

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประมวลข้อมูลภาพถ่ายในระยะไกล
Image Processing for Remote Sensing Data

ชาญชัย เพียรวิจารณ์พงศ์
Chanchai Peanvijarnpong

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ฟุคคี่ ชิวสุวิทย์
Advisor
Assoc.Prof.Dr. Fusak Cheevasuvit



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

ISBN 974-8157-28-8

เลขหมู่

เลขทะเบียน 17403

12 พ.ค. 2535
วัน, เดือน, ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงปี พ.ศ. 2535 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

นับแต่ประเทศไทยได้สร้างสถานีรับสัญญาณดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ณ ถนนฉล่องกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร บนพื้นที่ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการผลิตข้อมูลภาพถ่ายในระยะไกล ให้แก่ประเทศต่าง ๆ ในภูมิภาคนี้ การประมวลผลภาพถ่ายในระยะไกลจากดาวเทียม จึงนับเป็นวิชาการที่มีความสำคัญ และเป็นประโยชน์อย่างมากทั้งในปัจจุบันและอนาคต วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการประมวลผลภาพถ่ายในระยะไกล ทั้งในส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการผลิตข้อมูลภาพถ่าย และการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของข้อมูลภาพถ่าย ดังนี้

- 1) วิธีการกำจัดข้อมูลรบกวน (Pixel noise) ในภาพถ่ายจากระยะไกล โดยใช้เทคนิค Low-pass spatial filtering ซึ่งวิธีการนี้สามารถกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูล (Computer Compatible Tapes, CCTs) ได้อย่างถูกต้อง และก่อให้เกิดภาพคมชัด นอกจากนี้ยังสามารถรักษาคุณภาพของภาพถ่ายได้ดีเหมือนเดิม (Edge preserving)
- 2) วิธีการต่อภาพข้อมูลรหัสตัวเลขโดยการประยุกต์ใช้ Non-linear bias function แบบ Butterworth ร่วมกับ Median filtering ทำให้สามารถต่อภาพได้อย่างสมบูรณ์และคมชัดกว่าแบบดั้งเดิมที่ใช้ linear function นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดรอยตะเข็บของการต่อภาพได้ดีมากยิ่งขึ้นด้วย
- 3) วิธีการปรับปรุงภาพถ่ายให้เด่นชัด โดยการใช้ Gradient templates ที่มีคุณสมบัติแบบ High-pass filter ซึ่งวิธีการนี้สามารถเน้นภาพให้เกิดลายเส้น (Linearment) ขึ้น อันเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลของนักธรณีวิทยาที่จะใช้ในการสำรวจหาแหล่งแร่ต่าง ๆ

Abstract

Since the government of Thailand established a ground receiving station to acquire remotely sensed data from LANDSAT satellite for Thai users and other users in the South East Asian region, the image processing techniques in data production and data application become more and more important not only to the station, but also to the data users. This thesis presents spatial filtering techniques in image processing of remotely sensed data, in which are useful for data production and data application. Those techniques are developed as follows:

1) Pixel Noise Cleaning by using Low-pass Spatial Filter. This technique was implemented in data production in order to clean the noise in the Computer Compatible Tape (CCT) of Landsat MSS data before delivery of data to users.

2) Image Mosaicing by using Non-linear Bias Butterworth Function and Median Filtering. This technique is able to make a mosaiced image in better contrast and without data discontinuity. This will make benefits to user for interpretation of a bigger area from the mosaiced image.

3) Edge Enhancement by Adding Gradient Information. The 12 directional templates are used to generate a gradient image for merging to the original. The edge enhanced image is very important for geologist to utilize in exploration of natural mines.

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้และงานวิจัยที่ได้ทำขึ้นจนสำเร็จได้ด้วยคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ จาก รศ.ดร.พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ ณ สถาบันแห่งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายระยะไกลในประเทศไทย.....	1
1.2 ที่มาของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 การกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 โครงสร้างของการจัดเก็บข้อมูลในเทป CCT แบบ CCRS Format.....	4
2.3 วิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนโดยใช้ Low-pass Spatial Filter	6
2.4 วิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนสำหรับเทปข้อมูล.....	8
2.5 ผลการทดลองที่ได้รับจากวิธีการกำจัดข้อมูลในเทปข้อมูล CCT.....	12
2.6 สรุป.....	14
บทที่ 3 การต่อภาพข้อมูลรหัสตัวเลข.....	15
3.1 บทนำ.....	15
3.2 หลักการต่อภาพแบบดั้งเดิมโดยใช้ Linear Function.....	15
3.3 หลักการต่อภาพโดยใช้ Butterworth Function.....	19
3.4 วิธีการต่อภาพโดยใช้ Butterworth function และประยุกต์กับ Median filter.....	21
3.5 ผลการทดลอง.....	23
3.6 สรุป.....	30
บทที่ 4 การปรับปรุงภาพให้เด่นชัดโดยการเน้นขอบข้อมูลด้วยข้อมูลเกรเดียนต์.....	31
4.1 บทนำ.....	31
4.2 หลักการปรับปรุงภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูล.....	31
4.3 วิธีการทำข้อมูลเกรเดียนต์โดยการใช้เกรเดียนต์เทมเพลตหลายทิศทาง..	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.4 การปรับปรุงภาพเกรเดียนท์ด้วย Inverse Normalized Butterworth Function.....	37
---	----

4.5 ผลการวิจัย.....	38
---------------------	----

4.6 สรุป.....	42
---------------	----

บทที่ 5 บทสรุป.....	43
---------------------	----

5.1 สรุปผลการวิจัย.....	43
-------------------------	----

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ.....	44
--	----

เอกสารอ้างอิง.....	45
--------------------	----

ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	47
--	----

ภาคผนวก ข โปรแกรมของการประมวลผลข้อมูลในระยะไกล.....	93
---	----

ภาคผนวก ค โพลีชาร์ตของโปรแกรมการประมวลผลข้อมูลในระยะไกล.....	114
--	-----

รูปที่ 2.1	แสดงโครงสร้างไฟล์ข้อมูลในเทป CCT	5
รูปที่ 2.2	แสดงโครงสร้างของเช็ทข้อมูลภาพ	5
รูปที่ 2.3	แสดงการทำงานของ Spatial Filtering ใน Image Plane โดยใช้ Mask เคลื่อนตัวไปทางแนวนอนและแนวตั้ง	7
รูปที่ 2.4	ผังแสดงขบวนการการจัดข้อมูลรบกวนสำหรับเทปข้อมูล.....	9
รูปที่ 2.5	ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีข้อมูลรบกวนปรากฏอยู่ในภาพ.....	12
รูปที่ 2.6	แสดงค่าข้อมูลรบกวนของภาพในเชิงตัวเลข.....	13
รูปที่ 2.7	ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่กำจัดข้อมูลรบกวนแล้ว.....	13
รูปที่ 2.8	ผังแสดงการผลิตฟิล์มข้อมูลจากเทป CCT.....	14
รูปที่ 3.1	แผนผังแสดงการต่อภาพ(Image Mosaicing)สำหรับภาพ A และภาพ B..	16
รูปที่ 3.2	(a)การต่อภาพ A และ B โดยการต่อด้านข้าง (b) การใช้ Weighting Function แบบเชิงเส้นสำหรับการต่อภาพ A และ B.....	17
รูปที่ 3.3	(a)แสดงการประมวลผลข้อมูลในการต่อภาพของภาพ A และ B ใน Line ที่ i โดยการพิจารณาครีเดิล (b) Bias Function แบบเชิงเส้นของภาพ A และ B.....	19
รูปที่ 3.4	(a) Inverse Butterworth Function (b) Butterworth Function.....	20
รูปที่ 3.5	แสดงผังการต่อภาพด้วยวิธี Butterworth Function.....	22
รูปที่ 3.6	แสดง Horizontal Window ของ Median Filter ที่ใช้ในการกำจัดข้อมูลรบกวนทางแนวตั้ง.....	23
รูปที่ 3.7	ผังแสดงการต่อภาพโดยใช้ Butterworth Function ร่วมกับ Median Filter.....	24
รูปที่ 3.8	ภาพ A (จะอยู่ด้านซ้ายของการการต่อภาพ).....	25
รูปที่ 3.9	ภาพ B (จะอยู่ด้านขวาของการการต่อภาพ).....	25
รูปที่ 3.10	ภาพข้อมูลบางส่วน (Sub-Image) ในบริเวณซ้อนทับกันที่ใช้ในการทำ สหสัมพันธ์เพื่อหาตำแหน่งซ้อนทับกันของภาพ A และภาพ B.....	26
รูปที่ 3.11	ภาพ B ใหม่ที่ได้รับการปรับค่าความเข้มของจุดข้อมูลภาพ.....	27

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.12 ภาพโมเสคที่ได้จากการต่อภาพโดยไม่ผ่าน Butterworth Function...	28
รูปที่ 3.13 ภาพโมเสคที่ได้จากการใช้ Butterworth Function ในการกำจัดรอยตะ เข็บ.....	28
รูปที่ 3.14 ภาพโมเสคที่ผ่านการกำจัดข้อมูลรบกวนด้วย Median Filter.....	29
รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงการปรับปรุงภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูล.....	32
รูปที่ 4.2 เทมเพลตที่ใช้ในการคำนวณค่าเกรเดียนต์ของ Shettigara มีขนาดแมทริกซ์ 7 X 7.....	32
รูปที่ 4.3 เกรเดียนต์เทมเพลต 12 ทิศทางที่มีขนาดแมทริกซ์ 7 X 7.....	36
รูปที่ 4.4 ผังแสดงการปรับปรุงภาพเน้นขอบข้อมูลแบบ 12 ทิศทางร่วมกับใช้ Inverse Butterworth Function.....	37
รูปที่ 4.5 ลักษณะของ Normalized Butterworth Function.....	39
รูปที่ 4.6 ลักษณะของ Inverse Normalized Butterworth Function.....	39
รูปที่ 4.7 ปริมาณการใช้งานของเทมเพลต 12 ทิศทาง.....	40
รูปที่ 4.8 (a) ภาพดั้งเดิม.....	41
รูปที่ 4.8 (b) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเน้นขอบภาพโดยใช้ Flatness Order=1, Cutoff=31.....	41
รูปที่ 4.8 (c) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเน้นขอบภาพโดยใช้ Flatness Order=1, Cutoff=46.....	41
รูปที่ 4.8 (d) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเน้นขอบภาพโดยใช้ Flatness Order=2, Cutoff=31.....	42
รูปที่ 4.8 (e) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเน้นขอบภาพโดยใช้ Flatness Order=2, Cutoff=46.....	46

1.1 การประมวลผลภาพถ่ายในระยะไกลในประเทศไทย

การถ่ายภาพในระยะไกล เป็นวิธีการที่จะได้ข้อมูลของวัตถุหรือสิ่งของ โดยไม่ต้องสัมผัสวัตถุหรือสิ่งของนั้น ซึ่งวิทยาการถ่ายภาพในระยะไกล ได้มีการพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพในระยะไกลเรื่อยมาเป็นลำดับ จากการถ่ายภาพและบันทึกข้อมูลด้วยฟิล์ม มาเป็นการถ่ายภาพและบันทึกข้อมูลด้วยเทปคอมพิวเตอร์ที่เป็นรหัสตัวเลข และจากการถ่ายภาพด้วยเครื่องบิน มาเป็นการถ่ายภาพด้วยดาวเทียม ที่เราเรียกกันโดยทั่วไปว่า รีโมทเซนซิง (Remote Sensing)

ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยองค์การนาซา ได้ริเริ่มโดยการถ่ายภาพในระยะไกลด้วยดาวเทียมเป็นประเทศแรก โดยการส่งดาวเทียม Landsat ขึ้นโคจรรอบโลกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่างๆที่อยู่บนโลก ดาวเทียม Landsat ได้ทำการถ่ายภาพและส่งสัญญาณข้อมูลลงมายังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน เพื่อผลิตข้อมูลภาพถ่ายให้แก่ผู้ใช้ข้อมูลทั้งในลักษณะฟิล์มข้อมูลและเทปคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้ข้อมูลภาพถ่าย จะทำการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายและประยุกต์ใช้ประโยชน์จากข้อมูลภาพถ่ายเพื่อการจัดการและวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ อาทิ การสำรวจและติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ การสำรวจหาแหล่งแร่ การสำรวจการใช้ที่ดิน การสำรวจพื้นที่การเกษตร การสำรวจและพัฒนาแหล่งน้ำ การสำรวจพื้นที่ชลประทาน การทำแผนที่ต่างๆ และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยได้เข้าร่วมโครงการดาวเทียม Landsat ขององค์การนาซา ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ. 2514 โดยมีสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เป็นผู้ประสานงาน และนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat มาแจกจ่ายให้แก่หน่วยราชการต่างๆ เพื่อทำการวิจัยประยุกต์ใช้ประโยชน์ ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2524 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ได้ทำการสร้างสถานีรับสัญญาณดาวเทียม Landsat ขึ้นเป็นแห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นับแต่นั้นมาจนกระทั่งปัจจุบันนี้ ประเทศไทยเป็นศูนย์ประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อการผลิตข้อมูล (Data Production) ให้แก่ผู้ใช้ข้อมูลประเทศต่างๆ ในภูมิภาคนี้ ในขณะที่เดียวกันผู้ใช้ข้อมูลทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ ได้พยายามพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายในเชิงประยุกต์ใช้ประโยชน์ (Data Application)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมุ่งเน้นการแปลข้อมูลจากภาพถ่าย (Image Interpretation) และการปรับปรุงภาพถ่าย (Image Enhancement) ให้สามารถแปลข้อมูลได้ง่ายและถูกต้องมากยิ่งขึ้น ประเทศก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่างๆ ได้เล็งเห็นความสำคัญและประโยชน์จากการถ่ายภาพในระยะไกลด้วยดาวเทียม จึงได้ส่งดาวเทียมถ่ายภาพในระยะไกลแล้วเช่นกันคือ ประเทศฝรั่งเศส ได้ส่งดาวเทียมสปอต (SPOT) ประเทศญี่ปุ่น ได้ส่งดาวเทียมมอส (MOS) และประชาคม ยุโรป ได้ส่งดาวเทียม อีอาร์เอส-1 (ERS-1) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2535 ประเทศญี่ปุ่นจะส่งดาวเทียมเจอีอาร์เอส-1 (JERS-1) ขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกา จะส่งดาวเทียม Landsat ดวงที่ 6 ขึ้นโคจรเพื่อทำการถ่ายภาพในระยะไกลที่สามารถทำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่างๆ

ดังนั้นการประมวลผลภาพถ่ายในระยะไกลในด้านการผลิตข้อมูล (Data Production) และการประยุกต์ (Data Application) จึงเป็นเรื่องหนึ่งของการวิจัยและพัฒนา ที่เป็นที่สนใจของนานาประเทศ และจักเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทยปัจจุบันและอนาคตด้วย

1.2 ที่มาของวิทยานิพนธ์

การวิจัยพัฒนาและสร้างขีดความสามารถทางเทคโนโลยีให้เกิดขึ้นในประเทศ เป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด แม้ว่าประเทศไทยได้มีการสร้างสถานีรับสัญญาณดาวเทียม และสามารถผลิตข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้ข้อมูลทั้งในประเทศและต่างประเทศแล้วก็ตาม แต่เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายในการผลิตข้อมูลของสถานีรับนั้น ประเทศแคนาดาเป็นผู้วิจัยและพัฒนาขึ้น หากประเทศไทยสามารถพัฒนาเทคนิคการประมวลภาพถ่ายในระยะไกลด้วยตนเองได้ ก็น่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ

จากความมุ่งมั่นดังกล่าว ประกอบกับสถานีรับสัญญาณดาวเทียมได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลรบกวน (Pixel Noise) ปรากฏขึ้นในภาพถ่ายดาวเทียม และไม่สามารถผลิตข้อมูลให้บริการแก่ผู้ใช้ข้อมูลได้ ดังนั้นการกำจัดข้อมูลรบกวน (Pixel Noise Cleaning) จึงเป็นงานวิจัยและเป็นที่มาของส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้เสนอวิธีการประมวลผลภาพถ่ายในระยะไกลในการต่อภาพ (Image Mosaicing) และการปรับปรุงภาพถ่ายโดยการเน้นขอบข้อมูล (Edge Enhancement)

งานวิจัยเทคนิคการกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพถ่ายโดยใช้ Low-pass Spatial Filter และวิธีการผลิตเทปข้อมูลภาพถ่ายในระยะไกลเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้ข้อมูล จะได้กล่าวในบทที่ 2 ส่วนงานวิจัยเทคนิคการต่อภาพ และการปรับปรุงภาพถ่ายโดยการเน้นขอบข้อมูล จะได้กล่าวในบทที่ 3 และที่ 4 ตามลำดับ และในบทที่ 5 จะเป็นการสรุปผล ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการวิจัยและพัฒนาเทคนิคการประมวลภาพถ่ายในระยะไกลต่อไป



บทที่ 2

การกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพถ่ายจากดาวเทียม

Pixel Noise Cleaning for Satellite Imagery

2.1 บทนำ

สถานีรับสัญญาณข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่มีชื่อว่า ดาวเทียมแลนด์แซท (Landsat) ได้ประสบปัญหาการรบกวนของ Pixel Noise ในภาพถ่ายจากดาวเทียม จนไม่สามารถผลิตภาพถ่ายเพื่อให้บริการแก่หน่วยงานผู้ใช้ภาพถ่ายในประเทศและต่างประเทศ

โดยที่ข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียม (Downlink data) ในระบบ Multi-spectral Scanner System (MSS) ของดาวเทียมแลนด์แซท เป็นข้อมูลไบনারีที่มีค่าความเข้ม (Intensity) จำนวน 64 ระดับ เมื่อเกิดการรบกวนจากความถี่คลื่นวิทยุภายนอก หรือเกิดความไม่สมดุลย์ของเครื่องอ่านข้อมูลภาพ จะทำให้เกิดเป็นจุดขาว ๆ (White Noise) หรือจุดขาวและจุดดำ (Salt and Pepper Noise) กระจายรบกวนปรากฏให้เห็นในภาพถ่ายจากดาวเทียม ซึ่งทำให้ภาพถ่ายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทรัพยากรได้ ข้อมูลรบกวน (pixel noise) นี้มีลักษณะที่แตกต่างจากข้อมูลข้างเคียงอย่างเด่นชัด และจะมีคุณสมบัติเป็น High Spatial Frequency

ดังนั้นในบทนี้จึงได้กล่าวถึงวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวน โดยใช้ Low-pass Spatial Filter ที่ทำงานในลักษณะ Smoothing [1,2] ซึ่งได้พัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายดาวเทียม ที่เก็บไว้ในรูปของเทปคอมพิวเตอร์มาตรฐานที่เรียกว่า Computer Compatible Tape (CCT) และมีการจัดเรียงข้อมูลในเทปแบบ Canada Center for Remote Sensing (CCRS Format) [3] ซึ่งเป็น CCT แบบหนึ่งที่ยอมรับใช้ในวงการ Remote Sensing

2.2 โครงสร้างของการจัดเก็บข้อมูลในเทป CCT แบบ CCRS Format

เทปข้อมูล CCT แบบ CCRS Format มีโครงสร้างประกอบด้วย 3 files (แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 และ 2.2) คือ

- (1) Universal Header File
- (2) Landsat Header File
- (3) Video Data File

FILE	9-TRACK INTERCHANGE CODE	RECORD		
		NUMBER	NAME	SIZE (BYTES)
Universal Header	EBCDIC and BINARY	1	Universal Header	3060
LANDSAT Header	EBCDIC or ASCII	1	LANDSAT Header	1440
		2	Geometric Transform- ation	2700
		3	Radiometric Trans- formation Band 4	1620
		4	Radiometric Trans- formation Band 5	1620
		5	Radiometric Trans- formation Band 6	1620
		6	Radiometric Trans- formation Band 7	1620
		7	Radiometric Trans- formation Band 8	1620
VIDEO	BINARY	1	Scan line 1 Band 4	3780
		2	Scan line 1 Band 5	3780
		3	Scan line 1 Band 6	3780
		4	Scan line 1 Band 7	3780
		5	Scan line 2 Band 4	3780
		6	Scan line 2 Band 5	3780
		7	Scan line 2 Band 6	3780
		8	Scan line 2 Band 7	3780
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-
		21	Scan line 6 Band 4	3780
		22	Scan line 6 Band 5	3780
		23	Scan line 6 Band 6	3780
		24	Scan line 6 Band 7	3780
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-
		9140	Scan line 2285 Band 7	3780
		9141	Scan line 2286 Band 4	3780
		9142	Scan line 2286 Band 5	3780
		9143	Scan line 2286 Band 6	3780
		9144	Scan line 2286 Band 7	3780

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างไฟล์ข้อมูลในเทป CCT

CONTENTS	RECORD NUMBER 01	ANCILLARY DATA	VIDEO DATA FOR BAND 4
BYTES	01-02	03-180	181-3780
CONTENTS	RECORD NUMBER 02	VIDEO DATA FOR BAND 5	ANCILLARY DATA
BYTES	01-02	03-3602	3603-3780
CONTENTS	RECORD NUMBER 03	VIDEO DATA FOR BAND 6	ANCILLARY DATA
BYTES	01-02	03-3602	3603-3780
CONTENTS	RECORD NUMBER 04	VIDEO DATA FOR BAND 7	ANCILLARY DATA
BYTES	01-02	03-3602	3603-3780

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเซ็ทข้อมูลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางในรูปที่ 2.1 นั้น ไฟล์ที่ 1 และ ที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับเทปข้อมูล CCT และข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินการวิธีข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซท ไฟล์ทั้งสองนี้จะต้องมีอยู่ในเทป CCT ที่ผ่านขบวนการกำจัด Noise และจะต้องมีข้อมูลและรูปแบบเช่นเดียวกับเทปข้อมูล CCT ที่นำมากำจัด ส่วนไฟล์ที่ 3 จะประกอบด้วยข้อมูลภาพ MSS ของ 4 ช่วงคลื่น (Spectral Band) โดยที่ในแต่ละช่วงคลื่นมีข้อมูลภาพขนาด 3780 pixels และ 2286 lines ข้อมูลรบกวนจะอยู่กระจัดกระจายในข้อมูลภาพในไฟล์ที่ 3 ดังนั้นข้อมูลภาพทั้งหมดจะผ่านขบวนการกำจัด Noise และจะบันทึกข้อมูลภาพที่ได้ลงบนเทปข้อมูล CCT โดยให้มีโครงสร้างและรูปแบบตามข้อกำหนดของเทปข้อมูล CCT แบบ CCRS Eormat

2.3 วิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนโดยใช้ Low-pass Spatial Filter

โดยทั่วไป ข้อมูลรบกวนจะปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอย่างกระจัดกระจาย และมีค่าระดับความเข้ม (Intensity level) มากกว่า หรือน้อยกว่าค่าระดับความเข้มของข้อมูลข้างเคียง (Neighbors) ซึ่งสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการใช้ Low-pass Spatial Filter โดยอาศัยข้อมูลข้างเคียง จะสามารถนำมาประมวลผลในการกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพถ่ายได้ดี

วิธีการของ Low-pass spatial Filter ที่ใช้ในการประมวลผลภาพข้อมูลเชิงตัวเลข โดยมี Filter Window หรือ "MASK" ซึ่งแสดงได้ดัง matrix H ข้างล่างนี้

$$H = 1/9 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{หรือ} \quad H = 1/16 \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

ในการประมวลผลจริงของ Spatial Filter ในภาพถ่ายนั้น Filter Window จะเคลื่อนตัวจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง ดังรูป 2.3 ซึ่งการเคลื่อนตัวนี้สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ ของการทำงานได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(x,y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 H(i,j) F(x-2+i, y-2+j) \quad \dots (2.1)$$

(3, 1) -7-

(2, 1) $2 = 2 - 2 + 2 \quad 1 - 2 + 2 = 0$ (2, 0) =

(1, 1) $1 = 2 - 2 + 1 \quad 1 - 2 + 1 = 0$ (1, 0) = $1 * 1 = 1$

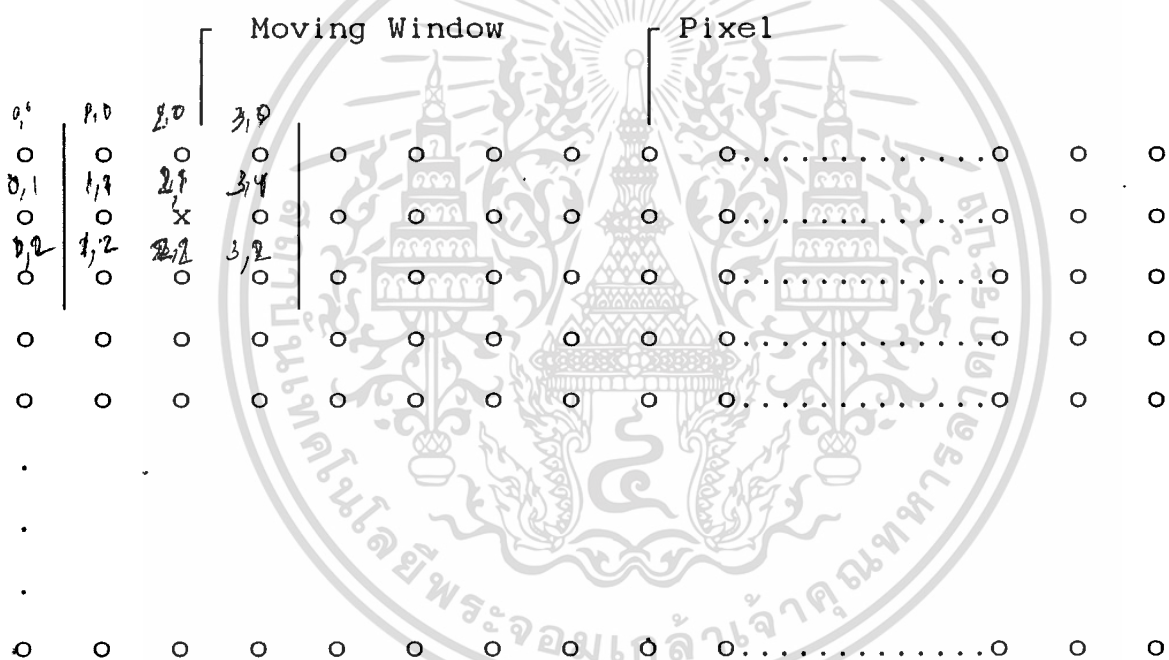
โดยที่ $F(x,y)$ เป็นภาพข้อมูลเชิงตัวเลขที่มีข้อมูลครบถ้วน

$G(x,y)$ เป็นภาพข้อมูลเชิงตัวเลขที่กำจัดข้อมูลครบถ้วน

$H(i,j)$ เป็น matrix ของ Filter window

x,y เป็นค่าตำแหน่งของข้อมูลเชิงตัวเลขในภาพข้อมูล

i,j เป็น matrix order ของ Filter Window ซึ่งกำหนดเป็น 3×3



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของ Spatial filtering ใน Image plane โดยใช้ Mask เคลื่อนตัวไปตามแนวนอน และแนวตั้ง

แต่โดยที่ หากได้ใช้วิธีการ Low-pass Filtering โดยตรงแล้ว จะทำให้ต้องประมวลผลข้อมูลทั้งภาพ อันก่อให้เกิดภาพขาดความคมชัดที่เรียกกันทั่วไปว่า ภาพเบลอร์ (Blur) ซึ่งเป็นการทำลายข้อมูลภาพในส่วนอื่น ๆ และไม่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม นอกจากนี้ยังเป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการประมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลข้อมูล ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพที่นำเสนอ จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์ให้สอดคล้องต่อการผลิตข้อมูล สามารถกำจัดข้อมูลรบกวนได้เป็นอย่างดี และยังคงรักษาคุณภาพข้อมูลภาพให้เหมือนเดิม ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า Neighbourhood Averaging [2,3,4] โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้คือ

- 1) จะทำการประมวลผลเฉพาะข้อมูลรบกวนเท่านั้น
- 2) จะอาศัยข้อมูลข้างเคียงเท่านั้น ในการกำจัดข้อมูลรบกวน
- 3) จะใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลให้น้อยที่สุด

จากหลักเกณฑ์ Neighbourhood Averaging ดังกล่าวข้างต้น หากใช้ Matrix Mask ขนาด 3 x 3 จะสามารถเขียนสมการที่ (2.1) ได้ใหม่เป็น

$$G(x,y) = \frac{1}{M} \left[\sum_{i=-1}^3 \sum_{j=-1}^3 F(i,j) - F(2,2) \right] \dots (2.2)$$

เมื่อ x, y เป็น coordinate ของ M ซึ่ง M เป็นเซตข้อมูลข้างเคียง ซึ่งไม่นับตำแหน่งกึ่งกลางของ Mask ซึ่งในที่นี้ M จะมีค่าเท่ากับ 8

ในขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนที่จะได้กล่าวต่อไปนั้น จึงต้องกำหนดขั้นตอนในการค้นหาข้อมูลรบกวนอันประกอบด้วยการสำรวจข้อมูลรบกวน (Pixel noise level investigation) และการตรวจจับข้อมูลรบกวน (Pixel noise detection) ก่อนที่จะใช้วิธี Neighbourhood Averaging ดังสมการที่ (2.2) ในการกำจัดข้อมูลรบกวน

2.4 วิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนสำหรับเทปข้อมูล (Noise Cleaning Procedure for CCT)

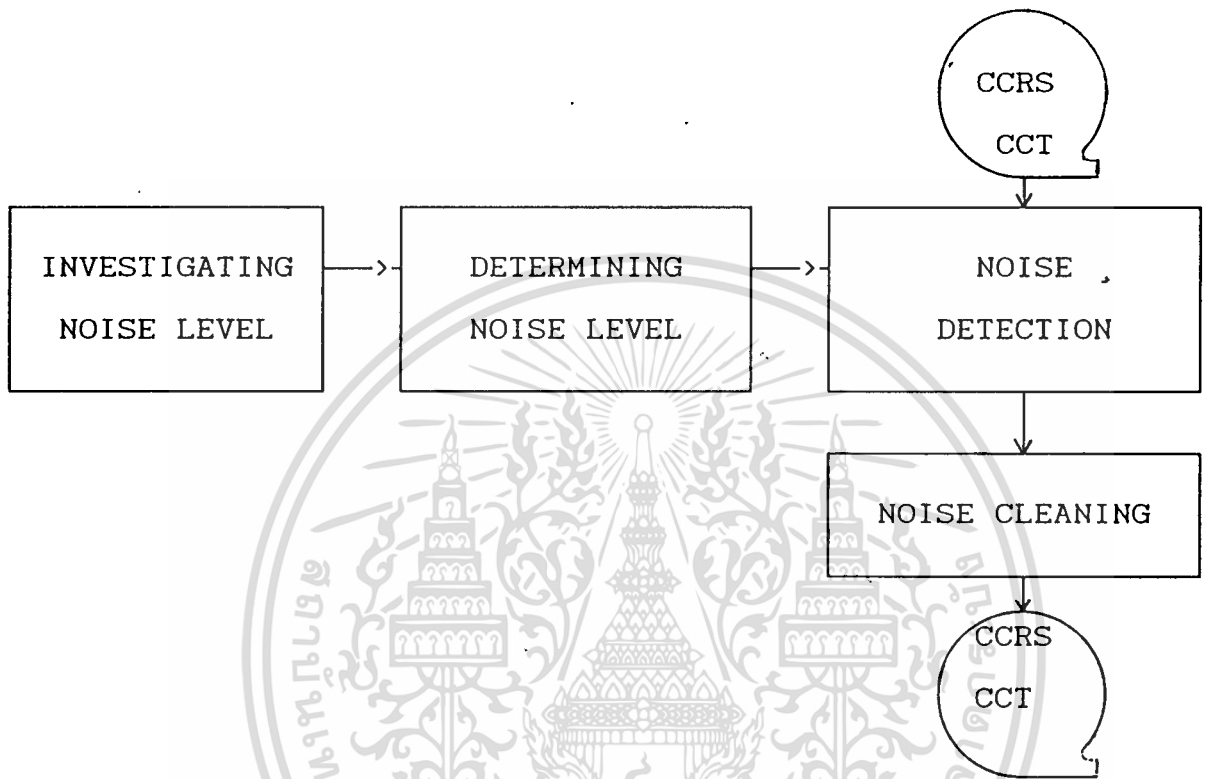
วิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนที่ได้พัฒนาขึ้นใช้ในการผลิตเทปข้อมูลในสถานีรับสัญญาณดาวเทียมนี้ ได้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.5 และมีรายละเอียดดังนี้

(1) การตรวจวัดค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวน (Investigating noise level)

ในขั้นตอนแรกนี้ ผู้ปฏิบัติงาน (Operator) จะทำการสำรวจและตรวจหาค่าระดับความเข้ม (Intensity level) ของข้อมูลรบกวนในข้อมูลภาพของแต่ละช่วงคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิธี Level Slicing และ Video Data Dumping จากขั้นตอนนี้ ทำให้ทราบค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนในแต่ละช่วงคลื่น ซึ่งเป็นผลให้การกำจัดข้อมูลรบกวนกระทำได้ดี และยังคงเก็บรักษาคุณภาพของ Image texture ของข้อมูลที่ได้อ้างอิงรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงข้อมูลดาวเทียมที่มีข้อมูลรบกวนปรากฏอยู่ ซึ่งมีค่าสูงกว่าข้อมูลข้างเคียง

(2) การตรวจหาข้อมูลรบกวนในภาพถ่าย (Pixel noise detection)

ข้อมูลรบกวนในภาพ อาจจะมีค่าระดับความเข้มต่ำหรือมีค่าระดับความเข้มสูงกว่าข้อมูลข้างเคียง หรือทั้งสองกรณี ค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนในแต่ละช่วงคลื่นที่ได้จาก ขั้นตอนที่ 1 จะป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจหาข้อมูลรบกวนก่อนการกำจัดข้อมูลรบกวน

(3) การกำจัดข้อมูลรบกวน (Pixel noise cleaning)

เมื่อรู้ตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูลรบกวนแล้ว ก็จะมีการปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวน โดยอาศัยกลุ่มข้อมูลข้างเคียง ดังสมการที่ (2.2)

(4) การบันทึกข้อมูลลงในเทป CCT (The cleaned data recording on CCT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ปรับเปลี่ยนระดับค่าความเข้มแล้วจะถูกบันทึกลงบนเทป CCT ตามรูปแบบการบันทึกข้อมูลแบบ CCRS Format และจะย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 อีกจนกว่าจะครบ 1 ภาพข้อมูล(scene) ซึ่งมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 9144 records (4 แบนด์ คูณด้วย 2286 lines เท่ากับ 9144 record)

ขั้นตอนของการปฏิบัติงานกำจัดข้อมูลรบกวนในเทป CCT ของเจ้าหน้าที่สถานีรับสัญญาณดาวเทียม มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

(1) ตรวจสอบ Noise levels ด้วยวิธี

- Intensity Level Slicing
- Pixel Data Dumping

และทำการจดบันทึก Noise Levels ในแต่ละช่วงคลื่น เพื่อป้อนให้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์ในการกำจัดข้อมูลรบกวนในขั้นตอนต่อไป

(2) กำหนด Input Parameters ให้แก่ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนโดยการโต้ตอบกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Operator Interaction) ในลักษณะ Prompt/Response Sequences ดังต่อไปนี้

PIXEL NOISE CLEANING PROGRAM

1. LANDSAT DATA IDENTIFICATION:

- (1) SPACECRAFT (2-5) >-
- (2) TRACK NO. (115-145) >-
- (3) ACQ. DATE (DDMMYY) >-
- (4) FRAME NO. (35-65) >-

2. I/O DEVICES AND FILTER BOX:

- (1) TAPE INPUT (0 // 0, 1) >-
- (2) TAPE OUTPUT (1. // 0, 1) >-
- (3) FILTER BOX (3 //) >-

3. NOISE LEVELS DETERMINATION:

(1) BAND 4

PEPPER NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (0 - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

SALT NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (* - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

(2) BAND 5

PEPPER NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (0 - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

SALT NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (* - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

(3) BAND 6

PEPPER NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (0 - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

SALT NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (* - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

(4) BAND 7

PEPPER NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (0 - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

SALT NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (* - 255) >-

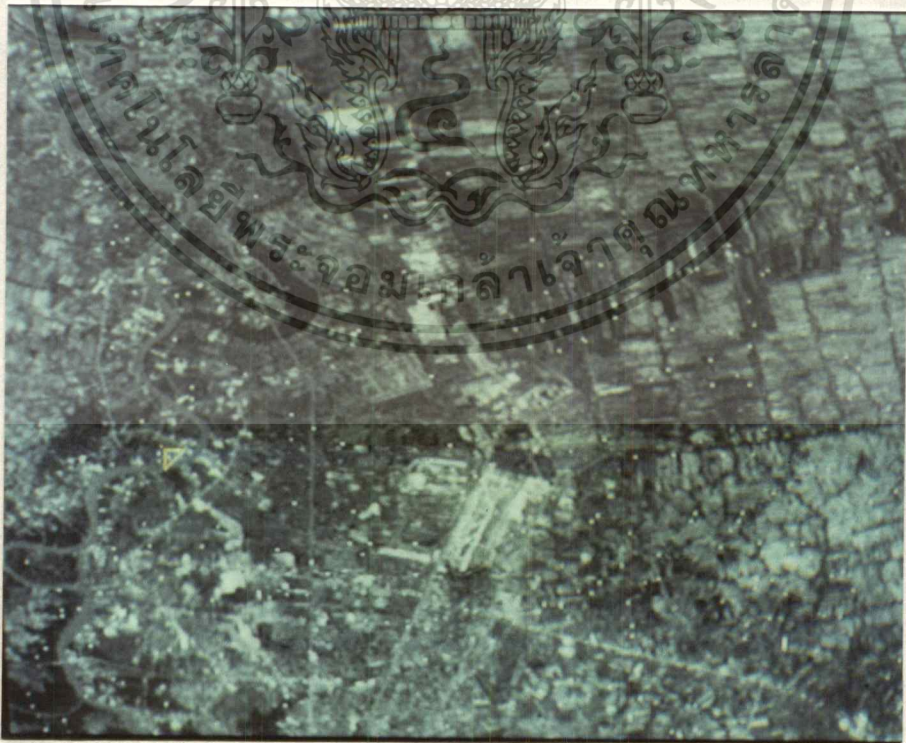
- UPPER LIMIT (* - 255) >-

(* คือค่า Noise level ที่ป้อนให้แก่ Prompt Sequence ที่แล้วมา ซึ่งค่า Noise level นี้จะปรากฏใน Prompt Sequence ต่อไปในแต่ละช่วงคลื่น)

