามารถที่จะกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การชักตัวอย่างข้อมูลภาพโดยพิจารณาจากพิกัดภาพใกล้เคียง (Nearest neighbor) และการแทรกค่าข้อมูล (Interpolation) ให้กับข้อมูลภาพที่มีค่าแน่นอนสองค่า ดังแสดงในรูปที่ 3.17 แสดงการชักตัวอย่างข้อมูลภาพ สังกะจากเมตริกซ์เส้นทึบซึ่งเกิดจากการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต ที่ได้วางซ้อนทับอยู่บนเมตริกซ์เส้นประซึ่งเป็นเมตริกซ์เดิมก่อนที่จะมีการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต จะสังเกตเห็นว่าตำแหน่งของพิกัดภาพที่แสดงในภาพทั้งสองนั้น ไม่ได้ทับกันพอดี แต่จะเป็นลักษณะเหลื่อมกัน และพิกัดภาพในส่วนที่ได้เรเงานั้นจะซ้อนทับอยู่บนพิกัดภาพเดิมที่เป็นเส้นประทั้ง 4 จุดภาพ เป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ในกรณีที่ต้องการนำภาพดังกล่าวไปพิจารณาต่อในอนาคตหรือเพื่อการแสดงผลออกทางจอภาพ



รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบเมตริกซ์ทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต

การชักตัวอย่างภาพข้อมูลจากพิกัดใกล้เคียงถือได้ว่าเป็นวิธีการชักตัวอย่างภาพข้อมูลแบบง่ายที่สุด เนื่องจากกระทำได้โดยง่าย กล่าวคือ ภายหลังจากที่มีการปรับแก้ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตในข้อมูลภาพเรียบร้อยแล้ว ผลของพิกัดใหม่ที่ได้จะอยู่ในรูปของทศนิยม ซึ่งไม่สามารถแสดงผลบนจอภาพได้ แต่การชักตัวอย่างข้อมูลภาพนั้นจะเป็นการสุ่มเอาพิกัดของภาพที่อยู่ใกล้ที่สุดมาแทนพิกัดที่เป็นจำนวนทศนิยมหรือพิกัดที่ขาดหายไป เหนือนี้ก็จะถือได้ว่าเป็นการชักตัวอย่างข้อมูลภาพใหม่ได้ ทั้งยังสามารถนำภาพมาแสดงผลบนจอภาพได้ จากรูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้ความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตที่อยู่ในรูปของทศนิยม นำมาทำการปรับค่าให้อยู่ในรูปของจำนวนเต็ม



รูปที่ 3.18 การชักตัวอย่างข้อมูลภาพจากพิกัดใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการที่ได้อธิบายก่อนหน้านี้เป็นขั้นตอนในกรณีที่ค่าของพิกัด (x, y) เป็นจำนวนเต็มเพื่อให้เกิดการสร้างภาพ $f(x, y)$ แต่อย่างไรก็ตาม ขึ้นอยู่กับค่าของสัมประสิทธิ์ C_i จากสมการที่ 3.5 และ 3.6 มักทำให้ค่าของ x' และ y' ที่ไม่เป็นจำนวนเต็มได้ เนื่องจากภาพที่เกิดความผิดเพี้ยน g เป็นแบบดิจิตอลซึ่งค่าของจุดภาพจะถูกกำหนดให้เป็นพิกัดจำนวนเต็ม ดังนั้นการใช้ค่า x' และ y' ที่ไม่เป็นจำนวนเต็ม จะเป็นเหตุให้การซ้อนภาพในภาพ g ที่ไม่มี gray level เป็นเรื่องที่ถูกจำกัด นั่นแสดงว่าค่าของ gray level ที่ควรจะเป็นที่ตำแหน่งนั้น ขึ้นอยู่กับค่าของจุดภาพที่พิกัดจำนวนเต็ม ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น เทคนิคที่ใช้เรียกว่า gray level interpolation

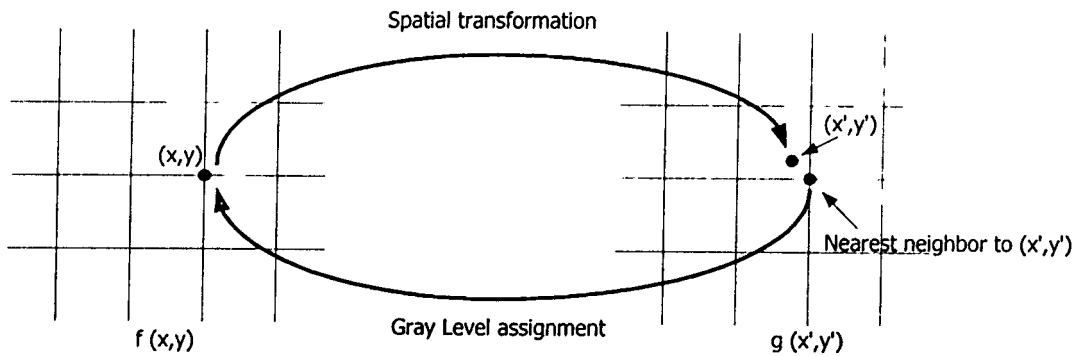
รูปแบบอย่างง่ายของ gray level interpolation มีพื้นฐานบนค่าความใกล้เคียง วิธีการนี้อาจเรียกว่า Zero order interpolation ซึ่งแสดงตามรูปที่ 3.19 จากรูปจะเห็น การซ้อนของพิกัดจำนวนเต็ม (x, y) กับพิกัดที่เป็นเศษส่วน (x', y') ด้วยสมการที่ 3.2 และ 3.3 การเลือกพิกัดจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงกับ (x', y') และการทำงานของ gray level ที่เป็นพิกัดใกล้เคียงกับจุดภาพบน (x, y)

ถึงแม้ว่าการแทรกค่าจากพิกัดใกล้เคียงเป็นรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนมาก แต่วิธีนี้ก็มิอุปสรรคในเรื่องของการเกิดภาพที่ไม่ต้องการ เช่นการผิดเพี้ยนของขอบเส้นตรงในภาพที่มีความละเอียดสูง การใช้เทคนิคอื่นจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า เช่นการใช้ cubic convolution interpolation ที่ซึ่งเหมาะสมกับพื้นผิว ด้วยจำนวนของพิกัดใกล้เคียงที่มากขึ้น ในกรณีที่ต้องการได้ค่าการประมาณ gray level ที่เรียบที่จุดใดๆที่ต้องการ พื้นที่ทั่วไปที่ต้องการการประมาณค่าที่เรียกว่าเช่น ภาพ 3 มิติ หรือภาพที่เกี่ยวกับทางการแพทย์ แต่ค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีการนี้จะสูงเช่นกัน ดังนั้นสำหรับ งานทางด้านอิมเมจโปรเซสซึ่งต่างๆไป วิธีการของ bilinear interpolation จะมีลักษณะของการใช้ค่าของพิกัดใกล้เคียง 4 ตำแหน่ง ซึ่งพอเพียงสำหรับงานทั่วไป ซึ่งวิธีการนี้จะมีลักษณะตรงไปตรงมา เพราะว่า จะทราบค่าของค่า gray level ของแต่ละพิกัดใกล้เคียงของกลุ่มพิกัดที่ไม่เป็นจำนวนเต็ม ค่าของ gray level ที่พิกัดเหล่านี้ (x', y') สามารถถูกแทรกค่าจากค่าของตำแหน่งใกล้เคียงตัวมันเองโดยการใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$v(x', y') = ax' + by' + cx'y' + d \quad (3.7)$$

จากสมการพบว่าการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 4 จะเป็นเรื่องง่ายจาก 4 สมการใน 4 ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่สามารถเขียนโดยการใช้ พิกัดที่ทราบค่า 4 ตัวของ (x', y') เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดได้แล้ว ค่าของ $v(x', y')$ จะถูกคำนวณและค่าที่ได้จะถูกระบุตำแหน่งในภาพ $f(x, y)$ ที่ซึ่งมีการให้ spatial mapping ในตำแหน่ง (x', y') เป็นเรื่องง่ายที่จะนึกภาพของกระบวนการนี้ด้วยรูปที่ 3.19 โดยยกเว้น แทนที่จะใช้ค่าของ gray level ของพิกัดใกล้เคียงใน (x', y') ที่จริงเราใช้การแทรกค่าที่ตำแหน่ง (x', y') และใช้ค่านี้สำหรับการกำหนด gray level ที่ตำแหน่ง (x, y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 Gray level interpolation บนพื้นฐานของหลักการพิกัดใกล้เคียง

3.10 Gray level matching สำหรับการวัดความคล้ายที่ระดับความละเอียดต่ำ

ในการวัดความคล้ายด้วยวิธี gray level matching ก่อนอื่นเราจะทำการแปลงเวฟเลขให้กับภาพอ้างอิง(reference image) และภาพที่จะนำมาค้นหา(search image) โดยบล็อกย่อยแต่ละบล็อกหลังการแปลงจะให้ขนาดจำนวนจุดภาพดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.5 การแปลงเวฟเลขให้กับภาพอ้างอิงและภาพที่จะนำมาค้นหา

ระดับการแปลง	จำนวนจุดภาพของบล็อกย่อยของภาพอ้างอิง	จำนวนจุดภาพของบล็อกย่อยของภาพที่จะนำมาค้นหา
0	512 x 512	32 x 32
1	256 x 256	16 x 16
2	128 x 128	8 x 8
3	64 x 64	4 x 4
4	32 x 32	2 x 2
5	16 x 16	1 x 1

เนื่องจากขนาดภาพที่จะนำมาค้นหาเราใช้ขนาด 32 x 32 จุดภาพ ดังนั้นการแปลงเวฟเลขจะทำได้ถึงระดับที่ 5 ซึ่งจำนวนจุดภาพในแต่ละบล็อกย่อยของภาพที่จะนำมาค้นหาเหลือเพียงหนึ่งจุดภาพเท่านั้น ในการวัดความคล้ายเราจะใช้บล็อกย่อยที่เป็นความถี่ต่ำคือบล็อก LL มาทำการวัดซึ่งการวัดเราจะใช้วิธีการหาพิก (peak) จากสัมประสิทธิ์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficients) ระหว่างข้อมูลภาพจากบล็อก LL ของภาพที่จะนำมาค้นหาคือ $f(m,n)$ กับข้อมูลภาพจากบล็อก LL ของภาพอ้างอิง $h(x,y)$ จากการแปลงเวฟเลขในระดับเดียวกัน ดังนั้นถ้าเราให้ $f'_{i,j}(x,y)$ กับ $h'_{i,j}(x,y)$ เป็นข้อมูลภาพในบล็อก LL จากการแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับที่ i ของภาพที่จะทำการค้นหาและภาพอ้างอิงตามลำดับ ดังนั้นสัมประสิทธิ์ค่าสหสัมพันธ์
ในระดับการแปลงเวฟเลตระดับที่ i คือ

$$r_{fh}^i(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f_{i,l}^i(m, n) h_{i,l}^i(x+m, y+n) \quad (3.8)$$

