

การเคลื่อนย้ายเมฆออกไปโดยใช้ตัวกรองคาลมานแบบปรับตัวได้

MULTI-TEMPORAL CLOUD REMOVING USING ADAPTIVE
KALMAN FILTER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-287

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเคลื่อนย้ายเมฆออกไปโดยใช้ตัวกรองคาลมานแบบปรับตัวได้

**MULTI-TEMPORAL CLOUD REMOVING USING ADAPTIVE
KALMAN FILTER**



ชัยวุฒิ อาริย์พัฒนกุล

CHAIWUT AREYAPATTANAKUL

เลขหางี้.....
เลขทะเบียน..... 82902
วัน,เดือน,ปี... 25 ก.ค. 2551



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

พ.ศ.2551

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2008-EN-M-010-287

**MULTI-TEMPORAL CLOUD REMOVING USING ADAPTIVE
KALMAN FILTER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2008-EN-M-010-287



COPYRIGHT 2008

เอกสารนี้ **SCHOOL OF GRADUATE STUDIES** เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการ **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเคลื่อนย้ายเมฆออกไปโดยใช้ตัวกรองกาลแมนแบบปรับตัวได้
Multi-Temporal Cloud Removing Using Adaptive Kalman Filter

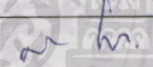
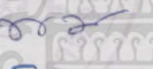


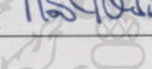
นักศึกษา นายชัยวุฒิ อารีย์พัฒนกุล

รหัสประจำตัว 46061251

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.กอบชัย เฉลหาญ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.สมยศ	คุณณะปิยะ	
ผศ.ดร.พิเชฐ	ม่วงนวล	
รศ.ดร.สุรพันธ์	ยิ้มมัน	
รศ.ดร.ฟูศักดิ์	ชีวิสุทธิย์	
รศ.ดร.กอบชัย	เฉลหาญ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 23 พฤษภาคม 2551 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.วิจิตร วัฒนตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๖.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๕๕1.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเคลื่อนย้ายเมฆออกไปโดยใช้ตัวกรองกาลมานแบบปรับตัวได้
นักศึกษา	นายชัยวุฒิ อาริย์พัฒนกุล
รหัสประจำตัว	46061251
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการเคลื่อนย้ายเมฆออกไปโดยใช้ตัวกรองกาลมานแบบปรับตัวได้ โดยมีภาพที่ต้องการจะลบเมฆและภาพต้นแบบที่ไม่มีเมฆเป็นอินพุทของระบบ ใช้หลักการกาลมานฟิลเตอร์แบบไม่ต่อเนื่องนำมาแก้ปัญหาดังกล่าว จะทำให้ได้เอาต์พุทออกมา เป็นภาพที่ถูกลบเมฆออกไปแล้ว ซึ่งจะต้องอาศัยเทคนิคการกระทำหลายแกนเข้ามาเสริมเพื่อให้เอาต์พุทที่ได้เป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือในภาพหนึ่งที่เราสนใจจะทำการลบเมฆออก จะผ่านการคำนวณตามแบบของกาลมานฟิลเตอร์ในลักษณะจุดต่อจุด เรียงไปในแนวนอน แนวตั้ง และแนวทแยง และนำผลของการคำนวณของทั้งสามแกนมาเฉลี่ยกันเพื่อให้ได้เอาต์พุทที่ดี

ภาพที่ใช้ในการทดลองจะเป็นภาพที่ได้จากดาวเทียม LANDSAT-5 TM เฉพาะในส่วนของหลักที่ 129 แถวที่ 51 จำนวน 2 ภาพ ผลการทดลองที่ได้จากวิธีการกาลมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน นั้นสามารถที่จะลบเมฆออกจากภาพที่ต้องการ ได้อย่างเนียบเนียนเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Multi-Temporal Cloud Removing Using Adaptive Kalman Filter
Student	Mr. Chaiwut Ariyapattanakul
Student ID.	46061251
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunication Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This thesis presents multi-temporal cloud removing using adaptive Kalman filter. Some picture weded to delete a cloud and a original picture does not have cloud to in picture. It can use a Kalman filter theory which does not a continuous type for solving the problem. It will get an output data that the picture is already remove cloud. It has to use with many different raster scans technical to make an output completely. That is the pictures which want to remove cloud it has to pass a Kalman filter for the calculation process by put pixel and be executed on horizontal line, stand line and diagonal line. And then, the results of average are calculated of 3 scale leads to output.

The picture is used in the test obtained from the LANDSAT-5 TM satellite picture that is only a part of post 129, row 51 total 2 pictures. The result of Kalman filter tested by using several axes and can remove cloud picture completely from picture when compared with original picture.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