เมื่อได้ป้อนคำตอบตาม Prompt Sequence เรียบร้อยแล้ว ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูลจะเริ่มปฏิบัติงานอย่างอัตโนมัติทันทีไปจนถึงสิ้นสุดขบวนการ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเทป CCT แบบ CCRS Format ที่ได้กำจัดข้อมูลรบกวนแล้ว

2.5 ผลการทดลองที่ได้รับจากวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูล CCT

ภาพถ่ายข้อมูลแลนด์แซทที่มีข้อมูลรบกวนและใช้ในการทดสอบนี้เป็นบริเวณสนามบินดอนเมือง ตามแนวของการโคจรของดาวเทียม Track 129 และตำแหน่งภาพที่ Frame 50 จากการรับสัญญาณดาวเทียม เมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2527 โดยที่รูปที่ 2.5 แสดงภาพข้อมูลที่มี Noise รบกวน ซึ่งเมื่อทำการดึงข้อมูล (Data Dumping) บริเวณที่มีข้อมูลรบกวนออกมาดู จะสามารถทราบระดับค่าข้อมูลรบกวนได้ ดังรูปที่ 2.6 และเมื่อป้อนค่าของข้อมูลรบกวนเข้าไปในขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.7

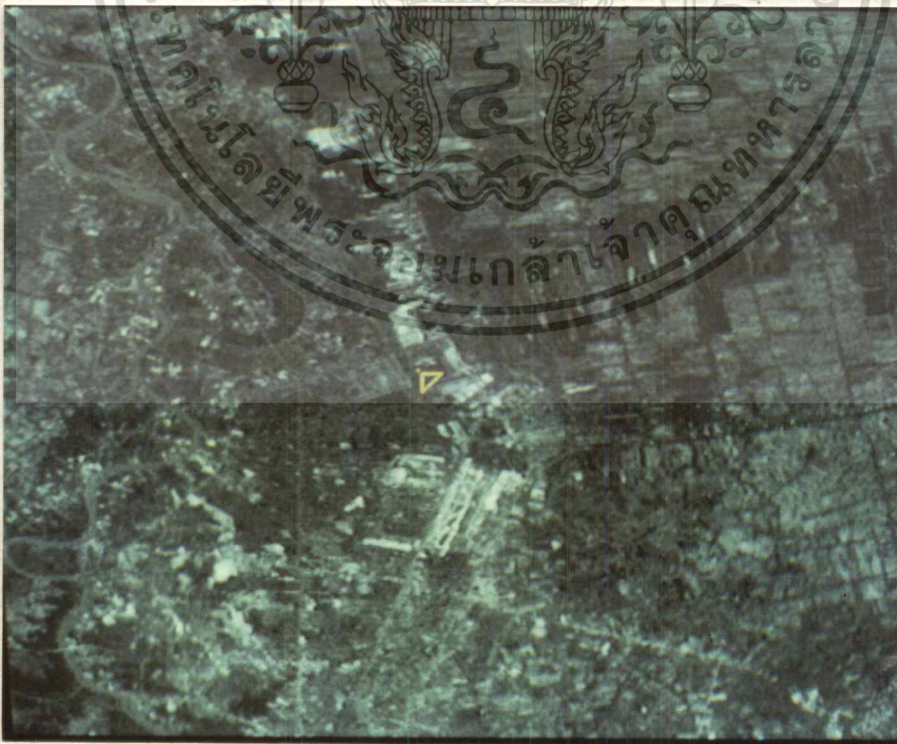


รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายจากดาวเทียม ที่มีข้อมูลรบกวนปรากฏในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINE: 275 PIXEL POSITIONS [360 389]
 48 48 52 45 45 42 45 45 45 45 45 45 42 42 42 45 45 42 42 42
 45 45 45 45 42 45 45 45 46 52
 LINE: 276 PIXEL POSITIONS [360 389]
 47 47 45 43 43 43 43 43 43 43 43 43 43 47 45 43 43 45 48 48
 43 45 47 45 43 43 43 45 47 48
 LINE: 277 PIXEL POSITIONS [360 389]
 43 43 43 43 43 42 44 48 44 42 22 133 118 27 44 44 48 44 42 42
 44 48 44 42 43 43 42 44 48 47
 LINE: 278 PIXEL POSITIONS [360 389]
 46 49 49 45 42 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 42 46
 47 41 41 45 45 42 46 49 49 49
 LINE: 279 PIXEL POSITIONS [360 389]
 165 32 51 43 49 49 48 47 47 47 48 49 47 44 43 35 105 189 23 43
 50 48 47 49 49 47 48 49 44 50
 LINE: 280 PIXEL POSITIONS [360 389]
 48 48 48 48 48 47 43 48 55 49 46 48 48 48 48 49 52 47 46 49
 46 42 47 46 46 47 48 46 46 47

รูปที่ 2.6 แสดงค่าข้อมูลรบกวนของภาพในเชิงตัวเลข

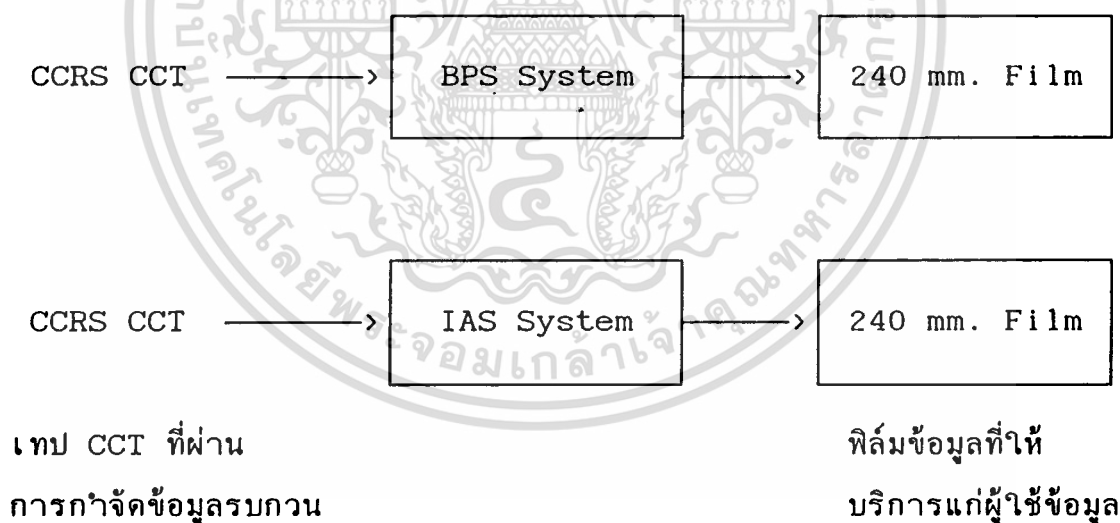


รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายจากดาวเทียม ที่กำจัดข้อมูลรบกวนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สรุป

วิธีการปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวน โดยใช้ Low-pass filter ที่ประยุกต์เป็นแบบ Neighbourhood Averaging นี้เป็นวิธีที่สามารถกำจัดข้อมูลรบกวน (Pixel Noise) ให้หมดไปได้ดี ภาพผลลัพธ์หลังการกำจัดข้อมูลรบกวน ยังคงรักษาไว้ซึ่งความคมชัดของภาพ ทั้งนี้เพราะว่าขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวน จะกระทำเฉพาะจุดที่ถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลรบกวนเท่านั้น นอกจากนี้ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทป CCT ที่ได้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ จะได้ผลลัพธ์เป็นเทป CCT ตามแบบมาตรฐานของ CCRS Format ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นฟิล์มข้อมูลทั้งในระบบผลิตข้อมูล (Bulk Processing System, BPS) และในระบบวิเคราะห์ข้อมูล (Image Analysis System, IAS) ของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้ข้อมูลต่อไปได้ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นจึงนับได้ว่าขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทป CCT ที่วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ เป็นประโยชน์ต่อสถานีรับสัญญาณดาวเทียม และต่อผู้ใช้ข้อมูลที่จะนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 2.8 ผังแสดงการผลิตฟิล์มข้อมูลจากเทป CCT

บทที่ 3

การต่อภาพข้อมูลรหัสตัวเลข Digital Image Mosaicing

3.1 บทนำ

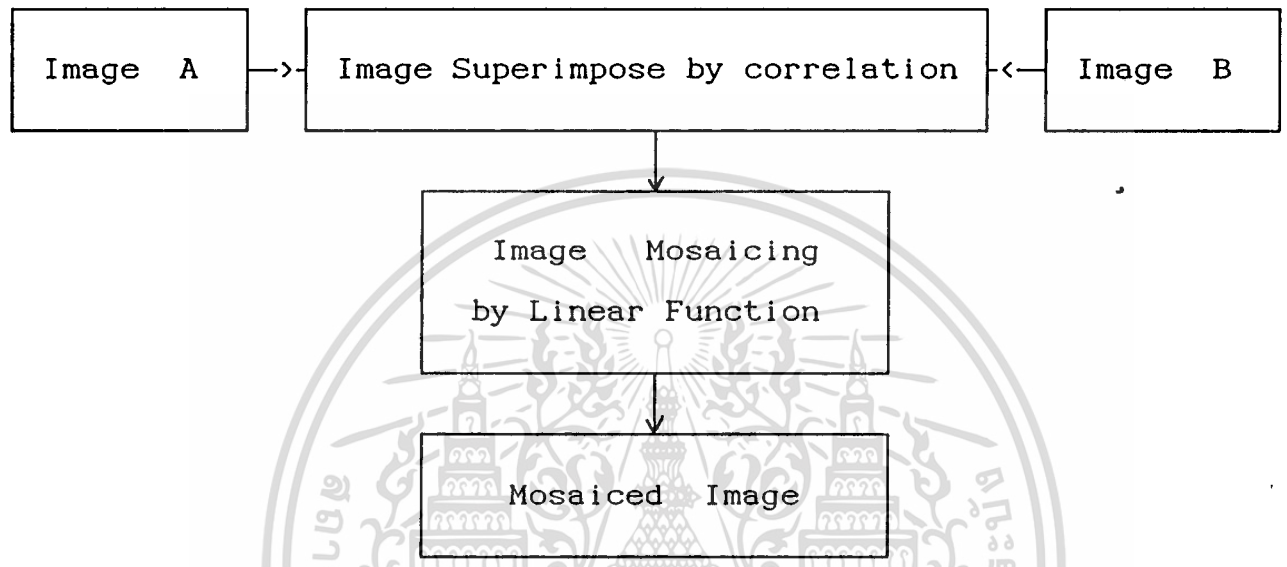
ในปัจจุบันนี้ ภาพถ่ายในระยะไกล อาทิ ภาพถ่ายจากดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ หรือแม้แต่ภาพถ่ายจากเรือดำน้ำ ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง แต่โดยที่ภาพถ่ายหนึ่ง ๆ จะครอบคลุมพื้นที่จำกัดในบริเวณเล็ก ๆ , ดังนั้นหากต้องการได้ภาพถ่ายในระยะไกลที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมากยิ่งขึ้น ก็จำเป็นต้องมีการนำภาพถ่ายมาต่อกัน การต่อภาพข้อมูล (Image Mosaicing) จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากเรื่องหนึ่งในการประมวลผลภาพถ่ายในระยะไกล

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการต่อภาพข้อมูลรหัสตัวเลข (Digital Image Mosaicing) แบบดั้งเดิมที่นิยมใช้ Weighting function ในลักษณะเป็นเส้นตรง (linear) [5] ในการปรับค่าความเข้ม (Intensity level) ของภาพที่นำมาต่อกัน แต่วิธีการนี้มีข้อบกพร่องที่ไม่สามารถต่อภาพได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือภาพที่ต่อแล้วหรือที่เรียกว่า ภาพโมเสค (Mosaiced Image) จะยังคงมีรอยตะเข็บของการต่อภาพอยู่ดังรูปที่ 3.12 ดังนั้นในบทนี้ ได้เสนอวิธีการต่อภาพโดยใช้ Non-linear Weighting Function แบบ Butterworth และ Inverse Butterworth ซึ่งสามารถขจัดรอยต่อได้ดีและก่อให้เกิดความต่อเนื่องของระดับสีเทาในภาพโมเสคได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิค Median Filter ในการกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพโมเสคด้วย

3.2 หลักการต่อภาพแบบดั้งเดิม โดยใช้ Linear Function

ในการต่อภาพแบบดั้งเดิมระหว่างภาพสองภาพที่ต่อเนื่องกันและมีบริเวณซ้อนกันบางส่วน มีหลักการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอนอันประกอบด้วย การหาตำแหน่งซ้อนทับกันของภาพ (Image Superimpose) ด้วยวิธีสหสัมพันธ์ (Correlation) และการต่อภาพปรับค่าความเข้มของจุดภาพต่างๆ โดยใช้ weighting function แบบเส้นตรง ดังผังแสดงการต่อภาพในรูปที่ 3.1

ในการปรับค่าความเข้มของภาพนั้น นิยมใช้ Weighting Function แบบเชิงเส้น โดยที่แต่ละจุดภาพ (pixel) จะกำหนดให้มีผลรวมของค่า Weighting เท่ากับ 1 ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นและเข้าใจง่าย ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการต่อภาพ (Image Mosaicing) สำหรับภาพ A และ B ตามลำดับ

ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแสดงการปรับค่าความเข้มของภาพทั้งสองได้ดังนี้

$$g_{AB}(x,y) = \begin{cases} g_A(x,y) & \text{for } 0 < y < y_1 \\ f_A \cdot g_A(x,y) + f_B \cdot g_B(x,y) & \text{for } y_1 < y < y_2 \\ g_B(x,y) & \text{for } y_2 < y < y_3 \end{cases} \dots (3.1)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

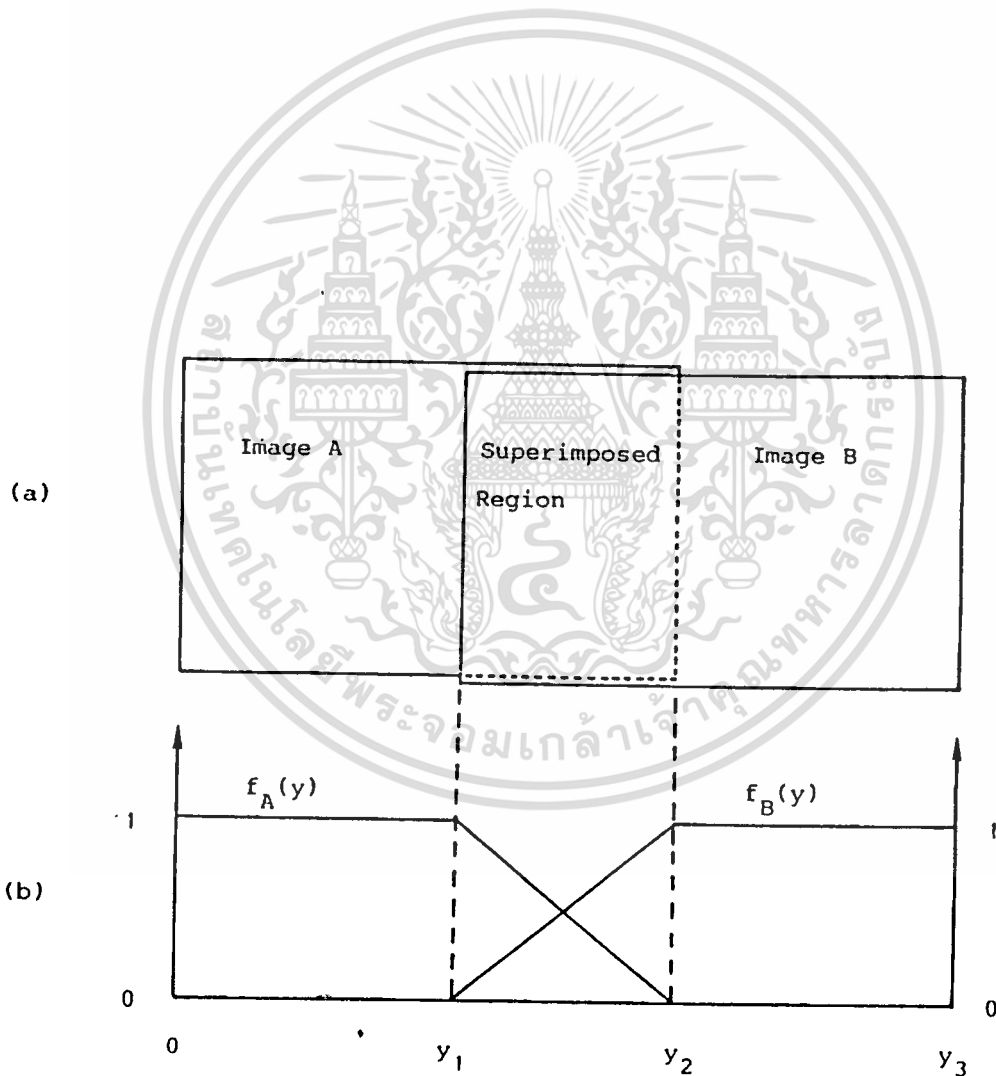
โดยกำหนดให้ $g_A(x,y)$ เป็นข้อมูลภาพ A

$g_B(x,y)$ เป็นข้อมูลภาพ B

$g_{AB}(x,y)$ เป็นข้อมูลภาพที่ต่อกันแล้ว (Mosaiced Image)

f_A เป็นฟังก์ชันของ Linear Weighting Function
ของภาพ A

f_B เป็นฟังก์ชันของ Linear Weighting Function
ของภาพ B



รูปที่ 3.2 (a) การต่อภาพ A และ B โดยการต่อด้านข้าง

(b) การใช้ weighting function แบบเชิงเส้นสำหรับการต่อภาพ A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่า วิธีการต่อภาพแบบดั้งเดิมนี้ไม่สามารถต่อภาพได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือจะมีรอยตะเข็บปรากฏอยู่ให้เห็นเด่นชัด นอกจากนี้จะมีความไม่ต่อเนื่องของระดับความเข้มของภาพที่นำมาต่อกัน กล่าวคือภาพผลลัพธ์มีความแตกต่างกัน 3 ช่วง คือช่วงแรกเป็นบริเวณภาพ A ช่วงที่สองเป็นบริเวณภาพ A และภาพ B ที่ซ้อนทับกัน และช่วงสุดท้ายเป็นบริเวณภาพ B

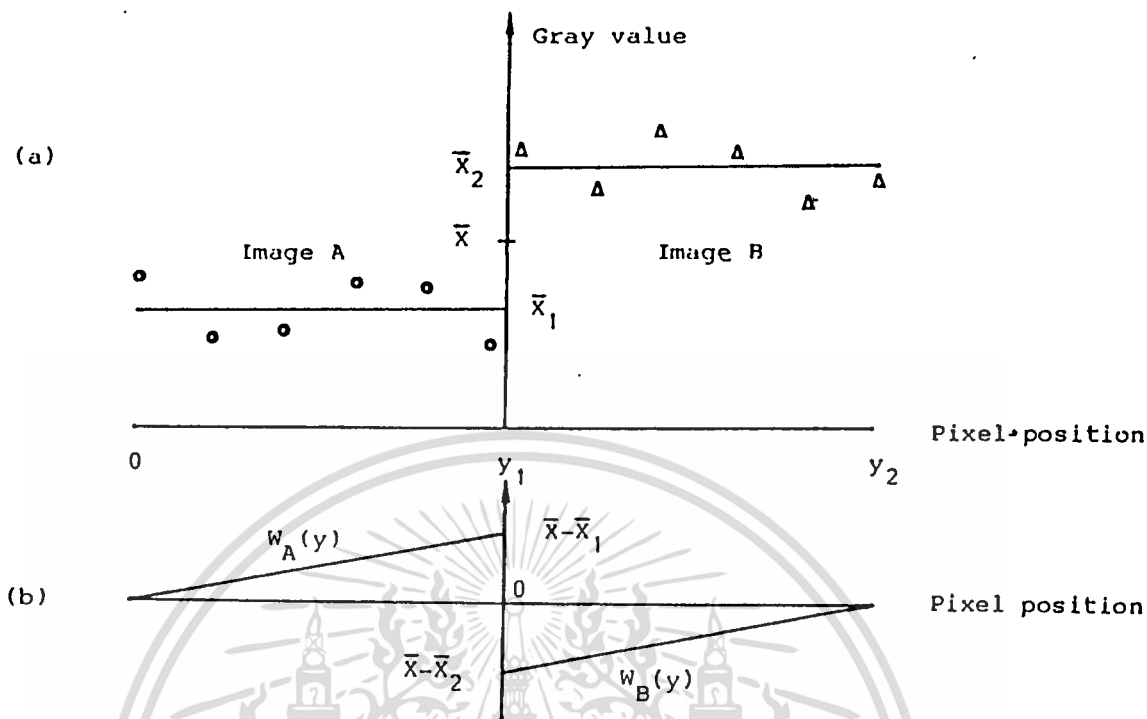
ต่อมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงวิธีการต่อภาพ โดยใช้วิธีพิจารณาค่าเฉลี่ย (Mean) ของภาพทั้งสองและในบริเวณซ้อนทับกันโดยจะใช้ข้อมูลของจุดภาพ (pixel) จากภาพ A หรือภาพ B เพื่อการปรับค่าระดับความเข้มของภาพทั้งสอง ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นเป็นกราฟที่เข้าใจได้ง่าย ดังรูป 3.3 (a) และ (b)

วิธีการต่อภาพโดยการพิจารณาค่าเฉลี่ยและเพิ่มค่าความเข้มแบบเชิงเส้นนี้สามารถเขียนเป็นสมการของการทำ Mosaicing ที่ line i ได้ดังนี้

$$g(i, y) = \begin{cases} g_A(i, y) + W_A(y), & \text{for } 0 < y < y_1 \\ g_B(i, y) + W_B(y), & \text{for } y_1 < y < y_2 \end{cases} \quad \dots (3.2)$$

เมื่อ $g(i, y)$ เป็นข้อมูลภาพโมเสค (Mosaiced Image)
 $g_A(i, y)$ และ $g_B(i, y)$ เป็นข้อมูลภาพ A และภาพ B ที่ line i ตามลำดับ
 $W_A(y)$ และ $W_B(y)$ เป็นค่า bias ที่มี function เป็นแบบเชิงเส้นของภาพ A และภาพ B ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าวิธีการนี้ ได้พยายามปรับค่าระดับความเข้มของภาพในการทำ Mosaicing แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้ยังไม่สามารถต่อภาพได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือถ้าหากว่าภาพทั้งสองมีค่าความเข้มแตกต่างกันไปจากค่าเฉลี่ยมาก ทำให้ยังคงมีรอยตะเข็บของการต่อภาพปรากฏอยู่



รูป 3.3 (a) แสดงการประมวลผลข้อมูลในการต่อภาพของภาพ A และ B ใน line ที่ i โดยการพิจารณาค่าเฉลี่ย และ (b) Bias function แบบ เชิงเส้น ของภาพ A และ B

3.3 หลักการต่อภาพโดยใช้ Butterworth Function

จากวิธีการต่อภาพโดยการประยุกต์ใช้ Linear Function ดังกล่าวข้างต้น หากภาพทั้งสองมี ความแตกต่างของความเข้มมากแล้ว จะทำให้การต่อภาพยังคงปรากฏรอยตะเข็บอยู่ให้เห็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอเทคนิคการต่อภาพโดยใช้ Non-linear function แบบ Butterworth [1,2] ซึ่งมีข้อดีและเหมาะสมมากกว่าวิธีอื่นๆ ในการประยุกต์ใช้ในการต่อภาพ กล่าวคือ Butterworth Function สามารถปรับเปลี่ยนจุดคutoff และค่า flatness ของการปรับค่าความเข้มของภาพได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำเป็น Inverse Function ได้อีกด้วย Butterworth Function (w_{But}) สามารถแสดงเป็นสมการที่ (3.3)

1

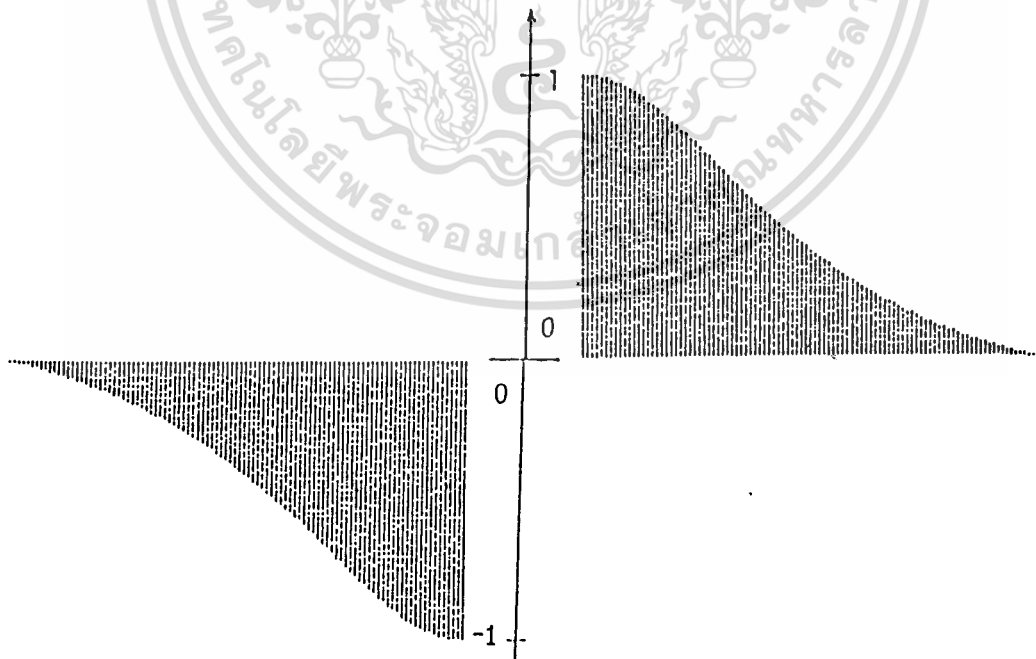
$$W_{\text{But}}(y_i) = \frac{1}{\left[1 + 0.414 \frac{y_i}{y_0} \right]^{2n}} \quad \dots(3.3)$$

โดยกำหนดให้ i คือ ตำแหน่งข้อมูลภาพ
 y_i คือ ข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่ง i
 y_0 คือ ตำแหน่งของจุด cut-off
 n คือ order ของ flatness

และ Inverse Butterworth Function (S_{Inv}) สามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$S_{\text{Inv}}(y_i) = 1 - W_{\text{But}}(y_i) \quad \dots(3.4)$$

สำหรับ Butterworth Function และ Inverse Butterworth Function สามารถแสดงเป็นกราฟของการปรับค่าระดับความเข้มในการต่อภาพได้ดังรูปที่ 3.4 (a) และ (b) ตามลำดับ



(a)

(b)

รูปที่ 3.4 (a) Inverse Butterworth function (b) Butterworth function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการต่อภาพโดยใช้ Butterworth function นี้ สมควรที่จะต้องทำการปรับค่าความเข้มของจุดภาพทั้งสองด้วยวิธีการที่เรียกว่า "Correction of Radiometric Mismatches" [4] ก่อนที่จะทำการต่อภาพ ทั้งนี้จะทำให้การต่อภาพสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและง่ายยิ่งขึ้น โดยจักทำการปรับค่าความเข้มข้อมูลในภาพหนึ่งให้มีความเข้มใกล้เคียงกับข้อมูลอีกภาพหนึ่ง ดังสมการปรับค่าความเข้มของจุดภาพดังนี้คือ

$$P = \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) Q + m_1 - \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) m_2 \quad \dots (3.5)$$

โดยกำหนดให้ P คือ ค่าความเข้มของจุดภาพใหม่

Q คือ ค่าความเข้มของจุดภาพเดิม

m_1 คือ ค่าเฉลี่ยของจุดภาพข้อมูลอ้างอิง

σ_1 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดภาพข้อมูลอ้างอิง

m_2 คือ ค่าเฉลี่ยของจุดภาพข้อมูลที่จะทำการปรับ

σ_2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดภาพที่จะทำการปรับ

3.4 วิธีการต่อภาพโดยใช้ Butterworth Function และประยุกต์กับ Median Filter

วิธีการต่อภาพโดยใช้ Butterworth function ที่ได้ศึกษาวิจัยขึ้นนี้ มีลำดับขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลอยู่ 3 ขั้นตอนดังผังแสดงการต่อภาพในรูปที่ 3.5 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

(1) การหาตำแหน่งซ้อนทับกันของภาพ (Image Superimpose)

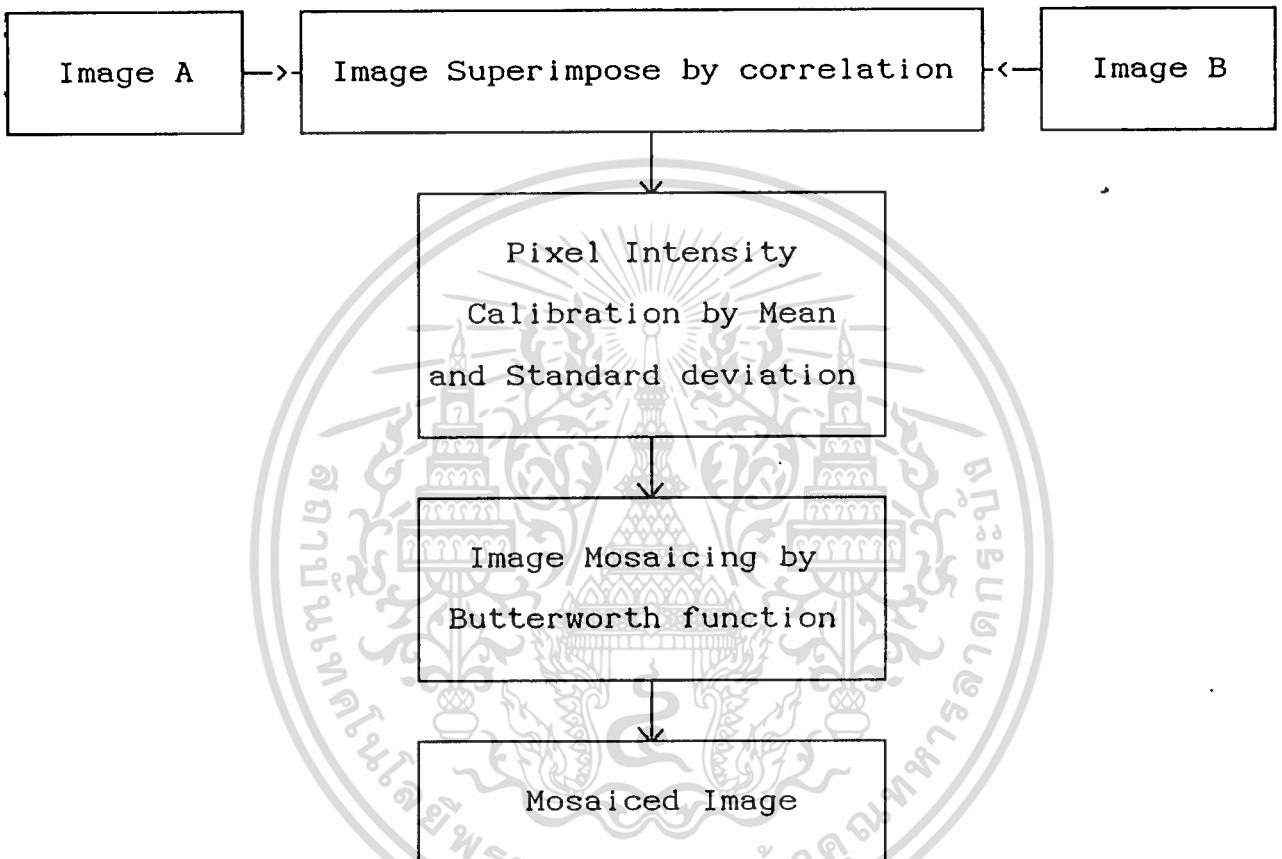
ในขั้นตอนแรกของการต่อภาพนี้คือ การนำภาพสองภาพที่มีบริเวณซ้อนทับกันบางส่วนมาทำการหาตำแหน่งซ้อนทับกัน โดยใช้วิธีสหสัมพันธ์ (Image Correlation)

(2) การปรับค่าความเข้มของจุดข้อมูลภาพ (Pixel Intensity Calibration)

ข้อมูลภาพทั้งสองจะได้รับการปรับค่าความเข้มของจุดข้อมูลในภาพโดยอาศัยค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลภาพในบริเวณที่ซ้อนทับกัน ซึ่งจะทำให้ภาพทั้งสองมีค่าความเข้มของภาพใกล้เคียงกัน

(3) การต่อภาพโดยใช้ Butterworth function (Image Mosaicing)

ในขั้นตอนนี้ภาพทั้งสองจะถูก Scaling ปรับค่าความเข้มและทำการต่อภาพทั้งสองให้เป็นภาพเดียว (Mosaiced Image)



รูปที่ 3.5 แสดงผังการต่อภาพด้วยวิธีการ Butterworth function

โดยที่การศึกษาวิจัยนี้ ภาพข้อมูลระยะไกลที่นำมาทดลองนั้น มีลายเส้นข้อมูลรบกวนตามแนวตั้ง (Vertical Line Noise) ปรากฏอยู่ในภาพด้วย ดังนั้นในการต่อภาพนี้จึงได้นำเทคนิคของ Horizontal Median Filter เข้ามาประยุกต์ใช้ในการกำจัดข้อมูลรบกวนดังกล่าวด้วย ซึ่ง Median Filter [4,6,10] เป็นวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวน (Noise) ที่ใช้คุณสมบัติทางสถิติของ Median โดยมีหลักการดังนี้คือ หาค่ามัธยฐานของกลุ่มข้อมูล ดังสมการที่ (3.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_{xy} = \text{Median } G_{xy} = \text{Median } [G(x-r,y-s) ; (r,s) \in A] \quad \dots(3.6)$$

- โดยที่ H_{xy} คือ ข้อมูลภาพที่ได้จาก Median Filter
 G_{xy} คือ ข้อมูลภาพที่กำลังพิจารณา ณ ตำแหน่ง (x,y)
 A คือ ขอบเขตของ Filter Window
 r คือ ตำแหน่งเส้นข้อมูลภาพ (Line) ในพื้นที่ A
 s คือ ตำแหน่งจุดข้อมูลภาพ (Pixel) ในพื้นที่ A

โดยที่การต่อภาพมีการรบกวนในลักษณะตามแนวดิ่ง ดังนั้นการจำกัดข้อมูลรบกวน ในที่นี้ได้ประยุกต์ใช้ Horizontal Median Filter หรือ Median Line Filter โดยกำหนดขอบเขต (Window) ขนาด 7 X 1 หรือ 7 Pixels ดังรูปที่ 3.6

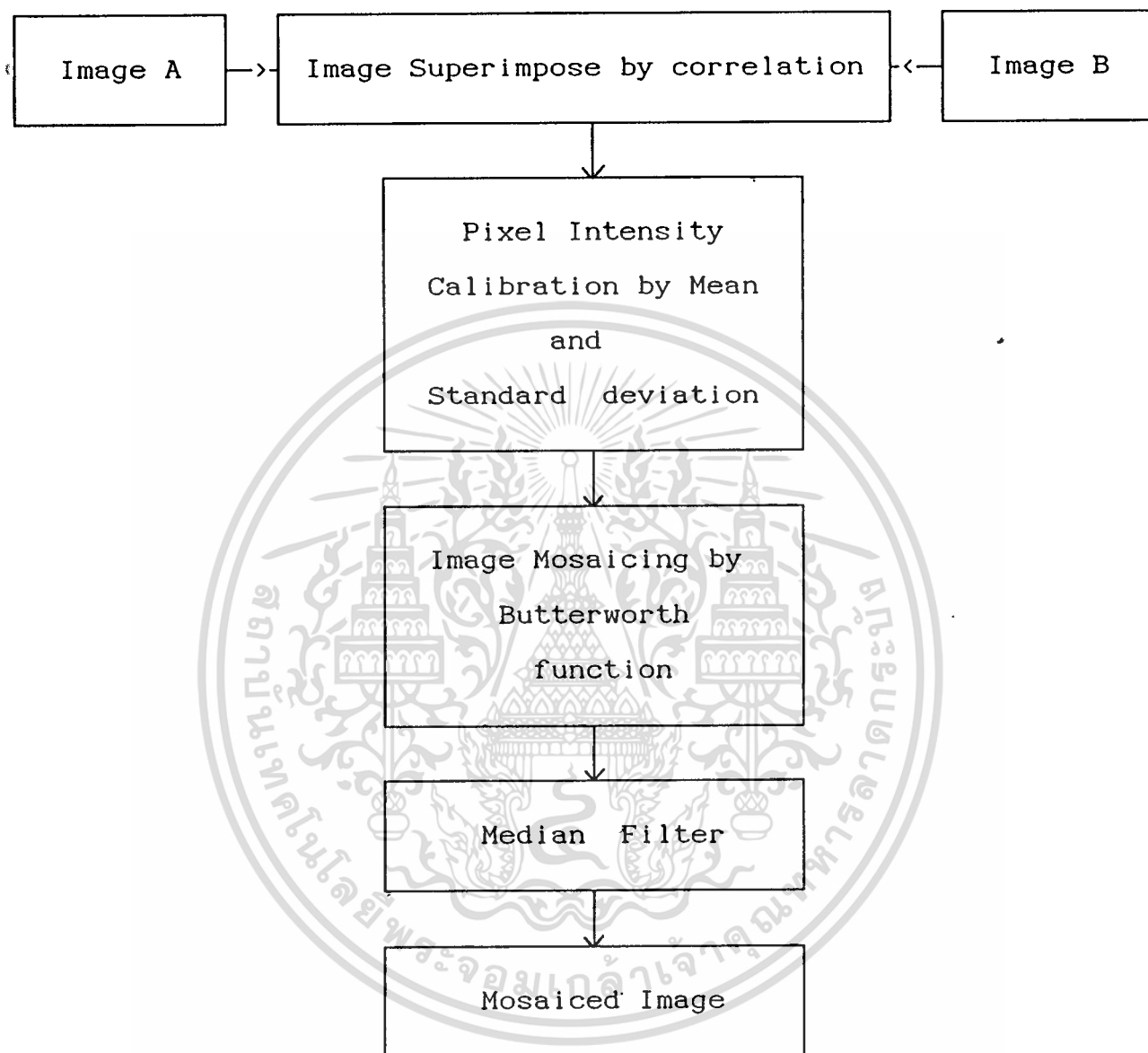
Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
----	----	----	----	----	----	----