โดย i จะเริ่มจากระดับที่ 5 ไหลลงไปหาระดับที่ 0 กล่าวคือเริ่มจากระดับความละเอียดของภาพต่ำไป
หาสูง ในการหาความเหมือนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยมากมักนิยมทำการสเกลเข้าสู่ค่า
มาตรฐาน

$$f_{fh}^i(x, y) = \frac{r_{fh}^i(x, y)}{\sqrt{r_{ff}^i(x, y) r_{hh}^i(x, y)}} \quad (3.9)$$

เมื่อ $r_{ff}^i(x, y)$ กับ $r_{hh}^i(x, y)$ เป็นอัตโนมัติสหสัมพันธ์(auto-correlation) ของภาพที่จะทำการ
ค้นหาและภาพอ้างอิงในระดับที่ i ของการแปลงเวฟเลต

แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละระดับของการแปลงเวฟเลตจะให้ค่า
สัมประสิทธิ์ซึ่งอาจจะแตกต่างกันน้อยจนยากในการตรวจหาจุดที่เป็นพีก(peak)ของการทำสห
สัมพันธ์ เราจึงทำการเอนฮานซ์ (enhance) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยการคูณกับฟังก์ชันค่าคง
ที่ $K_{fh}(x, y)$ ซึ่งจะมีฟังก์ชันคล้ายกับเกาส์เซียน (Gaussian) ที่จะช่วยเน้นค่าสูงให้สูงขึ้นโดยเขียน
ได้ในรูปสมการ

$$K_{fh}(x, y) = \exp\left(-\frac{(r_{hh}^i(x, y) - r_{ff}^i(x, y))^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$\text{เมื่อ } \sigma^2(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (h_{i,l}^i(x+m, y+n) - \bar{f}_{i,l}^i(m, n))^2 \quad (3.10)$$

โดย $\bar{f}_{i,l}^i(m, n)$ เป็นค่าเฉลี่ยของบล็อก LL ระดับ i ของภาพที่จะนำมาค้นหา ดังนั้นค่า
ความแปรปรวน $\sigma^2(x, y)$ จะเป็นการวัดว่าข้อมูลภาพอ้างอิงมีการกระจายห่างจากค่าเฉลี่ยของภาพ
ที่จะค้นหามากน้อยเพียงไรนั่นเอง

ในการเน้นค่าสหสัมพันธ์ค่าสูง เราทำการคูณฟังก์ชัน $k_{fh}(x, y)$ กับค่าสหสัมพันธ์ที่ถูก
สเกลเป็น

$$l_{fh}^i(x, y) = f_{fh}^i(x, y) k_{fh}(x, y) \quad (3.11)$$

จากนั้นทำการเปรียบเทียบ $\ell'_m(x, y)$ กับค่าเทรชโฮลด์ ε เพื่อสร้างหน้ากากของความเหมือน ถ้า $\ell'_m(x, y)$ มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับ แสดงว่าบล็อกนั้นของข้อมูลภาพอ้างอิงจะคล้ายกับข้อมูลภาพที่จะทำการค้นหา และบล็อกดังกล่าวจะถูกกำกับเอาไว้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบในระดับ i ที่ลดลง (รายละเอียดของภาพจะสูงขึ้นโดยภาพในระดับการแปลงเวฟเลท $i-1$ จะมีจำนวนจุดภาพเป็นสี่เท่าของภาพในระดับ i) ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มรายละเอียดให้ข้อมูลภาพนั่นเอง โดยหน้ากากความคล้ายในระดับการแปลงเวฟเลทที่ i คือ

$$M'_{gm}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \varepsilon \leq \ell'_m(x, y) \\ 0 & \text{if } \varepsilon > \ell'_m(x, y) \end{cases} \quad (3.12)$$

โดยทั่วไป ε_i จะถูกตั้งไว้ไม่ให้สูงมากทั้งนี้ เพราะ $f'_{i,l}(x, y)$ นั้นอาจจะไม่แมทซ์(match) หรือซ้อนทับพอดีกับบล็อกย่อย $h'_{i,l}(x, y)$ โดยบล็อก $f'_{i,l}(m, n)$ อาจจะกระจายอยู่ในหลายบล็อกที่ติดกันในบล็อกย่อยของ $h'_{i,l}(x, y)$ ซึ่งมักนิยมให้เป็น 50% ค่า $\rho'_m(x, y)$

ในการวัดความคล้ายด้วย gray level matching นี้จะทำการเปลี่ยนระดับการแปลงเวฟเลทไปเรื่อยๆ ถ้าจำนวนบล็อกความเหมือนที่วัดได้จาก $M'_{gm}(x, y)$ มีค่าน้อยกว่า 5% ของจำนวนบล็อกทั้งหมด ในทางตรงข้าม กระบวนการวัดความเหมือนนี้จะหยุดประมวลผลเพื่อย้ายไปทำกระบวนการ MI (mutual information) หรือข้อมูลร่วม ซึ่งจะเป็นการทำการวัดความคล้ายที่ระดับความละเอียดสูงขึ้น (สูงกว่ากระบวนการวัดความเหมือนด้วยวิธี gray level matching) ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.11 การคำนวณข้อมูลร่วมสำหรับการวัดความคล้ายที่ระดับความละเอียดสูง

กระบวนการ MI หรือข้อมูลร่วมมีพื้นฐานมาจากหลักการทฤษฎีของการสื่อสารข้อมูลเพื่อวัดหรือตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งกับข้อมูลที่รับเป็นข้อมูลเดียวกันหรือไม่ จากหลักการนี้ เราจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดความเหมือนของบล็อกของภาพที่จะทำการค้นหากับบล็อกของภาพอ้างอิงจากการแปลงเวฟเลทระดับ j ที่ถูกส่งผ่านจากกระบวนการ gray level matching ในกระบวนการ MI นี้ จะทำการวัดปริมาณความสัมพันธ์ของข้อมูลจากตัวแปรแรนดอม (random variable) ของ f กับ h ซึ่งการวัดนี้จะสอดคล้องกับการหาเอ็นโทรปี (entropy) ของการกระจายของตัวแปร โดยใช้สูตร

$$C(x, y) = \sum_{i,j} P_{f,h}(i, j) \log \frac{P_{f,h}(i, j)}{P_f(i) P_h(j)} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P_f กับ P_h เป็นการกระจายขอบ (marginal distribution) ของตัวแปรสุ่ม f กับ h ตามลำดับ ในขณะที่ P_{fh} เป็นการกระจายร่วม (joint distribution) โดย f เป็นข้อมูลภาพที่จะค้นหา และ h เป็นข้อมูลภาพอ้างอิงในระดับการแปลงเวฟเลทเดียวกัน

ค่า $C(f, h)$ ที่ได้ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเรซโฮลด์ ε_2 อีกครั้ง เพื่อสร้างหน้ากาคความเหมือน $M_{mi}^j(x, y)$ โดย

$$M_{mi}^j(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \varepsilon_2 \leq C(x, y) \\ 0 & \text{if } \varepsilon_2 > C(x, y) \end{cases} \quad (3.14)$$

ในการวัดความคล้ายด้วยกระบวนการ MI นี้ ถ้าบล็อความเหมือนที่มี $M_{mi}^j(x, y)$ มีค่าเป็น 1 ร่วมกันแล้วมีการลดลงน้อยกว่า 5% ของระดับก่อนหน้านั้น การบวนการ MI ก็จะหยุดลง กระบวนการถัดไปก็จะเป็นการทำสหสัมพันธ์ที่ถูกสเกลเข้าสู่ค่ามาตรฐาน เพื่อจะหาดำแหน่งที่ถูกต้องที่สุดจากการใช้ข้อมูลภาพของการแปลงเวฟเลทระดับ 0 โดยใช้สูตร normalized correlation ดังสมการที่ 3.15

$$R(x_0, y_0) = \frac{\sum_{x,y} f(x, y)h(x+x_0, y+y_0)}{\sqrt{\sum_{x,y} f^2(x, y) \sum_{x,y} h^2(x+x_0, y+y_0)}} \quad (3.15)$$

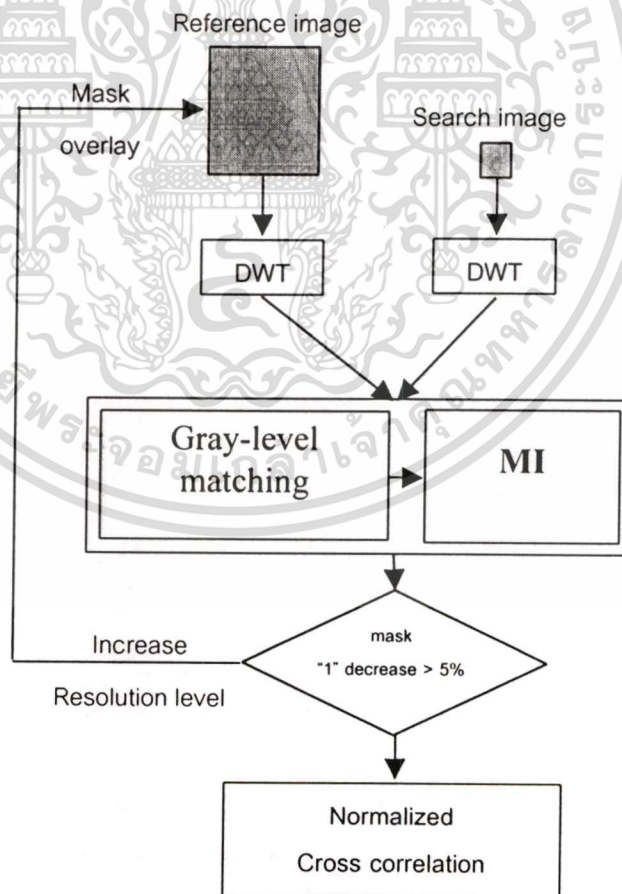
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 กระบวนการอิมเมจรีจิสเตรชันที่ความละเอียดหลายระดับ

อิมเมจรีจิสเตรชันที่นำเสนอจะเริ่มการค้นหาวัดจุดที่ระดับความละเอียดต่ำสุด ขององค์ประกอบด้านความถี่ต่ำ ของ DWT (Discrete Wavelet Transform) องค์ประกอบด้านความถี่ต่ำของภาพค้นหา จากนั้นทำการค้นหาในภาพอ้างอิงด้วย 2 ตัวแปร gray level matching โดยการวัดสหสัมพันธ์และ MI เพื่อสร้างหน้ากาก หน้ากากนี้ใช้วางซ้อนทับกับภาพอ้างอิงที่ความละเอียดสูง ค่า "1" ในหน้ากากไบนารีใช้เพื่อเก็บบันทึกค่าพื้นที่ที่คาดหวังไว้และค่า "0" ใช้สำหรับกำจัดพื้นที่ ส่วนที่ไม่ต้องการเพื่อลดการคำนวณในระดับความละเอียดถัดไป กระบวนการเริ่มต้นจาก gray level ที่เหมาะสม และสลับ ไปยังการวัดความคล้าย MI เมื่อ ค่า "1" ในหน้ากากลดลงน้อยกว่า 5 % เมื่อเปรียบเทียบกับระดับก่อนหน้า กระบวนการการบันทึกจะเสร็จสมบูรณ์ที่ค่าความละเอียดที่สุด ด้วยการวัดสหสัมพันธ์ปกติ กระบวนการแสดงตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อัลกอริทึมของอิมเมจรีจิสเตรชันที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทำการทดสอบภาพ รวม 3 ภาพ