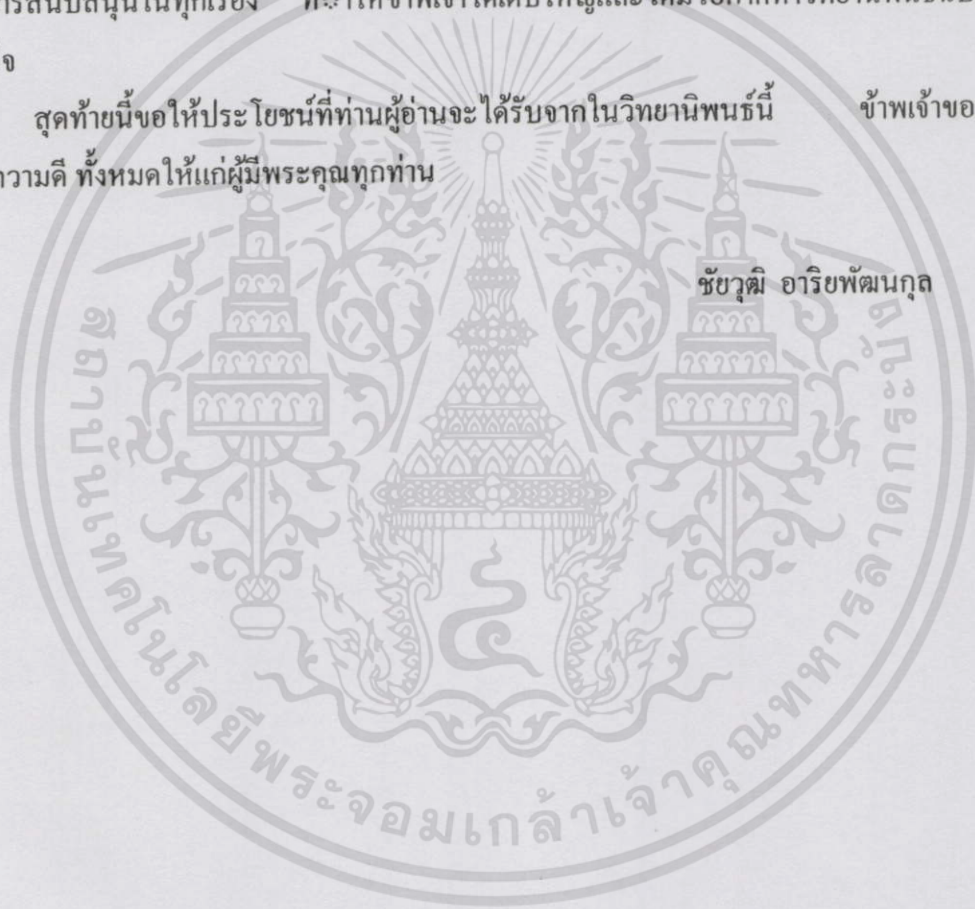
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยทำให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางและได้รับความกรุณา เป็นอย่างสูงของ รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรพันธ์ ยิ้มมั่น และ ผ.ศ.พยุง เศรษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่คอย กล่าวตักเตือนศิษย์และศิษย์มีความเคารพ ศรัทธาเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ โดยเฉพาะน้อง เนรมิต หว่ามูข ที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุก ด้าน ที่มีส่วนช่วยเหลือในวิทยานิพนธ์นี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจและ ให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าได้เติบโตใหญ่และได้มีโอกาสทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จน สำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอให้ประโยชน์ที่ท่านผู้อ่านจะได้รับจากในวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอบมอบ คุณความดี ทั้งหมดให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การประมวลผลภาพ.....	3
2.2 ฮิสโตแกรมของภาพ (Histogram).....	5
2.3 การทำคอนโวลูชัน (Convolution) ของภาพสองมิติ.....	6
2.4 ความเหมือนจริงของภาพ (Fidelity).....	9
2.5 ตัวกรองตัวกรองคาลมาน (Kaman filter).....	11
2.6 ตัวกรองคาลมานไม่ต่อเนื่อง (Discrete Kalman, DKF).....	15
บทที่ 3 ออกแบบการทดสอบ.....	21
3.1 แผนผังการทำงาน.....	21
3.2 การลบเมฆออกจากภาพด้วยคาลมานฟิลเตอร์.....	22
3.3 การลบเมฆออกจากภาพด้วยคาลมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	27
4.1 การลบเมฆออกจากภาพด้วยคาลมานฟิลเตอร์ โดยเทคนิคการกระทำหลายแกน.....	27
4.2 การเปรียบเทียบการลบเมฆ โดยวิธีที่นำเสนอ เทียบกับ วิธีใช้ภาพอ้างอิงที่.....	35
บทที่ 5.....	39
สรุปผลการทดลอง.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก ก. โปรแกรมการเคลื่อนย้ายเมฆออกด้วยคาลมานฟิลเตอร์.....	41
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	54
ประวัติผู้เขียน.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบเก็บภาพดิจิทัล.....	4
2.2 ภาพที่มีความสว่างต่ำกับฮิสโตแกรมที่สอดคล้อง.....	6
2.3 ภาพที่มีความสว่างสูงกับฮิสโตแกรมที่สอดคล้อง.....	6
2.4 แบบจำลองสัญญาณของระบบเชิงเส้น.....	7
2.5 แสดงการคำนวณหาค่าคอนโวลูชัน.....	8
2.6 การประมาณค่า x_n จากการวัด y_n ของสภาวะ n	19
2.7 ลำดับการคำนวณการกรองกาลมาน.....	20
3.1 แสดงแผนผังการทำงานของกรลบเมมออกจากภาพด้วยกาลมานฟิลเตอร์ โดยใช้เทคนิคการกระทำหลายแกน.....	21
3.2 ลำดับจุดที่ทำการคำนวณเรียงตามแนวนอนแบบซิกแซก.....	22
3.3 ใ้ค้ดในส่วนของการคำนวณแต่ละจุด และการสแกนแบบซิกแซกตามแนวนอน.....	23
3.4 โพลซาร์ตในส่วนของการคำนวณแต่ละจุด และการสแกนแบบซิกแซกตามแนวนอน.....	24
3.5 ลำดับจุดที่ทำการคำนวณเรียงตามแนวตั้งแบบซิกแซก.....	25
3.6 ลำดับจุดที่ทำการคำนวณเรียงตามทแยงแบบซิกแซก.....	25
4.1 ตำแหน่งในการถ่ายภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM.....	27
4.2 รูปที่ถ่ายเมื่อวันที่ 26 มีนาคม 2548.....	28
4.3 รูปที่ถ่ายเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2548.....	28
4.4 ผลที่ได้จากการลบเมมด้วยกาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวนอน.....	28
4.5 ผลที่ได้จากการลบเมมด้วยกาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวตั้ง.....	29
4.6 ผลที่ได้จากการลบเมมด้วยกาลมานฟิลเตอร์เฉพาะทแยง.....	29
4.7 ผลที่ได้จากการลบเมมด้วยกาลมานฟิลเตอร์ทั้งสามแกนเฉลี่ยกัน.....	30
4.8 ผลของภาพที่ลบเมมออกแล้วในแนวนอนหักล้างด้วยภาพต้นแบบ.....	31
4.9 ผลของภาพที่ลบเมมออกแล้วในแนวตั้งหักล้างด้วยภาพต้นแบบ.....	31
4.10 ผลของภาพที่ลบเมมออกแล้วในแนวทแยงหักล้างด้วยภาพต้นแบบ.....	32
4.11 ผลของภาพที่ลบเมมออกแล้วในสามแกนเฉลี่ยกันหักล้างด้วยภาพต้นแบบ.....	32
4.12 ผลของภาพที่ลบเมมออกแล้วในแนวนอนหักล้างด้วยภาพภาพก่อนลบเมม.....	33
4.13 ผลของภาพที่ลบเมมออกแล้วในแนวตั้งหักล้างด้วยภาพภาพก่อนลบเมม.....	33

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในแนวทแยงหักล้างด้วยภาพภาพก่อนลบเมฆ.....	34
4.15 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วทั้งสามแกนเฉลี่ยกันหักล้างด้วยภาพก่อนลบเมฆ.....	34
4.16 คือภาพที่ได้จากการถ่ายของ LANDSAT-5 TM.....	35
4.17 รูปที่ได้จากการลบเมฆด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่.....	36
4.18 ผลของการลบเมฆด้วยวิธีกาลมานฟิลเตอร์ โดยใช้เทคนิคหลายแกน.....	36
4.19 ผลภาพเมฆที่ถูกลบออกไปด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่.....	37
4.20 ผลภาพเมฆที่ถูกลบออกไปด้วยวิธีกาลมานฟิลเตอร์.....	37
4.21 ผลต่างของการลบเมฆด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่เทียบกับภาพต้นแบบ.....	38
โดยใช้เทคนิคหลายแกน	
4.22 ผลต่างของการลบเมฆด้วยวิธีกาลมานฟิลเตอร์ โดยใช้เทคนิคหลายแกน.....	38
เทียบกับภาพต้นแบบ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการถ่ายภาพโดยใช้กล้องจากดาวเทียม ในบางครั้งบางเวลาจะมีเมฆหมอกบดบังในสิ่งที่ต้องการจะถ่ายภาพ หรือในบางฤดูมีเมฆบดบังตลอดฤดู ทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพที่ต้องการได้ ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งสืบเนื่องมาจากที่ผู้วิจัย อยู่ในช่วงเก็บผลการทดลองและต้องการหาภาพถ่ายดาวจากดาวเทียม ซึ่งเจ้าหน้าที่ได้ถามว่าจะวิจัยเพื่ออะไร ในเมื่อมีกล้องอินฟราเรดแล้ว สามารถถ่ายทะลุเมฆหมอกได้ ผู้วิจัยจึงตอบไปว่า อุปกรณ์ที่ว่ามานั้นมีราคาแพง ถ้าสามารถที่จะลบเมฆหมอกเหล่านั้นไปได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพงดังกล่าวจะเป็นการประหยัดเงินอย่างมาก