รูปที่ 3.6 แสดง Horizontal Window ของ Median Filter
ที่ใช้ในการกำจัดข้อมูลรบกวนตามแนวดิ่ง

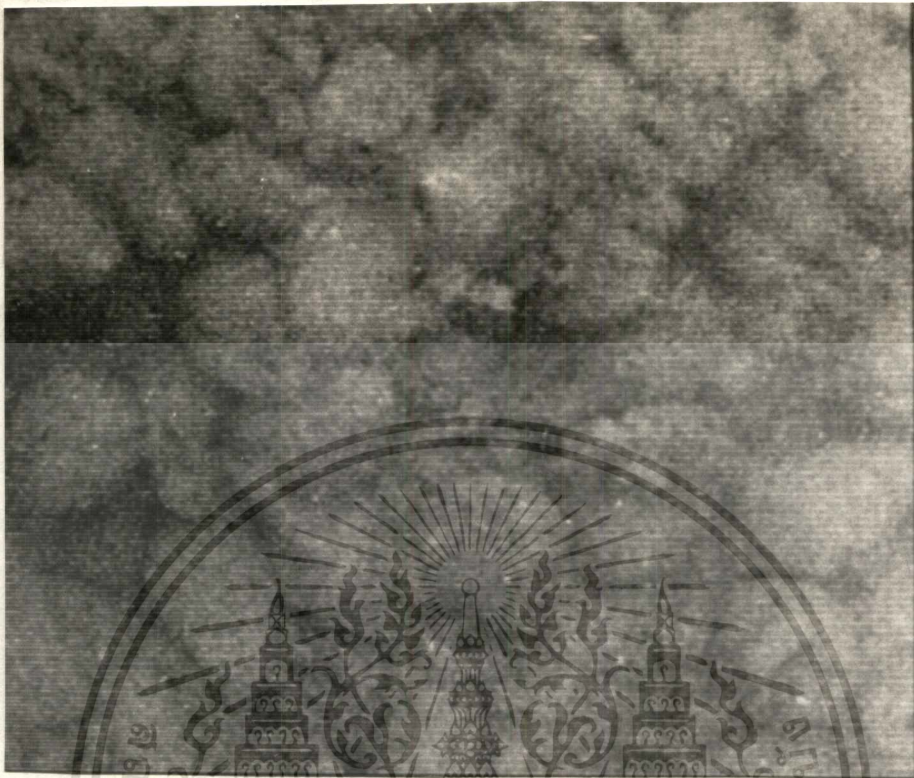
การกำจัดข้อมูลรบกวนตามแนวดิ่งโดยใช้ Median Filter จึงเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการต่อภาพ ที่ได้วิจัยขึ้นนี้ ดังมีผังแสดงการทำงานในรูปที่ 3.7

3.5 ผลการทดลอง

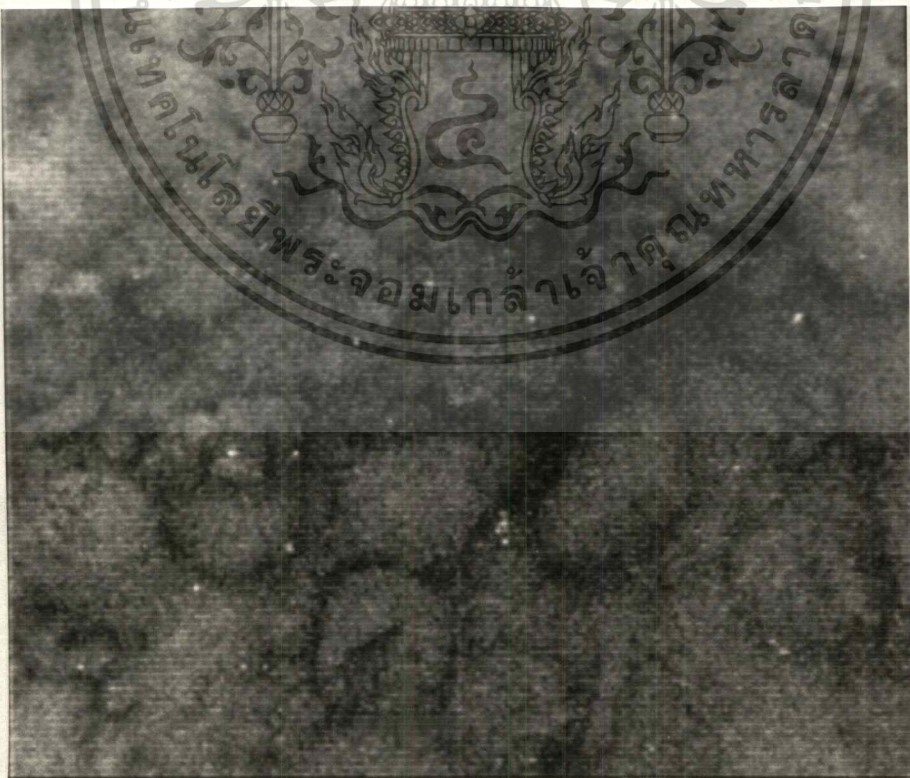
ในการวิจัยพัฒนาเทคนิคในการต่อภาพโดยใช้ Butterworth function นี้ ได้ทดลองใช้ต่อภาพสองภาพ (ภาพ A และภาพ B) ที่มีส่วนซ้อนทับกันด้านข้าง ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ โดยภาพ B จะมีข้อมูลรบกวนเป็นเส้นตรงตามแนวดิ่ง (Vertical Line Noise) ปรากฏอยู่



รูปที่ 3.7 ผังแสดงการต่อภาพโดยใช้ Butterworth function ร่วมกับ Median Filter



รูปที่ 3.8 ภาพ A (จะอยู่ด้านซ้ายของการต่อภาพ)



รูปที่ 3.9 ภาพ B (จะอยู่ด้านขวาของการต่อภาพ)

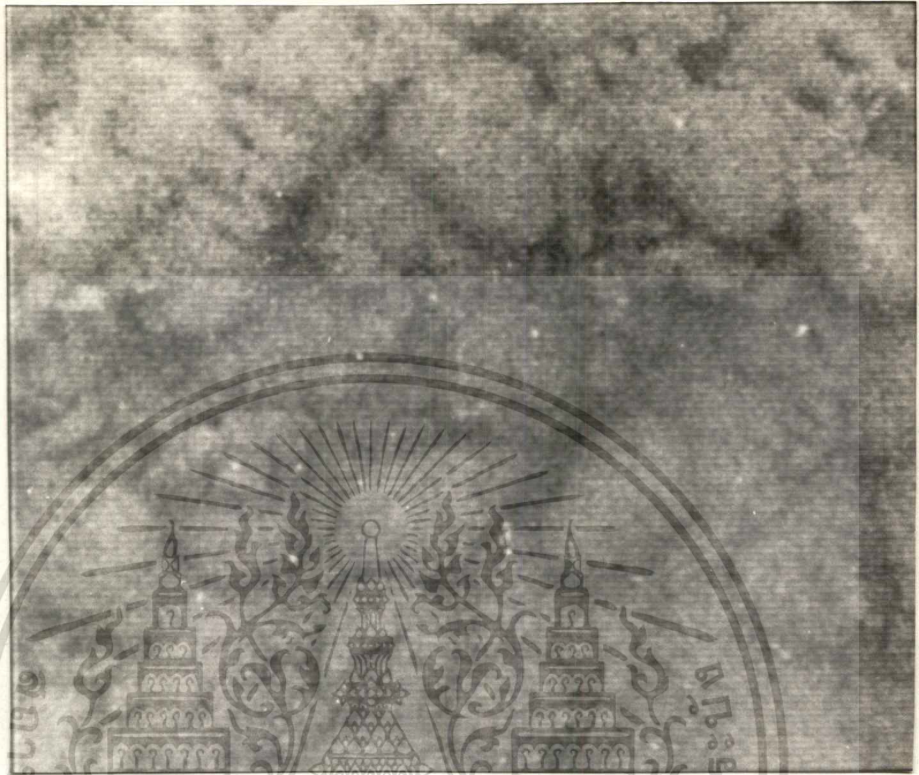
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพ A และภาพ B จะเห็นได้ว่ามีลักษณะข้อมูลเหมือนกันอยู่บางส่วน ซึ่งในขั้นตอนแรกของการต่อภาพนี้คือ การหาตำแหน่งซ้อนทับกันโดยการหาสหสัมพันธ์ของเฉพาะภาพข้อมูลบางส่วน (Sub-Image) ในบริเวณที่ภาพทั้งสองซ้อนทับกัน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ภาพข้อมูลบางส่วน (Sub-Image) ในบริเวณซ้อนทับกันที่ใช้ในการทำสหสัมพันธ์เพื่อหาตำแหน่งซ้อนทับกันของภาพ A และภาพ B

ในขั้นตอนที่ 2 นำภาพ A และภาพ B มาทำการปรับค่าความเข้มของจุดข้อมูลภาพ (Pixel Intensity Calibration) โดยกำหนดให้ภาพ A เป็นภาพอ้างอิงและภาพ B เป็นภาพที่ปรับค่าความเข้มตามสมการที่ (3.5) แล้วจะได้ภาพ B ใหม่ที่มีความเข้มของภาพโดยทั่วไปใกล้เคียงกับภาพ A ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ภาพ B ใหม่ที่ได้รับการปรับค่าความเข้มของจุดข้อมูลภาพ

จากขั้นตอนที่ 1 ทำให้ทราบตำแหน่งการซ้อนทับกันของภาพและในขั้นตอนที่ 2 ได้ทำการปรับค่าความเข้มของจุดภาพแล้ว เมื่อนำมาต่อภาพทั้งสองเข้าด้วยกันโดยไม่ใช้ Butterworth Function จะได้ภาพดังรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าภาพโมเสคที่ได้จากการต่อภาพดังกล่าวข้างต้นนั้น จะมีความแตกต่างของความเข้มในภาพ A และภาพ B อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งก่อให้เกิดรอยตะเข็บของการต่อภาพด้วย

ในขั้นตอนที่ 3 คือการใช้ Butterworth Function กำหนดรอยตะเข็บของการต่อภาพและการปรับค่าความเข้มของภาพทั้งสองให้อยู่ในระดับเดียวกัน ซึ่งในที่นี้ จุด cutoff มีค่าเท่ากับ 31 และค่า flatness order มีค่าเท่ากับ 1 จะทำให้รอยตะเข็บของการต่อภาพ ถูกกำจัดให้หมดไป และความสว่างของภาพอยู่ในระดับเดียวกันดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 ภาพโมเสคที่ได้จากการต่อภาพโดยไม่ผ่าน Butterworth Function



รูปที่ 3.13 ภาพโมเสคที่ได้จากการใช้ Butterworth Function ในการกำจัดรอยตะเข็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนสุดท้าย คือการประยุกต์ใช้ median filter ในการกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพโมเสค ซึ่งข้อมูลรบกวนเป็นเส้นตรงตามแนวตั้ง เมื่อผ่านการประมวลผลข้อมูลด้วย median filter ตามแนวระนาบที่มี window ขนาด 7×1 ดังในรูปที่ 3.6 แล้ว จะทำให้ข้อมูลรบกวนถูกกำจัดให้หมดไปดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ภาพโมเสคที่ผ่านการกำจัดข้อมูลรบกวนด้วย median filter

จะเห็นได้ว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการต่อภาพ จะไม่ปรากฏรอยตะเข็บและมีความต่อเนื่องระดับสีเทาของจุดภาพที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สรุป

การต่อภาพที่ได้วิจัยขึ้นนี้ได้ประยุกต์ใช้ Butterworth Function ในการกำจัดรอยตะเข็บของการต่อภาพ ได้ผลดีกว่าแบบดั้งเดิมที่ใช้ Linear Function นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับ median filter ในการกำจัดข้อมูลรบกวนในภาพอีกด้วย ทำให้ภาพโมเสกมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังนั้นเทคนิคการต่อภาพนี้สามารถนำไปในการต่อภาพต่าง ๆ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างได้พร้อม ๆ กัน



บทที่ 4

การปรับปรุงภาพให้เด่นชัดโดยการเน้นขอบข้อมูลด้วยข้อมูลเกรเดียนท์ Edge Enhancement by Adding Gradient Information

4.1 บทนำ

การปรับปรุงภาพให้มีข้อมูลปรากฏขึ้นอย่างเด่นชัด โดยการเน้นขอบของข้อมูลต่าง ๆ ในภาพทำให้ภาพนั้นมีคุณค่าและเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นกว่าภาพเดิม ซึ่งวิธีการปรับปรุงภาพให้เด่นชัดขึ้น (Enhancement) ได้มีการประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย และเป็นวิธีการที่สำคัญยิ่งแขนงหนึ่งของการสำรวจข้อมูลทรัพยากรจากระยะไกล (Remote Sensing)

การปรับปรุงภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูลต่าง ๆ (Edge Enhancement) [2,3,4,10] ในภาพโดยทั่วไปเป็นวิธีการเพิ่มข้อมูลเกรเดียนท์ (Gradient Information) ของภาพนั้นลงไปบนภาพเดิม เพื่อทำให้ขอบข้อมูลต่าง ๆ มีความเด่นชัดยิ่งขึ้น ดังนั้นวิธีการหาค่าเกรเดียนท์ที่เหมาะสม และการแปลงข้อมูลเกรเดียนท์ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดของการปรับปรุงภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูล (Edge Enhancement) ในบทนี้ได้เสนอวิธีการหาค่าเกรเดียนท์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทมเพลต (Templates) 12 ทิศทาง และการแปลงข้อมูลเกรเดียนท์ด้วยเทคนิค Inverse Butterworth Function

4.2 หลักการปรับปรุงภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูล (Edge Enhancement)

เทคนิคการปรับปรุงภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูล โดยทั่ว ๆ ไปได้กำหนดเป็นขั้นตอนการดำเนินงาน 2 ขั้นตอน (ดังรูปที่ 4.1) คือ

- (1) การหาค่าเกรเดียนท์จากภาพ โดยใช้ Gradient Templates
- (2) การเพิ่มค่าเกรเดียนท์ลงบนภาพข้อมูลเดิม

ขบวนการดังกล่าวข้างต้น สามารถปรับปรุงเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่

4.1

การปรับปรุงภาพ ได้พัฒนาและประยุกต์ใช้ให้ดีขึ้นเรื่อยมาเป็นลำดับ เมื่อปี พ.ศ. 2530 Shettigara กับ Odins ชาวออสเตรเลียได้วิจัยพัฒนาวิธีการปรับปรุงภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	1	1	0	-1	-1	-1				0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	-1	0

b) Vertical Template

ในขบวนการคำนวณค่าเกรเดียนท์ของ shettigara สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

การคำนวณหาค่าเกรเดียนท์ ณ จุดภาพตำแหน่ง i ในทิศทางแนวนอน (Horizontal) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มทางด้านบวกและทางด้านลบเทียบกับตำแหน่งที่ i

สำหรับกลุ่มทางด้านลบ จะให้ค่าระดับความเข้มเฉลี่ย (Mean Intensity) ดังสมการที่ (4.1)

$$\begin{aligned} I_{i-} &= \frac{1}{n} (I_{i-n} + I_{i-n+1} + \dots + I_{i-1}) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{i-j} \end{aligned} \quad \dots(4.1)$$

สำหรับกลุ่มทางด้านบวก จะให้ค่าระดับความเข้มเฉลี่ย (Mean Intensity) ดังสมการที่ (4.2)

$$\begin{aligned} I_{i+} &= \frac{1}{n} (I_{i+1} + I_{i+2} + \dots + I_{i+n}) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{i+j} \end{aligned} \quad \dots(4.2)$$

ความแตกต่างของค่าระดับความเข้มเฉลี่ยของกลุ่มทั้งสอง สามารถหาค่าได้ดังสมการที่(4.3)

$$\Delta I_{i_n}^h = |(I_{i-} - I_{i+})| \quad \dots(4.3)$$

ดังนั้น เกรเดียนท์เฉลี่ย ณ จุดภาพตำแหน่ง i ตามแนวนอน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4.4)

$$\Delta I_i^h = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N \Delta I_{i_n}^h \right) \quad \dots(4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมี N คือขนาดของ matrix สำหรับเทมเพลต ในที่นี้ N มีขนาด 7×7

ในทำนองเดียวกัน การคำนวณหาค่าเกรเดียนต์ ณ จุดภาพ ตำแหน่ง i ในทิศทางตามแนวตั้ง (Vertical) สามารถหาค่าเกรเดียนต์เฉลี่ยได้ ดังสมการที่ (4.5)

$$\Delta I_i^v = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N \Delta I_{i_n}^v \right) \quad \dots (4.5)$$

ค่าเกรเดียนต์เฉลี่ยของทั้ง 2 ทิศทาง ณ ตำแหน่งที่ i คือ

$$\Delta I_i = \left[(\Delta I_i^h)^2 + (\Delta I_i^v)^2 \right]^{1/2} \quad \dots (4.6)$$

และเมื่อนำไปปรับปรุงภาพโดยการนับค่าเกรเดียนต์เฉลี่ย N ตำแหน่งที่ i จะได้เป็น

$$I_i(\text{mod}) = \begin{cases} (I_i + \Delta I_i) & \dots (4.7a) \\ \exp(I_i + \Delta I_i) & \dots (4.7b) \end{cases}$$

หากพิจารณาจากภาพโดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลเกรเดียนต์จะมีได้หลายทิศทาง และวิธีการของ Shettigara กับ Odins มิได้คำนึงถึงขอบเทียม (Spurious edge) ที่เกิดขึ้นในบริเวณ Homogeneous ดังนั้นทำให้ภาพที่ได้ภายหลังการปรับปรุงมีการเน้นขอบเทียม วิธีการดังกล่าวข้างต้นจึงยังใหม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงภาพ

ในงานวิจัยนี้ จึงได้วิจัยพัฒนาเทคนิคการใช้เกรเดียนต์เทมเพลตแบบหลายทิศทาง และได้ประยุกต์ใช้กับการปรับค่าข้อมูลแบบ Inverse Normalized Butterworth Function เพื่อการกำจัดขอบเทียมในภาพ

4.3 วิธีการทำข้อมูลเกรเดียนต์โดยใช้เกรเดียนต์เทมเพลตหลายทิศทาง

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดเกรเดียนต์เทมเพลตต่าง ๆ ที่เหมาะสมได้ 12 ทิศทาง ดังรูปที่ 4.3

TEMPLATE NO.1

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	-1	-1	-1
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

TEMPLATE NO.2

0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0

TEMPLATE NO.3

1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	-1

TEMPLATE NO.4

0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0

TEMPLATE NO.5

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	-1	-1
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

TEMPLATE NO.6

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1
0	0	-1	0	1	0	0
-1	-1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

TEMPLATE NO.7

0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	-1	0	0

TEMPLATE NO.8

0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0

TEMPLATE NO.9

0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	-1	0

TEMPLATE NO.10							TEMPLATE NO.11							TEMPLATE NO.12						
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.3 เกรเดียนต์เทมเพลต 12 ทิศทาง ที่มีขนาดแมทริกซ์ 7 X 7

เมื่อเกรเดียนต์เทมเพลตที่ใช้มีขนาด 7 X 7 ดังนั้นสมการการคำนวณหาค่าเกรเดียนต์จะมีค่า n อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 และกำหนดให้ m เป็นลำดับของเทมเพลต จะสามารถหาค่าเกรเดียนต์เฉลี่ย ณ ตำแหน่งที่ i ได้ดังนี้คือ

$$\Delta I_i^m = \frac{1}{3} \left(\sum_{n=1}^3 \Delta I_{i_n}^m \right) \quad \dots (4.8)$$

และสามารถหาค่าเกรเดียนต์หลายทิศทางที่เหมาะสมที่มีค่ามากที่สุด ณ ตำแหน่งที่ i ได้เป็น

$$\Delta I_i = \max [\Delta I_i^1, \Delta I_i^2, \dots, \Delta I_i^{12}] \quad \dots (4.9)$$

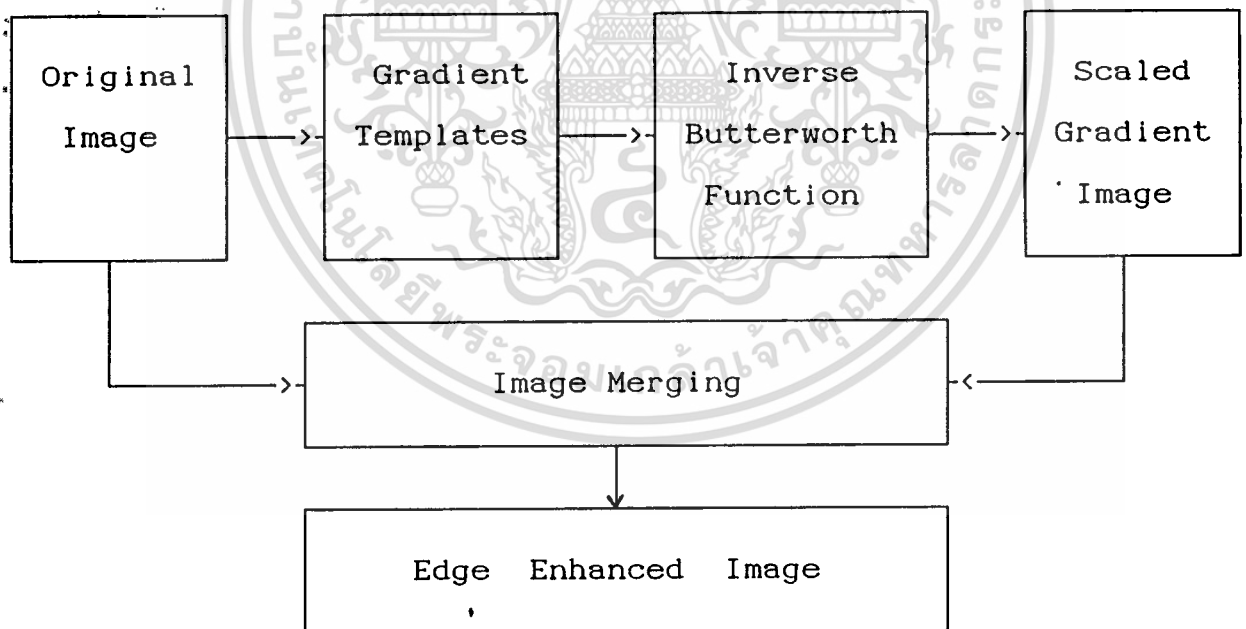
ดังนั้น จุดภาพ ณ ตำแหน่ง i จะได้รับการเน้นขอบข้อมูลด้วยสมการที่ (4.10)

$$I_i(\text{mod}) = (I_i + \Delta I_i) \quad \dots (4.10)$$

แต่เนื่องจากบางครั้งในภาพอาจจะมีขอบเทียมที่หาค่าเกรเดียนต์ต่ำ ๆ ปรากฏอยู่ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีขบวนการกำจัดขอบเทียมเหล่านั้นทิ้งไป ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ Inverse Normalized Butterworth Function มาทำการสเกลค่าเกรเดียนต์ของ ภาพที่ได้จากสมการที่ (4.10) สำหรับรายละเอียดของ Inverse Normalized Butterworth Function นั้น จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

4.4 การปรับปรุงภาพเกรเดียนต์ด้วย Inverse Normalized Butterworth Function

การปรับปรุงภาพด้วยเกรเดียนต์เทมเพลตหลายทิศทาง ประยุกต์ใช้กับการกำจัดขอบเทียมที่มักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เป็น Homogeneous area โดยใช้ Inverse Normalized Butterworth Function [1,2] นั้น สามารถเขียนเป็นผังการทำงาน ได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผังการปรับปรุงภาพโดยการเน้นขอบข้อมูล

จากสมการที่ (4.9) จะเห็นได้ว่าวิธีการใช้เกรเดียนท์เทมเพลตแบบหลายทิศทางจะช่วยกำจัดข้อมูลเกรเดียนท์ที่มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นขอบเทียมในภาพไปแล้ว แต่อย่างไรก็ดี Butterworth Function มีข้อดีเด่นในการปรับแต่งภาพได้ง่าย จะช่วยกำจัดขอบเทียมให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่ง Normalized Butterworth function สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$W_{\text{But}}(Y_i) = \frac{1}{\left[1 + 0.414 \frac{Y_i}{Y_o} \right]^{2n}} \quad \dots(4.10)$$

เมื่อ Y_i คือ ค่าเกรเดียนท์ที่ระดับ i ซึ่ง i จะแปรค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255
 Y_o คือ ค่าเกรเดียนท์ ณ ตำแหน่ง cutoff
 และ n คือ order ของ flatness

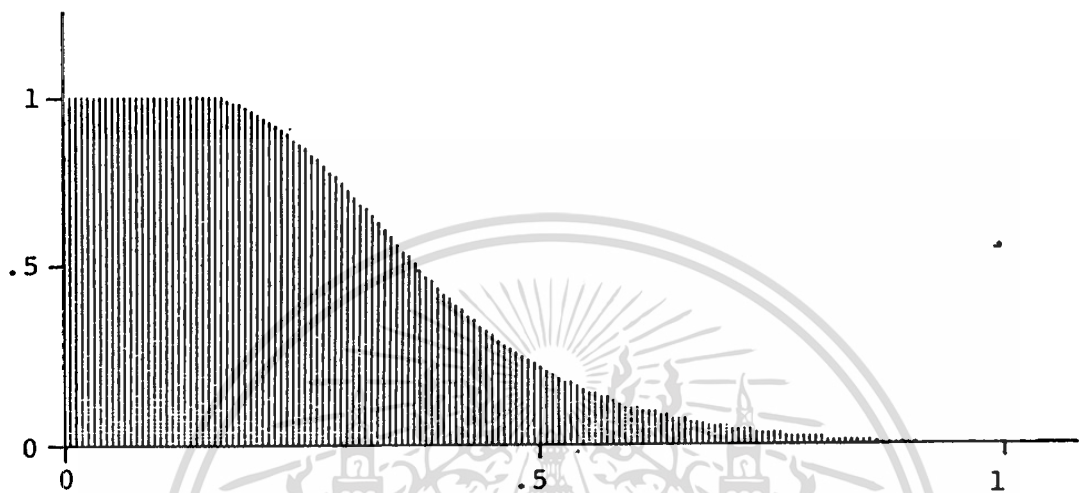
สำหรับลักษณะของ Normalized Butterworth Function ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ในขณะที่ Inverse Normalized Butterworth Function นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.11) และจะถูกนำมาใช้สเกลค่าเกรเดียนท์ดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 4.6

$$S(j) = 1 - W_{\text{But}}(Y_j) \quad \dots(4.11)$$

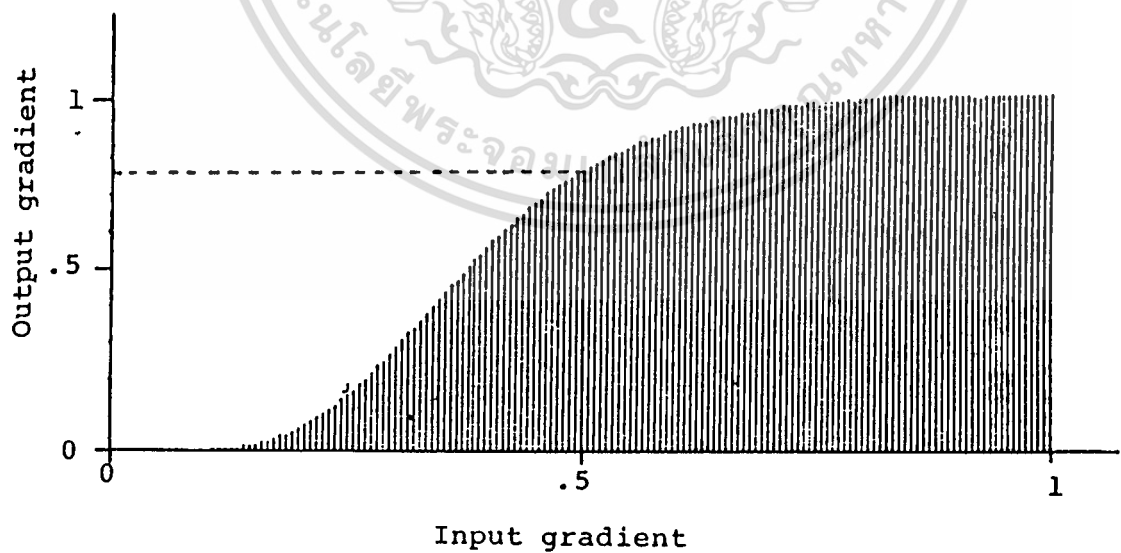
4.5 ผลการวิจัย

เมื่อได้ทำเกรเดียนท์เทมเพลต 12 ทิศทาง มาทำการปรับปรุงภาพแล้วพบว่าสถิติการใช้งานของเทมเพลตแต่ละทิศทางมีจำนวนใกล้เคียงกัน เทมเพลตที่ 1 และที่ 2 มีจำนวนสูงสุดและใกล้เคียงกับการใช้งานของเทมเพลตที่ 5 ที่ 6 ที่ 7 และที่ 8 และมีเทมเพลตที่ 9 ที่ 10 ที่ 11 และที่ 12 เป็นกลุ่มที่ 3 และเทมเพลตที่ 3 และที่ 4 เป็นกลุ่มสุดท้าย ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นฮิสโตแกรมแสดงการใช้งานของเทมเพลตทิศทางต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ดี เทมเพลตทั้งหมดได้มีการใช้งานอย่างกระจายใกล้เคียงกันและเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



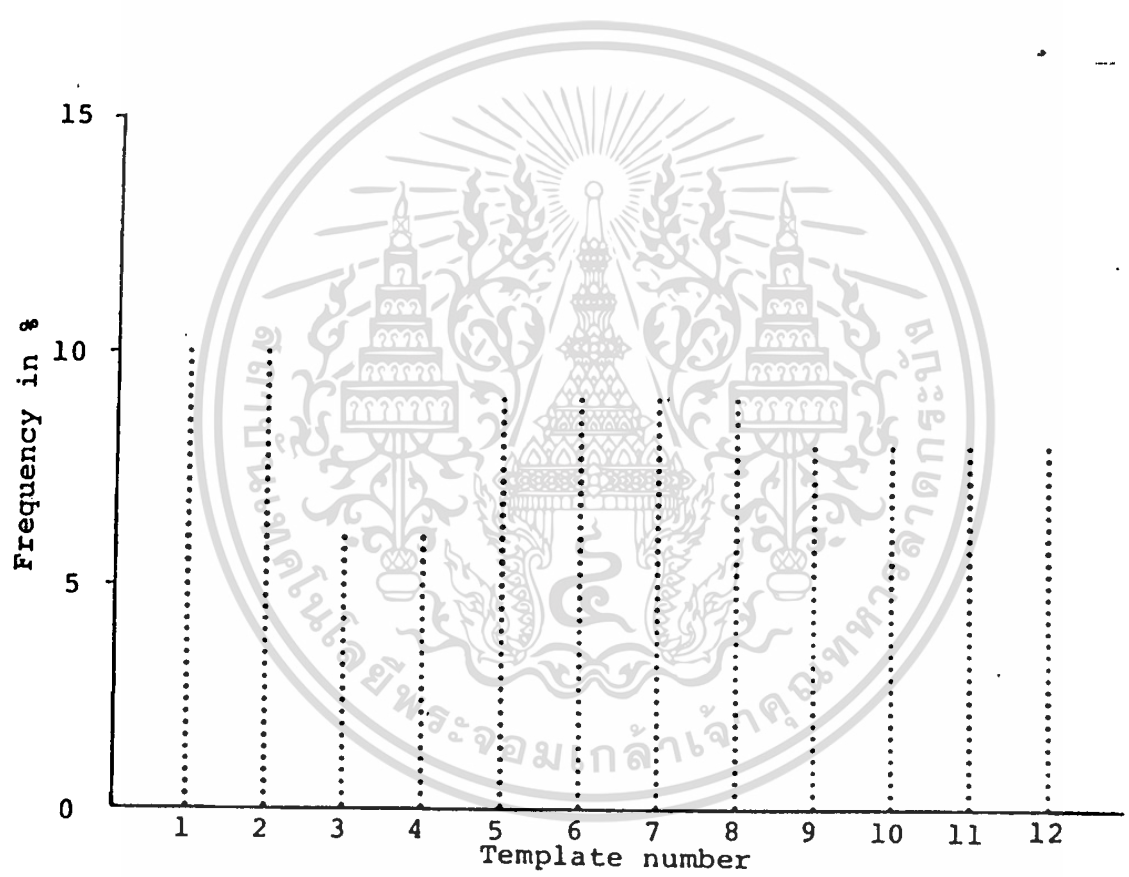
รูปที่ 4.5 ลักษณะของ Normalized Butterworth Function



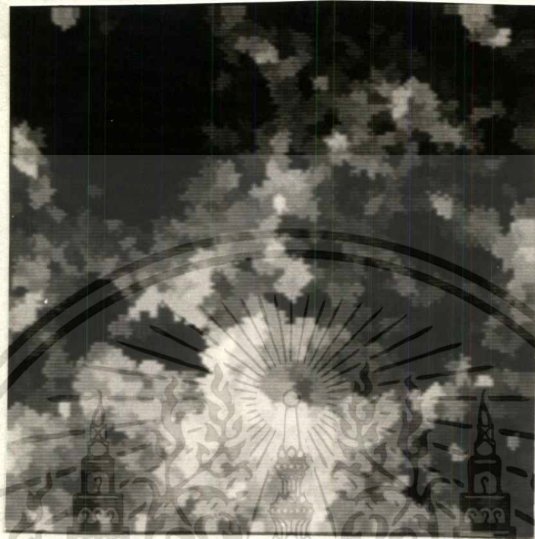
รูปที่ 4.6 ลักษณะของ Inverse Normalized Butterworth Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

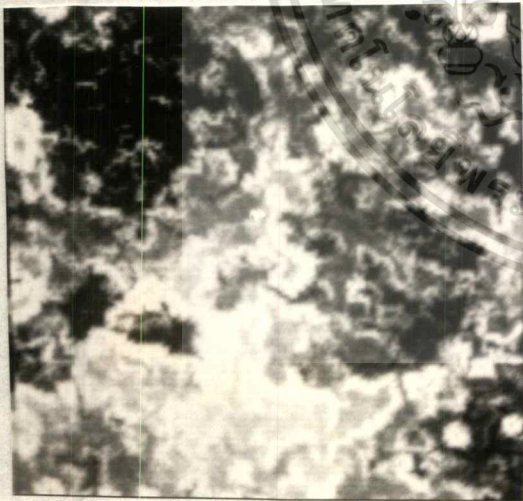
จากผลการวิจัยที่ได้ทำการปรับปรุงภาพโดยการเน้นข้อมูลเกรเดียนท์แบบ 12 ทิศทาง และการปรับค่าด้วย Inverse Normalized Butterworth Function ดังรูปที่ 4.8(a), (b), (c), (d) และ (e) แล้วจะพบว่า ภาพผลลัพธ์ที่ได้ จะมีการเน้นขอบข้อมูลทำให้เห็นขอบเขตของข้อมูลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งจากความสามารถในการปรับค่า Flatness และค่า Cutoff ของ Inverse Normalized Butterworth Function



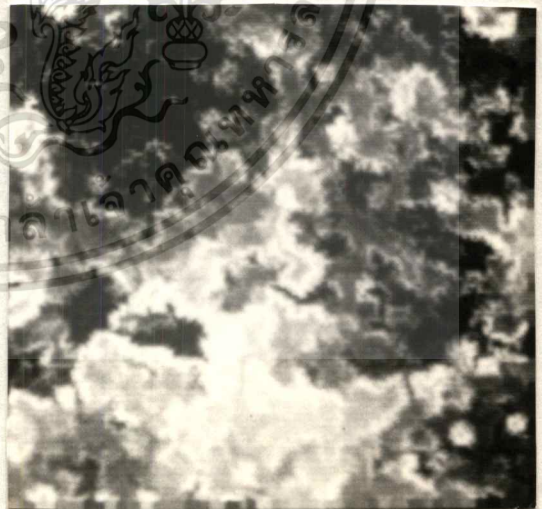
รูปที่ 4.7 ปริมาณการใช้งานของเทมเพลตต่าง ๆ