4.2.1 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT บริเวณ ทะเลอันดามัน

4.2.2 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT บริเวณ ภาคกลางและอ่าวไทย

4.2.3 ภาพถ่ายดาวเทียม-2 IKONOS บริเวณ ท่าอากาศยานแฟรงก์เฟิร์ต (Frankfurt Airport)

Landsat เป็นชื่อของชุดดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่ขึ้นสู่วงโคจร และทำการบันทึกข้อมูลพื้นผิวโลกมาเกือบ 3 ทศวรรษ (ดาวเทียมดวงแรกของโครงการถูกส่งขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 1972 และต่อมาดาวเทียมถูกเรียกว่า Landsat ในปี 1975) โดยในระยะแรกโครงการอยู่ภายใต้การจัดการขององค์การ NOAA ของสหรัฐ แล้วโอนมาให้อยู่ภายใต้การจัดการของ Earth Observing Satellite Company (EOSAT) ในปี 1984 และต่อมารัฐบาลสหรัฐได้กำหนดให้เป็นพันธกิจของรัฐบาลในการที่จะมีการสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียมอย่างต่อเนื่องและได้กำหนดพันธกิจนี้ไว้ในกฎหมายชื่อ The 1992 Land Remote Sensing Policy Act และให้การจัดการดาวเทียม Landsat กลับมาอยู่ภายใต้ USGS และ NASA ในโครงการ U.S. Global Change Research Program (ถ่ายโอนคืนจากการจัดการในเชิงพาณิชย์ มาอยู่ภายใต้การจัดการของหน่วยงานของรัฐบาลกลาง)

ปัจจุบันดาวเทียม Landsat ที่ทำงานอยู่คือ Landsat 5 และ Landsat 7 เกิดข้อผิดพลาดกับ Landsat 6 โดยศูนย์ควบคุมไม่สามารถติดต่อกับดาวเทียมได้ในระหว่างการปรับดาวเทียมเข้าสู่วงโคจร ได้มีการหาสาเหตุของปัญหา และกำหนดมาตรการป้องกัน จากนั้นได้เร่งดำเนินการสร้าง และส่ง Landsat 7 ขึ้นสู่วงโคจรในเดือนเมษายน 1999

ภารกิจของ Landsat คือการสำรวจข้อมูล และเผยแพร่เพื่อการใช้ประโยชน์ของพลเรือน โดยได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สำรวจบนดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง ในช่วงแรกของโครงการ ดาวเทียม Landsat 1, 2 และ 3 ติดตั้งเครื่องมือสำรวจที่เรียกว่า MSS (Multi-Spectral Scanner) ดาวเทียมรุ่นต่อมา (Landsat 4 และ 5) ติดตั้งเครื่องมือสำรวจที่เรียกว่า TM (Thematic Mapper) และดาวเทียม Landsat 7 ติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า ETM (Enhanced Thematic Mapper) คุณลักษณะของดาวเทียม อุปกรณ์บนดาวเทียม และอุปกรณ์สำรวจแสดงในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

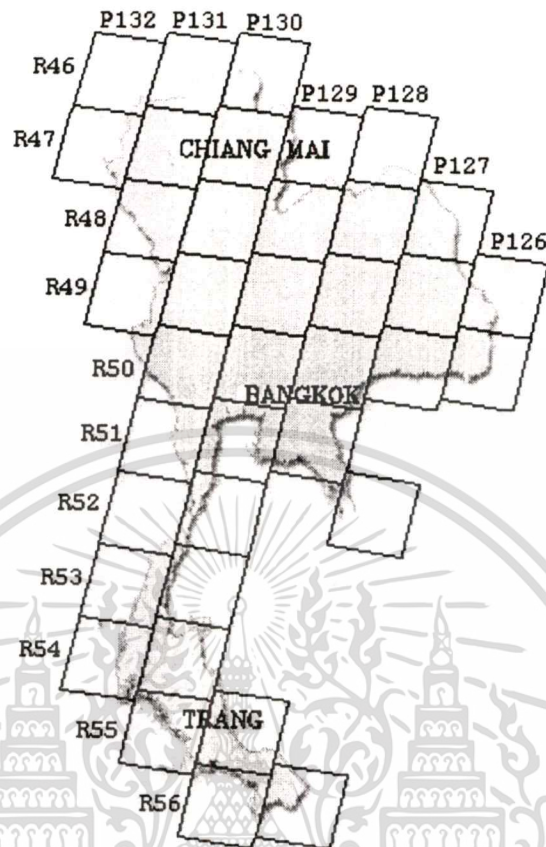
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของดาวเทียมและอุปกรณ์บนดาวเทียม

	Landsat 1-3	Landsat 4-5	Landsat 7
วงโคจรแบบ	Near-polar sun –synchronized		
ความสูงของวงโคจร (กิโลเมตร)	917	705	705
มุมเอียงของวงโคจร (องศาจากระนาบศูนย์สูตร)	-	98	98
เวลาตัดแกนศูนย์สูตรจากเหนือลงใต้			10.00 น.
คาบของการกลับมาสำรวจซ้ำ ณ ตำแหน่งเดิม (วัน)	18	16	16
ความกว้างของแถบสำรวจ (กิโลเมตร)			183

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์สำรวจที่สำคัญ

ชื่อเครื่องมือ	ลักษณะ
MSS	Multispectral scanning radiometer 4 ช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นในย่าน visible light (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 80 เมตร) 2 ช่วงคลื่นในย่าน near IR และ short-wave IR (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 80 เมตร) ความกว้างของแถบสำรวจเท่ากับ 183 กิโลเมตร แต่ละภาพ (กว้าง 183 กม. ยาว 170 กม.) มีขนาดข้อมูล gigabits
TM	Multispectral scanning radiometer 7 ช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่นในย่าน visible light (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 30 เมตร) 3 ช่วงคลื่นในย่าน near IR และ short-wave IR (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 30 เมตร) 1 ช่วงคลื่นในย่าน thermal IR (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 60 เมตร) ความกว้างของแถบสำรวจเท่ากับ 183 กิโลเมตร แต่ละภาพ (กว้าง 183 กม. ยาว 170 กม.) มีขนาดข้อมูล gigabits
ETM+	Multispectral scanning radiometer 8 ช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่นในย่าน visible light (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 30 เมตร) 3 ช่วงคลื่นในย่าน near IR และ short-wave IR (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 30 เมตร) 1 ช่วงคลื่นในย่าน thermal IR (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 60 เมตร) 1 ช่วงคลื่นในย่าน visible (panchromatic) (ขนาดจุดภาพ หรือ pixel size = 15 เมตร) ความกว้างของแถบสำรวจเท่ากับ 183 กิโลเมตร แต่ละภาพ (กว้าง 183 กม. ยาว 170 กม.) มีขนาดข้อมูล 3.8 gigabits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แนวการเคลื่อนที่ของดาวเทียม Landsat บริเวณประเทศไทย

4.2.1 ภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ ทะเลอันดามัน

รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ ทะเลอันดามัน ณ วันที่ 12 มีนาคม 1987 ตามแนวโคจร Path:129 และ Row:055 ด้วยอุปกรณ์สำรวจแบบ MSS (multispectral scanning radiometer) โดย คือเป็นภาพอ้างอิงที่มีขนาด 512 x 512 จุดภาพ ส่วนภาพในรูป 4.4 เป็นภาพที่จะทำการค้นหาที่มีขนาด 32 x 32 จุดภาพ

ขบวนการตรวจวัดความเหมือนเริ่มด้วยการแปลงเวฟเลทให้กับภาพอ้างอิงกับภาพที่จะทำการค้นหา โดยการแปลงเวฟเลทได้ถึงระดับที่ 5 ซึ่งภาพอ้างอิงจะให้บล็อก LL มีจำนวนจุดภาพเป็น 16 x 16 จุดภาพดังแสดงในรูปที่ 4.5 level 5 (a1) ในขณะที่ภาพที่จะทำการค้นหาให้บล็อก LL มีจำนวนจุดภาพเป็น 1x1จุดภาพดังแสดงในรูป(a2) ส่วนรูป (a3) จะเป็นค่าเฟคเตอร์ k_m ในขณะที่ (a4) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และ (a5) เป็นหน้ากาที่ใช้ออกความเหมือนเมื่อจุดภาพเป็นสีขาว ($M'_{gm}(x,y)$ เป็น1) และจุดภาพที่เป็นสีดำแสดงว่าไม่เหมือน ($M'_{gm}(x,y)$ เป็น0) โดยกระบวนการ gray level matching ของภาพนี้จะลดค่า level ไปจนถึงระดับที่3ซึ่งเมื่อตรวจสอบจำนวนจุดความเหมือนพบว่าระดับ 3 มีจำนวนผลรวมของ $M'_{gm}(x,y)$ ที่มีค่าเป็น 1 มีมากกว่า 5% ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด ระบบจึงทำการส่งต่อไปยังกระบวนการ MI โดยกระบวนการ MI ก็จะเริ่มประมวลผลตั้งแต่การแปลงเวฟเลทระดับที่ 2 เป็นต้นไป ซึ่งสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.7(b)

กระบวนการของ MI จะให้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ระดับที่ 2, ระดับที่ 1 และ ระดับที่ 0 โดยระดับที่ 0 จะเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการที่ (3.15) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (a) เมื่อจุดภาพที่เป็นสีขาว(มีค่าระดับสีเทาสูงสุด)จะเป็นตำแหน่งในการ registration นั้นเอง