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะลบเมฆที่อยู่ในภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยใช้คณิตศาสตร์เข้ามาแก้ปัญหาดังกล่าว โดยมีภาพที่ต้องการจะลบเมฆและภาพต้นแบบที่ไม่มีเมฆเป็นอินพุทของระบบ ใช้หลักการที่นำเสนอแก้ปัญหาดังกล่าว จะทำให้ได้เอาท์พุทออกมา ซึ่งเป็นภาพที่ถูกลบเมฆออกไปแล้ว

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การลบเมฆออกจากภาพที่เราสนใจนั้น ได้มีการนำเสนอวิธีการต่างๆ ไว้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป คาลมานฟิลเตอร์ก็เป็นวิธีการเชิงคณิตศาสตร์เข้ามาแก้ปัญหาดังกล่าว อย่างแพร่หลาย จึงเป็นคณิตศาสตร์ตัวหนึ่งที่นำเสนอไว้ว่าจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้หรือไม่ และอาจจะมีการปรับปรุงนำเทคนิคต่างๆเข้ามาเพื่อทำให้เอาท์พุทเป็นที่น่าพอใจ นั่นคือการลบเมฆออกจากภาพถ่ายด้วยคาลมานฟิลเตอร์ โดยใช้เทคนิคการกระทำหลายแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

กาลมานฟิลเตอร์ ได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท แต่งานวิจัยนี้จะใช้กาลมานฟิลเตอร์แบบไม่ต่อเนื่องในการลบเมฆออกจากภาพ ซึ่งจะต้องอาศัยเทคนิคการกระทำหลายแกนเข้ามาเสริมเพื่อให้เอาที่พุดที่ได้เป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือในภาพหนึ่งที่เราสนใจจะทำการลบเมฆออก จะผ่านการคำนวณตามแบบของกาลมานฟิลเตอร์ในลักษณะจุดต่อจุด เรียงไปในแนวนอน แนวตั้ง และแนวทแยง จากนั้นจะนำมาเฉลี่ยกันเพื่อให้ได้เอาที่พุดที่ดี

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอ การลบเมฆออกจากภาพด้วยกาลมานฟิลเตอร์แบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้เทคนิคการกระทำหลายแกน จะคำนวณเพื่อลบเมฆออกตามหลักการของกาลมานฟิลเตอร์ โดยทำการคำนวณไปตามแนวนอน แนวตั้ง และแนวทแยง และนำผลของการคำนวณของทั้งสามแกนมาเฉลี่ยกัน ซึ่งมีภาพที่ต้องการจะลบเมฆออก และภาพค้อนแบบเป็นอินพุทของระบบ เมื่อคำนวณตามวิธีที่นำเสนอจะทำให้เอาที่พุดที่ได้เป็นภาพที่ลบเมฆออกไปแล้ว นอกจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบหลักการที่นำเสนอเทียบกับวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่เพื่อประกอบผลการวิจัยด้วย

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาวิจัย จะเริ่มจากการศึกษาหลักการของกาลมานฟิลเตอร์สำหรับการประมวลผลภาพเสียก่อน เมื่อเข้าใจดีแล้วทำการเขียน โปรแกรม โดยมีภาพค้อนแบบและภาพที่ต้องการที่จะลบเมฆออกเป็นอินพุทของระบบ เอาที่พุดของระบบจะเป็นภาพที่ลบเมฆออกแล้ว เมื่อทำการทดลองตามหลักการที่นำเสนอเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะเขียน โปรแกรมลบเมฆออกจากภาพโดยวิธีภาพอ้างอิงคงที่ เพื่อประกอบผลการทดลองเปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

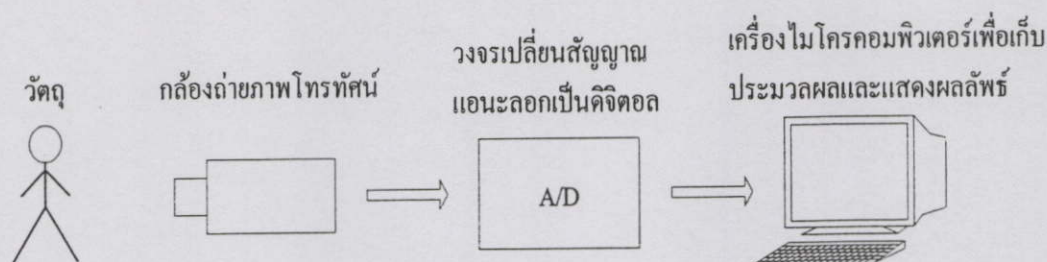
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ

ข้อมูลภาพได้จากแสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนผ่านเลนส์เข้าสู่ตัวบันทึกภาพ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของฟิล์ม (Film) หรือตัวตรวจจับ (Sensor) ดังนั้นกระบวนการถ่ายภาพจึงเป็นวิธีการแปลงข้อมูลเชิงกายภาพ (Physical) ของวัตถุสามมิติ (Three-dimensional) มาเป็นข้อมูลภาพ (Image) ของวัตถุสองมิติ (Two-dimensional) สำหรับกรณีการบันทึกภาพของวัตถุด้วยกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ (Television camera) นั้น จะทำการบันทึกภาพอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อก (Analog) ในขั้นตอนนี้ตัวตรวจจับจะทำการวัดค่าความเข้มของจุดเล็ก ๆ ทีละจุดไปเรื่อย ๆ ตามแนวเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะไล่จากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง ค่าที่ตัวตรวจจับวัดได้นี้เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพนั้น ในการพิจารณาภาพหนึ่งภาพใดที่ได้จากกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์จะเป็นภาพนิ่ง (Still picture) จากการนำภาพนิ่งที่เวลาต่าง ๆ มาจัดเรียงกันเป็นจำนวนมากแล้วให้แสดงผลในช่วงเวลาสั้น ๆ ภาพที่ได้จะมีลักษณะ เคลื่อนไหว (Moving picture) สำหรับในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงเฉพาะภาพนิ่งเท่านั้น

สัญญาณภาพในแต่ละเส้นสแกน (Scan) ที่ได้จากกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบแอนะล็อกจะสอดคล้องกับความสว่างบนวัตถุที่ถ่ายได้ กล่าวคือ บริเวณที่สว่างจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูง ส่วนบริเวณที่มีมืดจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ แต่เนื่องจากสัญญาณภาพที่ได้จะต้องนำไปประมวลผลด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Micro computer) เพื่อจุดประสงค์หนึ่งจุดประสงค์ใด ดังนั้นแต่ละเส้นสแกนจะถูกชักตัวอย่าง (Sampling) การชักตัวอย่างจะต้องเป็นไปตามอัตราไนควิสต์ (Nyquist rate) สำหรับบล็อก ไดอะแกรม (Block diagram) ของระบบเก็บข้อมูลภาพดิจิทัล (Digital image acquisition system) แสดงได้ดังรูปที่ 2.1