(a) ภาพดั้งเดิม



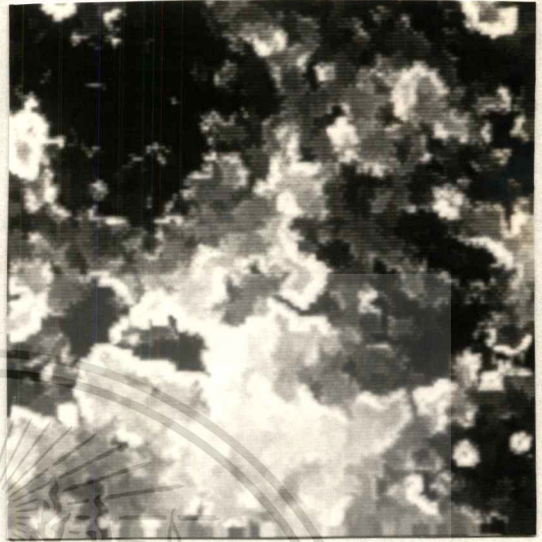
(b) $n = 1$, cutoff = 31



(c) $n = 1$, cutoff = 46

รูปที่ 4.8 ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเน้นขอบภาพเมื่ออันดับของ flatness (n) และตำแหน่ง cutoff (Y_0) แปรเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) $n = 2$, cutoff = 31

(e) $n = 2$, cutoff = 46

รูปที่ 4.8 (ต่อ) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเน้นขอบภาพเมื่ออันดับของ flatness (n) และตำแหน่ง cutoff (Y_0) แปรเปลี่ยนไป

4.6 สรุป

เทคนิคการปรับปรุงภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูลจากเกรเดียนท์เทมเพลตแบบ 12 ทิศทางที่ได้วิจัยขึ้นนี้ มีความถูกต้องและเหมาะสมต่อการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายระยะไกลเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะว่า ตามสภาพความเป็นจริงแล้ว การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในภาพถ่ายมิได้มีเพียงแค่นวนอน กับแนวตั้งเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้หลายทิศทาง จากการวิจัยทดลองนี้ ซึ่งได้ข้อสรุปจากเปอร์เซ็นต์ของการใช้งานจากทั้ง 12 เทมเพลตดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าทุกเทมเพลตได้มีการถูกใช้งานด้วยปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการใช้เทมเพลตเพียงสองทิศทางของ Shettigara จึงไม่ถูกต้อง สมบูรณ์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงภาพ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายในการกำจัดข้อมูลรบกวน (Pixel Noise Cleaning) ที่ได้วิจัยพัฒนาขึ้นได้นำหลักการของ Low-pass spatial filtering มาประยุกต์ใช้เป็นวิธีประมวลผลแบบ Neighborhood averaging ประกอบกับการกำหนดให้ประมวลผลข้อมูลเฉพาะข้อมูลรบกวนเท่านั้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในขบวนการผลิตข้อมูลภาพถ่ายในระยะไกลให้แก่ผู้ใช้ข้อมูลต่าง ๆ ทั้งนี้เพราะว่าต้องการหลีกเลี่ยงการปรุงแต่งข้อมูลภาพถ่ายโดยไม่จำเป็น และยังสามารถช่วยลดเวลาในการประมวลผลข้อมูล ทำให้วิธีการนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบผลิตข้อมูลภาพถ่ายของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม นอกจากนี้วิธีการนี้ยังได้พัฒนาขึ้นใช้กับการผลิตเทปข้อมูล (Computer Compatible Tape, CCT) แบบมาตรฐานสากล ซึ่งผู้ใช้ข้อมูลสามารถนำข้อมูลภาพถ่ายไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไปได้เลย จึงนับได้ว่าสอดคล้องกับความต้องการของประเทศที่จะให้มีการวิจัยพัฒนาแล้วนำไปประยุกต์ใช้ในการประโยชน์ต่อไป

การประมวลผลข้อมูลภาพในการต่อภาพ (Digital Image Mosaicing) เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยทั่วไปสถานีรับสัญญาณดาวเทียมจะทำการผลิตข้อมูลเป็นภาพ ๆ หากผู้ใช้ข้อมูลต้องการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายให้ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมากกว่าหนึ่งภาพ ผู้ใช้ข้อมูลจะต้องทำการต่อภาพเอง ดังนั้นการต่อภาพจึงเป็นเรื่องของการประยุกต์ใช้ข้อมูล (Data Application) ซึ่งวิธีการต่อภาพที่ได้วิจัยขึ้นได้นำหลักการของ Butterworth function มาใช้ในการปรับแต่งข้อมูล (Contrast) ของภาพที่นำมาต่อให้มีความสว่างใกล้เคียงกันมากที่สุดแทนวิธีการแบบเดิมที่ใช้การปรับความสว่าง (Contrast) แบบเส้นตรง ซึ่งวิธีการของ Butterworth function มีข้อดีกว่าวิธีการอื่น ๆ กล่าวคือ สามารถปรับเปลี่ยนจุด Cut-off และค่า flatness order ของ Butterworth function ได้ ดังนั้นวิธีการต่อภาพโดยใช้ Butterworth function จึงเหมาะสมคล่องตัวและสามารถใช้ในการต่อภาพได้ดีกว่าอันเป็นประโยชน์ต่อนักวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการแปลภาพในพื้นที่กว้าง ๆ อาทิ การแปลภาพครอบคลุมพื้นที่หนึ่งจังหวัด เป็นต้น นอกจากนี้ในวิธีการต่อภาพดังกล่าวยังได้นำวิธีการ Median filtering ตามแนวนอนมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขข้อมูลรบกวนตามแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Vertical Line Noise) อีกด้วย

การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายในการเน้นขอบข้อมูลให้เด่นชัด (Edge Enhancement) เป็นวิธีการประยุกต์ใช้ข้อมูล ซึ่งได้มีนักวิจัยชาวต่างประเทศพัฒนาวิธีการเน้นขอบข้อมูลแบบสองทิศทางตามแนวนอนและแนวตั้งเท่านั้น แต่โดยความเป็นจริงแล้วขอบข้อมูลในภาพจะสามารถเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ อาทิ ตามแนวทะแยงจากซ้ายไปขวา และจากบนลงล่าง หรือตามแนวที่มีไม่ใช่เป็นเส้นตรง ดังนั้นวิธีการเน้นขอบข้อมูลแบบหลายทิศทางจึงเป็นวิธีที่ถูกต้องและเหมาะสมยิ่ง ในการวิจัยวิธีการเน้นขอบข้อมูลนี้ได้พัฒนาวิธีการเน้นขอบข้อมูลแบบสิบสองทิศทาง และจากผลการทดลองพบว่าขอบข้อมูลในภาพมีครบทั้งสิบสองทิศทาง ขอบข้อมูลตามแนวตั้งและแนวนอนในภาพมีจำนวนมากที่สุด แต่ก็มีจำนวนใกล้เคียงกับขอบข้อมูลที่ไม่เป็นเส้นตรง ส่วนขอบข้อมูลตามแนวทะแยงจะมีน้อยที่สุด ดังรูป 6.3 แต่อย่างไรก็ตาม เทมเพลตการเน้นแบบสิบสองทิศทางได้มีการใช้อย่างกระจัดกระจายทั้งสิบสองทิศทางในเปอร์เซนต์ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นวิธีการเน้นขอบข้อมูลแบบสิบสองทิศทางที่ได้วิจัยและพัฒนาขึ้นนี้ จึงเป็นวิธีการที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการประมวลผลข้อมูลในการเน้นขอบข้อมูล ซึ่งการเน้นขอบข้อมูลได้มีการประยุกต์ใช้ในหลายสาขา อาทิ ในกรณีนักธรณีวิทยาต้องการทิศทางของลายเส้นในภาพ (linearment) หรือดูขอบเขตของแหล่งข้อมูล วิธีการเน้นขอบข้อมูลจะสามารถใช้ประโยชน์ได้ดี ซึ่งได้มีการใช้อยู่ทั่วไปในการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางด้านธรณีวิทยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายในการกำจัดข้อมูลรบกวนที่วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ เป็นขบวนการกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic Process) กล่าวคือในขั้นตอนแรกจำเป็นต้องหาค่าข้อมูลรบกวนเสียก่อนว่า ข้อมูลรบกวนมีค่า intensity level เท่าใด โดยอาศัยการนำค่าข้อมูลภาพในบริเวณที่มีข้อมูลรบกวนปรากฏอยู่ออกมาดูเสียก่อน เมื่อทราบค่าแล้วจึงกำหนดลงไปในการขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวน ทั้งนี้เพื่อต้องการลดเวลาในการค้นหาข้อมูลรบกวนและลดเวลาในการประมวลผลให้มากที่สุด เพื่อให้ระบบผลิตข้อมูลภาพถ่ายมีจำนวนผลผลิต (throughput) สูงและเพื่อให้การกำจัดข้อมูลรบกวนได้ผลสมบูรณ์รอบเปอร์เซนต์ในเวลาการผลิตที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ดีในอนาคตเครื่องคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาให้ประมวลผลข้อมูลรวดเร็วมาก ดังนั้นวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนแบบอัตโนมัติโดยการค้นหาข้อมูลรบกวนได้เองจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R.C. Gonzalez, "Digital Image Processing" ,Addison Wesley Publishing Company, London, 1977.
- [2] W.K. Pratt, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, New York, 1971.
- [3] Jennifer Murphy, "Format Specifications for Canadian Landsat MSS System Corrected Computer Compatible Tapes", Canada Center for Remote Sensing, Ottawa, August 1979.
- [4] J.A.Richards, "Remote Sensing Digital Image Analysis : An Introduction", Springer-Verlag, Berlin, 1986.
- [5] S. Murai, T. Okuda and M. Akiyama, "Digital Mosaic of Color Aerial Photographs", Proc. of ISP Congress, Humbourg, 1980.
- [6] T.S. Huang, "Two Dimension Digital Signal Processing", Springer-Verlag, New York, 1981.
- [7] A. Rosenfeld, "Digital Picture Processing", Academic Press, New York, 1976.
- [8] B.S. Lipkin and A. Rosenfeld, " Picture Processing and Psychopictorics", Academic Press, New York, 1970.

- [9] K.V. Shettigara and J.A. Odins, "Application of NOAA AVHRR Images for structural Studies Related to Ground Water Flow in the Murray Basin", Proceeding of the 4th Australasian Remote Sensing Conference, September 14-18, 1987.
- [10] A.K. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice-Hall International Editions, 1989.



ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ชาณูชัย เพียรวิจารณ์พงศ์ และ ดร.พุฒศักดิ์ ชีวสุวิทย์, "การพัฒนาและการติดตั้งวิธีการกำจัด Pixel Noise ในข้อมูลภาพจากดาวเทียมแลนด์แซท", การสัมมนาเรื่อง ประโยชน์ของการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมต่อการพัฒนา, กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 19-22 สิงหาคม 2528.
- [2] C. Peanvijarnpong, S. Vibulsresth, F. Cheevasuvit and K. Petchsuwan, "Automatic Translation Correction", PROCEEDINGS OF THE SIXTH ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, Hyderabad, INDIA, pp 230-234, NOV. 21-26, 1985.
- [3] F. Cheevasuvit, C. Peanvijarnpong and S. Murai, "Mosaicing of Poor Contrast Images", PROCEEDINGS OF THE NINTH ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, BANGKOK, THAILAND, pp H-1-1-1 to H-1-1-9, NOV. 23-29, 1988.
- [4] F. Cheevasuvit, C. Peanvijarnpong and S. Murai, "Edge Enhancement by adding gradient information", PROCEEDINGS OF THE NINTH ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, BANGKOK, THAILAND, pp P-2-1 to P-2-8, NOV. 23-29, 1988.

การพัฒนาและติดตั้งวิธีการกำจัด Pixel Noise ในข้อมูลภาพจากดาวเทียมแลนด์แซท
(DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION FOR NOISE CLEANING IN LANDSAT IMAGERY)

นายชาญชัย เพียรวิจารณ์พงศ์
กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

ดร.ฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลำคกระบึง

บทคัดย่อ

ข้อมูลภาพจากดาวเทียมแลนด์แซท ได้นำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการสำรวจ พัฒนาและวางแผนทางด้านการทรัพยากร เพื่อการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง แต่ข้อมูลภาพ ได้มีสิ่งรบกวน (Pixel Noise) ปะปนและกระจัดกระจายอยู่ในภาพข้อมูล ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ และให้บริการข้อมูลภาพนั้นแก่ผู้ใช้ข้อมูลทั่วไป บทความนี้ เสนอวิธีการกำจัดสิ่งรบกวนหรือข้อมูลรบกวน (Pixel Noise) โดยวิธีการ Noise Smoothing แบบ Neighborhood averaging. ในขณะปฏิบัติการกำจัดข้อมูลรบกวน Moving window จะทำหน้าที่ค้นหาข้อมูลรบกวนในภาพข้อมูลจากดาวเทียม และทำการปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนให้อยู่ในระดับปกติ ซึ่งเป็นวิธีการประหลาดแบบ Low-pass spatial filter

ABSTRACT

Landsat imagery have been applied in various fields for conservation of natural resources and national development. The Landsat image may be subject to noise and interference from several sources including RF noise, symmetric channel errors. Noise in Landsat image generally has a higher spatial frequency spectrum than its neighbors. This paper presents an algorithm of noise smoothing which performs as Low-pass spatial filter.

1. บทนำ

สถานีรับสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ได้ปฏิบัติงานรับสัญญาณและดำเนินการรวมวิธีบันทึกข้อมูล MSS ซึ่งเป็นแบบ Digital ลงบนเทปความหนาแน่นสูง (High Density Digital Tape, HDDT) ด้วยอัตราเร็วของการส่งข้อมูล 15 เมกะบิต/วินาที. เทปข้อมูล HDDT ดังกล่าว จะใช้ผลิตข้อมูลดาวเทียม ในรูปแบบของฟิล์มข้อมูล (Analog data form) และในรูปแบบของเทปคอมพิวเตอร์ CCT (Digital data form) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล. ข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียม (Downlink data) จะมีค่าระดับความเข้ม 64 ระดับ ตั้งแต่ 0 ถึง 63. ในขณะปฏิบัติงานดำเนินการรวมวิธีข้อมูล ข้อมูลพร่องของเครื่องมือหรือการรบกวนของคลื่นวิทยุ อาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความเข้มของข้อมูลอย่างผิดปกติ. และการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้มของข้อมูลในแต่ละจุด ทำให้เกิดการรบกวนเป็นจุดๆ ในภาพข้อมูลดาวเทียมนั้น ซึ่งเรียกว่า "ข้อมูลรบกวน" (Pixel Noise). ข้อมูลรบกวนมีลักษณะ เช่น White noise (Impulse noise), Non-white noise, Salt-and-pepper noise เป็นต้น. แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลรบกวนในภาพข้อมูล มีลักษณะเป็น Higher spatial frequency spectrum ซึ่งเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า สามารถกำจัดให้หมดไปได้ด้วย Low-pass spatial filter.

สถานีรับสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียม ได้เริ่มศึกษาพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Low-pass spatial filter ขึ้นในระบบดำเนินการรวมวิธีข้อมูลภาพจากดาวเทียมในขนาดพื้นที่เล็ก (Subscene) ปรากฏว่า Low-pass spatial filter ไม่สามารถกำจัด Noise ให้หมดไปได้ดี และยังทำให้คุณภาพข้อมูลลดลง คือ ข้อมูลภาพไม่คมชัด (Blur) และข้อมูลรบกวนก่อให้เกิดผลกระทบต่อข้อมูลข้างเคียงในลักษณะ chain effects ทำให้สถานีรับสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียมต้องพัฒนาวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนแบบใหม่ โดยนำหลักการของ Low-pass spatial filter มาประยุกต์ ซึ่งเรียกว่า Noise smoothing แบบ Neighborhood averaging และได้ทดลองใช้ปฏิบัติงาน, ปรากฏว่า วิธีการนี้สามารถปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนได้ดีพอสมควร. สถานีรับสัญญาณจากดาวเทียม จึงได้รับการพัฒนาและติดตั้งขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทป CCT แบบ CCRS format และสามารถผลิตเทปข้อมูลที่กำจัด Noise แล้วเป็น CCT แบบ CCRS format ซึ่งจะก่อให้เกิดผลดี 2 ประการ คือ

- (1) เทป CCT ที่กำจัด Noise แล้ว สามารถใช้เป็น Standard CCT products
- (2) เทป CCT ที่กำจัด Noise แล้ว สามารถนำมาใช้ผลิตฟิล์มแบบ Standard film products โดยระบบ BPS (Bulk Processing System).

ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทป CCT แบบ CCRS format ได้กำหนดวัตถุประสงค์ และเป้าหมายไว้ดังนี้

- (1) กำจัดข้อมูลรบกวนในเทป CCT แบบ CCRS Format ได้ดี
- (2) รักษาคุณภาพข้อมูลให้ดีขึ้นกว่าเดิม
- (3) ผลิตเทปข้อมูลที่กำจัดข้อมูลรบกวนแล้ว เป็น CCT แบบ CCRS Format.

2. ข้อกำหนดและโครงสร้างของเทปข้อมูล CCT แบบ CCRS Format

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เทปข้อมูล CCT แบบ CCRS Format มีโครงสร้างประกอบด้วย 3 files (แสดงไว้ในรูปที่ 1 และ 1.1) คือ

FILE	9-TRACK INTERCHANGE CODE	RECORD			
		NUMBER	NAME	SIZE (BYTES)	
Universal Header	EBCDIC and BINARY	1	Universal Header	3060	
LANDSAT Header	EBCDIC or ASCII	1	LANDSAT Header	1440	
		2	Geometric Transform- ation	2700	
		3	Radiometric Trans- formation Band 4	1620	
		4	Radiometric Trans- formation Band 5	1620	
		5	Radiometric Trans- formation Band 6	1620	
		6	Radiometric Trans- formation Band 7	1620	
		7	Radiometric Trans- formation Band 8	1620	
VIDEO	BINARY	1	Scan line 1 Band 4	3780	
		2	Scan line 1 Band 5	3780	
		3	Scan line 1 Band 6	3780	
		4	Scan line 1 Band 7	3780	
		5	Scan line 2 Band 4	3780	
		6	Scan line 2 Band 5	3780	
		7	Scan line 2 Band 6	3780	
		8	Scan line 2 Band 7	3780	
		-	-	Swath 1	
		-	-		
		-	-		
		-	-		
		21	Scan line 6 Band 4	3780	
		22	Scan line 6 Band 5	3780	
		23	Scan line 6 Band 6	3780	
		24	Scan line 6 Band 7	3780	
		-	-	Swath 381	
		-	-		
		-	-		
		-	-		
		-	-		
		9140	Scan line 2285 Band 7	3780	
		9141	Scan line 2286 Band 4	3780	
		9142	Scan line 2286 Band 5	3780	
9143	Scan line 2286 Band 6	3780			
9144	Scan line 2286 Band 7	3780			

รูปที่ 1 File Structure of A CCT

CONTENTS	RECORD NUMBER 01	ANCILLARY DATA	VIDEO DATA FOR BAND 4
BYTES	01-02	03-180	181-3780
CONTENTS	RECORD NUMBER 02	VIDEO DATA FOR BAND 5	ANCILLARY DATA
BYTES	01-02	03-3602	3603-3780
CONTENTS	RECORD NUMBER 03	VIDEO DATA FOR BAND 6	ANCILLARY DATA
BYTES	01-02	03-3602	3603-3780
CONTENTS	RECORD NUMBER 04	VIDEO DATA FOR BAND 7	ANCILLARY DATA
BYTES	01-02	03-3602	3603-3780

NOTE: DATA SET n OCCUPIES PHYSICAL RECORDS
NUMBERED $(4 \times (n-1) + 1)$ TO $(4 \times n)$ INCLUSIVE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 1.1 Structure of One Data Set

รูปที่ 1.1 Structure of One Data Set

- (1) Universal Header File
- (2) Landsat Header File
- (3) Video Data File

File ที่ 1 และ 2 เป็นข้อมูลเฉพาะของเทปข้อมูล CCT และข้อมูลเฉพาะของการดำเนินการวิธีข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซท. File ทั้งสองนี้ จะต้องมียู่ในเทป CCT ที่ผ่านขบวนการกำจัด Noise และจะต้องมีข้อมูลและรูปแบบเช่นเดียวกับเทปข้อมูล CCT ที่นำมากำจัด ส่วน File ที่ 3 จะประกอบด้วยข้อมูลภาพ MSS ของ 4 ช่วงคลื่น (Spectral Band) โดยที่ในแต่ละช่วงคลื่น มีข้อมูลภาพขนาด 3240 pixels และ 2286 lines. ข้อมูลรบกวนจะอยู่กระจัดกระจายในข้อมูลภาพ. ข้อมูลภาพทั้งหมด จะผ่านขบวนการกำจัด Noise และจะบันทึกข้อมูลภาพที่ได้ ลงบนเทปข้อมูล CCT โดยให้มีโครงสร้างและรูปแบบตามข้อกำหนดของเทปข้อมูล CCT แบบ CCRS Format.

3. วิธีการปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวน (Noise Smoothing)

โดยทั่วไป ข้อมูลรบกวนในข้อมูลภาพดาวเทียมจะกระจัดกระจาย ซึ่งมีค่าระดับความเข้ม (Intensity level) มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าระดับความเข้มของข้อมูลข้างเคียง (Neighbors) ซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะ Higher spatial frequency spectrum และทำให้มองเห็นได้ชัดเจน. เพราะฉะนั้นข้อมูลรบกวนดังกล่าว สามารถกำจัดให้หมดไปได้ด้วย Statistical filtering techniques.

สถานีรับสัญญาณดาวเทียม ได้พัฒนาวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวน โดยนำหลักการและวิธีการของ Low-pass spatial filter ซึ่งแสดงเป็นสมการดังนี้

$$G(x,y) = \sum_n \sum_m f(n,m) H(x-n+1,y-m+1)$$

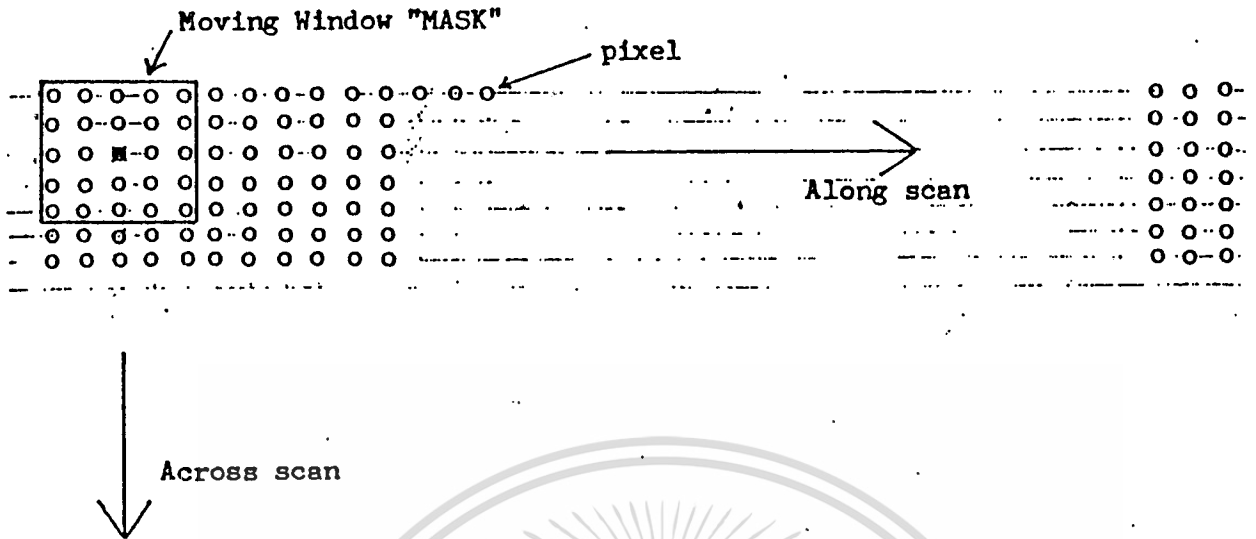
โดยที่มี "MASK", H และมีรูปแบบ Low-pass form ดังตัวอย่างแบบ (3x3) นี้

$$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

และแสดงการทำงานของ Spatial filtering ใน Image plane ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการทำงานของ Spatial filtering ใน Image plane

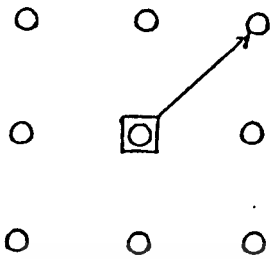
โดยใช้ Mask convolution ไปตามแนว Along scan & Across scan.

หลักการและวิธีการของ Low-pass spatial filter นำมาประยุกต์เพื่อใช้ปรับระดับความเข้มของข้อมูลรบกวน ให้อยู่ในระดับความเข้มปกติที่ควรจะเป็น โดยอาศัยค่าระดับความเข้มของข้อมูลข้างเคียงที่ปกติ. เรียกวิธีการกำจัดข้อมูลรบกวนนี้ว่า Noise Smoothing แบบ Neighborhood Averaging. โดยกำหนดว่า

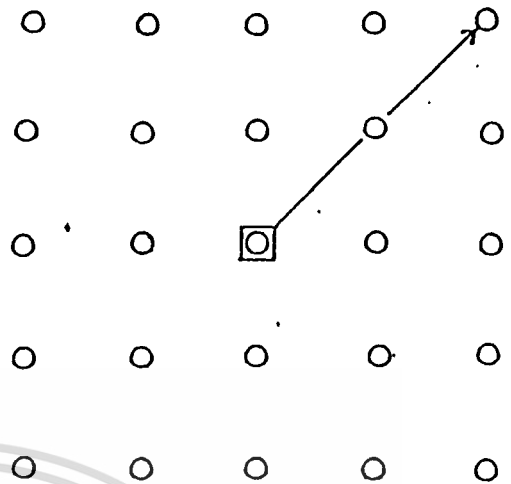
- $f(n,m)$ เป็น Landsat image plane
- $G(x,y)$ เป็น Landsat smoothed image
- S เป็น เซตของข้อมูลข้างเคียง (Neighbors) ที่มีค่าระดับความเข้มปกติ ซึ่งสามารถกำหนดเป็นกลุ่มข้อมูลข้างเคียงได้โดยการกำหนดรัศมีจากจุดนั้น ดังตัวอย่างรูปที่ 2.1 และ 2.2
- M เป็น จำนวนใดๆ ใน S
- X,Y เป็น coordinate ใดๆ ของข้อมูลภาพ
- n,m เป็น coordinate ใดๆ ใน S

เพราะฉะนั้น จะได้ความสัมพันธ์ของการปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนในรูปของสมการดังนี้

$$G(X,Y) = \frac{1}{M} \sum_{(n,m) \in S} f(n,m)$$



รูปที่ 2.1 ความยาวรัศมีเท่ากับ $\sqrt{2}$
จะมี Neighbors = $(3 \times 3) - 1$



รูปที่ 2.2 ความยาวรัศมีเท่ากับ $\sqrt{8}$
จะมี Neighbors = $(5 \times 5) - 1$

4. ขั้นตอนการกำจัดข้อมูลรบกวนสำหรับเทปข้อมูล (Noise Cleaning Procedure for CCT)

ขั้นตอนการกำจัดข้อมูลรบกวนที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังรูปที่ 3 และมีรายละเอียดดังนี้

(1) Investigating noise levels

ในขั้นตอนแรกนี้ ผู้ปฏิบัติงาน (Operator) จะทำการสำรวจและตรวจหาค่าระดับความเข้ม (Intensity level) ของข้อมูลรบกวนในข้อมูลภาพของแต่ละช่วงคลื่นโดยวิธี Level Slicing และ Video Data Dumping จากขั้นตอนนี้ ทำให้ทราบค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนในแต่ละช่วงคลื่น ซึ่งเป็นผลให้การกำจัดข้อมูลรบกวนกระทำได้ดี และยังคงเก็บรักษาคุณภาพของ Image texture ของข้อมูลที่ดีไว้.

(2) Determining Salt-and-Pepper Noise

ข้อมูลรบกวนในภาพ อาจจะมีค่าระดับความเข้มต่ำ หรือมีค่าระดับความเข้มสูง หรือทั้งสองระดับ อยู่ในภาพข้อมูลนั้น. ค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนในแต่ละช่วงคลื่นที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 จะป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และกำหนดไว้ในขั้นตอนการกำจัดข้อมูลรบกวน เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป. ขั้นตอนนี้ จะช่วยลดเวลา Processing Time ของขั้นตอนการกำจัดข้อมูลรบกวน.

(3) Read data from CCT

อ่านข้อมูลภาพจาก Video Data File ในเทปข้อมูล CCT ครั้งละ 1 record เพื่อนำข้อมูลรบกวนในภาพมาดำเนินการแก้ไข.

(4) Noise Detection

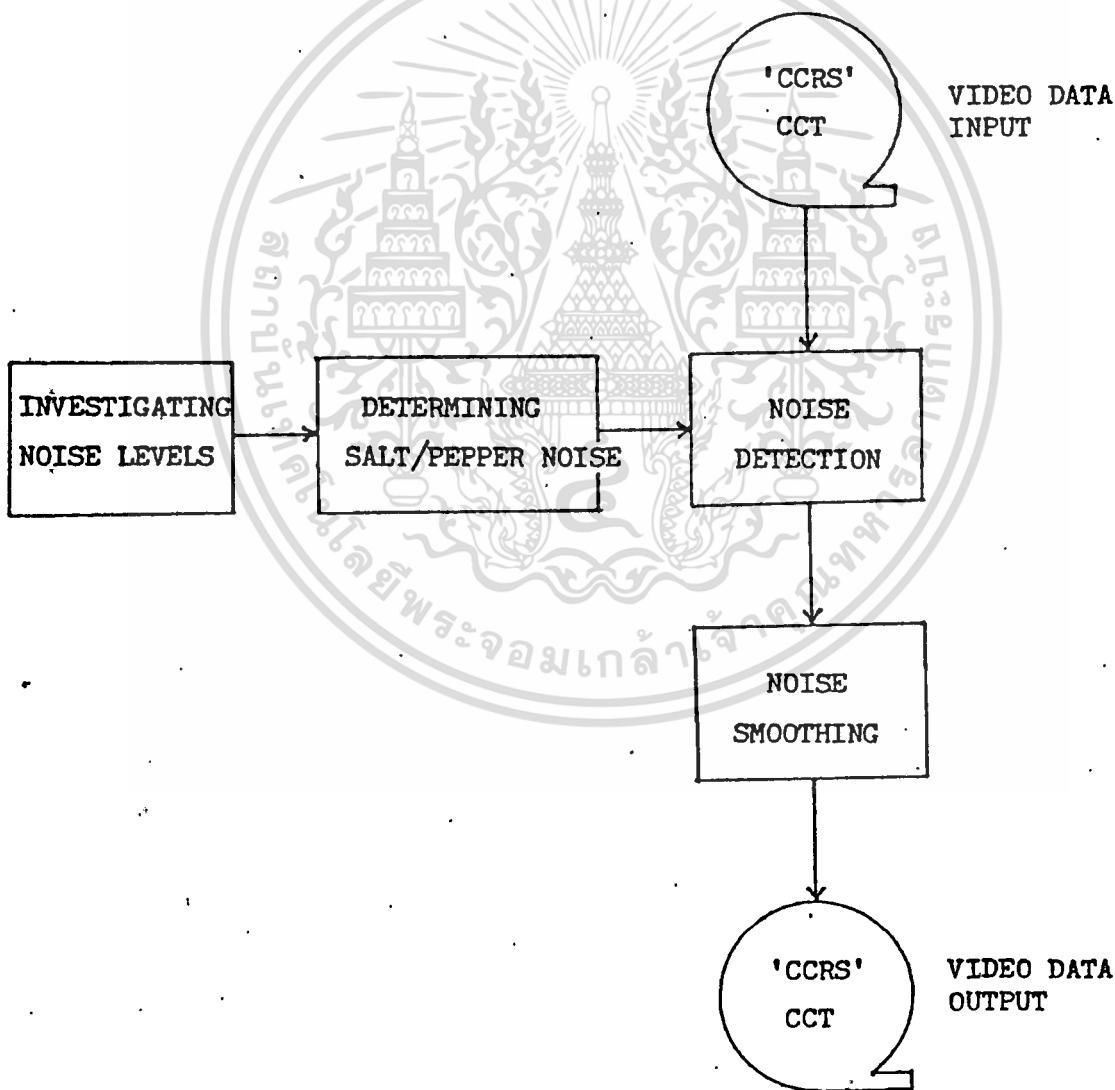
การกำหนด levels ในขั้นตอนที่ 2 ทำให้การสำรวจหาค่าแห่งของข้อมูลรบกวนในข้อมูลภาพจาก CCT สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว และปรับเปลี่ยนระดับความเข้มของข้อมูลรบกวนได้อย่างถูกต้อง.

(5) Noise Smoothing

เมื่อรู้ตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูลรบกวนแล้ว ก็จะดำเนินการปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวน โดยวิธี Neighborhood Averaging ซึ่งกำหนดให้กลุ่มข้อมูลข้างเคียง (Neighbors) เป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 7×7 .

(6) Store the cleaned data on CCT

บันทึกข้อมูลที่ปรับเปลี่ยนระดับค่าความเข้มแล้วและข้อมูลภาพของ 1 record ลงบน CCT และจะย้อนกลับไปดำเนินการขั้นตอนที่ 3 อีกจนกว่าครบ 1 ภาพข้อมูล (scene) ซึ่ง มีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 9144 records (4 แบนด์ คูณด้วย 2286 lines เท่ากับ 9144 records).



รูปที่ 3 Block Diagram of the Noise Cleaning

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ขั้นตอนของการปฏิบัติงานกำจัดข้อมูลรบกวน ในเทปข้อมูล CCT มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

(1) สำรวจตรวจหา Noise levels โดยความสามารถของระบบ IAS ด้วยวิธี

- Intensity Level Slicing

- Video Data Dumping

และทำการบันทึก Noise Levels ในแต่ละช่วงคลื่น

(2) กำหนด Input Parameters ให้แก่ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวน โดยการโต้ตอบกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Operator Interaction) ในลักษณะ Prompt/Response Sequences ดังต่อไปนี้

PIXEL NOISE CLEANING PROGRAM

1. LANDSAT DATA IDENTIFICATION :

1. SPACECRAFT (2 - 5) >-

2. TRACK NO. (115 - 145) >-

3. ACQ. DATE (DDMMYY) >-

4. FRAME NO. (35 - 65) >-

2. I/O DEVICES AND FILTER BOX :

1. TAPE INPUT (0 // 0, 1) >-

2. TAPE OUTPUT (1 // 0, 1) >-

3. FILTER BOX (7 // 7) >-

3. NOISE LEVELS DETERMINATION :

1. BAND 4

PEPPER NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (0 - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

SALT NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (* - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

2. BAND 5

PEPPER NOISE (Y // N,Y) >-

- LOWER LIMIT (0 - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

SALT NOISE (Y // N, Y) >-

- LOWER LIMIT (* - 255) >-

- UPPER LIMIT (* - 255) >-

3. BAND 6

PEPPER NOISE (Y // N, Y) >-
- LOWER LIMIT (0 - 255) >-
- UPPER LIMIT (* - 255) >-
SALT NOISE (Y // N, Y) >-
- LOWER LIMIT (* - 255) >-
- UPPER LIMIT (* - 255) >-

4. BAND 7

PEPPER NOISE (Y // N, Y) >-
- LOWER LIMIT (0 - 255) >-
- UPPER LIMIT (* - 255) >-
SALT NOISE (Y // N, Y) >-
- LOWER LIMIT (* - 255) >-
- UPPER LIMIT (* - 255) >-

(*คือค่า Noise level ที่ป้อนให้แก่ Prompt sequence ก่อนหน้านี้ ซึ่งค่า Noise level จะปรากฏใน Prompt sequence ถัดมา)

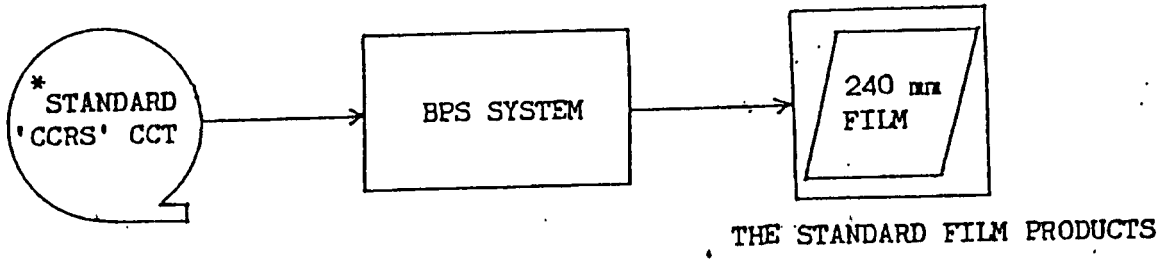
เมื่อได้ป้อนคำตอบตาม Prompt Sequences เรียบร้อยแล้ว ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูลจะเริ่มปฏิบัติงานอย่างอัตโนมัติทันทีจนสิ้นสุดขบวนการ Output tape ที่ได้จะเป็น CCT แบบ CCRS Format ที่ได้กำจัดข้อมูลรบกวนแล้ว.

6. ผลที่ได้รับจากขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูล CCT

ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวน จะดำเนินการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูล CCT และจะผลิตข้อมูลดาวเทียมที่กำจัดข้อมูลรบกวนแล้ว ให้อยู่ในรูปเทปข้อมูล CCT แบบ CCRS Format เช่นกัน ดังที่รูป ๑ ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานชนิดหนึ่งของข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซท (A Standard Landsat Product).