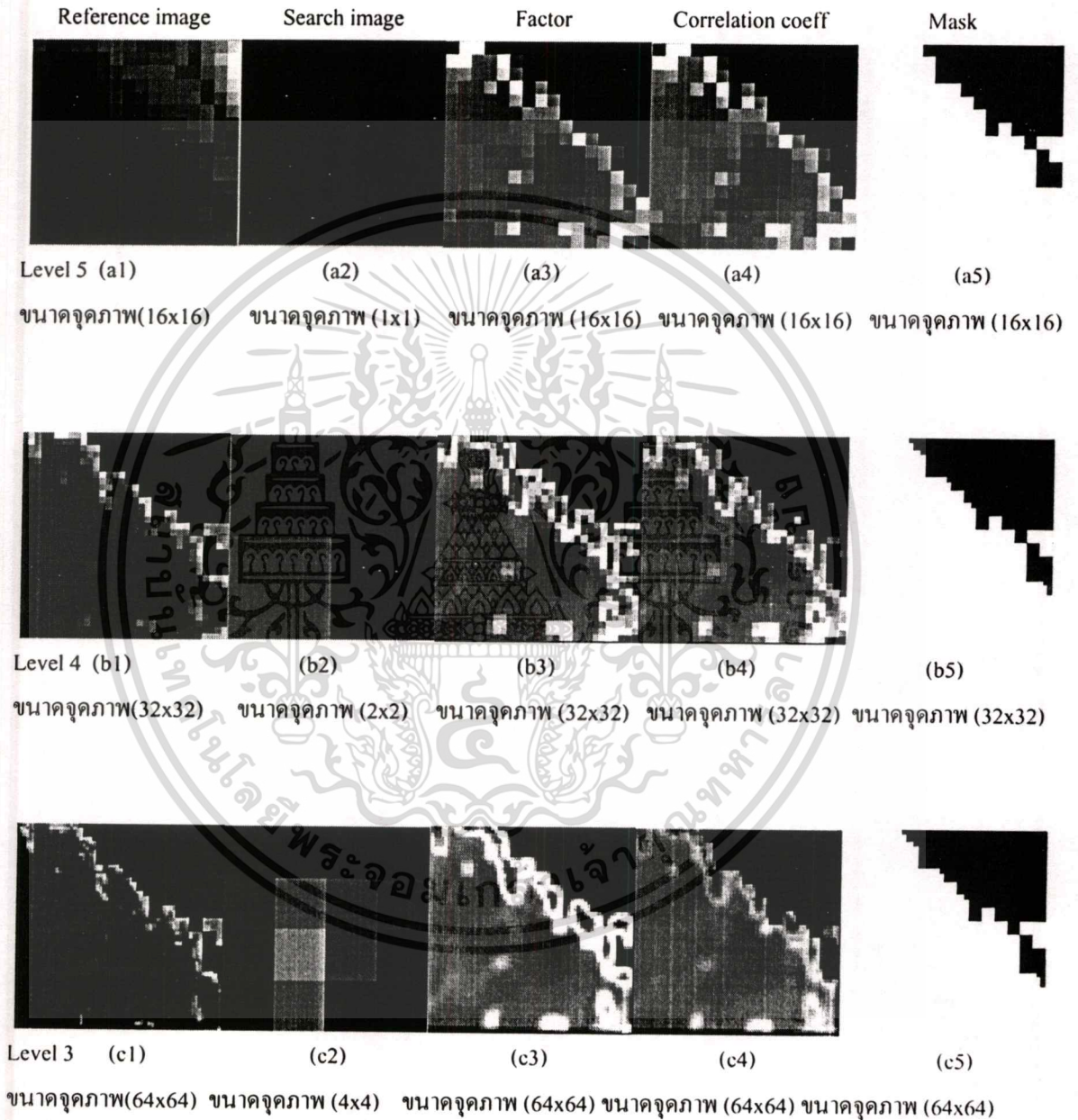
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat บริเวณทะเลอันดามัน ณ วันที่ 12-03-1987 (512*512)



รูปที่ 4.4 ภาพเกาะ ที่ต้องการทำ image registration (32x32)

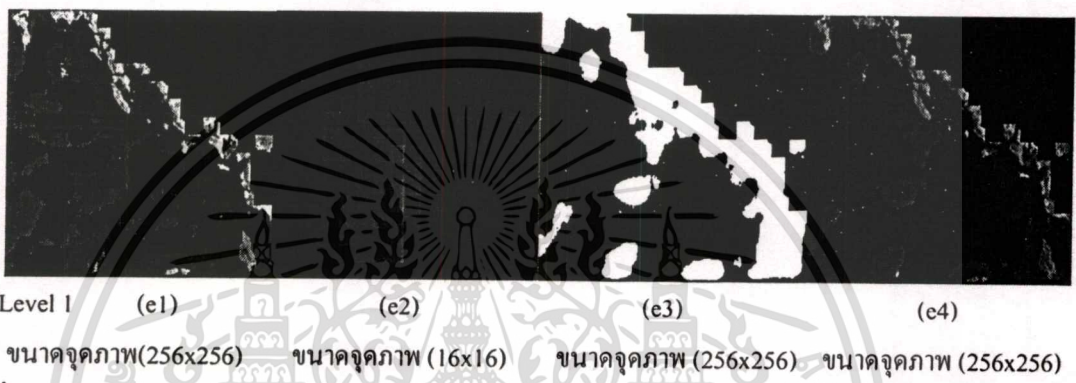
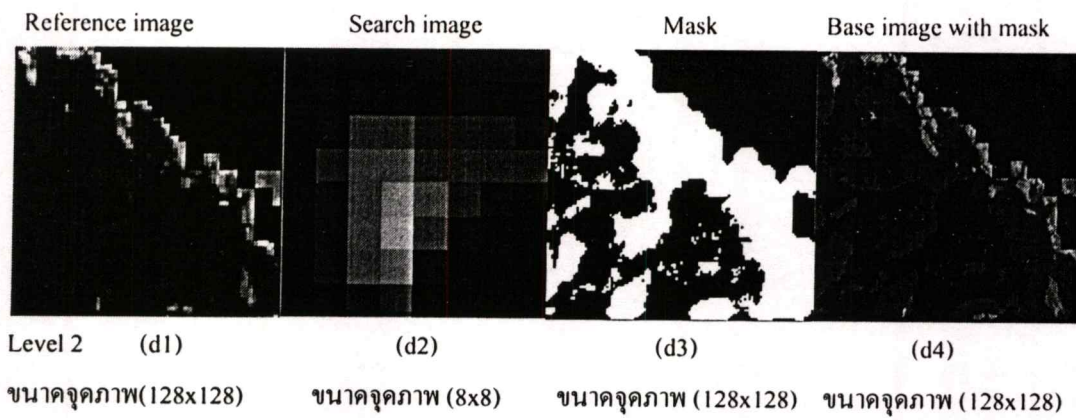
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเช่นเดียวกับการประมวลผลในหัวข้อ 4.2.2 แต่ในกรณีนี้กระบวนการ gray level matching จะทำระดับที่ 5 ไปถึงระดับที่ 4 จากนั้นจะถูกย้ายไปสู่กระบวนการ MI ในระดับที่ 3 จนถึงระดับที่ 2 ส่วนระดับที่ 0 จะเป็นการทำการสเกศค่าสัมประสิทธิ์

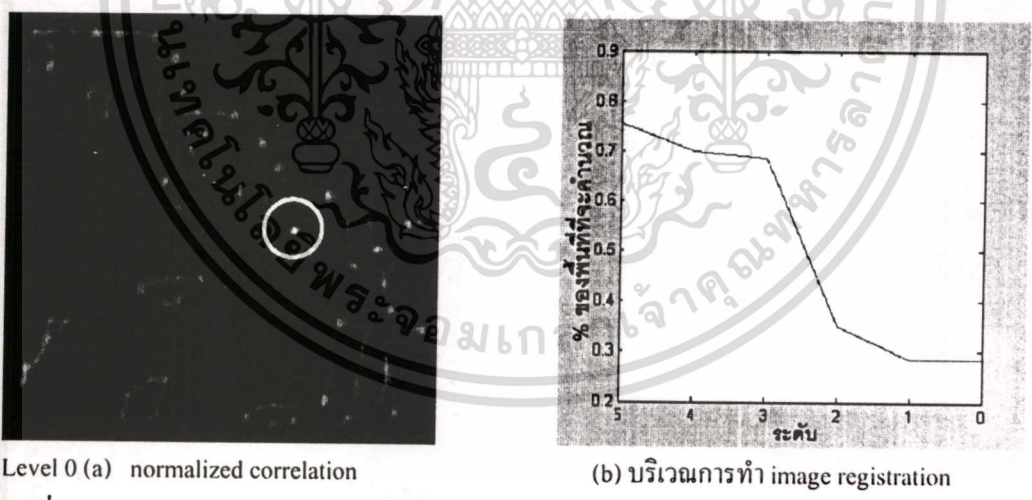


รูปที่ 4.5 กระบวนการ gray level matching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กระบวนการ MI



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทะเลอันดามันและผลการ registration ที่ตำแหน่งจุดภาพที่ (209,309)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT บริเวณ ภาคกลางและอ่าวไทย

รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ ทะเลอันดามัน ณ วันที่ 19 ธันวาคม 1985 ตามแนว โคจร Path:129 และ Row:051 ด้วยอุปกรณ์สำรวจแบบ MSS (multispectral scanning radiometer) โดย คือเป็นภาพอ้างอิงที่มีขนาด 512 x 512 จุดภาพ ส่วนภาพในรูป 4.9 เป็นภาพที่จะทำการค้นหาที่มี ขนาด 32 x 32 จุดภาพ