ในการชักตัวอย่างของแต่ละเส้นสแกนจะเป็นการบอกถึงรายละเอียด (Resolution) ของข้อมูลภาพเชิงตัวเลข ทั้งนี้จะต้องขึ้นกับขีดความสามารถทางฮาร์ดแวร์ (Hardware) ของตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (A/D Converter) ว่าสามารถทำงานได้ที่ความถี่ของการชักตัวอย่าง (Sampling frequency) เท่าไร รวมทั้งช่วงเวลาเข้าถึง (Access time) ของแรม (RAM) ที่ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวก่อนจะถ่ายโอน (Transfer) ข้อมูลดิจิทัลเข้าสู่หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเก็บข้อมูลไว้อย่างถาวรหรือเพื่อการประมวลผลภาพ โดยปกติแล้วตัวแปลง A/D มักนิยมใช้ขนาด 8 บิต เพื่อให้แมตช์ (Match) กับระบบ ทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.1 ระบบเก็บภาพดิจิทัล

จากการเก็บข้อมูลภาพดิจิทัลในแต่ละเส้นสแกน ถ้าหากภาพ ๆ หนึ่งมีจำนวนหลายเส้นสแกน ดังนั้นข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้สามารถเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันสองมิติของความเข้มของแสง $f(x, y)$ โดยค่าของฟังก์ชันจะแสดงถึงค่าความเข้มของแสงที่พิกัดสเปเชียล (Spatial) เป็น (x, y) ถ้าหากใช้ A/D ขนาด 8 บิต จะพบว่าค่าความเข้มของแสงจะแบ่งออกได้ 2^8 หรือ 256 ระดับของสีเทา เมื่อค่าระดับสีเทาเป็น 0 จะหมายถึงจุดภาพนั้นมีค่าความเข้มของแสงต่ำจะให้จุดภาพเป็นสีดำ ในทางตรงกันข้ามถ้าหากค่าระดับสีเทาเป็น 255 แสดงว่าจุดภาพนั้นมีค่าความเข้มของแสงสูงจะให้จุดภาพเป็นสีขาว ส่วนค่าอื่น ๆ ที่อยู่ระหว่างค่าทั้งสองคือ 0 ถึง 255 ก็จะมีระดับสีที่ไล่จากดำไปหาขาวนั่นเอง ภาพดิจิทัลเมื่อนำมาประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรูปฟังก์ชัน $f(x, y)$ สามารถเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ (Matrix) สองมิติ โดยแต่ละมิติจะแทนพิกัดสเปเชียลและค่าสัมประสิทธิ์ของเมทริกซ์จะเป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพนั้น อย่างเช่น ภาพขนาด $M \times N$ เขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ได้เป็น

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M,N) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

และสามารถเขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์ (Vector) ได้โดยการดึงข้อมูลภาพที่แถวในแนวนอน (Row) หรือที่แถวในแนวตั้ง (Column) การเขียนข้อมูลในรูปเวกเตอร์จะได้ รูปแบบที่กระทัดรัดกว่า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการประมวลสัญญาณดิจิทัล หนึ่งมิติที่มีอยู่

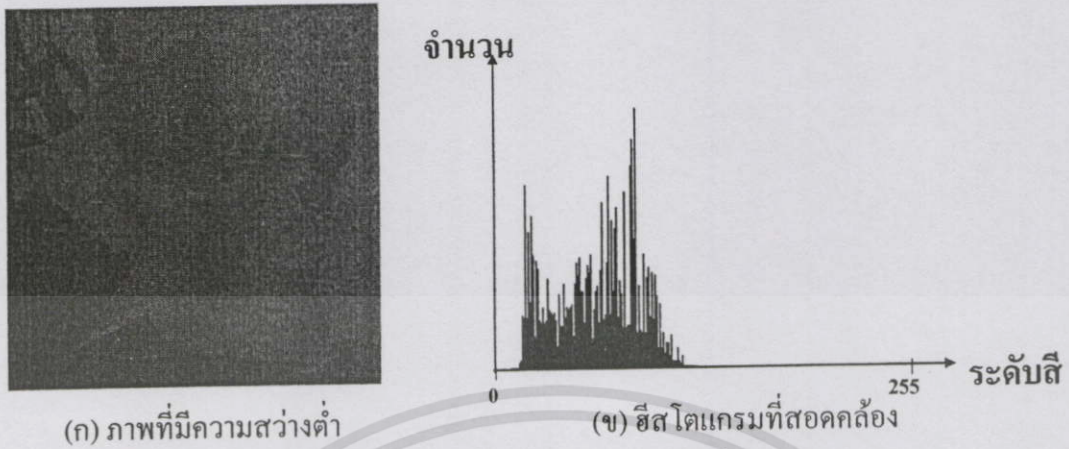
ในการนำข้อมูลภาพดิจิทัลไปใช้งานด้านต่าง ๆ จะต้องทำการประมวลผล ซึ่งสามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้สองกลุ่มคือ กลุ่มแรกเป็นการประมวลผลเชิงจุด (Point operation) จะเป็นวิธีการประมวลผลอย่างง่าย โดยจะทำการแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพต้นฉบับ (Original image) ให้เป็นค่าระดับสีเทาใหม่ในภาพผลลัพธ์ (Transformed image) หลังการ

แปลงเทคนิคที่จัดเป็นการประมวลผลเชิงจุดคือ การปรับปรุงฮิสโตแกรม (Histogram modification) เป็นต้น กลุ่มที่สองเป็นการประมวลผลเชิงกลุ่มข้างเคียง (Neighborhood) เป็นวิธีการนำค่าระดับสีเทาของจุดภาพข้างเคียงที่อยู่รอบ ๆ มาประมวลผลด้วย ซึ่งเทคนิคที่จัดว่าเป็นการประมวลผลเชิงกลุ่มข้างเคียงคือ การกรอง สัญญาณภาพ (Filtering) เป็นต้น [2,3]

2.2 ฮิสโตแกรมของภาพ (Histogram)