เมื่อระบบดำเนินการรวมวิธีข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซทของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม อ่านข้อมูลภาพจากเทปข้อมูล CCT ที่กำจัดข้อมูลรบกวนแล้ว. ระบบดำเนินการรวมวิธีข้อมูล (Bulk Processing System) ดังกล่าว ก็จะสามารถผลิตฟิล์มข้อมูลมาตรฐาน (ฟิล์มข้อมูลต้นฉบับ) ที่ไม่มี Noise รบกวน ดังรูปที่ 4 เพราะฉะนั้น จะเห็นได้ว่าสถานีรับสัญญาณดาวเทียม สามารถผลิตข้อมูลดาวเทียมที่กำจัด Noise แล้ว ในรูปเทปข้อมูล CCT และในรูปของฟิล์มข้อมูลมาตรฐาน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



* NOISE CLEANED CCT

รูปที่ 4 Block Diagram of the Noise Cleaned Film Generation.

7. ภาพข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทที่มี Noise รบกวนและภาพข้อมูลที่กำจัด Noise แล้ว ภาพข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทที่มี Noise รบกวนและใช้ทดสอบนั้น เป็นบริเวณ สนามบินดอนเมือง ตามแนวของการโคจรของดาวเทียม Track 129 และตำแหน่งภาพที่ Frame 50 จากการรับสัญญาณจากดาวเทียม เมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2527. โดยที่ รูปที่ 5 - 5.3 แสดง ภาพข้อมูลที่มี Noise รบกวน และรูปที่ 5.4-5.7 แสดงภาพข้อมูลที่ได้กำจัด Noise แล้ว.

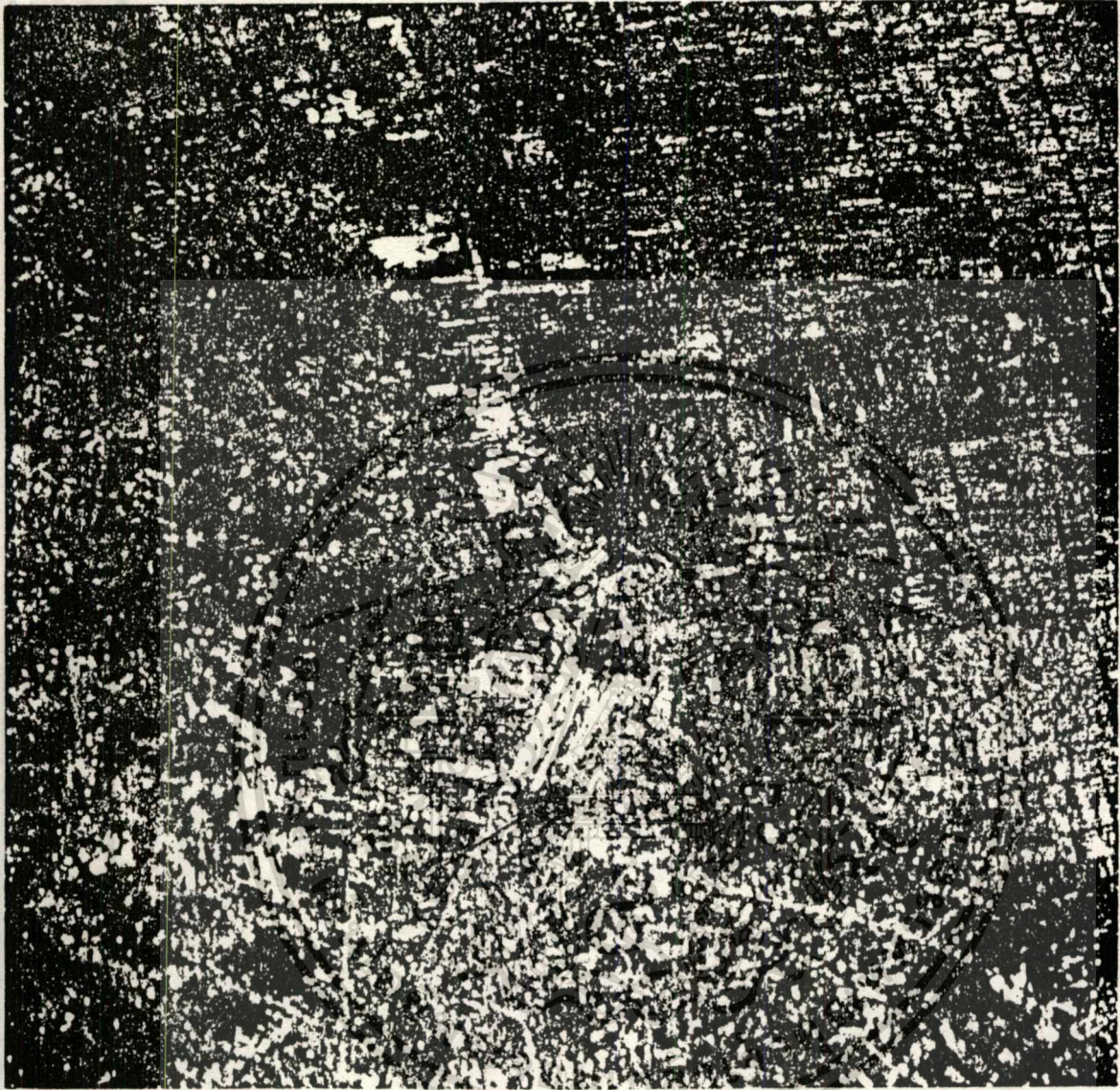
8. สรุป

วิธีการปรับค่าระดับความเข้มของข้อมูลรบกวน (Noise Smoothing) แบบ Neighborhood Averaging เป็นวิธีการหนึ่ง ที่สามารถกำจัดลักษณะผิดปกติของข้อมูลภาพแบบ Pixel Noise ให้หมดไปได้ดีพอสมควร. และขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูล CCT มีขั้นตอนการปฏิบัติงานเพียง 2 ขั้นตอน ซึ่งง่ายต่อการปฏิบัติงาน. นอกจากนี้ ขบวนการกำจัดข้อมูลรบกวน ยังสามารถผลิตเทปข้อมูลมาตรฐาน CCT แบบ CCRS Format และยังสามารถนำเทปข้อมูล CCT มาผลิตเป็นฟิล์มข้อมูลมาตรฐานอีกด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการให้บริการและการนำข้อมูลดาวเทียมไปใช้ประโยชน์เพื่อการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ ต่อไป.

เอกสารอ้างอิง

1. Gonzalez, R.C. Digital Image Processing. Addison Wesley Publishing Company. London. 1977.
2. Pratt, W.K. Digital Image Processing. John Wiley & Sons. New York 1971.
3. Rosenfeld, A. Digital Picture Processing. Academic Press. New York 1976.

4. Huang, T.S. Two Dimensional Digital Signal Processing II. Springer - Verlag. New York 1981.

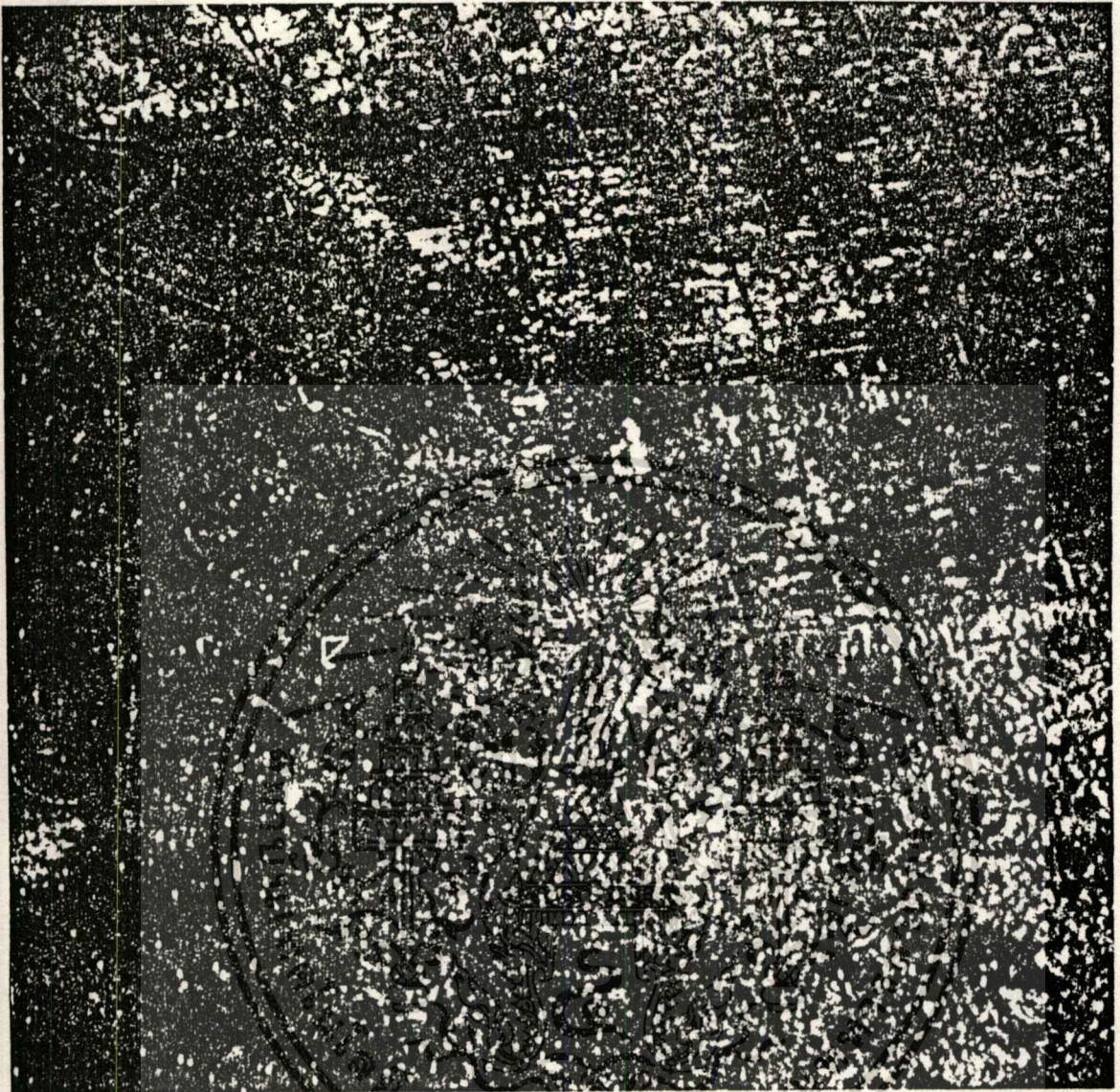


รูปที่ ๕ ข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 4 ที่มี noise รบกวน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 5 ที่มี noise ปรกวน.



รูปที่ 5.2 ข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 8 ที่มี noise รบกวน.



รูปที่ 5.3 ข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 7 ที่มี noise รบกวน.

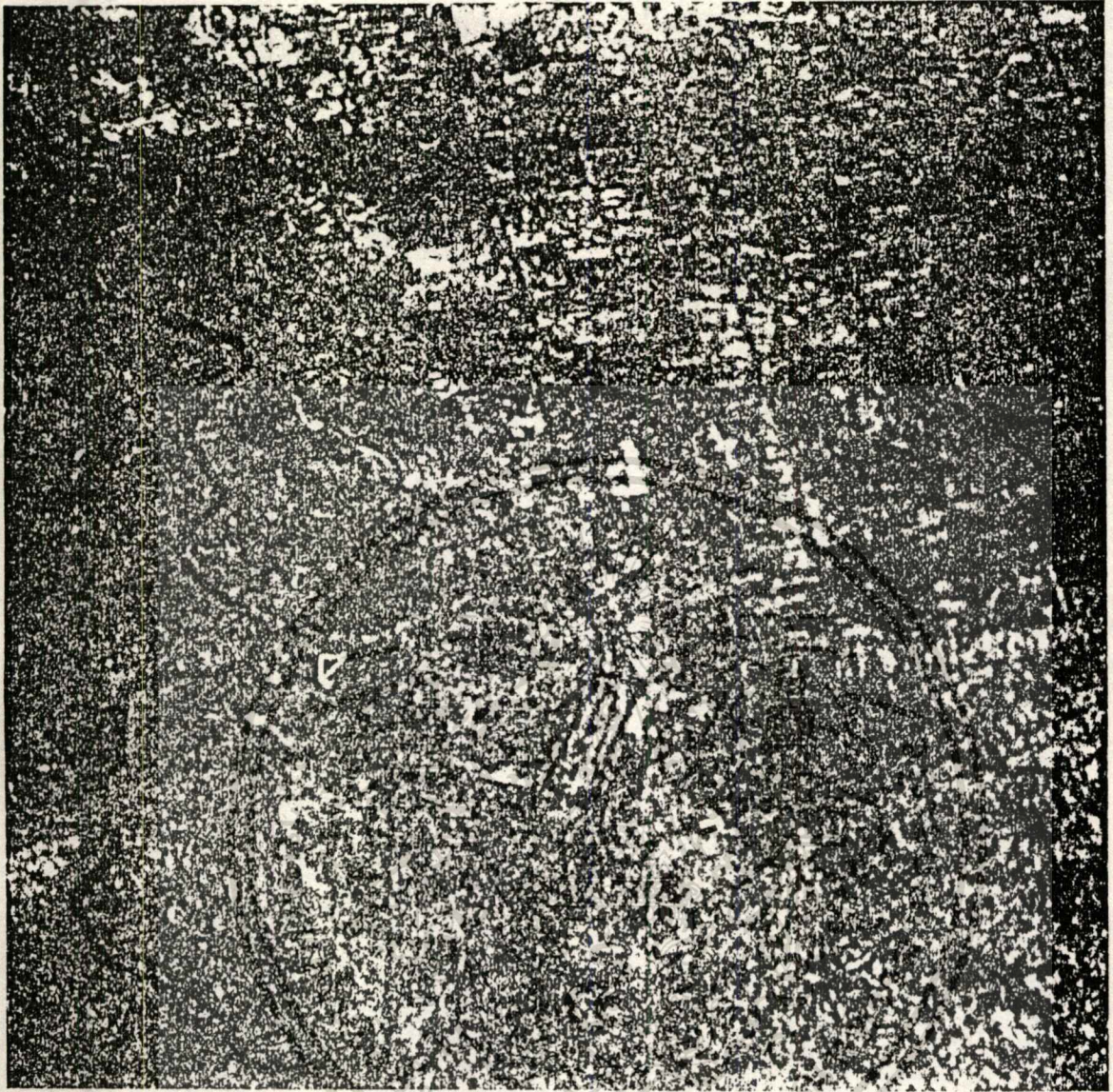


รูปที่ 6.4 ข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 4 ที่กำจัด noise แล้ว.



รูปที่ 5.5 ข้อมูลดาวเทียมแบบ 5 ที่กำจัด noise แล้ว.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ข้อมูลดาวเทียมแบนด์ ๕ ที่กำจัด noise แล้ว.



รูปที่ 5.7 ข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 7 ที่กำจัด noise แล้ว.

LINE: 275 PIXEL POSITIONS [360 389]
 48 48 52 45 45 42 45 45 45 45 45 45 42 42 42 45 45 42 42 42
 45 45 45 45 42 45 45 45 46 52
 LINE: 276 PIXEL POSITIONS [360 389]
 47 47 45 43 43 43 43 43 43 43 43 43 43 47 45 43 43 45 48 48
 43 45 47 45 43 43 43 45 47 48
 LINE: 277 PIXEL POSITIONS [360 389]
 43 43 43 43 43 42 44 48 44 42 22 133 118 27 44 44 48 44 42 42
 44 48 44 42 43 43 42 44 48 47
 LINE: 278 PIXEL POSITIONS [360 389]
 46 49 49 45 42 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 42 46
 47 41 41 45 45 42 46 49 49 49
 LINE: 279 PIXEL POSITIONS [360 389]
 165 32 51 48 49 49 48 47 47 47 48 49 47 44 43 35 105 189 23 43
 50 48 47 49 49 47 48 49 44 50
 LINE: 280 PIXEL POSITIONS [360 389]
 48 48 48 48 48 47 43 48 55 49 46 48 48 48 48 49 52 47 46 49
 46 42 47 46 46 47 48 46 46 47

รูปที่ 5.8 แสดงข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 4 ที่มี Pixel Noise รบกวนข้อมูลภาพ,
 Pixel Noise จะมีค่า Intensity level สูงกว่าข้อมูลข้างเคียง.

LINE: 340 PIXEL POSITIONS [345 374]
 58 53 49 51 48 43 42 42 42 44 46 44 39 39 43 42 42 43 48 51
 47 47 42 35 39 44 49 50 39 36
 LINE: 341 PIXEL POSITIONS [345 374]
 52 57 55 53 54 48 41 41 41 41 41 41 20 140 118 24 39 39 46 57
 56 44 42 43 39 42 51 48 36 33
 LINE: 342 PIXEL POSITIONS [345 374]
 58 52 52 58 54 48 41 37 37 41 41 39 44 41 37 38 38 38 37 41
 47 48 49 51 49 48 47 44 41 38
 LINE: 343 PIXEL POSITIONS [345 374]
 56 53 54 50 50 52 47 50 55 49 41 42 43 42 41 42 38 33 38 43
 50 55 51 46 47 49 48 45 42 41
 LINE: 344 PIXEL POSITIONS [345 374]
 54 53 51 51 51 53 54 51 50 48 48 47 41 39 42 52 52 40 40 45
 49 48 49 51 48 48 49 49 41 39
 LINE: 345 PIXEL POSITIONS [345 374]
 63 50 53 50 44 46 47 49 51 43 38 83 198 22 47 54 59 53 51 46
 45 48 53 52 52 51 45 41 39 35

รูปที่ 5.9 แสดงข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 5 ที่มี Pixel Noise รบกวนในข้อมูลภาพ
 และจะมีค่า Intensity level สูงกว่าข้อมูลข้างเคียง.

LINE: 382 PIXEL POSITIONS [325 354]
76 72 75 57 47 33 39 45 55 69 76 65 57 32 173 118 26 49 57 57

LINE: 383 PIXEL POSITIONS [325 354]
58 35 45 67 73 70 70 64 60 61 74 84 60 36 30 28 25 32 52 57

LINE: 384 PIXEL POSITIONS [325 354]
64 47 38 52 68 66 65 66 59 67 82 81 75 65 61 70 73 71 64 56

LINE: 385 PIXEL POSITIONS [325 354]
67 61 61 71 74 76 74 71 74 75 68 64 71 76 76 82 81 71 69 71

LINE: 386 PIXEL POSITIONS [325 354]
69 70 66 64 77 75 62 59 61 58 52 57 68 87 94 91 86 78 73 71

LINE: 387 PIXEL POSITIONS [325 354]
77 76 76 77 74 63 57 61 67 66 54 111 224 56 88 87 83 77 87 78

62 52 61 68 73 76 70 72 77 75

รูปที่ 5.10 แสดงข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 6 ที่มี Pixel Noise รวมกันในข้อมูลภาพ และมีค่า Intensity level สูงกว่าข้อมูลข้างเคียง.


```

LINE: 401 PIXEL POSITIONS [ 100 129 ]
65 59 67 66 62 72 71 69 69 69 69 69 69 70 65 67 73 76 68 60
58 67 71 66 64 63 68 70 66 64
LINE: 402 PIXEL POSITIONS [ 100 129 ]
61 61 60 64 66 66 66 65 70 68 65 69 75 77 73 71 67 70 69 62
63 71 69 67 62 66 75 78 71 62
LINE: 403 PIXEL POSITIONS [ 100 129 ]
62 62 60 69 66 64 71 63 41 185 156 17 162 173 50 69 57 38 53 71
64 64 70 73 70 63 67 71 64 61
LINE: 404 PIXEL POSITIONS [ 100 129 ]
68 69 64 67 77 77 70 67 71 75 67 64 69 66 62 64 73 63 80 52
31 34 57 78 69 61 65 72 70 60
LINE: 405 PIXEL POSITIONS [ 100 129 ]
57 60 64 60 59 65 72 72 65 62 65 69 68 68 68 70 75 61 85 66
33 29 56 80 75 69 73 76 77 71

```

รูปที่ 5.11 แสดงข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 7 ที่มี Pixel Noise รวมกันในข้อมูลภาพ
และมีค่า Intensity level สูงกว่าข้อมูลข้างเคียง.

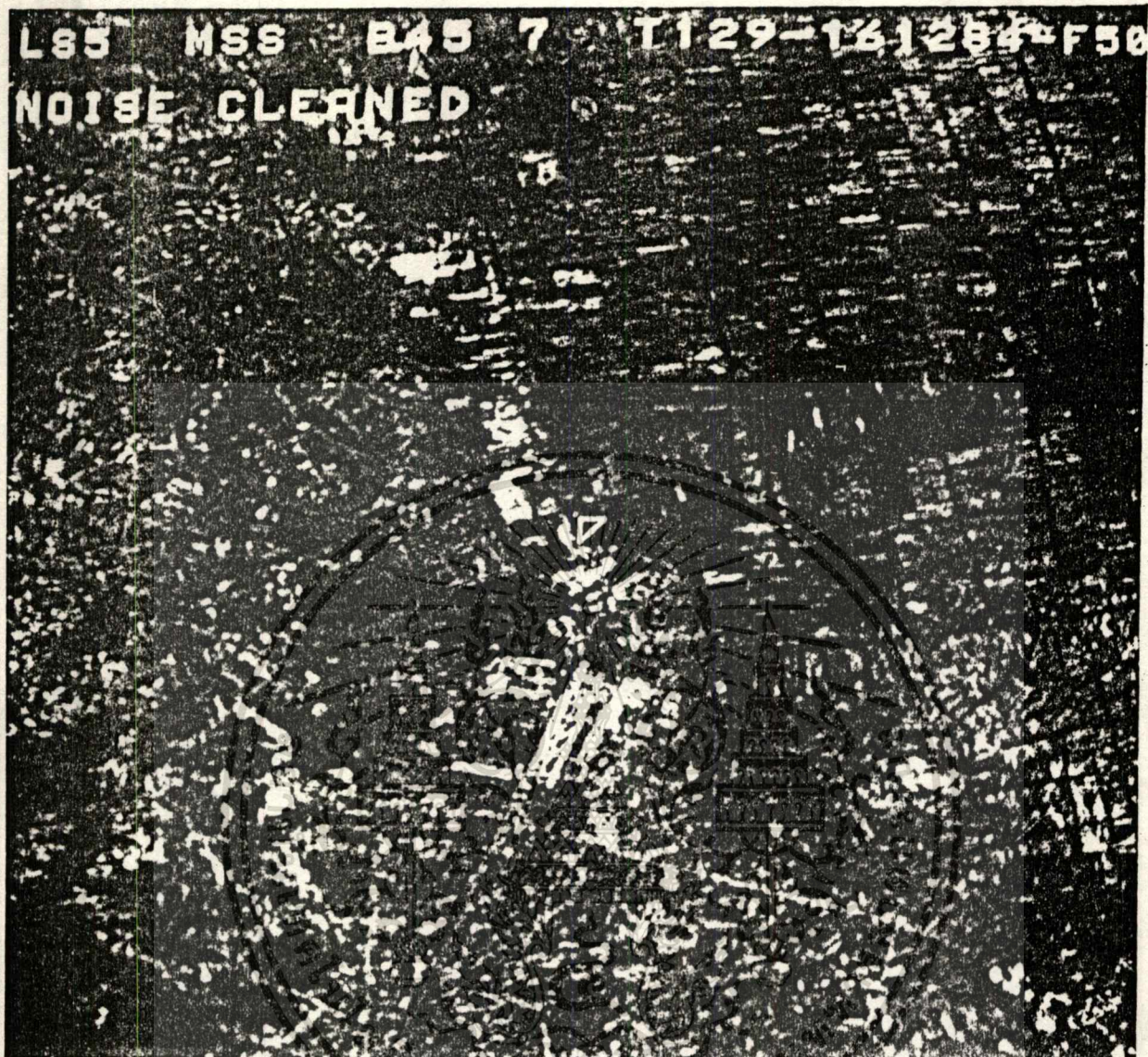


LS5 MSS B45 7 T129-141284-F50
IMPULSE NOISE INTERFERENCE



รูปที่ 5.12 ภาพ FCC ที่มี noise รบกวน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ภาพ FCC ที่กำจัด noise แล้ว.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Automatic Translation Correction

C. PEANVIJARNPONG and S. VIBULSRESTH

Thailand Remote Sensing Center

National Research Council

F. CHEEVASUVIT and K. PETCHSUWAN

King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang Campus, Ladkrabang

Abstract

Generally, translation correction of satellite images is performed by manual operation of image superimposition. The translation is obtained from different coordinates of the specified bench marks. As a result, the precision depends on the operator. This paper presents a method of automatic translation correction by using contour correlation. The contour of an image is detected by comparing each pixel in the gradient image with the mean square of its neighbors. The auto-adaptive contour detection gives a thin contour line, therefore there is no ambiguity on the translation value. This method gives higher accuracy and can be implemented on a general purpose computer. It does not require a display monitor. It can be used not only to verify the accuracy of the geometric correction of satellite images but also to produce mosaic satellite imagery.

Introduction

The polar orbiting satellites, such as Landsat and NOAA, provide information about the earth surface in the form of imagery. For a study on vegetation, urban growth and weather from satellite data, image superimposition is able to monitor the temporal changes. The superimposition is manually operated by using bench marks. The precision is therefore depended on the emotion of an operator.

To avoid human involvement, an automatic translation correction is necessary. In this study, the objective is to develop an algorithm of automatic translation correction which is useful for the image superimposition and applied to verify the geometric correction of satellite images.

Automatic Translation Correction

A classical method of the image superimposition is to calculate a correlation between the images. The correlation method usually gives high precision, but it takes a lot of computation time as well as the usage of all gray levels of data.

To improve the operation of image superimposition, a binary contour correlation is the key to operate an optimal superimposition of the images.

The operating procedures using binary contour correlation for automatic translation correction are as follow :

Step 1 The Gradient Image Generation

An image is produced to a gradient image by the gradient mask of SOBEL convolving with that image. The high frequency spatial features, such as the coast, reservoir, etc., are important to make a contour line in the gradient image.

Step 2 Binary Image generation

A binary image can be obtained by adaptive threshold at pixel (i, j) of the gradient image G (X, Y) is defined from its 8 - connectivity.

$$\begin{array}{ccc} G_0 & G_1 & G_2 \\ G_3 & G_{ij} & G_5 \\ G_6 & & G_7 \end{array}$$

And a contour index IC (i, j) is the mean square of its neighbors

$$IC(i,j) = \left[\frac{1}{8} \sum_{k=0}^7 G_k^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

as a blur image B(i, j) is obtained by a low - pass filter mask F (3, 3) convolving with the gradient image G (x, y)

$$F(3,3) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B(i,j) = G(i,j) * F$$

By comparison of IC(i,j) and B(i, j), it is able to determine the contour point Q (i, j). If the value of B(i, j) is greater than the value of IC(i, j), the contour point will be "1" otherwise "0". Therefore, we obtain an thin contour image.

Step 3 Translation Correction

The image translation correction will be calculated from the binary contour correlation of the thin contour image and a reference controur image.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experiment

We are used in NOAA imagery at February 22, 1982 on the experiment.

Result

NOAA original image of fig.1 was produced into the binary contour image as shown in fig.2 When binary contour image is performed a correlation with the contour reference image (fig.3), a translation value will be obtained and the translation correction can be shown on the superimposition as fig.4 According to fig.4, the asterisk signs show the superimposition of image.

Conslusion

This method of automatic translation correction will give a high accuracy and can be applied for the image superimposition and the quick verification of a geometrically corrected image.

Reference

- 1 W.K. PRATT, "Digital Image Processing",
John Wiley and Sons, New York, 1978
- 2 A. ROSENFELD and A.C. KAK, "Digital Picture Processing"
Academic Press, New York, 1976.
- 3 G.S. ROBINSON, "Edge Detection by Compass Gradient Masks"
Computer Graphics and Image Processing, No.6, page 492-501, 1977
- 4 W.K. PRATT, "Correlation Techniques of Image Registration",
IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES 100
No.3, page 353-358, May, 1974.

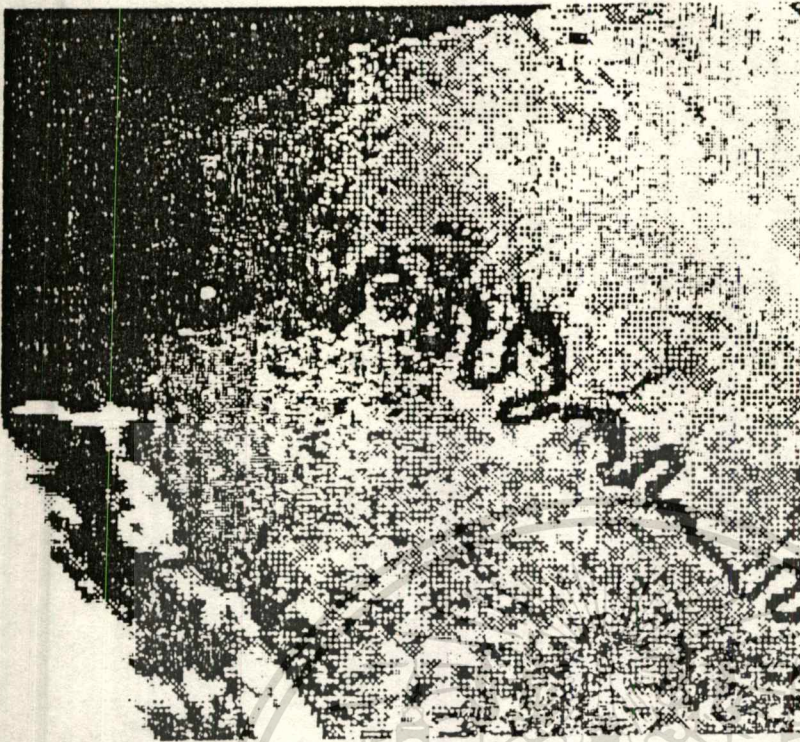


Fig 1 NOAA data
acquired
February 22,1982

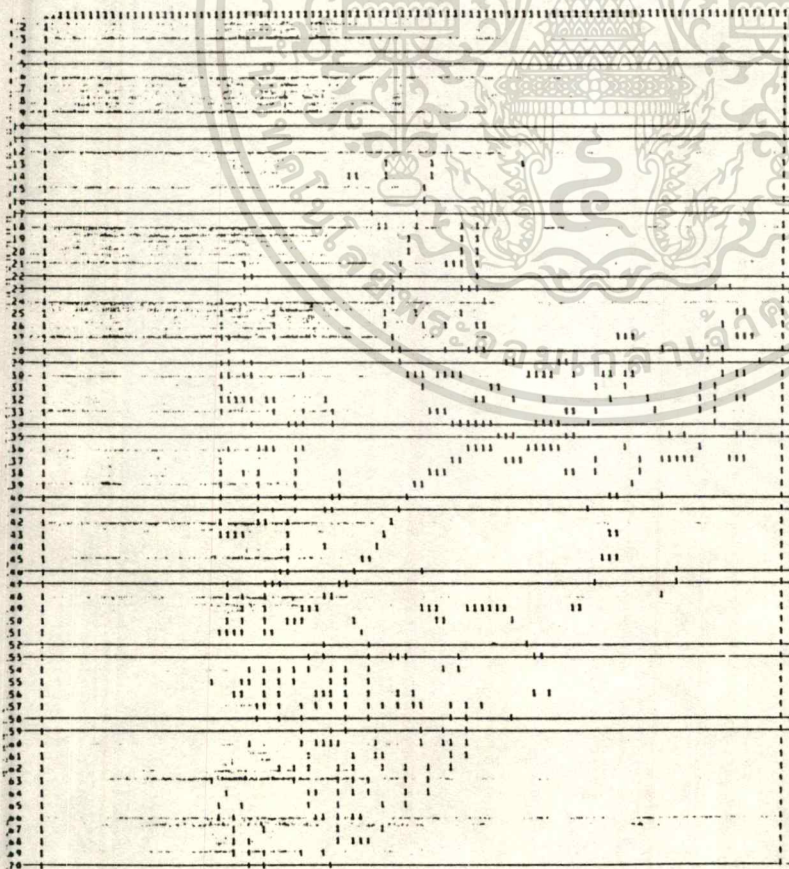


Fig.2 a Binary contour
image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

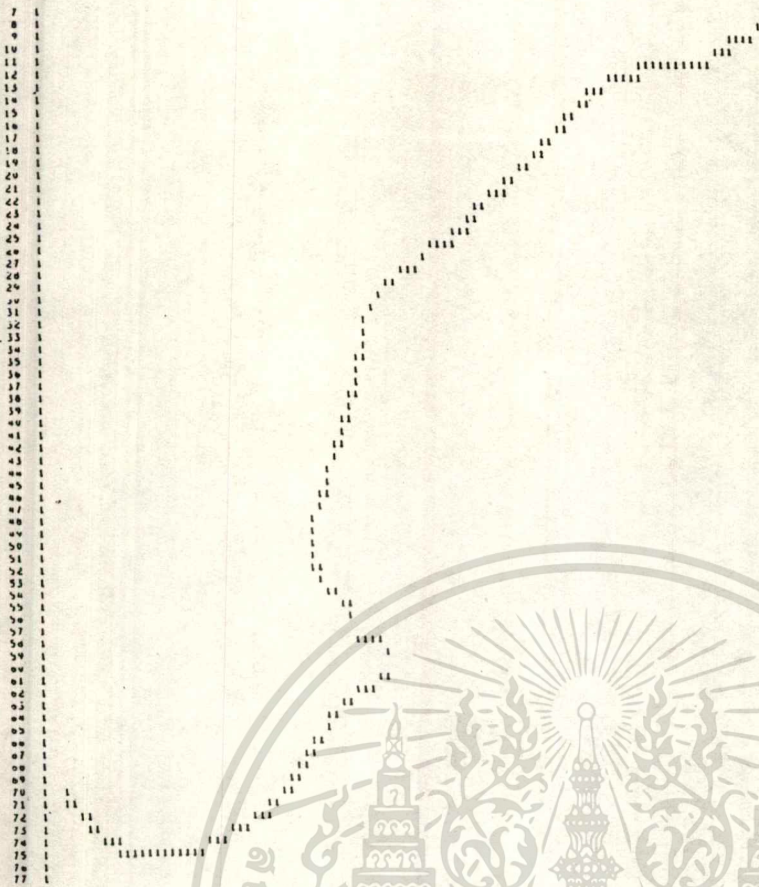


Fig.3. a contour reference image

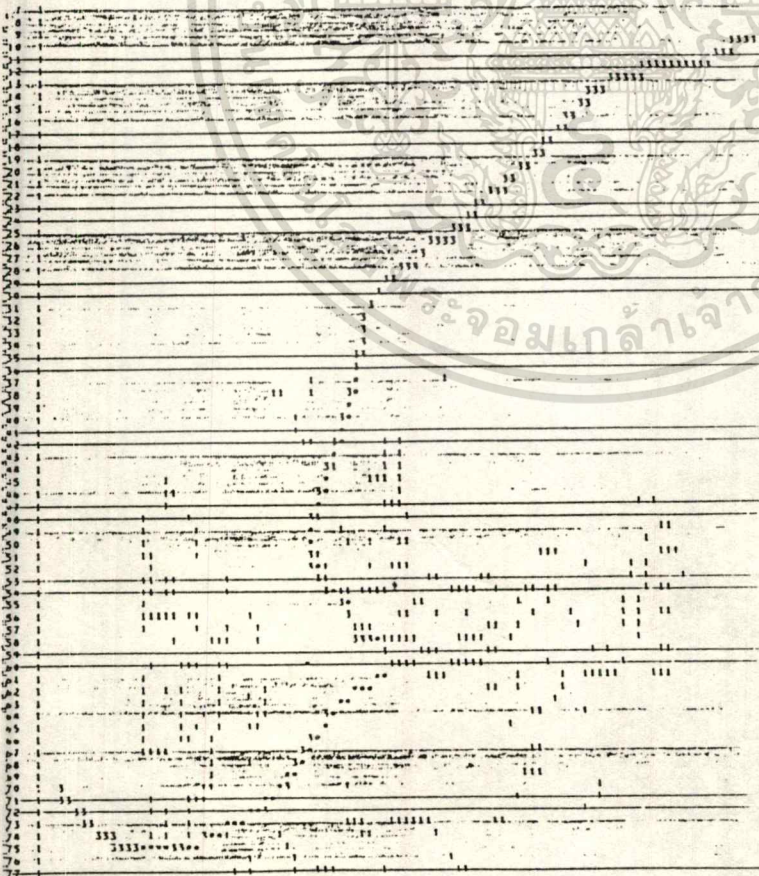


Fig. 4 a image shown the superimposition using Automatic Translation Correction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mosaicing of poor contrast images

by

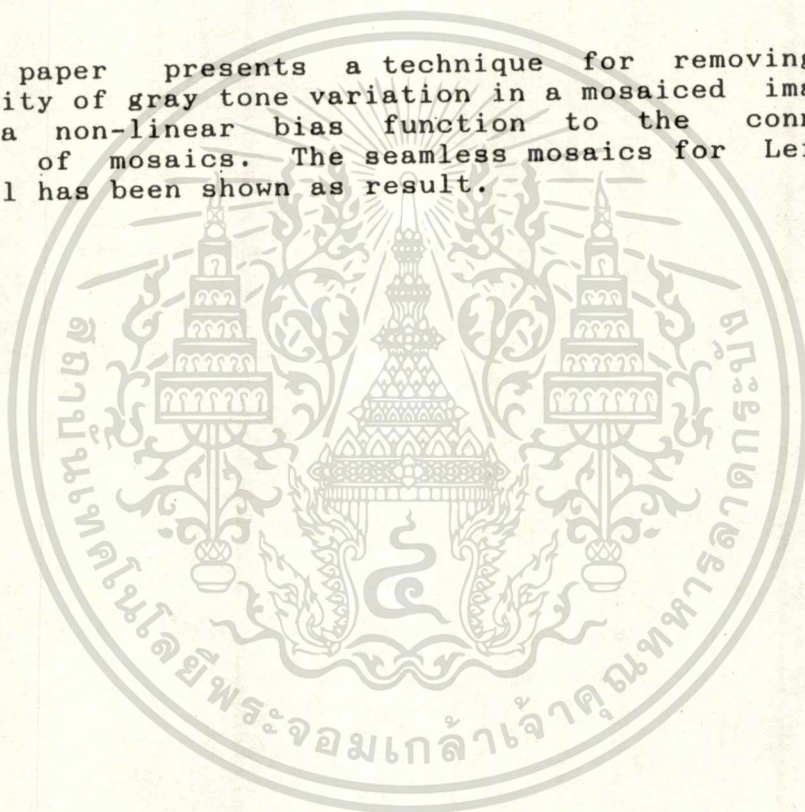
F. Cheevasuvit , C. Peanvijarnpong
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok, Thailand

and

S. Murai
Institute of Industrial Science
University of Tokyo
Tokyo 106, Japan

Abstract

This paper presents a technique for removing the discontinuity of gray tone variation in a mosaiced image by applying a non-linear bias function to the connected boundaries of mosaics. The seamless mosaics for Left-and Right Model has been shown as result.