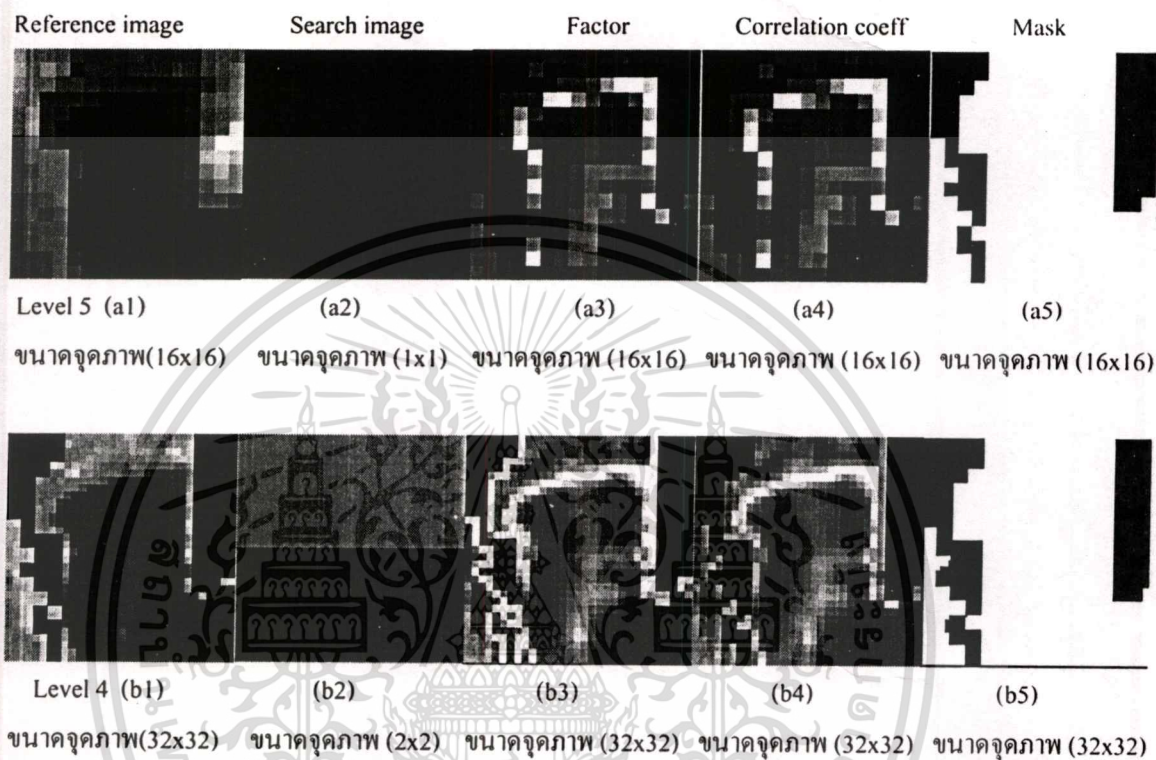
ขบวนการตรวจวัดความเหมือนเริ่มด้วยการแปลงเวฟเลขให้กับภาพอ้างอิงกับภาพที่จะทำการ ค้นหาโดยการแปลงเวฟเลขได้ถึงระดับที่ 5 ซึ่งภาพอ้างอิงจะให้บล็อก LL มีจำนวนจุดภาพเป็น 16 x 16 จุดภาพดังแสดงในรูปที่ 4.10 level 5 (a1) ในขณะที่ภาพที่จะทำการค้นหาให้บล็อก LL มีจำนวนจุด ภาพเป็น 1x1จุดภาพดังแสดงในรูป (a2) ส่วนรูป (a3) จะเป็นค่าเฟลคเตอร์ K_m ในขณะที่ (a4) เป็นค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และ (a5) เป็นหน้ากาทที่ใช้บอกความเหมือนเมื่อจุดภาพเป็นสีขาว ($M_{gm}(x,y)$ เป็น 1) และ จุดภาพที่เป็นสีดำแสดงว่าไม่เหมือน ($M_{gm}(x,y)$ เป็น 0) โดยกระบวนการ gray level matching ของภาพนี้จะลดค่า level ไปจนถึงระดับที่ 4 ซึ่งเมื่อตรวจสอบจำนวนจุดความ เหมือนพบว่าระดับ 4 มีจำนวนผลรวมของ $M_{gm}^4(x,y)$ ที่มีค่าเป็น 1 มีมากกว่า 5% ของจำนวนจุดภาพทั้ง หมด ระบบจึงทำการส่งต่อไปยังกระบวนการ MI โดยกระบวนการ MI ก็จะเริ่มประมวลผลตั้งแต่การ แปลงเวฟเลขระดับที่ 3 เป็นต้นไป ซึ่งสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.12(b)

กระบวนการของ MI จะให้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ระดับที่ 3, ระดับที่ 2 และ ระดับที่ 1 โดยระดับที่ 1 จะเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการที่ (3.15) ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (a) เมื่อจุดภาพที่เป็นสีขาว(มีค่าระดับสีเทาสูงสุด)จะเป็นตำแหน่งในการ registration นั้นเอง

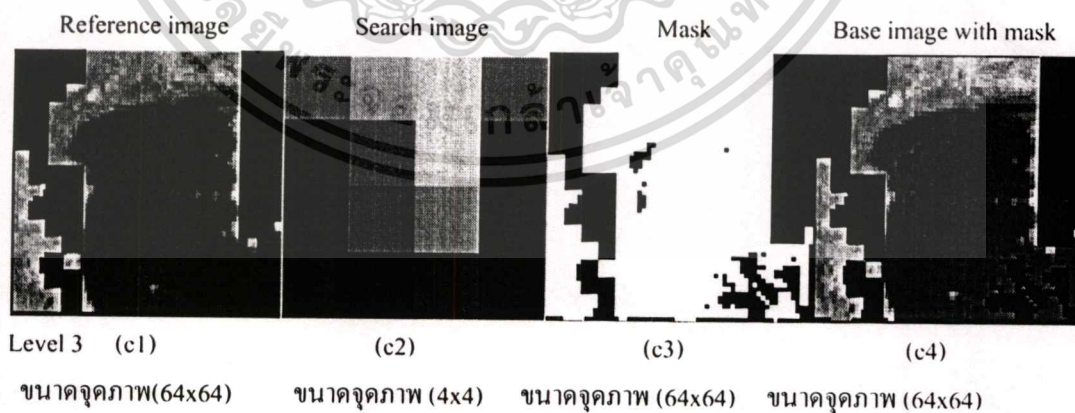




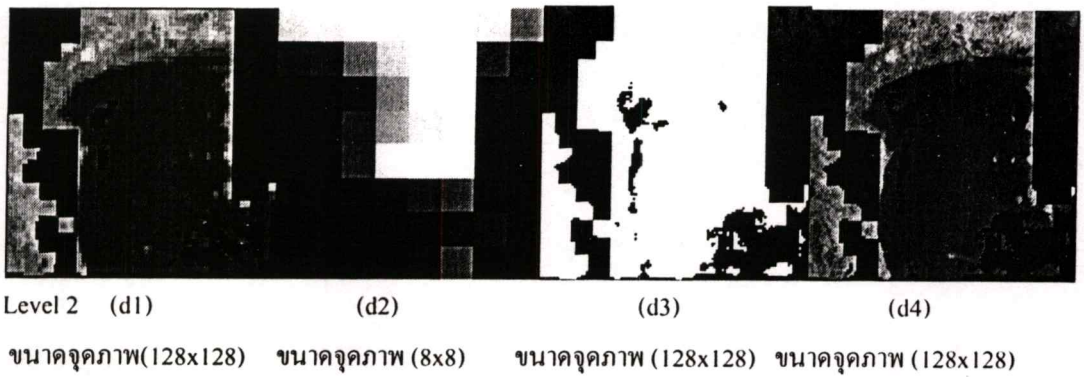
รูปที่ 4.9 ภาพบริเวณ ที่ต้องการทำ image registration (32x32)



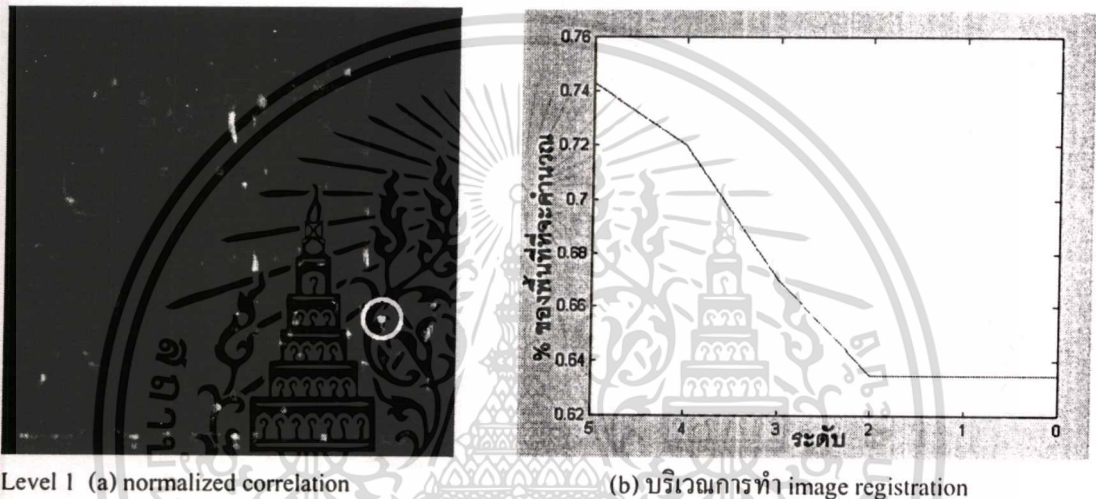
รูปที่ 4.10 กระบวนการ gray level matching



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กระบวนการ MI



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวไทยและผลการ registration ที่ตำแหน่งจุดภาพที่ (429,350)

4.2.3 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS-2 บริเวณท่าอากาศยาน Frankfurt

ดาวเทียม IKONOS-2 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรความละเอียดสูง มีน้ำหนักประมาณ 1600 ปอนด์ โคจรรอบโลกด้วยเวลา 98 นาทีที่ความสูงประมาณ 680 กิโลเมตรหรือ 423 ไมล์ โดยจะเคลื่อนที่ผ่าน longitude ที่กำหนด ณ เวลาที่องดินเดียวกันทุกวัน ถูกส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อเดือนกันยายน 1999 และให้บริการข้อมูลเชิงการดำตั้งแต่ต้นปี 2000 เป็นดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงโดยทำการบันทึกสัญญาณ 4 ช่องสัญญาณแบบ multispectral ความละเอียด (resolution) 4 เมตร และ 1 ช่องสัญญาณแบบ panchromatic ความละเอียด 1 เมตร รายละเอียดแสดงดังตาราง 4.3 นอกจากนี้ดาวเทียม IKONOS ยังมีอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งแนวขวางและแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ ทำให้มีความคล่องตัวและสามารถบันทึกสัญญาณบริเวณเดียวกัน ภาพที่ได้จึงมีความละเอียดสูง โดยที่ความละเอียด 1 เมตร สำหรับการถ่ายภาพ

เข้าในเวลา 3 วัน และความละเอียด 1.5 เมตร สำหรับการถ่ายภาพเข้าในเวลา 2 วัน ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดของอุปกรณ์สำรวจดาวเทียม IKONOS

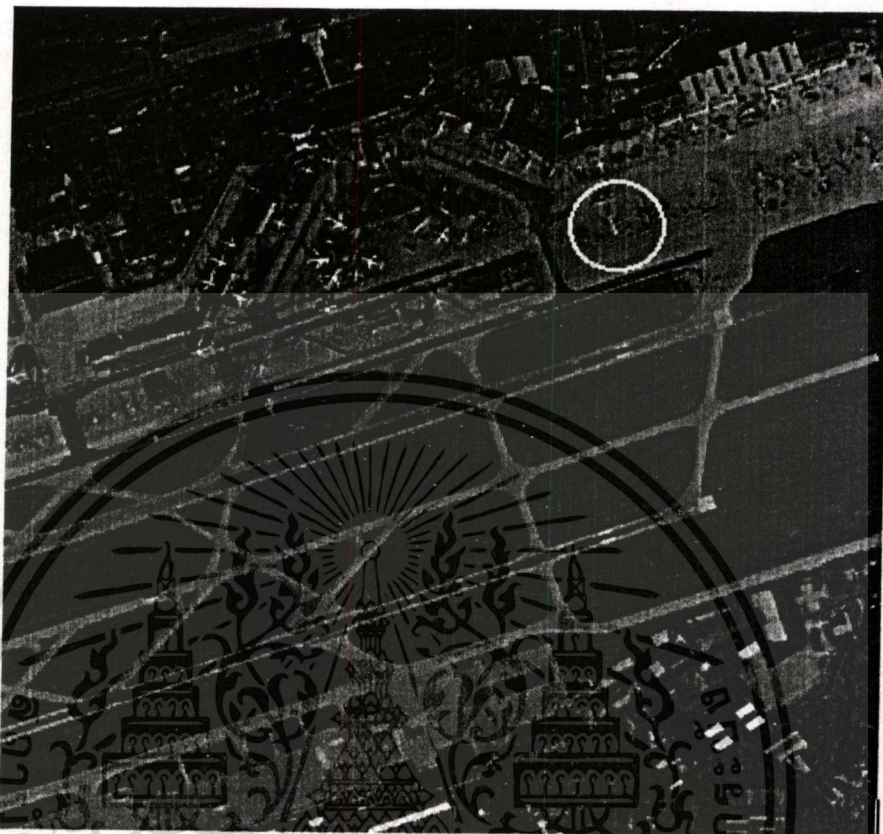
	Band Width	Spatial Resolution
Panchromatic	0.45 - 0.90 μ m	1 metre
Band 1	0.45 - 0.53 μ m (blue)	4 metres
Band 2	0.52 - 0.61 μ m (green)	4 metres
Band 3	0.64 - 0.72 μ m (red)	4 metres
Band 4	0.77 - 0.88 μ m (near infra-red)	4 metres

รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บริเวณท่าอากาศยาน Frankfurt ณ วันที่ 26-08-2000

โดยรูป 4.13 เป็นภาพอ้างอิงที่มีขนาด 512 x 512 จุดภาพ ส่วนภาพในรูป 4.14 เป็นภาพที่จะทำการค้นหาที่มีขนาด 32 x 32 จุดภาพ

ขบวนการตรวจวัดความเหมือนเริ่มด้วยการแปลงเวฟเลทให้กับภาพอ้างอิงกับภาพที่จะทำการค้นหา โดยการแปลงเวฟเลทได้ถึงระดับที่ 5 ซึ่งภาพอ้างอิงจะให้บล็อก LL มีจำนวนจุดภาพเป็น 16 x 16 จุดภาพดังแสดงในรูปที่ 4.15 level 5 (a1) ในขณะที่ภาพที่จะทำการค้นหาให้บล็อก LL มีจำนวนจุดภาพเป็น 1x1 จุดภาพดังแสดงในรูป(a2) ส่วนรูป (a3) จะเป็นค่าฟังก์ชัน K_m ในขณะที่ (a4) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และ (a5) เป็นหน้ากากที่ใช้บอกความเหมือนเมื่อจุดภาพเป็นสีขาว ($M_{gm}(x,y)$ เป็น 1) และ จุดภาพที่เป็นสีดำแสดงว่าไม่เหมือน ($M_{gm}(x,y)$ เป็น 0) โดยกระบวนการ gray level matching ของภาพนี้จะลดค่า level ไปจนถึงระดับที่ 4 ซึ่งเมื่อตรวจสอบจำนวนจุดความเหมือนพบว่าระดับ 3 มีจำนวนผลรวมของ $M_{gm}^4(x,y)$ ที่มีค่าเป็น 1 มีมากกว่า 5% ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด ระบบจึงทำการส่งต่อไปยังกระบวนการ MI โดยกระบวนการ MI ก็จะเริ่มประมวลผลตั้งแต่การแปลงเวฟเลทระดับที่ 3 เป็นต้นไปซึ่งสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.17 (b)

กระบวนการของ MI จะให้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ระดับที่ 3, ระดับที่ 2 และ ระดับที่ 1 โดยระดับที่ 1 จะเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการที่ (3.15) ดังแสดงในรูปที่ 4.17 (a) เมื่อจุดภาพที่เป็นสีขาว(มีค่าระดับสีเทาสูงสุด)จะเป็นตำแหน่งในการ registration นั้นเอง

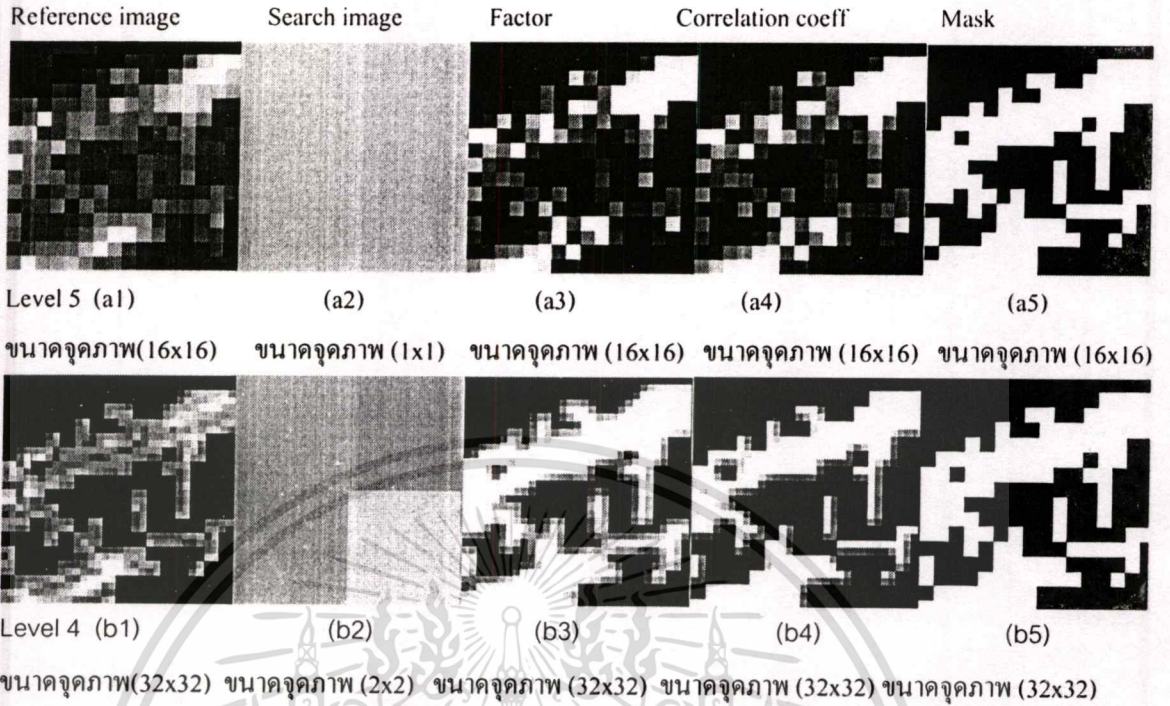


รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS-2 บริเวณท่าอากาศยาน Frankfurt ณ วันที่ 26-08-2000
(512x512)

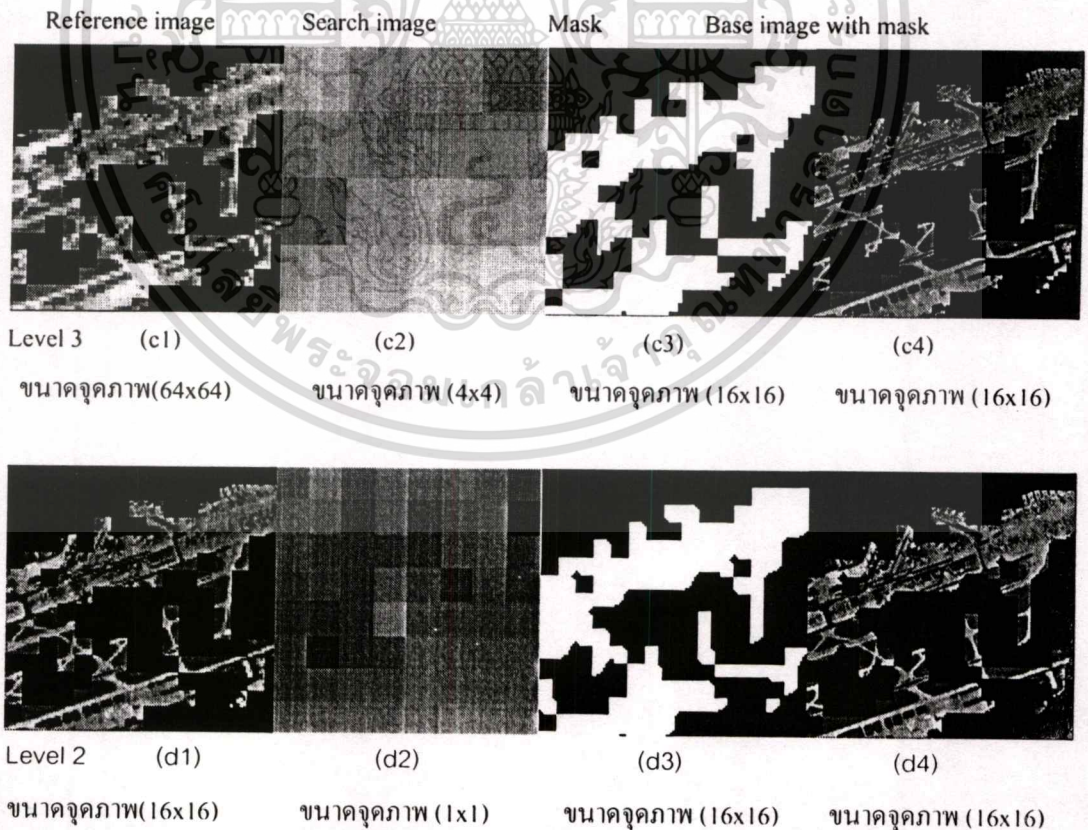


รูปที่ 4.14 ภาพเครื่องบินที่ต้องการทำ image registration (32x32)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

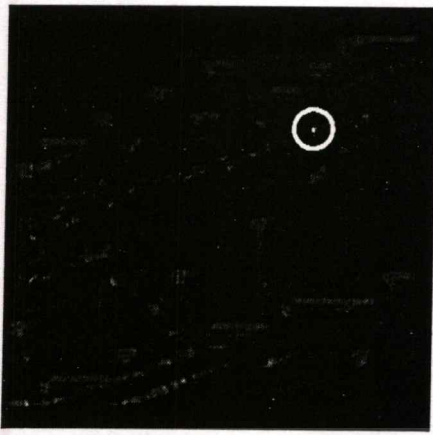


รูปที่ 4.15 กระบวนการ gray level matching

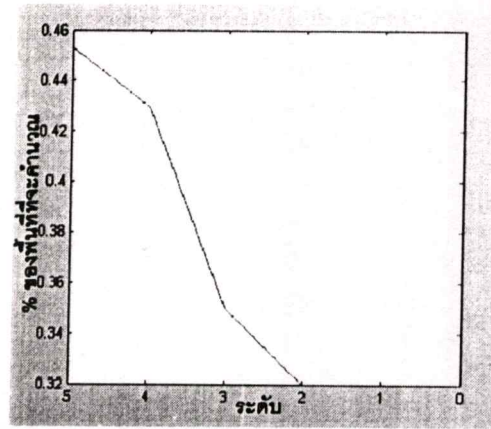


รูปที่ 4.16 กระบวนการ MI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Level 1 (a) normalized correlation