ภาพดิจิทัลที่ได้จากระบบเก็บภาพจะอยู่ในรูปเชิงตัวเลข แต่ละจุดภาพจะมีค่าระดับสีเทากำกับอยู่ ปกติแล้วค่าระดับสีเทาของจุดภาพจะถูกเข้ารหัสด้วยตัว A/D ขนาด 8 บิต จึงทำให้ความแตกต่างของระดับสีเทามีได้ 256 ระดับ ค่าระดับสีเทานี้เป็นการแสดงค่าความสว่างของจุดภาพ โดยทั่วไปถ้าจุดภาพมีความสว่างมากจะให้ค่าระดับสีเทาสูง แต่ถ้ามีความสว่างน้อยก็จะให้ค่าระดับสีเทาค่าภาพ ๆ หนึ่งจะถูกจัดเก็บอยู่ในลักษณะของสี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยแถวอน (Row) และแถวตั้ง (Column) ขนาดของจำนวนแถวอนและแถวตั้งขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์ (Hardware) ของระบบจัดเก็บภาพ ในระบบสากลมักนิยมเขียนขนาดของภาพอยู่ในรูปของ $2^m \times 2^n$ จุดภาพ เมื่อ m และ n เป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer) ใด ๆ ซึ่งจะหมายถึงภาพมีขนาด 2^m แถวอน แต่ละแถวอนมีจำนวนจุดภาพอยู่ 2^n จุดภาพ จากภาพขนาด $2^m \times 2^n$ จุดภาพนี้ จะมีค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันอยู่จำนวน 256 ระดับ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ถ้าหากทำการตรวจนับจำนวนจุดภาพของแต่ละระดับสีเทาและนำมาแสดงเป็นกราฟแท่งซึ่งเป็นความถี่ของแต่ละระดับสีเทาที่ปรากฏในภาพ กราฟที่ได้นี้เรียกว่าฮิสโตแกรม (Histogram) ของภาพ สำหรับฮิสโตแกรมของภาพสองภาพที่มีรูปร่างกราฟคล้าย ๆ กัน ไม่ได้หมายความว่าภาพทั้งสองจะคล้ายกัน ทั้งนี้เพราะฮิสโตแกรมของภาพไม่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของจุดภาพ กล่าวคือ จุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเหมือนกันจากกราฟฮิสโตแกรมทั้งสองไม่ได้ปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันภาพทั้งสองจึงไม่เหมือนกัน ดังนั้นกราฟฮิสโตแกรมของภาพจะไม่ให้ข้อมูลของลายภาพ (Image texture) แต่จะช่วยบอกแนวโน้มว่าภาพจะสว่างหรือมืด ซึ่งสังเกตได้จากฮิสโตแกรมว่ากลุ่มจุดภาพส่วนใหญ่อยู่ทางด้านไหนของฮิสโตแกรม ถ้ากลุ่มจุดภาพมีค่าต่ำจะได้ภาพค่อนข้างมืดดังตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.2(ก) จะให้ฮิสโตแกรมที่สอดคล้องในรูปที่ 2.2(ข) ในกรณีตรงข้ามถ้ากลุ่มจุดภาพส่วนใหญ่ปรากฏทางด้านค่าสูงจะได้ภาพที่สว่างดังรูปที่ 2.3(ก) ซึ่งให้ฮิสโตแกรมที่สอดคล้องในรูปที่ 2.3(ข) พอจะสรุปได้ว่าโดยปกติแล้วถ้าค่าระดับสีเทาเปลี่ยนไปย่อมส่งผลให้ฮิสโตแกรมเปลี่ยน วิธีการแปลงข้อมูลจากการเปลี่ยนแปลงฮิสโตแกรมจะเป็นวิธีการประมวลผลเชิงจุด [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ภาพที่มีความสว่างต่ำกับฮิสโตแกรมที่สอดคล้อง



รูปที่ 2.3 ภาพที่มีความสว่างสูงกับฮิสโตแกรมที่สอดคล้อง

2.3 การทำคอนโวลูชัน (Convolution) ของภาพสองมิติ

วิธีการทำคอนโวลูชันโดยปกติแล้วจะเป็นวิธีการประมวลผลเชิงกลุ่ม ซึ่งจะ เกี่ยวข้องกับการกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise removal) การทำแอนเซนซ์เมนต์ (Enhancement) การตรวจจับเส้นขอบ (Edge detection) ต่าง ๆ ในภาพ เป็นต้น ก่อนที่จะกล่าวถึงการทำคอนโวลูชันเชิงตัวเลขนั้น จะขออธิบายถึงการทำคอนโวลูชันของสัญญาณ ต่อเนื่องในแกนเวลา ก่อน จากปัญหาการ

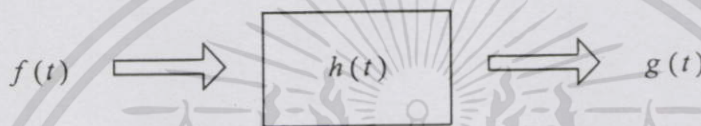
วิเคราะห์ระบบถ้าหากมีสัญญาณแอนะล็อก $f(t)$ เป็นสัญญาณอินพุตเข้าสู่ระบบ $h(t)$ จะให้สัญญาณเอาต์พุต (Output) เป็น $g(t)$ วิธีการพื้นฐานนั้นสัญญาณเอาต์พุตใน โดเมน (Domain) เวลา ได้จากการใช้อินทิกรัลแบบซ้อนทับ (Superposition integral) กล่าวคือ

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (2.2)$$

หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้เป็น

$$g(t) = f(t) * h(t) \quad (2.3)$$

เมื่อ “ * ” เป็นการทำคอนโวลูชัน



รูปที่ 2.4 แบบจำลองสัญญาณของระบบเชิงเส้น

ในทำนองเดียวกันเมื่อนำไปประยุกต์กับสัญญาณสองมิติ โดยให้สัญญาณอินพุต เป็น $r(\lambda, \eta)$ ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ $h(\lambda, \eta)$ จะให้สัญญาณเอาต์พุตคือ $g(\lambda, \eta)$

$$g(\lambda, \eta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega, \Omega)h(\lambda - \omega, \eta - \Omega)d\omega d\Omega \quad (2.4)$$

ในทางปฏิบัติเมื่อข้อมูลภาพมีลักษณะเป็นดิจิตอล และให้ i กับ j เป็นค่าเต็มหน่วย (Discrete) ของ ω กับ Ω ในทำนองเดียวกัน x กับ y เป็นค่าเต็มหน่วยของ λ กับ η สมการที่ (2.4) เขียนใหม่ได้เป็น

$$g(x, y) = \sum_i \sum_j f(i, j)h(x-i, y-j) \quad (2.5)$$

สมการที่ (2.5) เป็นการทำคอนโวลูชันแบบดิจิตอล โดยจะให้ผลรวมครอบคลุมพื้นที่ของ ตัวแปร i และ j ในที่นี้ $f(x, y)$ เป็นภาพต้นฉบับ ขณะที่ $h(x, y)$ เป็นฟังก์ชันระบบ (System function) ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า เทมเพลต (Template) โดยทั่วไปแล้วขนาดของ เทมเพลตจะเล็กกว่าขนาด

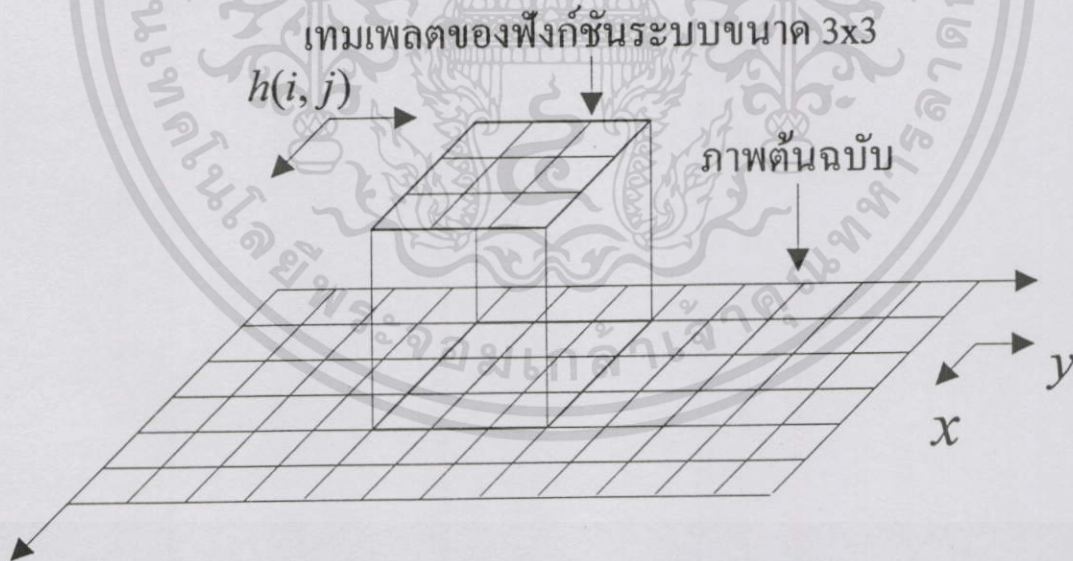
เอกสารนี้ของภาพต้นฉบับ และมักมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3 หรือ 5x5 จุดภาพ เป็นต้น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง จากคุณสมบัติคอมมิวเตทีฟ (Commutative) ของการคำนวณหาคอนโวลูชัน [6] สมการ
ที่ (2.5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$g(x,y) = \sum_i \sum_j f(x-i, y-j)h(i,j) \quad (2.6)$$