1. Introduction.

The classic method of producing mosaiced images is to use linear weighting functions over the superimposed region in mosaic images before joining them together. The total weighting value of any pixel will be equal to 1. By this method the brightness of non-superimposed pixels still remains. The linear weighting functions are shown in Fig.1.

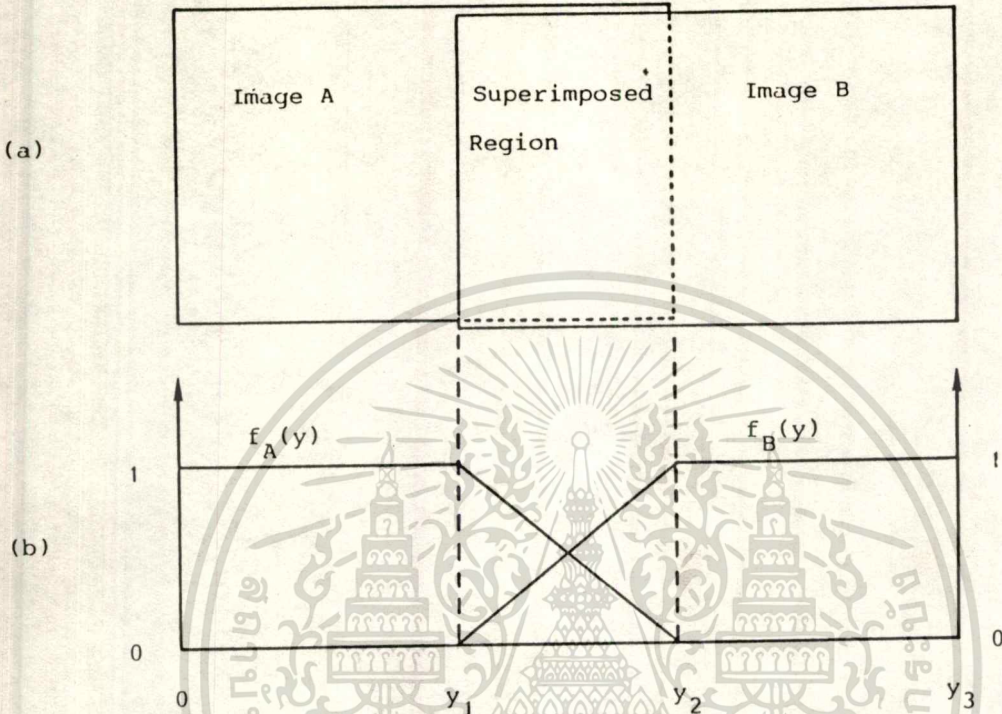


Fig.1 (a) Mosaiced image obtained from image A and B for Left-and-Right Model. (b) The linear weighting functions $f_A(y)$ and $f_B(y)$ for image A and B respectively.

This method gives the mosaiced image $g(x,y)$:

$$g(x,y) = \begin{cases} g_A(x,y) & \text{for } 0 \leq y < y_1 \\ f_A(y)g_A(x,y) + f_B(y)g_B(x,y) & \text{for } y_1 \leq y < y_2 \\ g_B(x,y) & \text{for } y_2 \leq y < y_3 \end{cases} \quad (1)$$

where $g_A(x,y)$ and $g_B(x,y)$ refer to images A and B respectively.

This method cannot solve the discontinuity of brightness in the mosaiced image if the contrast of mosaic images are too different. In such cases, it introduces three bands of contrast in the mosaiced image.

To improve the contrast over the boundary region, some researchers have proposed joining the mosaic images together using only one side of the overlap region. Then the mean brightness for each line of each image is calculated and also the mean of these two mean values. Fig.2 shows an example of the i th line in the mosaiced image.

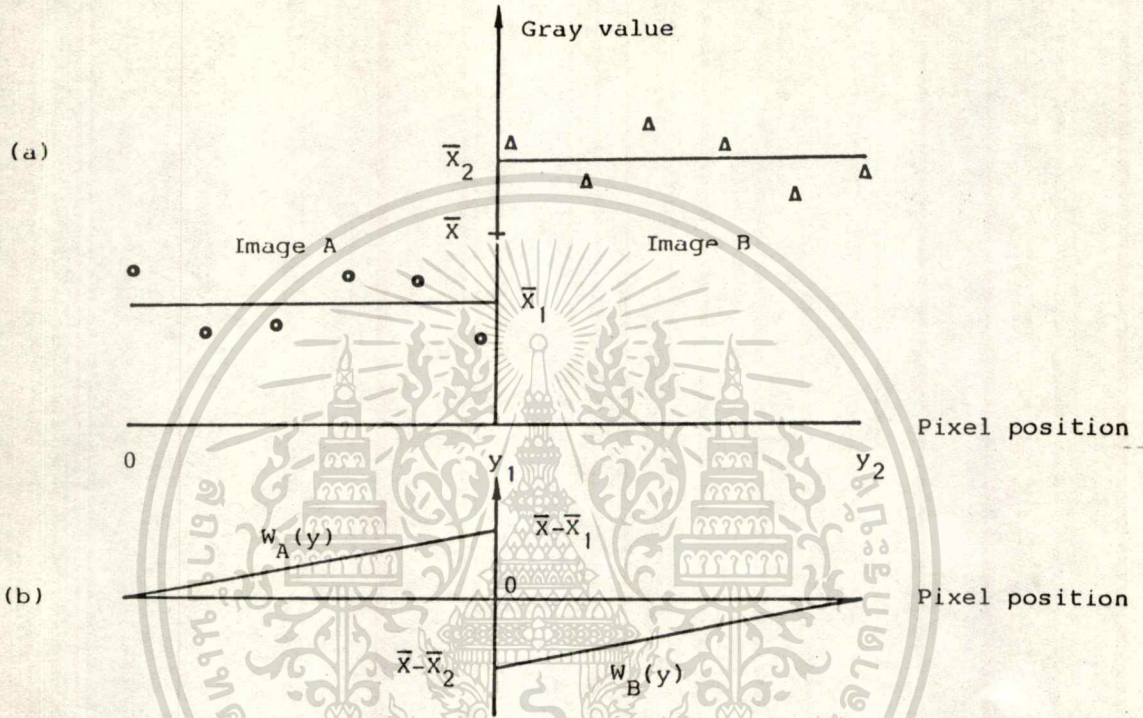


Fig.2 The i th line in the mosaiced image. (a) $\bar{X}_1$ and $\bar{X}_2$ are the mean values of a connected line in image A and B respectively while $\bar{X}$ is the total mean of the i th line in the mosaiced image. (b) $W_A(y)$ and $W_B(y)$ are the linear bias functions for mosaic images A and B.

In this method, the i th line in the mosaiced image is formed by the following equation;

$$g(i,y) = \begin{cases} g_A(i,y) + W_A(y) & \text{for } 0 < y \leq y_1 \\ g_B(i,y) + W_B(y) & \text{for } y_1 < y \leq y_2 \end{cases} \quad (2)$$

These bias functions give a high value near the boundary region. This means that a pixel which is located far from the boundary has less effect on the discontinuity of contrast in a mosaiced image.

While contrast of the boundaries can be improved by this method, it cannot improve the continuity of the contrast in the boundary region if there exists a group of pixels near each side of the boundary having a brightness which deviates too far from the mean value on its side.

To solve this problem, we calibrate the brightness of mosaic images and smooth the boundary after applying a non-linear bias function. The procedure of the proposed method is described in the following paragraph.

2. Mosaiced procedure.

We used under-water images having poor contrast as an example for Left-and-Right Model of mosaiced image. Geometric correction has already been performed on the mosaic images. The images are shown in Fig.3.

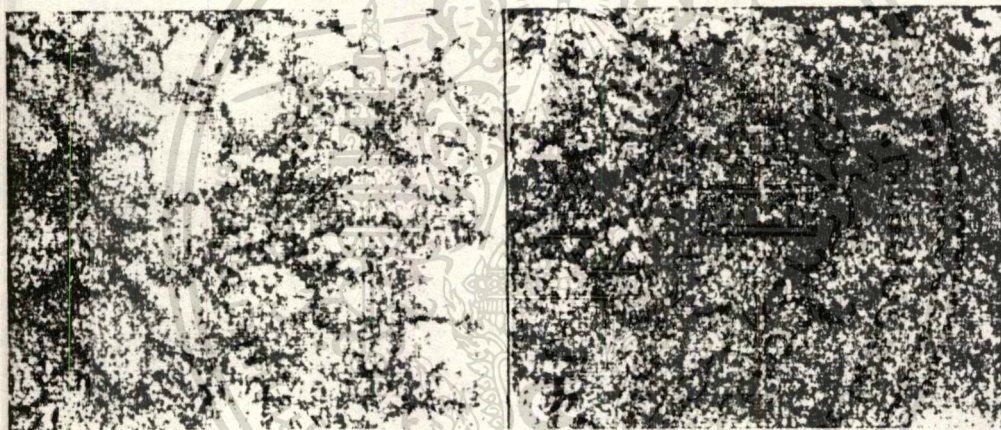


Fig.3 Two under-water images for Left-and-Right Model.

Before connecting these two images together, we must find out the overlap region of the images and one of them is cut off. The connected position of pixel and line can be determined by using the correlation or similarity method. Therefore we cut some part of these overlap regions and then search for the connecting position. The sub-overlap images are shown in Fig.4.

These sub-overlap images have very poor contrast. To improve the precision of the similarity we smooth them with the Edge Preserving Smoothing method [1,2] and then apply

linear contrast stretching. We thus obtain the good contrast for these sub-overlap images presented in Fig.5.

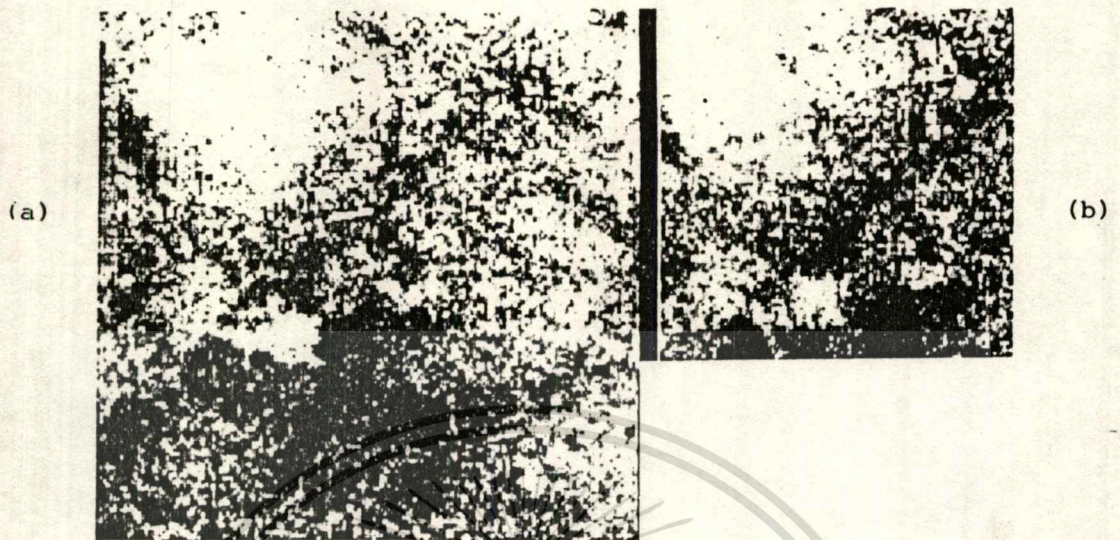


Fig.4 Sub-overlap images of the images in Fig.3 (after magnification). (a) Sub-image of left image. (b) Sub-image of right image.



Fig.5 The good contrast of sub-overlap images after Edge Preserving Smoothing and linear contrast stretching processes.

The similarity process is performed on the two sub-overlap images of Fig.5, and the connecting position of the mosaic images determined.

Before connecting the mosaic images, we have to calibrate the brightness of one image using the other image as reference. We calculate the mean and standard deviation over the overlap region of each image and then use equation (3) of [3] to adjust the brightness of one image to the other reference image.

$$P = \left[\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right] Q + m_1 - \left[\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right] m_2 \quad (3)$$

where Q is the former brightness of a pixel and P is its new value, m_1 and σ_1 are the reference values of mean brightness and standard deviation, while m_2 and σ_2 are the mean and standard deviation of the image under consideration. Here we use the left image of Fig.3 as a reference image. After applying equation (3) to the right image of Fig.3, we obtain the mosaiced image shown in Fig.6.

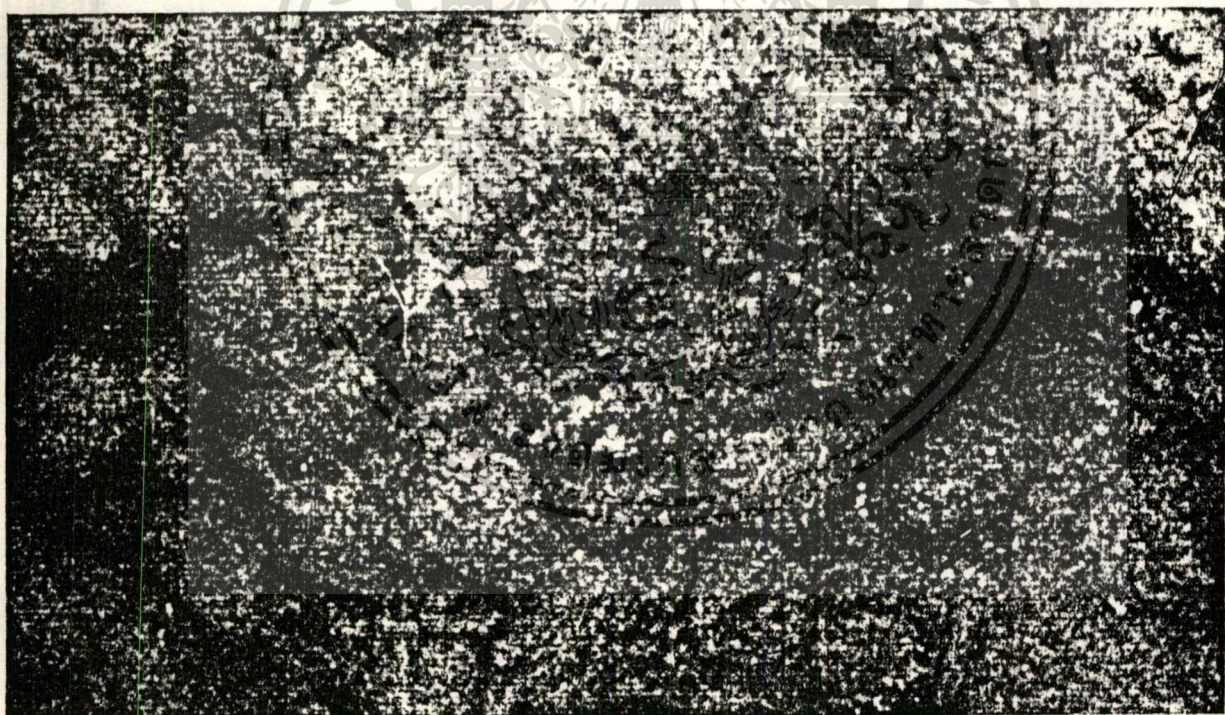


Fig.6 Mosaiced image of images in Fig.3 after brightness adjustment.

A slight discontinuity of contrast over the boundary still remains. To reduce this discontinuity, we propose a non-linear bias function to scale the brightness over the boundary regions. We have used the Butterworth function, a non-linear bias function expressed by equation (4).

$$W_{\text{But}}(y_i) = \frac{1}{1 + 0.414(y_i/y_0)^{2n}} \quad (4)$$

where y_i is the pixel position, and y_0 is the cutoff position. n is the flatness order. The characteristic of the Butterworth bias function is shown in Fig.7(b), while Fig.7(a) is the inverse bias function of Fig.7(b).

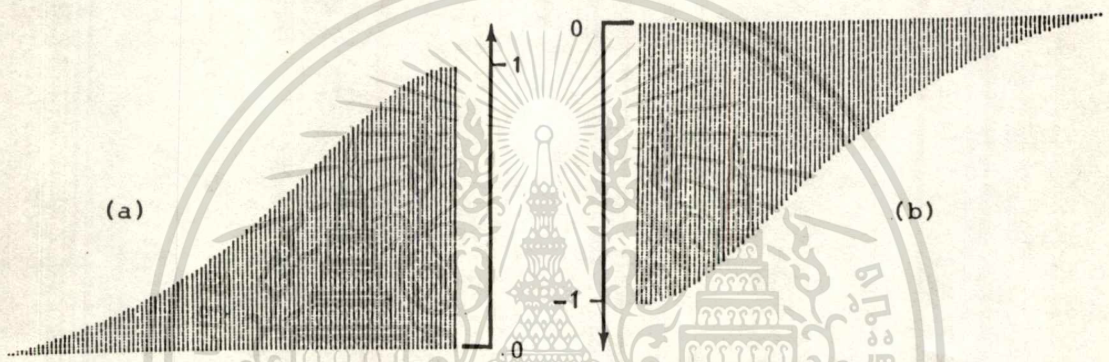


Fig.7 Non-linear bias function for scaling the brightness over the boundary regions. (a) Bias function for the left image. (b) Bias function for right image.

The bias value of this non-linear function has two degrees of freedom for adjusting the scaling value, which are the parameters n and y_0 . The resulting image after using this non-linear bias function is shown in Fig.8.

We can increase the degree of continuity by using a median line filter over the boundary regions for smoothing and also for eliminating vertical line noise. The result is presented in Fig.9.

The image of Fig.9 has much dust and sand noise. To eliminate this kind of noise, we used the method of smoothing with preserving edge of [2]. The final image is presented in Fig.10.

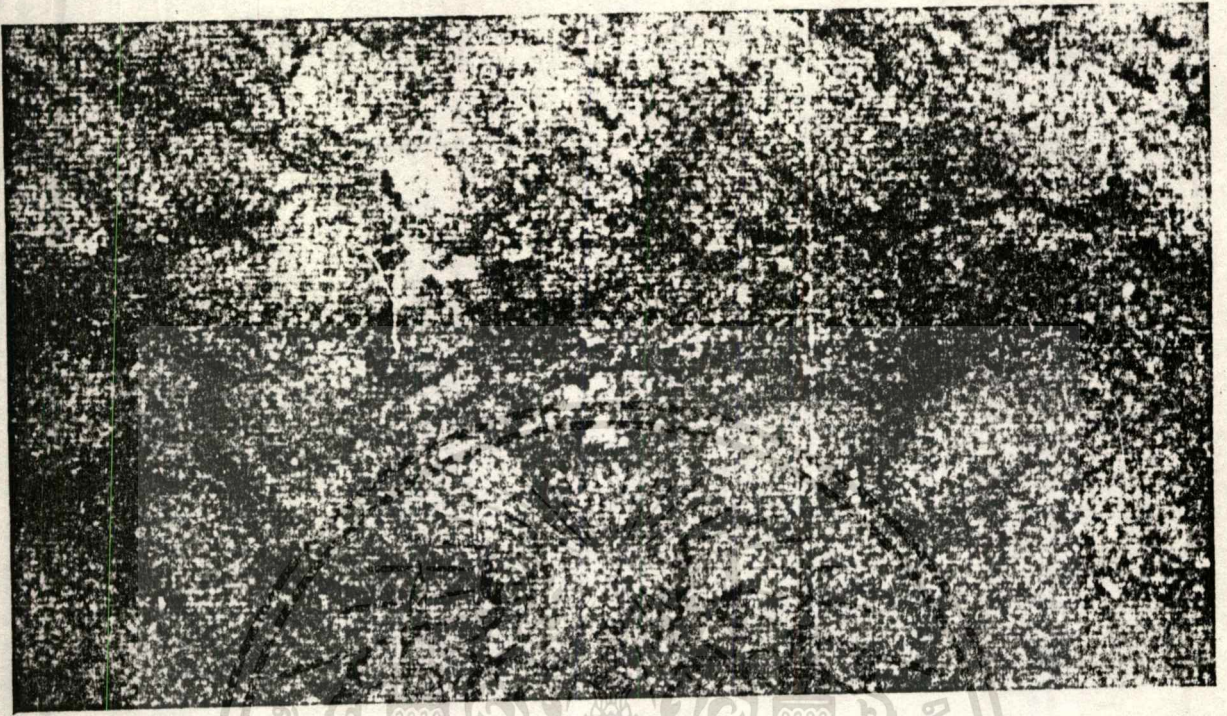


Fig.8 Mosaiced image after applying the non-linear bias function of equation (4), where $n=1$ and $y_0 = 31$.

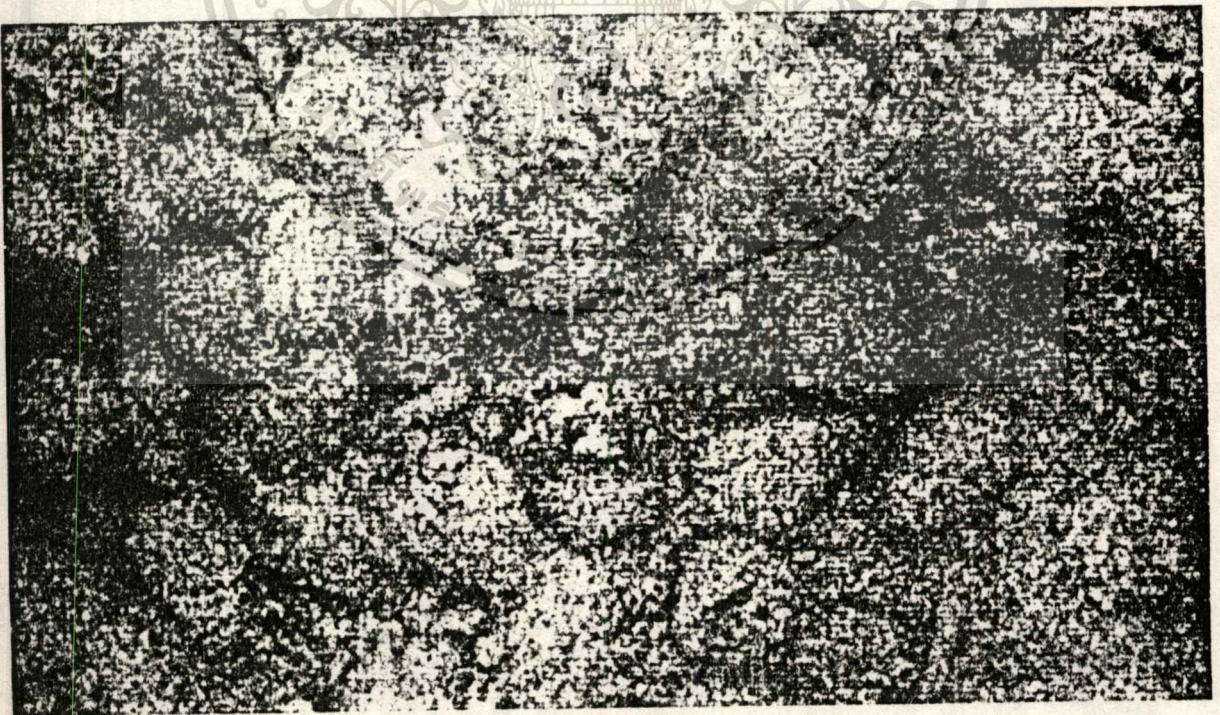


Fig.9 Mosaiced image after applying the median filter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

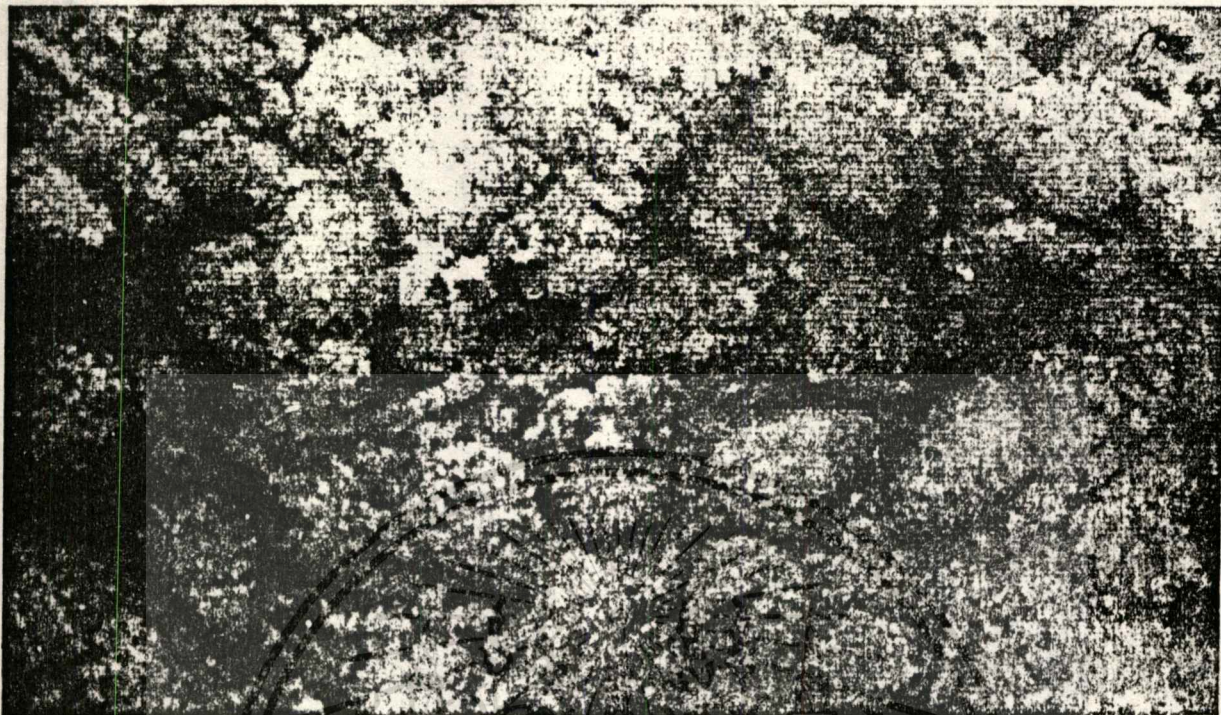


Fig.10 The final mosaiced image.

3. Conclusion.

Not only the mosaiced image of Left-and-Right Model can be carried out by the proposed procedure, but also the mosaiced image of Upper-and-Lower Model. This means that we only change the line treatment process to a column treatment process. The Butterworth function has the advantage over the linear function that it has two parameters for adjusting the bias value. Thus, we can use them to adjust the best continuity of contrast in the mosaiced image.

References.

- [1] F. Tomita and S. Tsuji, " Extraction of Multiple Regions by Smoothing in Selected Neighborhoods ", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-7, pp. 107-109, 1977.
- [2] M. Nagao and T. Matsuyama, " Edge Preserving Smoothing " Computer Graphics and Image Processing, Vol. 10, 1979.
- [3] J.A. Richards, " Remote Sensing Digital Image Analysis : An Introduction ", Springer-Verlag, Berlin, 1986.
- [4] W.K. Pratt, " Digital Image Processing ", A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [5] S. Murai, T. Okuda and M. Akiyama, " Digital Mosaic of Color Aerial Photographs ", Proc. of ISP Congress, Humbourg, 1980.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Edge enhancement by adding gradient information

by

F. Cheevasuvit and C. Peanvijarnpong
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

and

S. Murai
Institute of Industrial Science
University of Tokyo
Tokyo 106, Japan

Abstract

An edge enhancement image can be obtained by adding gradient information to the original image. This paper proposes several gradient direction templates for detecting the most suitable direction of gradient. The inverse normalized Butterworth function has been proposed to transform the gradient value before combining it with the original image. This transformation depresses the gradient value of spurious edges while the gradient value of real edges is magnified.

1 Introduction.

Edge enhancement is a particularly simple and effective means for increasing geometric detail in an image [1]. It is obtained by adding gradient information to the original image, to increase contrast in the vicinity of an edge. Therefore, the first step of edge enhancement is to detect the gradient or edge information in an image. Edge detection can be done easily in the spatial domain by convolving a linear edge detecting template with the original image. There already exist many kinds of linear edge detecting templates which are reported in the literature [3,4,5].

Shettigara and Odins [2] have proposed an edge enhancement procedure using a horizontal and vertical templates as shown in the following figure.



Fig.1 Horizontal and vertical templates for edge detection, where 0 is the position of pixel under consideration.

In their method, the gradient at the i th pixel is computed as follows:

For horizontal edge detection, the mean intensity for n pixels on the negative side of the i th pixel is:

$$I_{i-} = \frac{1}{n} (I_{i-n} + I_{i-n+1} + \dots + I_{i-1}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{i-j} \quad (1)$$

on the positive side of the i th pixel :

$$I_{i+} = \frac{1}{n} (I_{i+1} + I_{i+2} + \dots + I_{i+n}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{i+j} \quad (2)$$

where I_i is the intensity of the i th pixel.

The difference is given by :

$$\Delta I_{i_n}^h = |(I_{i_-} - I_{i_+})| \quad (3)$$

For any number of pixels up to N on a line in the horizontal direction, the mean gradient (difference) is given by :

$$\Delta I_i^h = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N \Delta I_{i_n}^h \right) \quad (4)$$

Similarly for the vertical direction, the mean gradient is :

$$\Delta I_i^v = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N \Delta I_{i_n}^v \right) \quad (5)$$

Then the direction invariant gradient term in 2-D is given by:

$$\Delta I_i = [(\Delta I_i^h)^2 + (\Delta I_i^v)^2]^{1/2} \quad (6)$$

The modified ith pixel $I_i(m)$ is :

$$I_i(m) = \begin{cases} (I_i + \Delta I_i) \\ \exp(I_i + \Delta I_i) \end{cases} \quad \begin{matrix} (7a) \\ (7b) \end{matrix}$$

These two gradient templates are not suitable for the complex gradient directions which occur in aerial photographs, in satellite images, or in the under-water images used as an example of edge enhancement in this study. The enhancement in log space of equation (7b) is not suitable for an image with narrow dynamic range of contrast. The log space enhancement image will become very dark due to the characteristic of an exponential curve.

To avoid these disadvantages, we propose 12 gradient direction templates of the size (7x7). These gradient templates can detect 12 possibilities of edge direction. The inverse normalized Butterworth function is proposed to transform the gradient value. The enhancement image is obtained by adding the transformed gradient value to the original image.

2 Edge enhancement.

We propose 12 templates for 12 possible directions of an edge in a (7x7) window size. The templates are shown in Fig.2.

TEMPLATE NO.1	TEMPLATE NO.2	TEMPLATE NO.3	TEMPLATE NO.4
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0 0	1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0 0	0 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0 0	0 0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0
1 1 1 0 -1 -1 -1	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 -1 0 0	0 0 -1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 -1 0 0	0 -1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 0 -1	-1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0
1 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 1	0 0 0 1 0 0 0	0 0 0 1 0 0 0
0 0 1 0 -1 0 0	0 0 -1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 -1 -1	-1 -1 0 0 0 0 0	0 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 -1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 -1 0 0	0 0 -1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 -1 0 0	0 -1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 -1 0 0	0 -1 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 0	1 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 1
0 0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0	0 0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 -1 0 0	0 0 -1 0 0 0 0	0 0 0 0 -1 0 0	0 0 -1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 -1 0	0 -1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 -1 -1	-1 -1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 -1 0	0 -1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0

Fig.2 The 12 possibilities of edge detectable direction, the center of each template is the pixel (ith) under consideration.

In this case equations (4) and (5) become :

$$\Delta I_i^m = \frac{1}{3} \left(\sum_{n=1}^3 \Delta I_{i_n}^m \right) \tag{8}$$

where N is equal to 3 and m refers to the number of the template which varies from 1 to 12.

The gradient value of the ith pixel is obtained from the maximum gradient value of equation (9): Then, ΔI_i is given by :

$$\Delta I_i = \max [\Delta I_i^1, \Delta I_i^2, \dots, \Delta I_i^{12}] \tag{9}$$

2.1 Edge enhancement with linear gradient.

The modified value of the ith pixel by linear enhancement is :

$$I_i(m) = I_i + \Delta I_i \tag{10}$$

The original under-water image is shown in Fig.5(a) and the edge enhancement with linear gradient is presented in Fig.5(b). Fig.3 shows the frequency of each template in percentage, from this figure we can deduce the number of edge directions for the image.

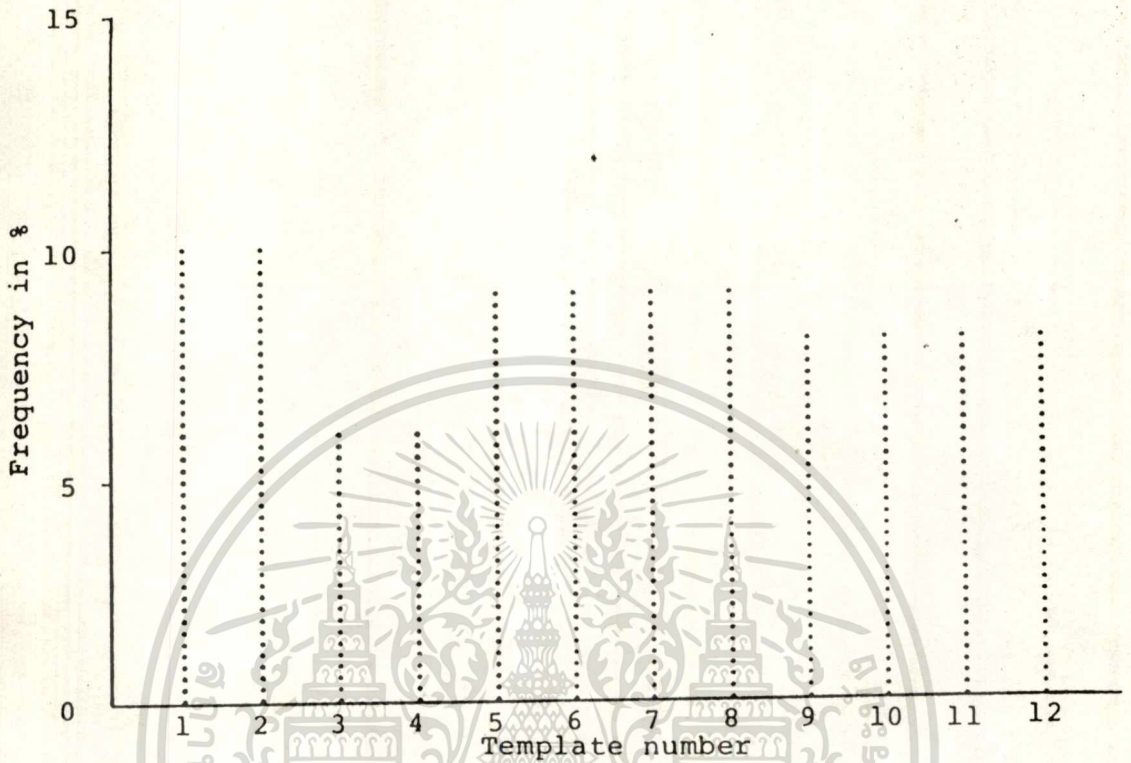


Fig.3 Percentage frequency of the templates.