(b) บริเวณการทำ image registration

รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณท่าอากาศยาน Frankfurt และผลการ registration ที่ตำแหน่งจุดภาพที่ (339,120)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยที่ผ่านมาตามเอกสารอ้างอิงที่ [5] ได้ใช้เวฟเลตเพื่อแปลงภาพเป็นบล็อกย่อยๆ สำหรับตรวจสอบหาบล็อกที่ไม่มีเมฆบังเพื่อใช้ในการอิมเมจรีจิสเตรชัน ในขณะที่การนำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอเทคนิคของอิมเมจรีจิสเตรชันที่ความละเอียดหลายระดับซึ่งอาศัยเทคนิคใหญ่สองประการ คือการทำ Gray level matching หรือ การจับคู่ระดับสีเทาและวิธีการวัดความสัมพันธ์ด้วยข้อมูลข่าวสารร่วม (Mutual Information :MI) โดยการแบ่งระดับความละเอียดของภาพอ้างอิง (Reference Image) หรือบางครั้งอาจถูกเรียกว่าภาพฐาน (Base Image) และแบ่งระดับความละเอียดของภาพที่ต้องการค้นหา (Search Image) ด้วยกระบวนการกระจายแบบเลฟเลต (Wavelet decomposition) โดยระดับชั้นของความละเอียดจะขึ้นอยู่กับการกระจายของภาพที่ต้องการค้นหา ในลักษณะการเพิ่มระดับความละเอียด ครั้งละสองเท่าทุกครั้งที่มีการประมวล ดังนั้นจำนวนของระดับใช้ สำหรับการทำ registration จึงมีค่าเท่ากับ $\log_2 n$ เมื่อภาพที่ต้องการค้นหา (Search Image) มีขนาด $n \times n$ โดย Mother Wavelet ที่ต้องถูกนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบ Haar อย่างไรก็ตาม Mother Wavelet ไม่ได้ถูกกำหนดเป็นแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเชิงความถี่และคุณลักษณะของภาพเป็นสำคัญเนื่องจากจุดประสงค์ของการทำ registration ด้วยวิธี gray level matching นั้นมุ่งจะหาความสัมพันธ์ของระดับสีเทาในลักษณะ pixel ต่อ pixel ของการอ้างอิงและภาพที่ต้องการค้นหาซึ่ง Haar wavelet มีข้อดีคือมีรูปแบบที่ง่ายและได้ผลการกระจายเลฟเลต เป็นค่าระดับสีเทา ณ ระดับความละเอียดต่างๆ โดยการทำ gray level matching จะกระทำบนภาพที่มีความละเอียดต่ำสุดก่อนและวัดความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพต่อจุดภาพ ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) แต่เนื่องจากภาพทั้งสองถูกลดความละเอียดลงจนข้อมูลบนภาพสูญหายไป ค่าสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์ ที่ได้จึงมีค่าผิดพลาดสูงคือไม่สามารถบ่งบอกบริเวณที่มีความน่าจะเป็นของการ registration ถูกต้อง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการแยกบริเวณที่น่าจะเป็นของการ registration ที่ถูกต้องออก ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จะถูกนำมาปรับค่าแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยอาศัยวิธีทางสถิติ บนสมมุติฐานของการกระจายแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) ค่าสหสัมพันธ์ที่ถูกปรับปรุง จะถูกนำมากำหนดบริเวณที่น่าจะเป็นบริเวณที่การ registration ถูกต้องด้วยวิธีการ thresholding โดยค่า เทรคโฮลด์ นี้ จะมีค่าต่ำที่ความละเอียดต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการ registration ผิดพลาด และจะเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อความละเอียดเพิ่ม

กระบวนการ gray level matching จะสิ้นสุดเมื่อการลดลงของพื้นที่ที่น่าจะเป็นบริเวณ registration ถูกต้อง ลดลงในอัตราที่ต่ำกว่าที่กำหนด ซึ่งในวิทยานิพนธ์กำหนดไว้คือ 5 % ของขนาดภาพ จากนั้นกระบวนการจะเปลี่ยนไปใช้วิธีวัด การวัดความสัมพันธ์ด้วยข้อมูลข่าวสารแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นประโยชน์ของเอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของวิธีนี้คือมีความทนต่อความผิดเพี้ยนของภาพสูงเนื่องจากการประมาณผลแบบสถิติ ซึ่ง จะสัมพันธ์กับกลุ่มประชากรแทนที่จะเป็นลักษณะจุดภาพต่อจุดภาพ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวจะ กินเวลานานกว่าวิธีอื่นๆ มาก โดยเวลาจะเสียไปกับการประมวลค่า ความน่าจะเป็นลำดับความเข้มสี เท่าต่างๆ โดยเน้นวิธีการนี้จึงเป็นการวิเคราะห์กระจายข้อมูล มากกว่าที่จะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะ ข้อมูล ต่างจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค gray level matching ดังนั้นผลที่ได้จากการทำ registration ด้วยวิธีนี้จะทำให้การ registration อย่างหยาบถูกต้องมากขึ้นโดย เงื่อนไขในการประมาณผลแบบ MI ที่ระดับความละเอียดต่างๆ ถูกกำหนดเป็นเงื่อนไขเดียวกัน การทำ gray level matching ก็จะมี สิ้นสุดเมื่อบริเวณที่น่าจะ registration ถูกต้องลดลงต่ำกว่า 5 % ของขนาดภาพรวมถึงวิธีการทำ Normalized Correlation จะถูกนำมาใช้แทนและกระทำบนภาพที่ความละเอียดสูงสุดเท่านั้น จุดภาพ ซึ่งได้ค่า Normalized Correlation สูงสุดที่ได้คือจุดภาพที่การ registration ภาพสองภาพตรงกันสอดคล้องกันมากที่สุด

จากกระบวนการต่างๆ และผลการทดสอบจะพบว่าการ registration เป็นไปอย่างถูกต้อง และพื้นที่การ registration ก็ลดลงเป็นจำนวนมากในแต่ละระดับความละเอียด ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ จะเหมาะสมอย่างยิ่ง กับภาพที่มีขนาดใหญ่ แม้โครงสร้างรวมจะมีลักษณะแบบลำดับขั้นแต่ค่าที่ได้ จากการประมวล ผลในแต่ละความละเอียดก่อน จะไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นข้อมูลสำหรับขั้นตอนต่อไปเลย อีกทั้งเงื่อนไขต่างๆ ก็มีค่าคงตัวไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของภาพ ความ ไม่ต่อเนื่อง ของการใช้ข้อมูลและการออกแบบระบบแบบไม่มีการเรียนรู้ หรือการป้อนกลับ ซึ่งทำให้วิธีการ Multi - Solution Image Registration ที่นำเสนอไม่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่ควร การ พัฒนาอาจทำได้แนวทางเริ่มจากการปรับปรุงวิธีการ gray level matching โดยการใช้ข้อมูลที่มีอยู่ และที่หามาได้จากภาพความละเอียดต่ำเป็นข้อมูลสำหรับความละเอียดขั้นสูงต่อไปตลอดจนการหา วิธีการวัดความสัมพันธ์อื่น ๆ แทนที่ใช้ MI ซึ่งใช้เวลามาก แต่ให้ คุณลักษณะการตรวจจับคล้ายคลึง กัน หรือปรับปรุงวิธีการให้มีความเร็วสูงขึ้นและสุดท้ายคือการเชื่อมโยงองค์ประกอบและวิธีการ ต่างให้มีลักษณะการเรียนรู้หรือมีการป้อนกลับเพื่อ ได้การ registration เป็น ไปอย่างถูกต้องและรวดเร็วมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] W.F. Webber, "Techniques for Image Registration," IEEE Conf. on Machine Processing of Remotely Sensed Data, pp. 1B.1 - 1B.7, Oct. 16-17, 1973.
- [2] K. Pratt, "Correlation Techniques of Image Registration," IEEE Trans. Aerosp. Electron.Syst.1, Vol. AES-10, pp.353-358, May 1974.
- [3] R.C. Gonzalez and R.E.Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, USA, Sep. 1993.
- [4] R.Marti and R.Zwiggelaar, "A Novel Similarity Measure to Evaluate Image Correspondence," IEEE Conf. Pattern Recognition (ICPR'00), Vol.3, pp.197-170, Sep., 2000.
- [5] M.McGuire and H.S.Stone, "Techniques for Multiresolution Image Registration in the Presence of Occlusions," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol.38, No.3, pp.1476-1479, May 2000.
- [6] R.C.,Gonzalez and R.E.,Woods, Digital Image Processing . Addison-Wesley Publishing Company, USA.,1993
- [7] Satellite Remote Sensing of Natural Resources , David L. Verbyla , University of Alaska, Fairbanks,U.S.A.
- [8] Multi-resolution Image Registration. Proc. the 24th,2003,Bu Asian Conference on Remote Sensing (ACRS'2003).
- [9] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กำบรรายเรื่องการสำรวจระยะไกล กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 2540
- [10] ดาราศรี ดาวเรือง รีโมทเซนซิงพื้นฐาน กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2533

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] S. Wisetphanichkij, K. Dejhan, P. Likitkampaiboon, F. Cheevasuvit, N. Sra-ium, V. Vorrawat, and C. Pienvijampong , **Multi-resolution Image Registration**. Proc. the 24th,2003,Bu Asian Conference on Remote Sensing (ACRS'2003).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Proceedings of
ACRS 2003 ISRS

The 24th Asian Conference on Remote Sensing & 2003 International Symposium on Remote Sensing

3-7 November 2003

**Busan Exhibition and Convention Center
(BEXCO) Busan, KOREA**



Korean Society of Remote Sensing (KSRS)

Asian Association on Remote Sensing (AARS)

Executive Committee of Environmental Monitoring from Space of East Asia (EMSEA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multi-resolution Image Registration

Sompong WISETPHANICHKIJ, Kobchai DEJHAN, Prayong LIKITKARNPAIBOON,
Fusak CHEEVASUVIT and Napat SRA-IUM

Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Tel: 66-2-3264238, 66-2-3264242, Fax : 66-2-3264554

Email: kobchai@telecom.kmitl.ac.th

Vinai VORRAWAT

National Research Council of Thailand (NRCT)

Chanchai PIENVIJARNPONG

Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA), Thailand.

Abstract

The computation cost of image registration is affected by searching data size and space. This paper proposes an efficient image registration algorithm that uses multi-resolution wavelet decomposed image to reduce the data size search. The algorithm determines the correlation detection at low resolution on low-pass sub bands of wavelet and generate mask for higher resolution as part of a coarse to fine registration algorithm. The correlation matching is defined for coarse resolution similarity measurement, while mutual information (MI) is used at fine resolution. The results show that the new efficient mask-based algorithm improves computational efficiency and yields robust and consistent image registration results.