ดังนั้นถ้าเทมเพลต $h(i, j)$ มีขนาด 5×5 จุดศูนย์กลางของเทมเพลตอยู่ที่ $h(0,0)$ สมการที่ (2.6) จะเขียนเป็น

$$g(x,y) = \sum_{i=-2}^2 \sum_{j=-2}^2 f(x-i, y-j)h(i,j) \quad (2.7)$$

การคำนวณค่าคอนโวลูชันของภาพผลลัพธ์ g ที่พิกัด (x, y) เกิดจากการนำเทมเพลต วางทับบนภาพต้นฉบับ โดยให้จุดศูนย์กลางของเทมเพลต $h(0,0)$ ซ้อนทับกับจุดภาพในภาพต้นฉบับที่พิกัด (x, y) จากนั้นทำการคูณค่าเทมเพลตกับจุดภาพในภาพต้นฉบับแบบจุดต่อจุด ก่อนที่จะนำมา รวมกันเป็นค่าผลลัพธ์ของการทำคอนโวลูชัน $g(x, y)$ แต่เนื่องจากการประมวลผลต้องทำตลอดทั้งภาพ ดังนั้นจุดพิกัด (x, y) จะต้องแปรไปตามแนวนอน และแนวตั้งของภาพต้นฉบับ ลักษณะการทำคอนโวลูชันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการคำนวณหาค่าคอนโวลูชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของเทมเพลตที่ใช้ในการทำเอนแฮนซ์เม้นต์ภาพขนาด 3x3 คือ

$$h(i, j) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} \\ -\frac{1}{9} & \frac{17}{9} & -\frac{1}{9} \\ -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} & -\frac{1}{9} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

เทมเพลตในสมการที่ (2.8) จะถูกนำไปคำนวณหาภาพผลลัพธ์ $g(x, y)$ ที่มีการเน้นข้อมูลขอบภาพจากการใช้สมการที่ (2.6) ในการประมวลผลข้อมูลภาพเชิงตัวเลขยังมีการนำ เทมเพลตลักษณะอื่น ๆ และขนาดต่าง ๆ มาใช้งาน โดยอาศัยการทำคอนโวลูชันจากสมการที่ (2.6) เป็นหลักดังจะได้กล่าวในบทอื่น ๆ ต่อไป [2-7]

2.4 ความเหมือนจริงของภาพ (Fidelity)

ในการประมวลผลข้อมูลภาพดิจิทัลนั้น จะส่งผลทำให้ข้อมูลภาพผลลัพธ์หลังการประมวลผลเปลี่ยนไปจากข้อมูลภาพต้นฉบับ โดยเฉพาะในกรณีของการอัดข้อมูลภาพ (Image data compression) เพื่อลดปริมาณข้อมูลสำหรับส่งผ่านไปในสื่อกลางที่มีความกว้างแถบจำกัด (Band limited) ค่าความแตกต่างของข้อมูลที่เกิดขึ้นนี้คือ ค่าผิดพลาด (Error) ค่าผิดพลาดนี้จะวัดกันแบบจุดภาพต่อจุดภาพ อย่างเช่นจุดภาพที่พิกัด (x, y) ของภาพต้นฉบับมีค่าเป็น $f(x, y)$ และหลังการประมวลผลจะให้ค่าเป็น $g(x, y)$ จะได้ค่าผิดพลาดที่พิกัดดังกล่าวคือ

$$e(x, y) = f(x, y) - g(x, y) \quad (2.9)$$

เนื่องจากข้อมูลภาพจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม โดยจะประกอบด้วยจุดภาพต่าง ๆ ในแกนแนวนอนและแกนแนวตั้ง การหาค่าผิดพลาดรวมต้องนำเอาค่าผิดพลาดของแต่ละจุดภาพมารวมกัน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือค่าผิดพลาดของจุดภาพต่าง ๆ จะมีทั้งค่าบวกและค่าลบปะปนกันอยู่ ซึ่งจะเกิดการหักล้างกันเองของค่าผิดพลาด ดังนั้นในการแก้ปัญหาดังกล่าวค่าผิดพลาด ที่ได้จะคำนวณอยู่ในรูปกำลังสองที่รู้จักกันในนามค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (Root-mean-square Error) ถ้าหากภาพหนึ่งภาพใดมีขนาด $M \times N$ จุดภาพ การคำนวณหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา

$$e_{rms} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} e^2(x, y) \right]^{1/2} \text{เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้} \quad (2.10)$$

หรือ

$$e_{rms} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \{f(x,y) - g(x,y)\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

ค่า e_{rms} นี้จะเป็นตัววัดความเหมือนจริงของข้อมูลภาพต้นฉบับกับข้อมูลภาพหลังการประมวลผล ในบางครั้งการวัดความเหมือนจริงอาจทำได้อีกรูปแบบโดยการวัดจากอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio) หรือที่เขียนเป็น SNR เมื่อถือว่าข้อมูลภาพหลังการประมวลผล $n(x,y)$ นั้นเกิดจากข้อมูลภาพต้นฉบับที่ถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวน กล่าวคือ

$$n(x,y) = f(x,y) + e(x,y) \quad (2.12)$$

ดังนั้นค่ากำลังสองเฉลี่ยของ SNR คำนวณได้จาก

หรือ

$$\begin{aligned} SNR_{rms} &= \frac{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f^2(x,y)}{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} e^2(x,y)} \\ SNR_{rms} &= \frac{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f^2(x,y)}{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \{n(x,y) - f(x,y)\}^2} \end{aligned} \quad (2.13)$$