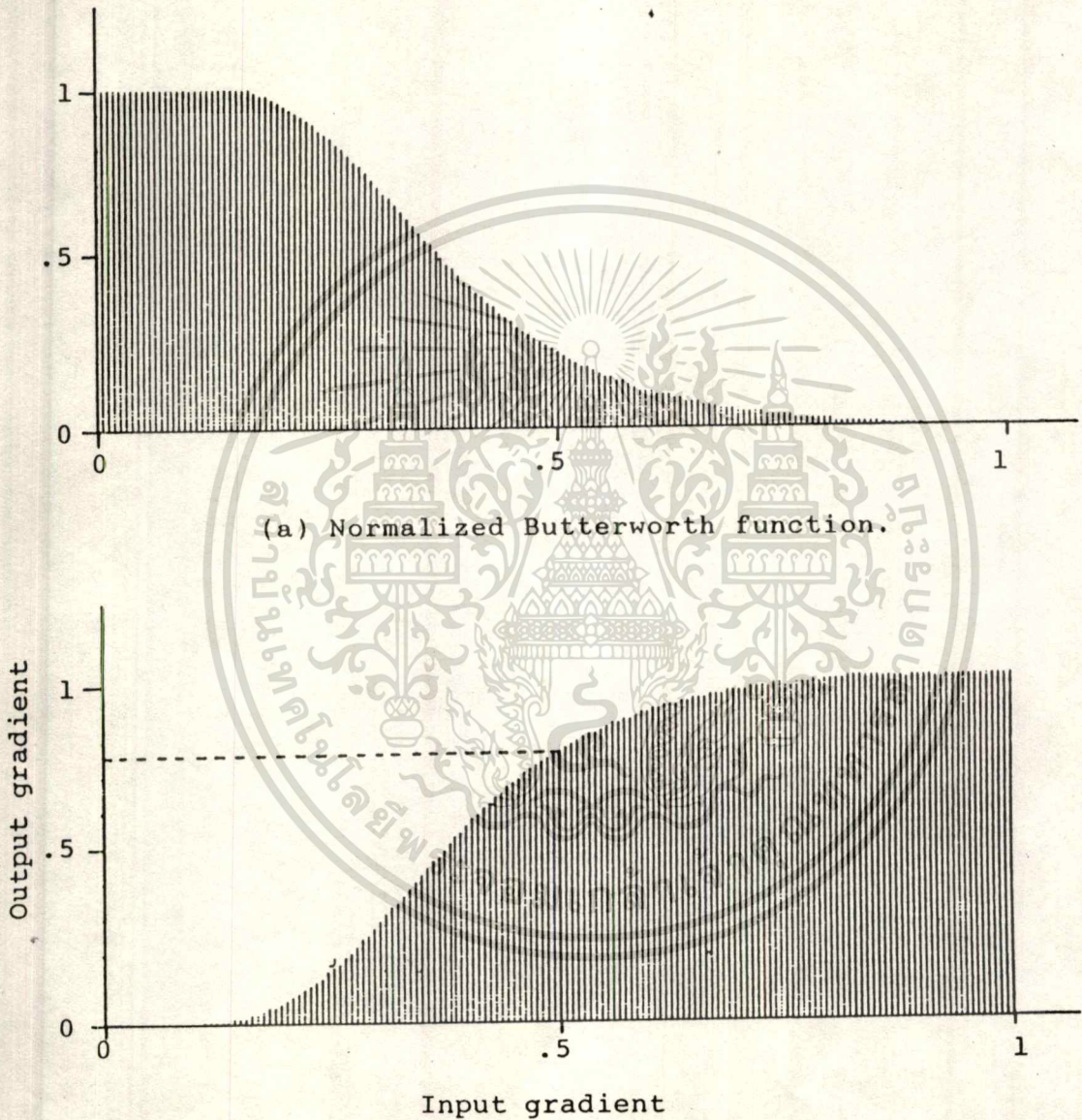
2.2 Edge enhancement with inverse normalized Butterworth transformed gradient.

From equation (9) we observe that an edge pixel will give a high gradient value while a low gradient value is obtained from a pixel located in a homogeneous region. To depress the gradient of spurious edges, we use the inverse normalized Butterworth function to transform the gradient value. This transformation will depress the low gradient value which corresponds to a spurious edge, and magnify the high gradient value which corresponds to a real edge. The Butterworth function is shown in the following equation :

$$B(j) = \frac{1}{1 + 0.414 (G_j / G_0)^{2k}} \quad (11)$$

where G_j is any gradient value of the j th pixel, G_0 is the cutoff value and k is the order of flatness.

Before transforming the gradient value, we first normalize the maximum value of Butterworth function to 1 and the minimum value to 0. The normalized Butterworth function gives the characteristic curve shown in Fig.4(a), while the inverse normalized Butterworth function has the characteristic shown in Fig.4(b).



(b) Inverse normalized Butterworth function.

Fig.4 Butterworth characteristic.

By applying the inverse normalized Butterworth function to the gradient image while preserving the maximum gradient value, we obtain a transformed gradient image. So after adding the transformed gradient to the original image, the resulting edge enhancement image is presented in the Figs.5(c) to 5(h), with difference value k and cutoff (G_0).

3 Conclusion.

The suitable gradient value of edge pixels can be detected by using the gradient direction templates, such as the 12 templates which we proposed. The enhancement image which is obtained by adding the gradient value gives a better visual display of edges in the image. Therefore the interpretation of the image can be done easily and correctly. However, enhancement by inverse normalized Butterworth transformed gradient presents the edges in the image more clearly than enhancement image by linear gradient, since this scaling function depresses spurious edge gradient values while real edge gradient values are magnified.

4 References.

- [1] J.A. Richards, "Remote Sensing Digital Image Analysis : An Introduction", Springer-Verlag, 1986.
- [2] K.V. Shettigara and J.A. Odins, "application of NOAA-AVHRR Images for Structural Studies Related to Groundwater Flow in the Murray Basin", Proceeding of the 4th Australasian Remote Sensing Conference, September 14-18, 1987.
- [3] A. Rosenfeld and A.C. Kak, "Digital Picture Processing", Academic Press, New York, 1976.
- [4] R.C. Gonzalez and P. Wintz, " Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, London, 1977.
- [5] B.S. Lipkin and a. Rosenfeld, "Picture Processing and Psychopictorics", Academic Press, New York, 1970.

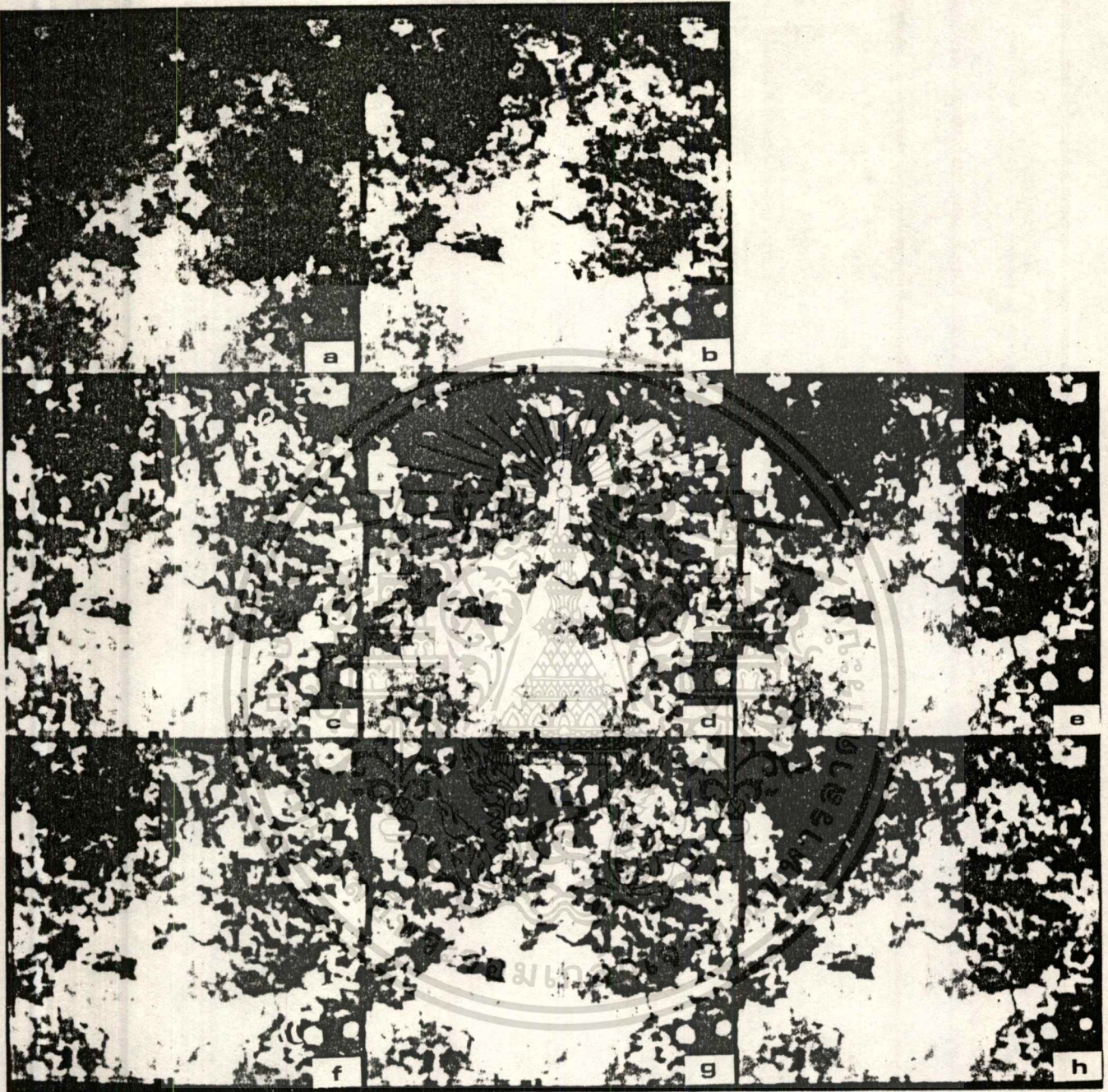


Fig. 5 Edge enhancement image by adding gradient value. (a) Original image. (b) Enhanced by adding linear gradient value. Figs.(c) to (h) are obtained by adding the inverse normalized Butterworth transformed gradient value , where (c)k=2 cutoff=31, (d)k=2 cutoff=38, (e)k=2 cutoff=46, (f)k=1 cutoff=31, (g)k=1 cutoff=38, (h)k=1 cutoff=46.

FORTRAN 77 V10L31 DATE 88.01.13 TIME 14.41.53
PROGRAM ENHANC

C PROGRAM ENHANC3 (ACTUAL USE
C THE GRADIENT PROGRAM. THIS PROGRAM USES 12 LINE WINDOWS
C MA(I,J,K) WHERE I : THE WINDOW NUMBER
C J X K : THE WINDOW SIZE HERE WE USE (7 X 7)

C THE CONFIGURATION OF THESE WINDOWS ARE :

C NO.1		NO.3	NO.4	NO.5		NO.7	NO.8
C +		+	+	++		+	+
C +		+	+	+ K -		+	+
C +		+	+	--		+	+
C X	+++X---	X	X			X	X
C -	NO.2	-	-	NO.6	++	-	-
C -		-	-	-X+		-	-
C -		-	-	--		-	-

C THIS PROGRAM GIVES THE GRADIENT VALUE BEFORE USING THE
C PROGRAM ENHANC5 FOR EDGE ENHANCEMENT.

C INTEGER*2 IM1(512),MA(12,7,7),ITA(7,512),ISTAT(12)
C DIMENSION DEF(12),SOT(12),SST(12),RIM(440,512)
C**** THE SIZE OF TREATING IMAGE IS (LINE X IPIX)
C LINE=440
C IPIX=512
C**** NW : NUMBER OF THE USED WINDOWS
C NW=12
C**** NSZ : WINDOW SIZE IN SQUARE FORM
C NSZ=7
C DO 50 I=1,LINE
C DO 50 J=1,IPIX
C RIM(I,J)=0
50 CONTINUE
C NSZ1=NSZ-1
C NSZH=NSZ/2
C NSZH1=NSZH+1
C WRITE(6,1)NSZH,NSZH1
1 FORMAT(2X,'NSZH=',I4,4S,'NSZH1=',I4)
C WRITE(6,2)LINE,IPIX
2 FORMAT(2X,'THIS IS AN IMAGE FNHKSPO WITH THE SIZE OF (',I4,
1' X',I4,')')
C WRITE(6,3)NW,NSZ,NSX
3 FORMAT(2X,'THE ENHANCEMENT USES ',IX,' WINDOWS. WHERE THE '
1'SIZE OF EACH WINDOW IS (',I3,'X',I3,')',)
C**** INITIAL THE ELEMENT OF EACH WINDOW
C DO 4 I=1,NW
C DO 4 J=1,NSZ
C DO 4 K=1,NSZ


```
      MA(I,J,K)=0
4      CONTINUE
      DO 52 I=1,NW
      ISTAT(I)=0
4      CONTINUE
      DO 52 I=1,NW
      ISTAT(I)=0
52     CONTINUE
C**** GIVE THE VALUE 1 AND -1 FOR EACH WINDOW
      DO 5 J=1,NSZH
      JS=NSZH1+J
      MA(1,NSZH1,J)=1
      MA(1,NSZH1,JS)=-1
      MA(2,J,NSZH10)=1
      FORTRAN 77      V10L31      ENHANC      DATE 88.01.13      TIME 14.41.53
      MA(2,JS,NSZH1)=-1
      MA(3,J,J)=1
      MA(3,JS,JS)=-1
      JS1=NSZ+1-J
      MA(4,J,JS1)=1
      JS2=NSZH1-J
      MA(4,JS,JS2)=-1
5      CONTINUE
      DO 60 J=2,NSZH
      MA(9,J,J)=1
      MA(11,J1,J1)=-1
      J1=NSZH+J
      MA(9,J1,J1)=-1
      MA(11,J1,J1)=-1
      JS=NSZH+J
      JS1=NSZ+1-J
      JS2=NSZH1+1-J
      MA(10,J,JS1)=1
      MA(12,J,JS1)=1
      MA(10,JS,JS2)=-1
      MA(12,JS,JS2)=-1
60     CONTINUE
      MA(9,1,2)=1
      MA(9,7,6)=-1
      MA(10,1,6)=1
      MA(10,7,2)=-1
      MA(11,2,1)=1
      MA(11,6,7)=-1
      MA(12,2,7)=1
      MA(12,6,1)=-1
      MA(5,3,1)=1
      MA(5,3,2)=1
      MA(5,4,3)=1
```

```

MA(5,4,5)=-1
MA(5,5,6)=-1
MA(5,5,7)=-1
MA(6,3,7)=1
MA(6,3,6)=1
MA(6,4,5)=1
MA(6,4,3)=-1
MA(6,5,2)=-1
MA(6,5,1)=-1
MA(7,1,3)=1
MA(7,2,3)=1
MA(7,3,4)=1
MA(7,5,4)=-1
MA(7,,6,5)=-1
MA(7,7,5)=-1
MA(8,1,5)=1
MA(8,2,5)=1
MA(8,3,4)=1
MA(8,5,4)=-1
MA(8,6,3)=-1
MA(8,7,3)=-1
WRITE(6,6)
6  FORMAT(/,34X,'THE ENHANCEMENT WINDOWS')
   WRITE(6,7)
7  FORMAT(/,6X,'SINDOW NO.1',13X,'WINDOW NO.2',13X,'WINDOW NO.3',
FORTRAN 77  V10L31  ENHANCE  DATE 88.01.13  TIME 14.41.53
113X,'WINDOW NO.4')
   DO 8 J=1,NSZ
   WRITE(6,9)(MA(1,J,K),K=1,NSZ),(MA(2,J,K),K=1,NSZ),
1(AM(3,J,K),K=1,NSZ),(MA(4,J,K),K=1,NSZ)
8  CONTINUE
9  FORMAT(4(7I3,3X))
   WRITE(6,10)
10  FORMAT(/,6X,'WINDOW NO.5',13X,'WINDOW NO.6',13X,'WINDOW NO.7',
113X,'WINDOW NO.8')
   DO 11 J=1,NSZ
   WRITE(6,9)MA(5,J,K),K=1,NSZ),(MA(6,J,K),K=1,NSZ),
1(MA(7,J,K),K=1,NSZ),(MA(8,J,K),K=1,NSZ)
11  CONTINUE
   WRITE(6,61)
61  FORMAT(/,6X,'WINDOW NO.9',13X,'WINDOW NO.10',12X,'WINDOW',
1' NO.11',12X,'WINDOW NO.12')
   DO 62 J=1,NSZ
   WRITE(6,9)(MA(9,J,K),K=1,NSZ),(MA(10,J,K),K=1,NSZ),
1(MA(11,J,K),K=1,NSZ),(MA(12,J,K),K=1,NSZ)
62  CONTINUE

```



```
      READ(1)(IM1(J),JJ=1,IPIX)
      DO 14 K=1,IPIX
      ITA(I,K)=IM1(K)
14     CONTINUE
13     CONTINUE
C
```

C**** GRADIENT PROCESS BY 12 WINDOWS

```
C
      LINE1=LINE-NSZH
      IPIX1=IPIX-NSZH
      IPOINT=0
      SMIN1=20000
      MMIN2=20000
      SMAX1=-3000
      MMAX2=-3000
      DO 27 J=NSZH1,LINE1
```

C-----
C**** READ THE CONSIDERING LINE WHICH START FORM LINE NO. NSZH1

C**** AND READ IN ADVANCE NSZH LINES

```
      DO 40 IQ=1,NSZH1
      READ(1)(IM1(JT),JT=1,IPIX)
      IIQ=NSZH+IQ
      DO 41 JQ=1,IPIX
      ITA(IIQ,JQ)=IM1(JQ)
```

```
41     CONTINUE
40     CONTINUE
```

C**** RETURN TO THE CONSIDERING LINE

```
      DO 42 IQ=1,NSZH1
      BACKSPACE(1)
42     CONTINUE
      READ(1)(IM1(J33),J33=1,IPIX)
      DO 51 J34=NSZH1,IPIX1
      IF(IM1(J34).GT.MMAX2)MMAX2=IM1(J34)
      IF(IM1(J34).LT.MMIN2)MMIN2=IM1(J34)
```

```
51     CONTINUE
```

C-----
FORTRAN 77 V10L31 ENHANC DATE 88.01.13 TIME 14.41.53

```
      DO 20 K=NSZH1,IPIX1
      IPOINT=IPOINT+1
      DO 21 IW=1,NW
      SUMT=0
      DO 22 M=1,NSZH
      IC01=NSZH1-M
      IC02=NSZH1+M
      SUM=0
      DO 23 LM=IC01,IC02
      DO 23 IC=IC01,IC02
      IB=K-NSZH1+IC
```

```
      IAA=ITA(LM,IB)*MA(IW,LM,IC)
      SUM=SUM+FLOAT(IAA)
23    CONTINUE
      SUM=SUM/(FLOAT(M))
      SUMT=SUMT+ABS(SUM)
22    CONTINUE
      DEF(IW)=SUMT/(FLOAT(NSZH))
21    CONTINUE
C-----
C**** SORT THE DEF(IW) FROM MIN TO MAX, MAX=SST(NW)
      DO 24 IW1=1,NW
      SOT(IW1)=DEF(IW1)
      SST(IW1)=0
24    CONTINUE
      DO 25 M=1,NW
      SMIN=20000
      DO 26 N=1,NW
      IF(SOT(N).GE.SMIN)GO TO 26
      SMIN=DEF(N)
      MN=N
26    CONTINUE
      SOT(MN)=20000
      SST(M)=SMIN
25    CONTINUE
      ISTAT(MN)=ISTAT(MN)+1
C-----
      PST=SST(NW)
      RIM(J,K)=PST
      IF(RIM(J,K).GT.SMAX1)SMAX1=PST
      IF(RIM(J,K).LT.SMIN1)SMIN1=PST
20    CONTINUE
C**** CHANGE THE LINE POSITION OF THE TABLE ITA(IA,JA)
      DO 28 IA=1,NSZH
      DO 28 JA=1,IPIX
      IA1=IA+1
      ITA(IA,JA)=ITA(IA1,JA)
28    CONTINUE
27    CONTINUE
      WRITE(6,95)IPOINT
95    FORMAT(2X,'THE TOTAL POINT FOR TREATING =',I12)
      WRITE(6,1000)MMIN2,MMAX2
1000  FORMAT(2X,'THE MINIMUM GRAY      VALUE =',I12,/,
12X,'THE MAXIMUM GRAY      VALUE=',I12)
      WRITE(6,1001)SMIN1,SMAX1
1001  FORMAT(2X,'THE MINIMUM GRADIENT VALUE =',F12.6,/,
12X,'THE MAXIMUM GRADIENT VALUE=',F12.6)
      IPPP=0
```



```

DO 91 III=1,NW
  IPPP=IPPP+ISTAT(III)
  WRITE(6,94)III,ISTAT(III)
91  CONTINUE
  WRITE(6,95)IPPP
94  FORMAT(2X,'THE FREQUENCY FOR USING WINDOW NO. ',I3,' IS'
1, EQUAL =',I9)
  REWIND(1)
C**** FIND THE MIN & MAX OF MIN(J,K) BEFORE RECORDING IT.
  SMIN=20000
  SMAX=-300
  DO 33 IA=NSZH1,LINE1
  DO 33 JA=NSZH1,IPIX1
  IF(RIM(IA,JA).GT.SMAX)SMAX=RIM(IA,JA)
  IF(RIM(IA,JA).LT.SMIN)SMIN=RIM(IA,JA)
33  CONTINUE
  WRITE(6,77)SMAX,SMIN
77  FORMAT(2X,'THE GRADIENT IMAGE GIVES THE MAXIMUM VALUE =',F9.3,
1, AND THE MINIMUM VALUE =',F9.3)
100 FFF=SMAX-SMIN
C
C****
C
90  FAC=255.0/FFF
  DO 34 IA=1,LINE
  DO 34 JA=1,IPIX
  IRRM=RIM(IA,JA)+0.5
  RIM(IA,JA)=IRRM
  IF(RIM(IA,JA).GT.TMAX)TMAX=RIM(IA,JA)
  IF(RIM(IA,JA).LT.TMIN)TMIN=RIM(IA,JA)
34  CONTINUE
  WRITE(6,67)TMAX,TMIN
76  FORMAT(2X,'AFTER REARRANGE VALUE, THE IMAGE GLVES A'
1,MAXIMUM VALUE =',F12.6,' AND MINIMUM VALUE =',F12.6)
C=====
C  RECORDING THE ENHANCED IMAGE
C
99  DO 35 IA=1,LINE
  DO 38 JA=1,IPIX
  IM1(JA)=RIM(IA,JA)
  IF(IM1(JA).GT.255)IM1(JA)=255
38  CONTINUE
  STOP
  END
  FORTRAN 77    V10L31    DATE 88,01.05    TIME 09.43.11
  PROGRAM MESTAN

```

C
C THIS PROGRAM IS USED FOR CALCULATEINT THE MEAN AND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C      STANDARD DEVIATION OF OVERLAP REGION OF EACH IMAGE.
C      THE INPUT IMAGE IS FNHK63N OR FNHK73N.
C      THE INTERESTED AREA OF IMAGE START FROM (LI__S,IC__S)
C                        TO (LI__F,IC__F).
C      FOR FNHK63N IS FROM (7,244) TO (450,512)
C      FOR FNHK73N IS FROM (1,1)   TO (444,269)
C
C      INTEGER*2 IM1(512),IM2(512),IM3(512)
C      INTEGER ITA(256)
C      ICOL=512
C      LINE=450
C      LI63S=7
C      LI63F=450
C      IC63S=244
C      IC63F=512
C      LI73S=1
C      LI73F=444
C      IC73S=1
C      IC73F=269
C
C      WE CALCULATE THE MEAN AND STANDARD DEVIATION OF THE 1ST IMAGE
C      WHICH IS A REFERENCE IMAGE
C
C      L63S1=LI63S-1
C      DO 20 I=1,L63S1
C      READ(1)(IM1(J),J=1,512)
20  CONTINUE
C      NUM63=0
C      SMEAN1=0
C      VARIA1=0
C      DO 1 I=LI63S,LI63F
C      READ(1)(IM1(J),J=1,512)
C      DO 1 J=IC63S,IC63F
C      NUM63=NUM63+1
C      SMEAN1=SMEAN1+IM1(J)
C      VARIA1=VARIA1+(IM1(J)*IM1(J))
1  CONTINUE
C      TOTAL=NUM63
C      SMEAN1=SMEAN1/TOTAL
C      VARIA1=(VARIA1/TOTAL)-(SMEAN1*SMEAN1)
C      STAND1=SQRT(VARIA1)
21  FORMAT(/,4X,'THE TOTAL PIXELS OF FNHK63N =',I10,/,
14X,'THE MEAN VALUE OF FNHK63N =',F10.3)
C      WRITE(6,22)STAND1,VARIA1
22  FORMAT(/,4X,'THE STANDARE DEVIATION OF FNHK63N =',F10.3,/,
14X,'THE VARIANCE OF FNHK63N =',F10.3)

```

C
 C WE CALCULATE THE MEAN AND STANDARD DEVIATION OF THE 2ND IMAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอกสารอ้างอิงและเอกสารที่ออกโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการค้า
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

C WHICH IS A CONSIDERED IMAGE

C
SMEAN2=0
VARIA2=0
NUM73=0
DO 2 I=LI73S,LI73F
FORTRAN 77 V10L31 MESTAN DATE 88.01.05 TIME 09.43.11
READ(2)(IM2(J),J=2,512)
DO 2 J=IC73S,IC73F
NUM73=NUM73+1
SMEAN2=SMEAN2+IM2(J)
VARIA2=VARIA2+(IM2(J)*IM2(J))

2 CONTINUE
REWIND(2)
TOTAL=NUM73
SMEAN2=SMEAN2/TOTAL
VARIA2=(VARIA2/TOTAL)-(SMEAN2*SMEAN2)
STAND2=SQRT(VARIA2)
WRITE(6,31)NUM73,SMEAN2
31 FORMAT(/,4X,'THE TOTAL PIXELS OV FNHK73N =',I10,/,
14X,'THE MEAN VALUE OF FNHK73N =',F10.3)
WRITE(6,32)STAND2,VARIA2
32 FORMAT(/,4X,'THE STANDARD DEVIATION OF FNHK73N =',F10.3
14X,'THE VARIANCE OF FNHK73N =',F10.3)

C
C CREATE A LOOK UP TABLE FOR GRAY LEVEL TRANSFORMATION BY USING
C THE FORMULAE OF STATISTIC DISTRIGATION TRANSFORM

C
SS=STAND1/STAND2
DO 3 I=1,256
ITA(I)=0
ITA(I)=(SS*(I-1))+SMEAN1-(SS*SMEAN2)+0.5
.3 CONTINUE

C
C TRANSFORM THE GRAY LEVEL OF 2ND IMAGE BY THE ABOVE LOOK UP TABLE

C
NGT=0
DO 5 I=1,LINE
READ(2)(IM2(J),J=1,512)
DO 4 J=1,ICOL
INN=IM2(J)+1
IM3(J)=ITA(INN)
IF(IM3(J).LE.255)GO TO 4
IM3(J)=255
NGT=NGT+1

4 CONTINUE
WRITE(3)(IM3(J),J=1,512)
5 CONTINUE

```

WRITE(6,36)NGT
36  FORMAT(/,4X,'THE NO. OF PIXELS WHICH HAS GRAY VALUE GREATER',
1, THAN 255 =',I6,' PIXELS')
STOP
END

```

```

FORTRAN 77      V10L31          DATE 88.01.16   TIME 09.16.21
PROGRAM ENHANC
C  PROGRAM ENHANC8  (ACTUAL USE)
C  THE EDGE ENGANCEMENT PROGRAM.  THIS PROGRAM WELL BE USED AFTER
C  THE PROGRAM OF ENHANC4. THAT MEANS WE ADDING THE GRADIENT
C  IMAGE TO THE ORIGINAL IMAGE BY
C  FOR ENHANCEMENT  IM(X,Y)=IM(X,Y)+      GRADIENT AT (X,Y)
C

```

```

      INTEGER*2 IM1(512)
      DIMENSION RIM(440,512)
C**** THE SIZE OF TREATING IMAGE IS *LINE X IPIX)
      LINE=150
      IPIX=150
      DO 50 I=1,LINE
      DO 50 J=1,IPIX
      RIM(I,J)=0
50  CONTINUE
      WRITE(6,2)LINE,IPIX
2   FORMAT(2X,'THIS IS IMAGE OF 62-SERIES WITH THE SIZE OF (' ,I4,
1'X' ,I4,' ')')
C**** READ THE IMAGE AND SAVE IT TO THE RIM(X,Y)
      SMIN1=20000
      SMAX1=-3000
      WRITE(6,1000)SMIN1,SMAX1
1000 FORMAT(2X,'THE MINIMUM GRAY      VALUE =',F12.4,/,
12X,'THE MAXIMUM GRAY      VALUE =',F12.4)
      WRITE(6,1001)SMIN1,SMAX1
1001 FORMAT(2X,'THE MINIMUM GRADIENT VALUE =',F12.4,/,
12X,'THE MAXIMUM GRADIENT VALUE =',F12.4)

```

```

C-----
C  USE THE GRADIENT DATA FROM THE HISTOGRAM OF IMAGE WGICH IS
C  APPLIED BY THE PROGRAM OF ENHANC3.WE ADD THE GRADIENT
C  TO THE ORIGINAL IMAGE FOR ENHANCING PROCESS.
C  WE ALSO USE ENHANC7 TO TRANSFORM THE GRADIENT BY INVERSE
C  BUTTERWORT FUNCTION FOR DEPRESSING THE SPURIOUS EDGES
C  WHILE THE REAL EDGES WILL BE MAGNIFIED.
C-----
C

```

```

C**** READ THE GRADIENT IMAGE (TRANSFORMED OR NON-TRANSFORMED)
C

```

```

      WRITE(6,76)TMAX,TMIN
76  FORMAT(2X,'THE GRADIENT IMAGE GIVES THE',

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FORTRAN 77 V10L31 ENHANC DATE 88.01.16 TIME 09.16.21
1, MAXIMUM AVLUE =',F12.4,' AND THE MINIMUM VALUE =',F12.4)

C=====

C RECORDING THE ENHANCED IMAGE BY ADDING THE GRADIENT TO
THE ORIGINAL IMAGE

C=====

99 ITMX=-3000
ITMN=20000
DO 35 IA=1,LINE
READ(2)(IM1(JJ),JJ=1,IPIX)
DO 38 JA=1,IPIX
IM1(JA)=RIM(IA,JA)+IM1(JA)
IF(IM1(JA).GT.255)IM1(JA)=255
IF(IM1(JA).GT.ITMX)ITMX=IM1(JA)
IF(IM1(JA).LT.ITMN)ITMN=IM1(JA)
38 CONTINUE
WRITE(3)(IM1(JC),JC=1,IPIX)
35 CONTINUE
WRITE(6,32)ITMX,ITMN
32 FORMAT(2X,'THE ENHANCED IMAGE GIVES MAXIMUM VALUE =',I4,
1, AND MINIMUM VALUE =',I4
STOP
END

FORTRAN 77 V10L31 DATE 88.01.16 TIME 08.49.40
PROGRAM ENHANC

C THIS PROGRAM ENHANC7 IS USED FOR RESCALING THE GRADIENT
C
C THE FUNCTION FOR SMOOTHING IS
C $F2(Y)=1/(1+0.414*((Y/Y1)**NN))$
C $F1(Y)=1-F2(Y)$
C WHERE Y1 IS THE CUTOFF POINT WHICH CAN BE ANY VALUE FROM 0 TO 128
C

INTEGER*2 IM1(200),IF1(256),MA(150,150)
DIMENSION F1(256),F2(256)
CHARACTER*1 ROW(100),STAR,BLANK
DATA ROW/100*1H /,STAR/1H*,BLANK/1H /
HIGH=100
C::: NR IS THE ORDER OF FILTER
NR=1
NN=2*NR
C::: SCUT IS THE CUT OF POINT FROM THE MAX =1
SCUT=0.3
WRITE(6,1102)SCUT
1102 FORMAT(2X,'SCUT =',F8.3)
LINE=150
IPIX=150
DO 1100 I=1,256

```
IF1(I)=0
F1(I)=0
F2(I)=0
1100 CONTINUE
MIN=20000
MAX=-300
DO 1000 I=1,LINE
READ(1)(IM1(J),J=1,IPIX)
DO 1001 K=1,IPIX
MA(I,K)=IM1(K)
IF(IM1(K).GT.MAX)MAX=IM1(K)
IF(IM1(K).LT.MIN)MIN=IM1(K)
1001 CONTINUE
1000 CONTINUE
NUMPOI=MAX+1
WRITE(6,1101)NUMPOI
1101 FORMAT(2X,'NUMPOI =',I4)
Y1=SCUT*(FLOAT(MAX))
TOTAL=NUMPOI
IY1=Y1
SD=(NUMPOI-1)/Y1
SD=SD**NN
A1=1+(0.414*SD)
A2=1/A1
DO 5 K=1,NUMPOI
SS=(K-1)/Y1
SS=SS**NN
S1=1+(0.414*SS)
S2=1/S1
S3=S2-A2
F2(K)=S3
5 CONTINUE
SMAX1=-9999
SMAX2=-9999
DO 6 K=1,NUMPOI
FORTRAN 77 V10L31 ENHANC DATE 88.01.16 TIME 08.49.40
IF(F2(K).GT.SMAX2)SMAX2=F2(K)
6 CONTINUE
DO 777 IJK=1,NUMPOI
F2(IJK)=F2(IJK)/SMAX2
F1(IJK)=1.0-F2(IJK)
IF1(IJK)=F1(IJK)*FLOAT(MAX)+0.49
777 CONTINUE
WRITE(6,30)IY1,NR
30 FORMAT(2X,'THIS IS THE CURVE OF F1 WHERE YO(CUTOFF) =',I4,
1/,2X,' AND THE ORDER OF BUTTERWORTH IS =',I4)
WRITE(6,31)
31 FORMAT(/,1X,'STEP',4X,'VALUE',8X,10(10H.....I))
```



```

DO 8 I=1,NUMPOI
DF1=F1(I)*HIGH
IF=DF1+0.5
DO 9 J=1,100
ROW(J)=BLANK
9 CONTINUE
DO 10 J=1,ID
ROW(J)=STAR
10 CONTINUE
I1=I-1
WRITE(6,13)I1,F1(I),IF1(I),ROW
13 FORMAT(1X,IF,2X,F7.4,I5,3X,100A1)
8 CONTINUE
WRITE(6,32)IY1
32 FORMAT(1H1,4X,'THIS IS THE CURVE OF F2 WHERE YO(CUTOFF) =',I4)
WRITE(6,33)
33 FORMAT(/,1X,'STEP',4X,'VALUE',3X,10(10H.....I))
DO 18 I=1,NUMPOI
DF2=F2(I)*HIGH
ID=DF2+0.5
DO 19 J=1,100
ROW(J)=BLANK
19 CONTINUE
DO 20 J=1,ID
ROW(J)=STAR
20 CONTINUE
I1=I-1
WRITE(6,23)I1,F2(I),ROW
23 FORMAT(1X,IF,2X,F7.4,3X,100A1)
18 CONTINUE
WRITE(6,1005)MAX,MIN
1005 FORMAT(2X,'INPUT IMAGE HAS MAX =',I6,2X,'AND MIN =',I6)
WRITE(6,100)LINE,IPIX
100 FORMAT(/,4X,'THE SIZE OF FNHK62B IS =',I4,' X ',I4)
MAXX=-300
MINN=2000
DO 1003 I=1,LINE
DO 1004 J=1,IPIX
INP=MA(I,J)
INP=INP+1
IM1(J)=IF1(INP)
IF(IM1(J).GT.MAXX)MAXX=IM1(J)
IF(IM1(J).LT.MINN)MINN=IM1(J)
1004 CONTINUE
WRITE(2)(IM1(J),J=1,IPIX)
1003 CONTINUE
FORTRAN 77 V10L31 ENHANC DATE 88.01.16 TIME 08.49.40
WRITE(6,1006)MAXX,MINN

```

```
1006 FORMAT(2X,'OUTPUT IMAGE HAS MAX=',I4,4X,'AND MIN =',I4)
STOP
END
```

```
FORTRAN 77    V10L31          DATE 87.12.15   TIME 16.39.15
PROGRAM SCALE2
```

```
C  THIS PROGRAM IS USED FOR RESCALING THE CONNECTION REGION OF
C  THE MOSAICKING IMAGE.
```

```
C  THE FUNCTION FOR SMOOTHING IS
C   $F2(Y)=1/(1+0.414*((Y/Y1)**NN))$ 
C  GENERALLY  $F2(0)=1$  AND  $F2(101)=0$ 
C  FOR  $F2(Y)$  WHICH IS USED FOR THE 2ND IMAGE HAS THE SCALING
C  FACTOR AS AN MIRROR OF  $F1(Y)$ , THAT MEANS :
C   $F2(Y)=F1(101-Y+1)$  , SO  $F1(0)=0$  AND  $F1(101)=1$ 
C  WHERE Y1 IS THE CUTOFF POINT WHICH CAN BE ANY VALUE FROM 0 TO 101
C
```

```
INTEGER*2 IM1(750),IF2(101)
DIMENSION F2(101)
CHARACTER*1 ROW(100),STAR,BLANK
DATA ROW/100*1h /,STAR/1h*,BLANK/1H /
HIGH=100
NN=2
NUMPOI=101
Y1=31
LINE=440
IPIXEL=750
TOTAL=NUMPOI
IY1=Y1
SD=(NUMPOI-1)/Y1
SD=SD**NN
A1=1+(0.414*SD)
```

```
A2=1/A1
DO 5 K=1,NUMPOI
SS=(K-1)/Y1
SS=SS**NN
S1=1+(0.414**SS)
S2=1/S1
S3=S2-A2
F2(K)=S3
5  CONTINUE
SMAX2=-9999
DO 6 K=1,NUMPOI
IF(F2(K).GT.SMAX2)SMAX2=F2(K)
```

```
6  CONTINUE
DO 777 IJK=1,UNMPOI
F1(IJK)=F1(IJK)/SMAX1
F2(IJK)=F2(IJK)/SMAX2
```



```

777  CONTINUE
      WRITE(6,32)IY1
32   FORMAT(1H1,4X,'THIS IS THE CURVE OF F2 WHERE YO(CUTOFF) =',I4)
      WRITE(6,33)
33   FORMAT(/,1X,'STEP',4X,'VALUE',3X,10(10H.....I))
      DO 18 I=1,NUMPOI
        DF2=F2(I)*HIGH
        ID=DF2+0.5
        DO 19 J=1,100
          ROW(J)=BLANK
19   CONTINUE
        DO 20 J=1,ID
          ROW(J)=STAR
20   CONTINUE
        I1=I-1
        WRITE(6,23)I1,F2(I),ROW
23   FORMAT(1X,I4,2X,F7.4,3X,100A1)
18   CONTINUE
        WRITE(6,100)LINE,IPIXEL
100  FORMAT(/,4X,'THE SIZE OF FNHK67 IS =',I4,' X ',I4)
        ICC1=243-NUMPOI
        ICC2=243
        DO 101 IL=1,LINE
          READ(1) (IM1(J),J=1,IPIXEL
          SUM1=0
          SUM2=0
          DO 103 IC=1,NUMPOI
            IC1=ICC1+IC
            IC2=ICC2+IC
            IF1(IC)=IM1(IC1)
            LF2(IC)=IM1(IC2)
            SUM1=SUM1+IF1(IC)
            SUM2=SUM2+IF2(IC)
103  CONTINUE
          SMEAN1=SUM1/TOTAL
          SMEAN2=SUM2/TOTAL
          SM12=(SMEAN1+SMEAN2)/2.0
          C1=SMEAN1-SM12
          C2=SMEAN2-SM12
          DO 105 IT=1,NUMPOI
            FF1=F1(IT)*(C1)
            FF1=-FF1
            IF1(IT)=IF1(IT)+FF1+0.5
            FF2=F2(IT)*(C2)
            FF2=-FF2
            IF2(IT)=IF2(IT)+FF2+0.5
105  CONTINUE
        DO 106 IC=1,NUMPOI

```

```

IC1=ICC1+IC
IC2=ICC2+IC
IM1(IC1)=IF1(IC)
FORTRAN 77    V10L31    SCALE2    DATE 87.12.15    TIME 16.39.15
IM1(IC2)=IF2(IC)
106 CONTINUE
WRITE(2)(IM1(J),J=1,IPIXEL)
101 CONTINUE
STOP
END

```

```

LIST R01-03  TLS8:MTNOISE4.FTF    15 AUG 85, 14:42
1  INCLUDE PPSOOM TSKOOM
2  INCLUDE PPSOOM IOBLKS
3  INTEGER*2 IBUF(3780)
4  INTEGER*2 IBUF7(26460)
5  INTEGER*2 IBUF4(26460),IBUF5(26460),IBUF6(26460)
6 !
7  INTEGER*4 BASE7(7)
8 !
9  INTEGER*4 ICON,BAND41,BAND42,MASK,MTN1,MTN2
10 INTEGER*4 BAND51,BAND52,BAND61,BAND62,BAND71,BAND72
11 !
12 INTEGER*4 IRTYP,IRNCHR
13 LOGICAL CHARS,RESTRT,END,DEFULT
14 !
15 INTEGER*2 IFMT01(9),IFMT02(9),IFMT03(11),IFMT04(10),IFMT05(10)
16 INTEGER*2 IFMT06(10),IFMT07(10),IFMT08(10),IFMT09(10),IFMT10(10)
17 INTEGER*2 IFMT11(10)
18 !
19 DIMENSION IFLG01(9),IFVL01(5),IVAL01(5)
20 DIMENSION IFLG02(9),IFVL02(5),IVAL02(5)
21 DIMENSION IFLG03(9),IFVL03(5),IVAL03(5)
22 DIMENSION IFLG04(9),IFVL04(3),IVAL04(3)
23 DIMENSION IFLG05(9),IFVL05(3),IVAL05(3)
24 DIMENSION IFLG06(9),IFVL06(3),IVAL06(3)
25 DIMENSION IFLG07(9),IFVL07(3),IVAL07(3)
26 DIMENSION IFLG08(9),IFVL08(3),IVAL08(3)
27 DIMENSION IFLG09(9),IFVL09(3),IVAL09(3)
28 DIMENSION IFLG10(9),IFVL10(3),IVAL10(3)
29 DIMENSION IFLG11(9),IFVL11(3),IVAL11(3)
30 !
31 DATA IFMT01/' MAG TAPE INPUT '/
32 DATA LMSG01/18/
33 DATA IFLG01/1,0,0,1,3,4,'(I1)    ',4/
34 DATA IFVL01/2,0,0,2,2/
35 DATA IVAL01/0,0,0,0,1/
36 !