Keywords: Image registration, multi-resolution processing.

1. Introduction

Image registration is to find the best transform between a reference and input image that may be different due to noise and change in position or altitude of sensors in both systematic and nonsystematic geometric errors. Image registration is process involving with alignment of two overlapping images of the same scene acquired from different viewpoints, different sensors or different time. The bottlenecks for improvement the accuracy and efficiency of image registration is computation cost becomes higher and higher when the area of alignment becomes larger and registration technique becomes more complex.

This work, describes a registration procedure based on a multi-resolution analysis of image that is obtained by means of a discrete wavelet transform (DWT). It reduces the computation cost by initially registering images at lowest resolution and then proceeding to higher resolution where the registration process is refined. There are several different methods for measuring the similarity of these methods to image at each resolution level. The complexity of similarity measurement metric should be limited to maintain the goal of this work.

At lower resolution level, the decomposed images contain only a few of image content and detail, but rich with image intensity information. At this level, image will be searched through the large area of

reference image. Therefore, lower complexity of computation is needed for similarity measurement. This paper proposes the correlation matching, that histogram of correlation between reference and search image is established and used as a weighting factor for adjust a mask for determine the possible area of registration. This process only requires a few of statistically computation cost because of a low amount data of low-resolution level. On the other hand, at higher resolution level, image content and detail were reserved in decomposition process. Mutual information can be used to be a similarity metric that requires higher computation cost. Anyway, this process only performs on determined area of previous lower resolution level. Optimization is needed to achieve overall computation cost and amount of search area at each resolution level. At the finest resolution, the conventional cross-correlation or improved technique such as, phase correlation, statically cross-correlation will be applied to yield the final image registration.

2. Correlation matching

This similarity measurement is based on correlation matching. Both coarse resolution images are a decomposed DWT sub-band intensity image. The matching metric can be set by first evaluate the correlation of two function $f(x,y)$ and $h(x,y)$, is defined as

$$r_{fh} = f(x,y) \circ h(x,y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f^*(m,n)h(x+m,y+n) \quad (1)$$

To enhance the distinction level between preserve and eliminate criterion, weighting factor (k) will be generated and applied before comparing with threshold level and mask generating, what is defined as a Gaussian equation,

$$k_{fh} = \exp\left(\frac{-(r_{fh} - r_{th})^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{when, } \sigma^2 = \frac{\sum (r_{fh} - r_{th})^2}{N} \quad (2)$$

Then the result of weighted correlation of each sub-image pair will be compared to the threshold level (ϵ) to generate binary mask for next level analysis. Mask is given

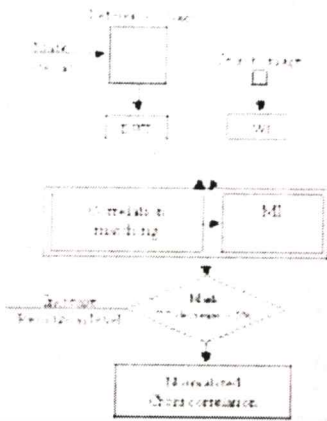


Fig.1. Proposed multi-resolution registration procedure

$$M_{corr_match}(f, h) = \begin{cases} 1 & \text{if } \epsilon \leq \frac{r_{fh}}{\sqrt{r_{ff}r_{hh}}} k_{fh} \\ 0 & \text{if } \epsilon > \frac{r_{fh}}{\sqrt{r_{ff}r_{hh}}} k_{fh} \end{cases} \quad (3)$$

The matched distance that greater than the threshold level will be eliminated and set as “0” in the mask. On the other hand, it will be preserved and set as “1” in the mask.

3. Mutual information

Mutual information (MI) is based on information theory concepts, measures the amount of information relation between two random variables f and h . This measurement is related with the entropy of the variable distribution and it is determined by,

$$C(f, h) = \sum_{i,j} Pfh(i, j) \log \frac{Pfh(i, j)}{Pf(i).Ph(j)} \quad (4)$$

where Pf and Ph are the marginal distribution of the random variables f and h , respectively, and Pfh is their joint distribution.

$$M_{MI}(f, h) = \begin{cases} 1 & \text{if } \epsilon \leq C(f, h) \\ 0 & \text{if } \epsilon > C(f, h) \end{cases} \quad (5)$$

4. Proposed multi-resolution image registration procedure

The registration process starts at lowest resolution of low frequency components of DWT (Discrete wavelet transform). The low frequency component of search image then search through the reference image with two similarities, correlation matching by correlation measurement and MI, to generate the mask. This mask used to superimpose to the reference image at higher resolution. The “1” in binary mask is used to preserve the expected registration area and “0” is used to eliminate for unexpected area for reducing the computation in next resolution level. The process starts with the correlation matching then

switches to MI similarity measurement when the “1” in mask decrease less than 5% when compared with previous level. The registration process will be completed at finest resolution with normalized correlation measurement that is defined as

$$R(x_0, y_0) = \frac{\sum_{x,y} f(x, y)h(x + x_0, y + y_0)}{\sqrt{\sum_{x,y} f(x, y)^2 \sum_{x,y} h(x + x_0, y + y_0)^2}} \quad (6)$$

The procedure is shown in fig.1.

5. Experimental results

The image under this experiment is a part of Hong Kong. This reference image size is 256×256 pixel², and the search area is a lake with size 32×32 pixel², as shown in fig 2. The coarse resolution level is based on the search image size, here is $5 = \log_2(32)$.

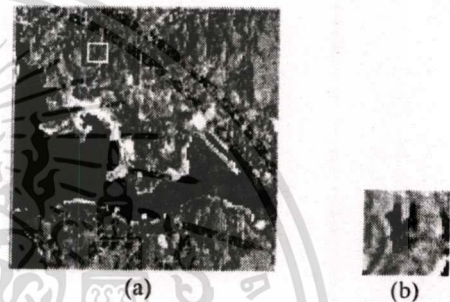


Fig.2. (a).Reference (base) image (b). search image

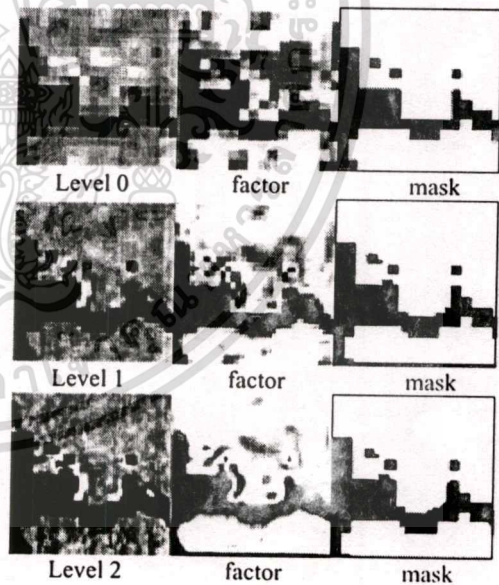


Fig.3. Multi resolution image registration with correlation matching

The process begins at the coarsest resolution (level 0) by correlation matching. The fig.2 shows the experimental result of superimposed reference image,

enhancement factor and mask the generation of each level. The process will be repeated through level 3 that "1" in mask increase lower 5% when compared with the previous level. Then, the process switches to use MI similarity measurement to process. Figure 4 shows the result of MI process. The final result of image registration and calculation cost summary are shown in fig.5.

6. Conclusion

These two combined similarity measurement procedure give the efficient of computation. The proposed technique also provides the robust of multi-resolution image registration in the sense of geometric distorted image independent due to non-pixel-wise process. The correlation matching is based on gray level computation, while the MI is based on the statistically computation. Only last step at finest resolution has to be considered for final registration.

7. Reference

- [1] W. F. Webber, 1973. Techniques for Image Registration, IEEE Conf. on Machine Processing of Remotely Sensed Data, pp. 1B.1 - 1B.7.
- [2] W. K. Pratt, 1974. Correlation Techniques of Image Registration, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. 1, Vol. AES-10, pp.353-358.
- [3] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, 1993. *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, USA.
- [4] R. Marti and R. Zwiggelaar, 2000. A Novel Similarity Measure to Evaluate Image Correspondence, IEEE Conf. Pattern Recognition (ICPR'00), Vol.3, pp.197-170.
- [5] M. McGuire and H. S. Stone, 2000. Techniques for Multiresolution Image Registration in the Presence of Occlusions, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Vol.38, No.3, pp. 1476-1479.

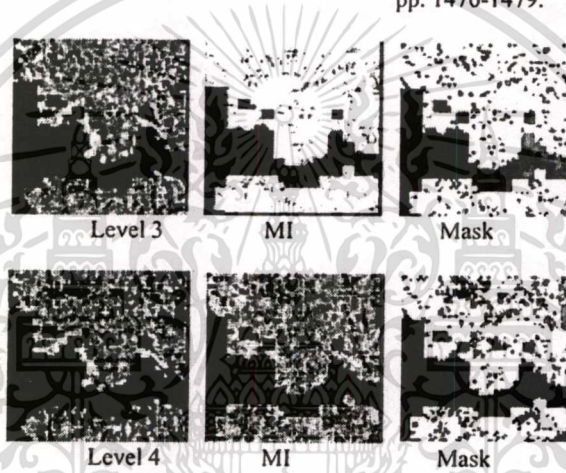
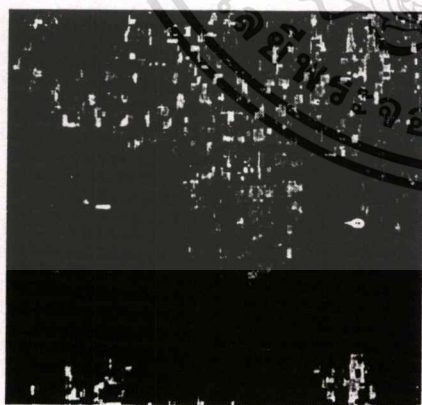
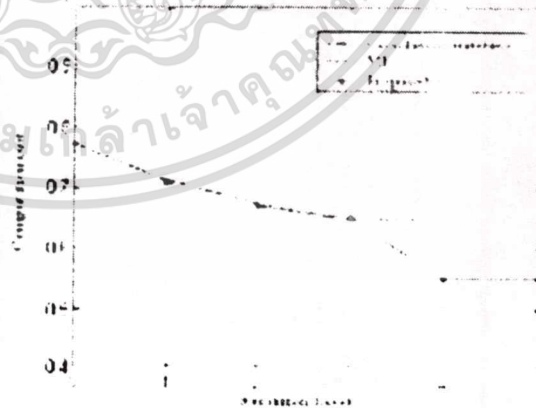


Fig.4 Multi-resolution image registration with MI



(a). Normalize cross correlation (Level 5)



(b). Calculation cost

Fig.5 The final image registration and calculation cost

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายประยงค์ ลิขิตการไพบูลย์ เกิดเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ.2517 เขต บางเขน จังหวัด กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต จาก มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น พ.ศ. 2541 ปัจจุบันทำงานตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้