อย่างไรก็ตาม การอาศัยค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยกับค่ากำลังสองเฉลี่ยของ SNR ที่กล่าวมานี้ไม่สามารถจะนำมาเป็นเกณฑ์เพียงอย่างเดียวในการตัดสินใจว่าภาพมีคุณภาพดีหรือไม่ โดยทั่วไปจะต้องนำสายตาของมนุษย์มาช่วยพิจารณาประกอบด้วย ที่เป็นเช่นนี้เพราะระบบการมองเห็นของมนุษย์จะมีลักษณะพิเศษ กล่าวคือ ระบบการมองเห็นของตาจะไวต่อความเข้มของแสงในรูปลอการิทึม (Logarithm) ดังนั้นค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีค่างของภาพจะเห็นได้ชัดเจนกว่าค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในบริเวณที่สว่าง อีกทั้งระบบการมองเห็นจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพซึ่งเป็นบริเวณที่มีความถี่สูง ดังนั้นถ้าหากภาพสองภาพที่มีค่าความผิดพลาดเท่า ๆ กัน แต่ภาพหนึ่งเกิดค่าความผิดพลาดในบริเวณความถี่ต่ำ แต่อีกภาพเกิดค่าความผิดพลาดใน

บริเวณความถี่สูง จะพบว่ามนุษย์จะสังเกตความผิดพลาดได้อย่างชัดเจนในภาพที่สอง ซึ่งจะทำให้มีการสรุปว่าภาพแรกมี คุณภาพดีกว่าภาพที่สองนั่นเอง [2-7]

2.5 ตัวกรองตัวกรองคาลมาน (Kaman filter)

ตัวกรองคาลมานที่ใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ [9, 10]

1. ตัวกรองคาลมานต่อเนื่อง (Continuous Kalman Filter, CKF)
2. ตัวกรองคาลมานต่อเนื่องเป็นช่วง (Continuous Discrete Kalman filter, CDKF)
3. ตัวกรองคาลมานแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Kalman, DKF)

ในที่นี้จะเริ่มต้นจะพิจารณาการประมาณค่าของปริมาณสเกลาร์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ก่อน โดยให้ x เป็นปริมาณสเกลาร์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งมีสัญญาณรบกวนที่มีการแจกแจงเกาส์ ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และความแปรปรวนเท่ากันกระทำอยู่ ให้ n เป็นจำนวนครั้งของการวัด ดังนั้นการประมาณค่าที่ดีที่สุดสามารถหาค่าเฉลี่ยของ x และในการวัดแต่ละครั้งเป็น \hat{y}_i ซึ่งการประมาณค่าที่ดีที่สุดหลังจากวัดจำนวน n ครั้งเป็น \hat{x}_n เขียนได้ดังสมการที่ 2.14

$$\hat{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i \quad (2.14)$$

จัดรูปสมการที่ 2.14 เป็นสมการที่ 2.15

$$n\hat{x}_n = \sum_{i=1}^n \hat{y}_i \quad (2.15)$$

จากสมการที่ 2.15 แทนค่า n ด้วย $n+1$ ได้ดังสมการที่ 2.16

$$(n+1)\hat{x}_{n+1} = \sum_{i=1}^{n+1} \hat{y}_i \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \hat{y}_1 + \hat{y}_2 + \dots + \hat{y}_n + \hat{y}_{n+1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \hat{y}_i + \hat{y}_{n+1} \\
 &= nx_n + \hat{y}_{n+1}
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

จากสมการที่ 2.17 จัดรูปใหม่ได้ดังสมการที่ 2.18

$$\hat{x}_{n+1} = \frac{n}{n+1} \hat{x}_n + \frac{\hat{y}_{n+1}}{n+1} \tag{2.18}$$

ให้นำ $-\frac{x_{n+1}}{n+1}$ และ $+\frac{x_{n+1}}{n+1}$ บวกกับสมการที่ 2.18 เขียนการประมาณค่าใหม่ได้ดังสมการที่ 2.19

$$\begin{aligned}
 \hat{x}_{n+1} &= \frac{n}{n+1} \hat{x}_n + \frac{\hat{y}_{n+1}}{n+1} + \frac{x_{n+1}}{n+1} - \frac{x_{n+1}}{n+1} \\
 \hat{x}_{n+1} &= \frac{(n+1)x_{n+1}}{n+1} + \frac{\hat{y}_{n+1}}{n+1} - \frac{x_{n+1}}{n+1} \\
 \hat{x}_{n+1} &= \hat{x}_n + \frac{1}{n+1} [\hat{y}_{n+1} - \hat{x}_n]
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

จากสมการที่ 2.19 ทำให้ได้ประมาณค่าใหม่ \hat{x}_{n+1} จากการประมาณค่าเดิม \hat{x}_n บวกกับผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้ใหม่ \hat{y}_{n+1} กับการประมาณค่าเดิม \hat{x}_n และคูณกับเฟดเดอร์ $\frac{1}{n+1}$ ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงการประมาณค่าใหม่จากการตรวจสอบการประมาณค่าเป็นแนวความคิดของกาลมานเมื่อพิจารณาลักษณะของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่าปริมาณสเกลค่า x ไม่ต่อเนื่องกับเวลา โดยสมมุติมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ x จากการวัดลำดับที่ n เป็นลำดับที่ $n+1$ เขียนได้ดังสมการที่ 2.20

$$x_{n+1} = \Phi_n x_n + w_n \tag{2.20}$$

ให้ w_n มีค่าการแจกแจงเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนกับการเปลี่ยนแปลงเวลาของปริมาณ x เขียนแทนด้วย Φ_n และ w_n คือ สัญญาณรบกวนระบบ (Process Noise) เมื่อต้องการหาประมาณค่าของลำดับที่ n แทนด้วย x_n จากการประมาณค่า \hat{x}_n นั้น การ

ประมาณค่าที่ดีที่สุดของลำดับที่ n แทนด้วย \hat{x}_n ได้จากการประมาณค่าก่อนลำดับที่ $n+1$ แทนด้วย \hat{x}_{n+1} ดังสมการที่ 2.21

$$\hat{x}_{n+1} = \Phi_n \hat{x}_n \quad (2.21)$$

ให้การประมาณค่า \hat{x}_n มีความแปรปรวนดังสมการที่ 2.20 โดยที่ค่าความแปรปรวนของ \hat{x}_{n+1} เป็น $\Phi_n^2 P_n$ จากจุดเริ่มต้นของ \hat{x}_n และความแปรปรวนของการรบกวนดังสมการที่ 2.22 ดังนั้นเขียนความแปรปรวนประมาณค่า \hat{x}_{n+1} ดังสมการที่ 2.24

$$P_n = E\{(\hat{x}_n - x_n)^2\} \quad (2.22)$$

$$Q_n = E\{w_n^2\} \quad (2.23)$$

$$P_{n+1} = \Phi_n^2 P_n + Q_n \quad (2.24)$$

สมการการวัดสเกลล่า y_{n+1} เป็นเชิงเส้นตาม \hat{x}_{n+1} ได้รับความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.25 และให้การวัดจริงดังสมการที่ 2.26

$$y_{n+1} = H_{n+1} \hat{x}_{n+1} \quad (2.25)$$

$$y_{n+1} = H_{n+1} x_{n+1} + v_{n+1} \quad (2.26)$$

จากสมการที่ 2.26 ให้ v_{n+1} เป็นการรบกวนจากการวัดที่มีค่าการแจกแจงเฉลี่ยเป็นศูนย์ ความแปรปรวนของการวัดหาได้จากสมการที่ 2.27

$$R_{n+1} = E\{v_{n+1}^2\} \quad (2.27)$$

การประมาณค่าลำดับที่ $n+1$ มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ขณะไม่แปรตามกับเวลาได้ดังสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{x}_{n+1} = \hat{x}_n + K_{n+1}[\hat{y}_{n+1} - H_{n+1} \hat{x}_n] \quad (2.28)$$