```


37 DATA IFMT02/' MAG TAPE OUTPUT '/
38 DATA LMSG02/18/
39 DATA IFLG02/1,0,0,1,3,4,'(I1) ',4/
40 DATA IFVL02/2,0,0,2,2/
41 DATA IVAL02/1,0,0,0,1/
42 !
43 DATA IFMT03/' DIGITAL FILTER BOX '/
44 DATA LMSG03/22/
45 DATA IFLG03/1,0,0,1,3,4,'(I1) ',4/
46 DATA IFVL03/2,0,0,2,2/
47 DATA IVAL03/5,0,0,5,7/
48 !
49 DATA IFMT04/' BAND4 LEVEL <1> '/
50 DATA LMSG04/20/
51 DATA IFLG04/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
52 DATA IFVL04/0,2,2/
53 DATA IVAL04/0,0,255/
54 !
55 DATA IFMT05/' BAND4 LEVEL <2> '/
56 DATA LMSG05/20/
57 DATA IFLG05/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
58 DATA IFVL05/0,2,2/
59 DATA IVAL05/0,0,255/
60 !
61 DATA IFMT06/' BAND5 LEVEL <1> '/
62 DATA LMSG06/20/
LIST R01-03 TLS8:MTNOISE4.RTF 15 AUG 85, 14:42
63 DATA IFLG06/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
64 DATA IFVL06/0,2,2/
65 DATA IVAL06/0,0,255/
66 !
67 DATA IFMT07/' BAND5 LEVEL <2> '/
68 DATA LMSG07/20/
69 DATA IFLG07/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
70 DATA IFVL07/0,2,2/
71 DATA IVAL07/0,0,255/
72 !
73 DATA IFMT08/' BAND LEVEL <1> '/
74 DATA LMSG08/20/
75 DATA IFLG08/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
76 DATA IFVL08/0,2,2/
77 DATA IVAL08/0,0,255/
78 !
79 DATA IFMT09/' BAND6 LEVEL <2> '/
80 DATA LMSG09/20/
81 DATA IFLG09/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
82 DATA IFVL09/0,2,2/
83 DATA IVAL09/0,0,255/

```

84 !
85 DATA IFMT10/' BAND7 LEVEL <1> '/'
86 DATA LMSG10/20/
87 DATA IFLG10/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
88 DATA IFVL10/0,2,2/
89 DATA IVAL10/0,0,255/
90 !
91 DATA IFMT11/' BAND7 LEVEL <1> '/'
92 DATA LMSG11/20/
93 DATA IFLG11/0,1,1,1,2,4,'(I3) ',4/
94 DATA IFVL11/0,2,2/
95 DATA IVAL11/0,0,255/
96 !
97 DATA BASE7/0,3780,7560,11340,15120,18900,22680/
98 !
99 !
100 !
101 !
102 !
103 CALL TSKSET
104 ICON = GBLUS(1)
105 WRITE(ICON,10)
106 10 FORMAT(/8X,'PIXEL NOISE ELIMINATING PROGRAM',
107          /8X,'-----' '/')
108 REPEAT
109 [
110     CALL DIALOG(GILUS,IFMT01,LMSG01,IFLG01,IFVL01,IVAL01,
111                CHARS,DEFAULT,RESTRT,END,MIN1,IRTPY,IRNCHR)
112     IF(END) GO TO 990
113     IF(RESTRT) BREAK
114     CALL MTCLR(MIN1)
115     CALL MTSET(MTN1)
116     CALL MTREW(MTN1)
117     IF(MTN1.EQ.1) IVAL02(1)=0
118     REPEAT
119     [
120         CALL DIALOG(GILUS,IFMT02,LMSG02,IFLG02,IFVL02,IVAL02,
121                    CHARS,DEFAULT,RESTRT,END,MTN2,IRTPY,IRNCHR)
122         IF(END) GO TO 990
123         IF(RESTRY) BREAK
124         IF(MTN1.EQ.MTN2) BREAK
125         CALL MTCLR(MTN2)
126         CALL MTSET(MTN2)
127         CALL MTREW(MTN2)
128         REPEAT
129         [
130             CALL DIALOG(GILUS,IFMT03,LMSG03,IFLG03,IFVL03,IVAL03,
131                        CHARS,DEFAULT,RESTRT,END,MASK,IFTYP,IRNCHR)

```



```

132     IF(END) GO TO 990
133     IF(RESTRT) BREAK
134     REPEAT
135     [
136         CALL DIALOG(GILUS,IFMT04,LMSG05,IFLG05,IFVL05,IVAL05,
137                     CHARS,DEFULT,RESTRT,END,BAND42,IRTYP,IRNCHR)
138     IF(END) GO TO 990
139     IF(RESTRT) BREAK
140     IVAL05(2)=BAND41
141     REPEAT
142     [
143         CALL DIALOG(GILUS,IFMT05,LMSG05,IFLG05,IFVL05,IVAL05,
144                     CHARS,DEFULT,RESTRT,END,BAND42,IRTYP,IRNCHR)
145     IF(END) GO TO 990
146     IF(RESTRT) BREAK
147 REPEAT
148 [
149     CALL DIALOG(GILUS,IFMT06,LMSG06,IFLG06,IFVL06,IVAL06,
150                 CHARS,DEFULT,RESTRT,END,BAND51,IRTYP,IRNCHR)
151 IF(END) GO TO 990
152 IF(RESTRT) BREAK
153 REPEAT
154 [
155     CALL DIALOG(GILUS,IFMT07,LMSG07,IFLG07,IFVL07,IVAL07,
156                 CHARS,DEFULT,RESTRT,END,BAND52,IRTYP,IRNCHR)
157 IF(END) GO TO 990
158 IF(RESTRT) BREAK
159 REPEAT
160 [
161     CALL DIALOG(GILUS,IFMT08,LMSG08,IFLG08,IFVL08,IVAL08,
162                 CHARS,DEFULT,RESTRT,END,BAND61,IRTYP,IRNCHR)
163 IF(END) GO TO 990
164 IF(RESTRT) BREAK
165 REPEAT
166 [
167     CALL DIALOG(GILUS,IFMT09,LMSG09,IFLG09,IFVL09,IVAL09,
168                 CHARS,DEFULT,RESTRT,END,BAND62,IRTYP,IRNCHR)
169 IF(END) GO TO 990
170 IF( RESTRT) BREAK
171 REPEAT
172 [
173     CALL DIALOG(GILUS,IFMT10,LMSG10,IFLG10,IFVL10,IVAL10,
174                 CHARS,DEFULT,RESTRT,END,BAND71,IRTYP,IRNCHR)
175 IF(END) GO TO 990
176 IF(RESTRT) BREAK
177 REPEAT
178 [
179     CALL DIALOG(GILUS,IFMT11,LMSG11,IFVL11,IVAL11,

```

```
180                                CHARS,DEFAULT,RESTRT,END,BAND72,IRTP,IRNCHR)
181                                IF(END) GO TO 990
182                                IF(RESTRT) BREAK
183                                ]
184                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
185                                ]
186                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
187                                ]
188                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
189                                ]
190                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
191                                ]
192                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
193                                ]
194                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
195                                ]
196                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
197                                ]
198                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
199                                ]
200                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
201                                ]
202                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
203                                ]
204                                UNTIL(.NOT.RESTRT)
205 !
206 !
207 WRITE(2,20) BAND41,BAND42
208 20 FORMAT('BAND 4 NOISE LEVEL = ',I4,' - ',I4)
209 WRITE(2,30) BAND51,BAND52
210 30 FORMAT('BAND 5 NOISE LEVEL = ',I4,' - ',I4)
211 WRITE(2,40) BAND61,BAND62
212 40 FORMAT('BAND 6 NOISE LEVEL = ',I4,' - ',I4)
213 WRITE(2,50) BAND71,BAND72
214 50 FORMAT('BAND 7 NOISE LEVEL = ',I4,' - ',I4)
215 CALL MIREAD(IBUF,3060,MTN2)
216 CALL MTWAIT(MTN1)
217 CALL MTWRIT(IBUF,3060,MTN2)
218 CALL MTWAIT(MTN2)
219 CALL MTSKPF(1,MTN1)
220 CALL MTWAIT(MTN1)
221 CALL MTWEOF(MTN2)
222 CALL MTWAIT(MTN2)
223 CALL MTREAD(IBUF,1440,MTN1)
224 CALL MTWAIT(MTN1)
225 CALL MTWRIT*IBUF,1440,MTN2)
226 CALL MTWAIT(MTN2)
227 CALL MTREAD(IBUF,2700,MTN1)
```



```

228 CALL MTWAIT(MTN1)
229 CALL MTWRIT(IBUF,2700,MTN2)
230 CALL MTWAIT(MTN2)
231 DO I=4,8
232 [
233     CALL MTREAD(IBUF,1620,MTN1)
234     CALL MTWAIT(MTN1)
235     CALL MTWRIT(IBUF,1620,MTN2)
236     CALL MTWAIT(MTN2)
237 ]
238 CALL MTSKPF(1,MTN1)
239 CALL MTWAIT(MTN1)
240 CALL MTWEOF(MTN2)
241 CALL MTWAIT(MTN2)
242 !
243 MIDMSK = (MASK+1)/2
244 MSKRAD = MIDMSK-1
245 MMSK1 = MIDMSK+1
246 DO I=1,MASK
247 [
248     DO J=1,4
249     [
250         CALL MTREAD(IBUF,3780,MTN1)
251         CALL MTWAIT(MTN1)
252         CALL UNPACK(IBUF,3780)
253         DO N=1,3780
254         [
255             IBFADD = BASE7(I) + N
256             IF(J.EQ.1) IBUF4(IBFADD)=IBUF(N)
257             ELSE IF(J.EQ.2) IBUF5(IBFADD)=IBUF(N)
258             ELSE IF(J.EQ.3) IBUF6(IBFADD)=IBUF(N)
259             ELSE IF(J.EQ.4) IBUF7(IBFADD)=IBUF(N)
260         ]
261     ]
262 ]
263 !
264 DO I=1,MIDMSK
265 [
266     ILEND = I + MSKRAD
267     CALL NOISE(IBUF4,MASE,I,1,ILEND,181,3780,IPIP41,IPIP42,ISAL41,ISAL42)
268     CALL NOISE(IBUF5,MASK,I,1,ILEND,3,3602,IPIP51,IPEP52,ISAL51,ISAL52)
269     CALL NOISE(IBUF6,MASK,I,1,ILEND,3,3602,IPIP61,IPEP62,ISAL61,ISAL62)
270     CALL NOISE(IBUF7,MASK,I,1,ILEND,3,3602,IPIP71,IPEP72,ISAL71,ISAL72)
271 ]
272 MASK1 = MASK + 1
273 DO I = MASK1,2286
274 [
275     INDMOV=DOF(I,MASK)

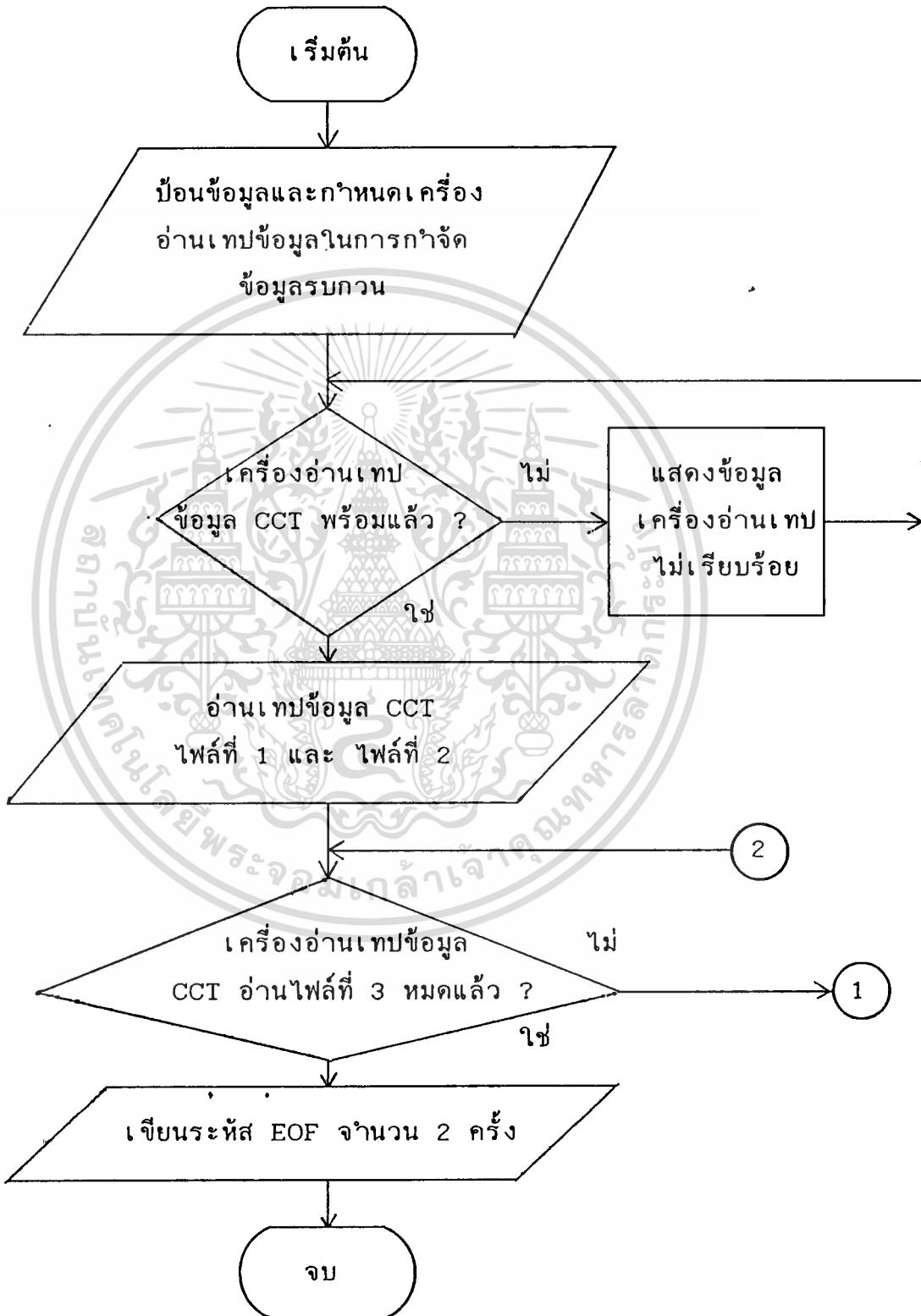
```

```

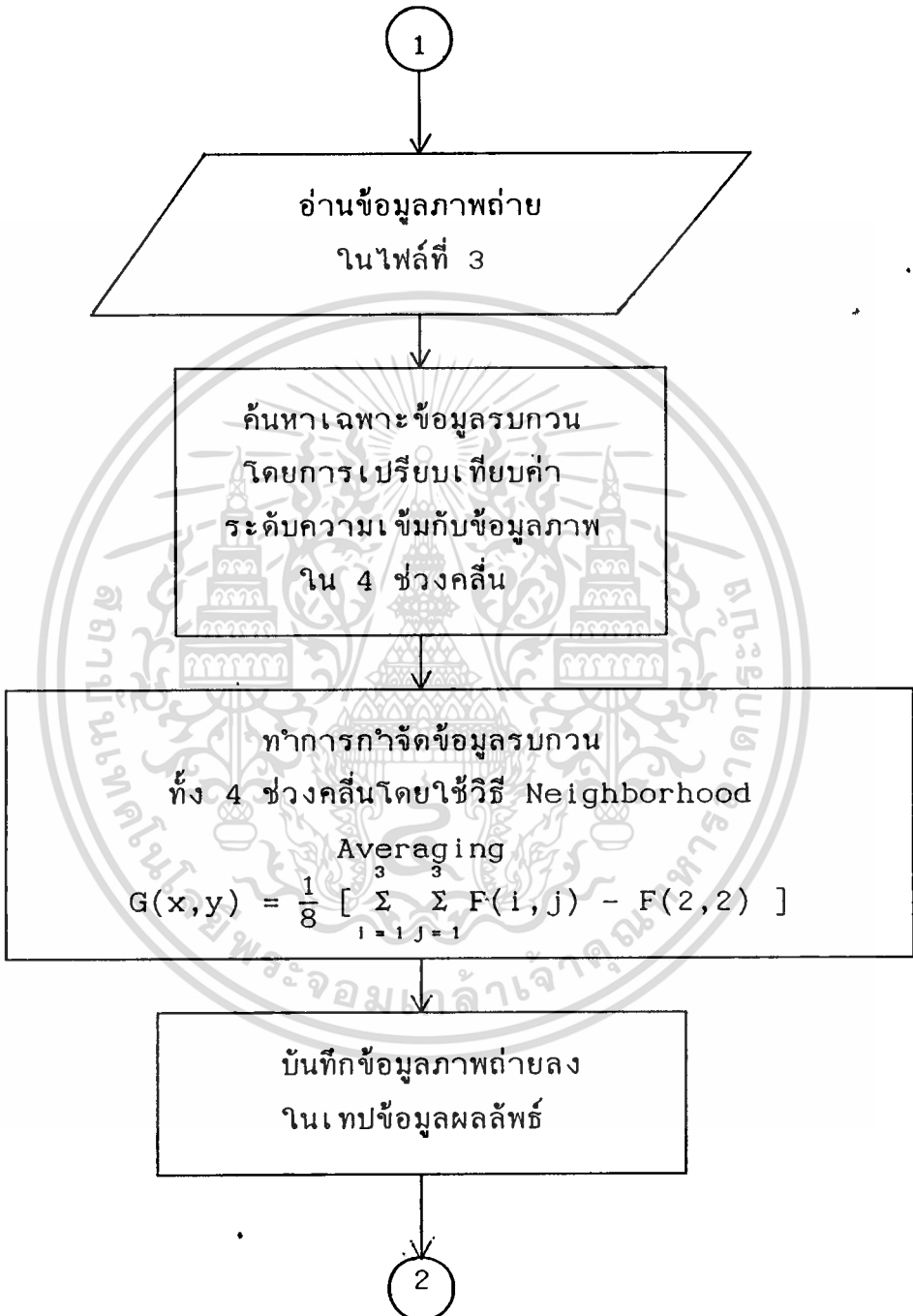
276     IF(INDMOV.EQ.0) INDMOV = 7
277     INDEX =INDMOV + 4
278     IF(INDEX.GT.MASK) INDEX=INDMOV - 3
279     DO J = 1,4
280     [
281         CALL MTREAD(IBUF,3780,MTN1)
282         CALL MTWAIT(MTN1)
283         CALL UNPACK(IBUF,3780)
284         DO N=1,3780
285         [
286             IBFADD = BASE7(INDMOV) + N
287             IF(J.EQ.1) IBUF4(IBFADD)=IBUF(N)
288             ELSE IF(J.EQ.2) IBUF5(IBFADD)=IBUF(N)
289             ELSE IF(J.EQ.3) IBUF6(IBFADD)=IBUF(N)
290             ELSE IF(J.EQ.4) IBUF7(IBFADD)=IBUF(N)
291         ]
292     ]
293     CALL NOISE(IBUF4,MASE,INDEX,1,MASE,181,3780,IPEP41,IPEP42,ISAL41,ISAL42)
294     CALL NOISE(IBUF5,MASK,INDEX,1,MASK,3,3602,IPEP51,IPEP52,ISAL51,ISAL52)
295     CALL NOISE(IBUF6,MASK,INDEX,1,MASK,3,3602,IPEP61,IPEP62,ISAL61,ISAL62)
296     CALL NOISE(IBUF7,MASK,INDEX,1,MASK,3,3602,IPEP71,IPEP72,ISAL71,ISAL72)
297     ]
298     DO I = MMSK1,MASK
299     [
300         ILBGN = I - MSKRAD
301         CALL NOISE(IBUF4,MASK,I,ILB2N,MASK,181,3780,IPEP41,IPEP42,ISAL41,ISAL42)
302         CALL NOISE(IBUF5,MASK,I,ILB2N,MASK,3,3602,IPEP51,IPEP52,ISAL51,ISAL52)
303         CALL NOISE(IBUF6,MASK,I,ILB2N,MASK,3,3602,IPEP61,IPEP62,ISAL61,ISAL62)
304         CALL NOISE(IBUF7,MASK,I,ILB2N,MASK,3,3602,IPEP71,IPEP72,ISAL71,ISAL72)
305     ]
306     CALL MTWEOF(MTN2)
307     CALL MTWEOF(MTN2)
308     CALL MTREW(MTN1)
309     CALL MTREW(MTN2)
310     990 STOP
311     END

```

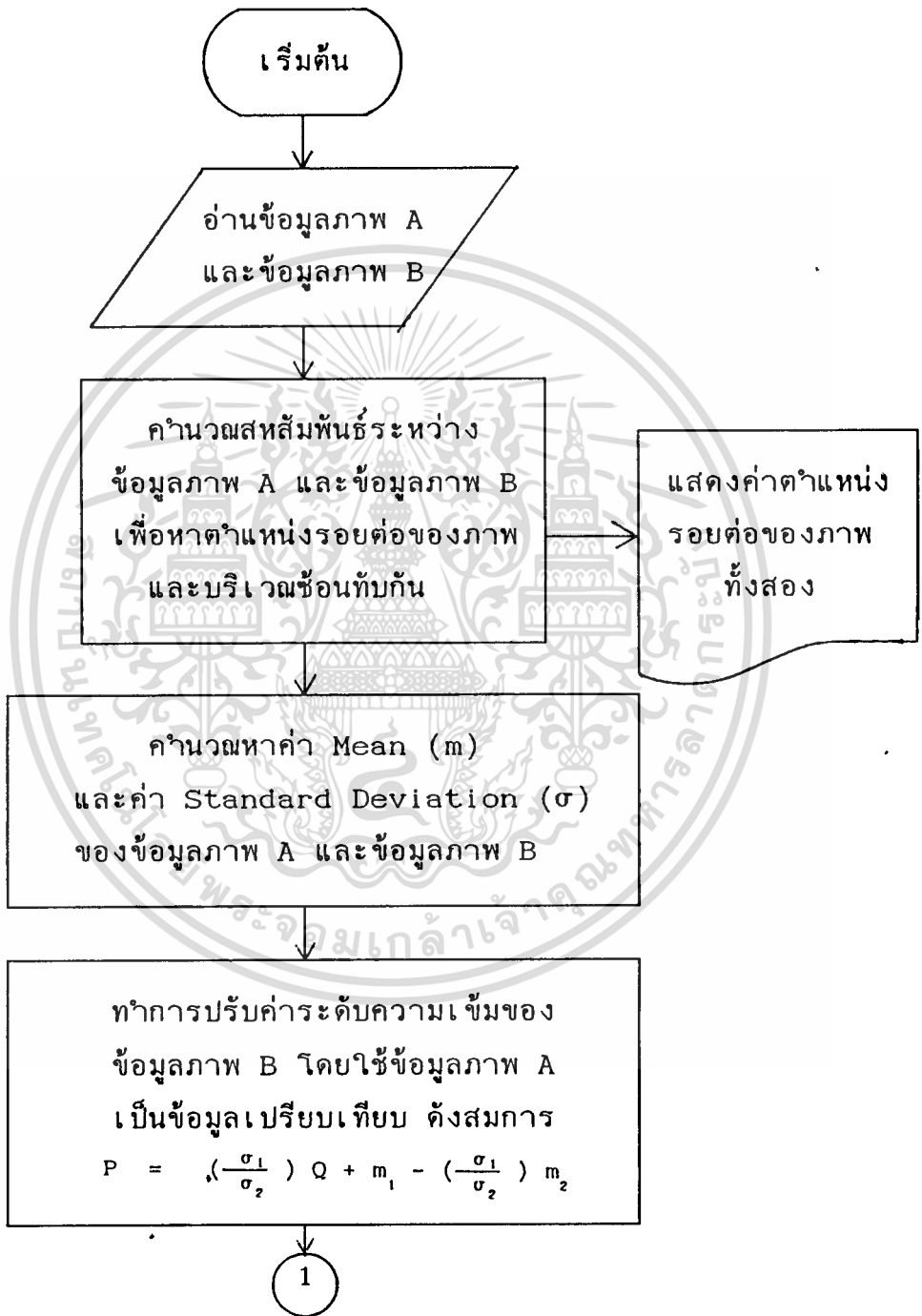

ไฟล์ชาร์ตของโปรแกรมในการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

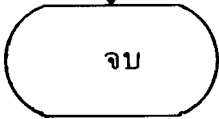
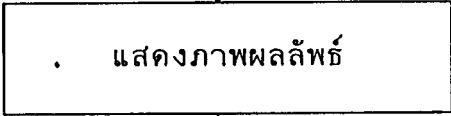
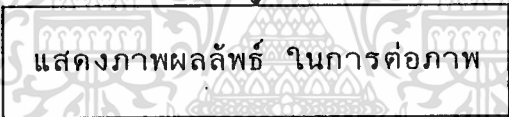
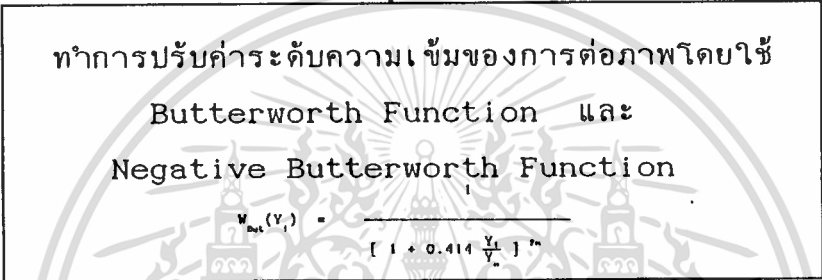
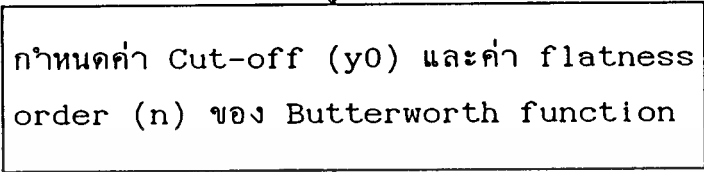
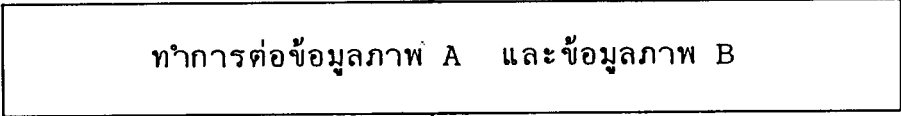


โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมในการกำจัดข้อมูลรบกวนในเทปข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

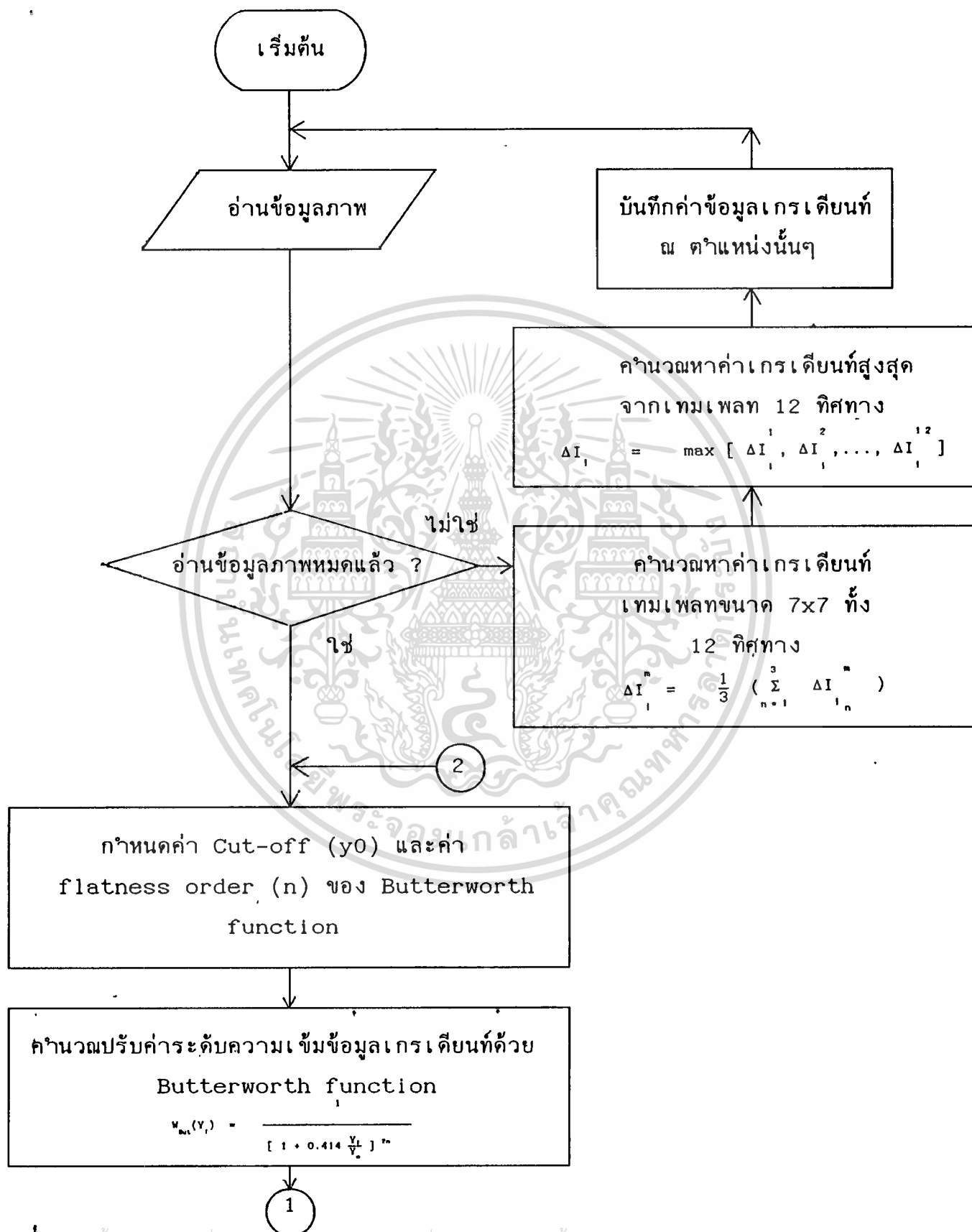


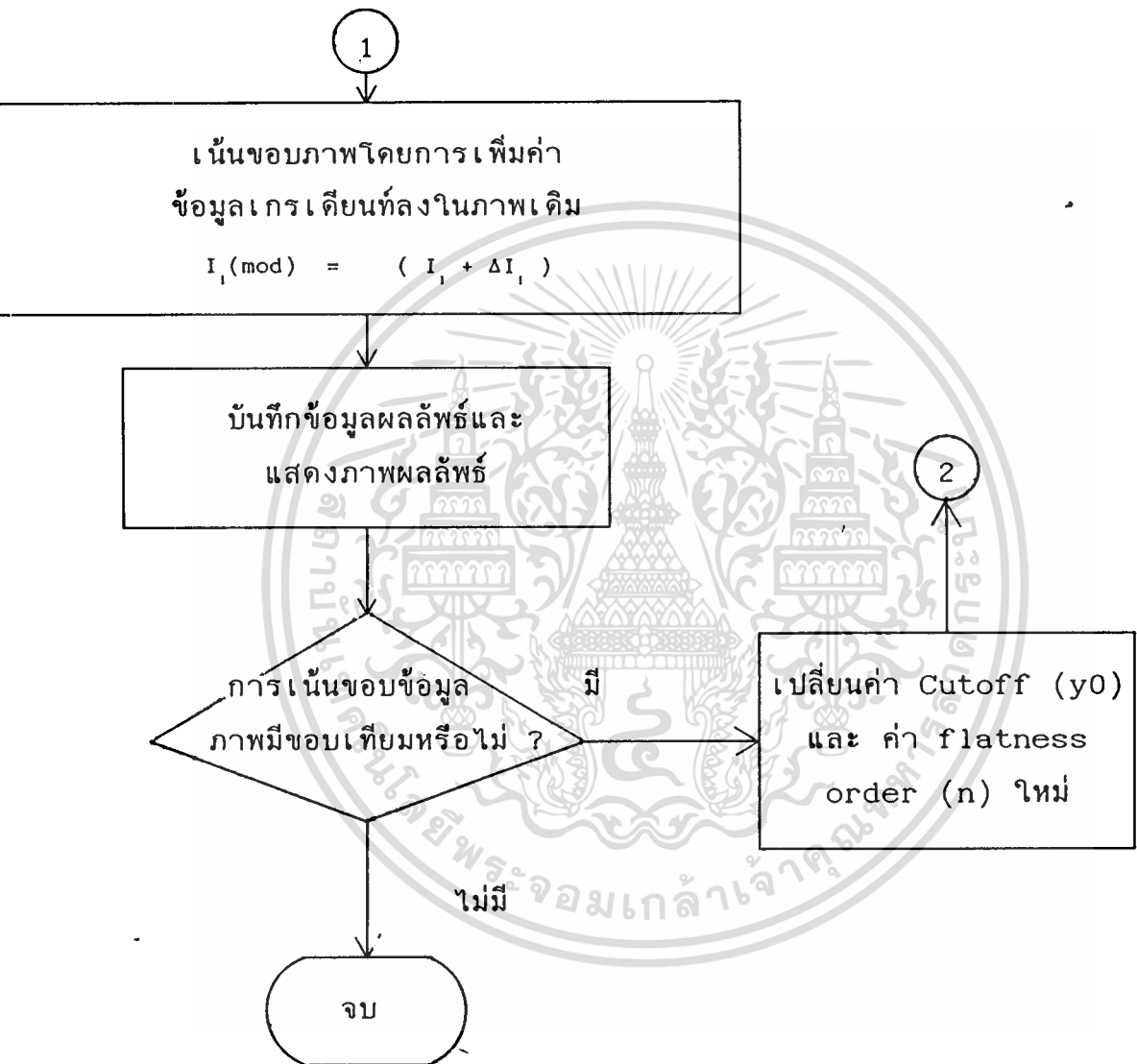
โพลีชาร์ตของโปรแกรมในการต่อภาพ





3. โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมในการเน้นขอบข้อมูลในภาพถ่าย





ฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมในการเน้นขอบข้อมูลในภาพถ่าย