หาค่าอัตราขยายค่าตามโดยหาค่าความแปรปรวน P_{n+1} ต่ำสุดของ \hat{x}_{n+1} ที่เกิดขึ้นไม่แน่นอนจากสมการที่ 2.28 ถ้าให้ Δ แทนการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเขียนการเปลี่ยนแปลง \hat{x}_{n+1} ดังสมการที่ 2.27 และความแปรปรวน P_{n+1} ที่ได้จากสมการที่ 2.29 ได้ดังสมการที่ 2.30

$$\Delta \hat{x}_{n+1} = (1 - K_{n+1} H_{n+1}) \Delta \hat{x}_{n+1} + K_{n+1} \Delta y_{n+1} \quad (2.29)$$

$$P_{n+1} = (1 - K_{n+1} H_{n+1})^2 P_{n+1} + K_{n+1}^2 R_{n+1} \quad (2.30)$$

ดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ 2.30 เทียบกับ K_{n+1} ดังสมการที่ 2.31

$$\frac{\partial P_{n+1}}{\partial K_{n+1}} = \frac{\partial}{\partial K_{n+1}} ((1 - K_{n+1} H_{n+1})^2 P_{n+1} + K_{n+1}^2 R_{n+1}) \quad (2.31)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\partial}{\partial K_{n+1}} ((1 - 2K_{n+1} H_{n+1} + K_{n+1}^2 H_{n+1}^2) P_{n+1} + K_{n+1}^2 R_{n+1}) \\ &= (-2H_{n+1} + 2K_{n+1} H_{n+1}^2) P_{n+1} + 2K_{n+1} R_{n+1} \end{aligned} \quad (2.32)$$

เทียบสมการที่ 2.33 เท่ากับศูนย์ เพื่อหาค่าอัตราขยายค่าตาม K_{n+1} ได้ดังสมการที่ 2.33

$$K_{n+1} = \frac{P_{n+1} H_{n+1}}{(H_{n+1}^2 P_{n+1} + R_{n+1})} \quad (2.33)$$

และค่าของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในลำดับที่ $n+1$ หาได้จากสมการที่ 2.34

$$P_{n+1} = (1 - K_{n+1} H_{n+1}) P_n \quad (2.34)$$

เมื่อระบบการวัดไม่เป็นเชิงเส้นแล้วสมการที่ 2.34 จะใช้สมการที่ 2.35 หาอัตราการเปลี่ยนแปลงของการประมาณค่า ซึ่งสมการนี้เรียกว่า เอ็กเทนเดด คาลมาน (Extended Kalman)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $\frac{\partial}{\partial x_{n+1}}$ ที่อาคารศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\Delta \hat{x}_{n+1} = (1 - K_{n+1} \frac{\partial}{\partial x_{n+1}} H(x_{n+1})) \Delta \hat{x}_{n+1} + K_{n+1} \Delta y_{n+1} \quad (2.35)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ตัวกรองกาลมานไม่ต่อเนื่อง(Discrete Kalman,DKF)

ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะตัวกรองกาลมานไม่ต่อเนื่องเท่านั้น เพราะตัวกรองกาลมานแบบไม่ต่อเนื่องมีความคลาดเคลื่อนความแปรปรวนร่วมน้อยกว่าตัวกรองกาลมานต่อเนื่อง และ ค่าเฉลี่ยดีกว่าแบบตัวกรองกาลมานต่อเนื่องเป็นช่วงตัวกรองกาลมานเป็นการหาค่าประมาณที่ดีที่สุดให้ระบบเชิงเส้นสโตคาสติกไม่ต่อเนื่องถูกควบคุมด้วยระบบไดนามิกดังสมการที่ 2.36 [9-10]

$$\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_n + \mathbf{B}\mathbf{u}_n + \mathbf{w}_n \quad (2.36)$$

ให้ระบบการวัด ดังสมการที่ 2.37

$$\mathbf{y}_n = \mathbf{C}\mathbf{x}_n + \mathbf{v}_n \quad (2.37)$$

ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนร่วม ของระบบและของระบบการวัด ได้ดังสมการที่ 2.38

$$E[\mathbf{w}] = 0, E[\mathbf{v}] = 0, E[\mathbf{w}\mathbf{w}^T] = \mathbf{Q}, E[\mathbf{v}\mathbf{v}^T] = \mathbf{R}, E[\mathbf{w}\mathbf{v}^T] = 0 \quad (2.38)$$

สำหรับการหาค่าประมาณค่าที่ดีที่สุดของสถานะ \mathbf{x} ปัจจุบันนั้นต้องอาศัยค่าจากอดีตทำการคูณกับสัมประสิทธิ์หรือได้มาจากความแปรปรวนร่วมของระบบ ซึ่งสามารถบอกสถานะที่เอาต์พุตได้ แต่การประมาณค่าก่อนสถานะหนึ่งจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทราบคุณสมบัติทางไดนามิกและความแปรปรวนร่วมของระบบและการวัดก่อน สมมุติให้อินพุต \mathbf{x} เป็นสถานะ n ซึ่งทราบค่าของขบวนการไดนามิกของระบบ และให้สถานะก่อนหน้าแทนด้วย $n-1$ ดังนั้นสามารถเขียนการประมาณค่าเอาต์พุตปัจจุบันจากสถานะอินพุตจากอดีต 1 ชั้น ดังสมการที่ 2.39

$$\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}_{n-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{n-1} \quad (2.39)$$

จากนั้นเพิ่มการวัดด้านเอาต์พุตที่สถานะปัจจุบัน กำหนดให้เป็น สถานะ n โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร \mathbf{y}_n เรียกว่า เอาต์พุตที่สถานะ n อย่างไรก็ตามค่าที่เหมาะสมสำหรับรวมเอาการประมาณค่าและการวัดให้ได้โครงสร้างใหม่ที่ดีที่สุดของค่าจริง \mathbf{x} คือ ได้ดังสมการที่ 2.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงนิตยสาร และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{\mathbf{x}}_n = \tilde{\mathbf{x}}_n + \mathbf{K}(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}_n) \quad (2.40)$$

ในที่นี้จะทราบอย่างไรว่าเป็นค่าที่เหมาะสมของตัวกรองคาลมาน จำเป็นต้องหาค่าอัตราขยายคาลมานหรือค่า K ควรจะมีค่าเท่าไร ซึ่งจากการพิจารณาค่าของเมตริกซ์ K ต้องเป็นพารามิเตอร์เปิดในตัวกรองแบบคาลมาน ดังนั้นจำเป็นต้องเลือกค่า K ให้มีความคลาดเคลื่อนประมาณค่าหลังต่ำสุด (ในค่าที่คาดหวัง) ซึ่งหาค่าได้ดังสมการที่ 2.41

$$\mathbf{e}_n = \mathbf{x}_n - \hat{\mathbf{x}}_n \quad (2.41)$$

ในการหาค่าคาดหวังความแปรปรวนคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่สภาวะปัจจุบันนั้นสามารถหาดังสมการที่ 2.42

$$E\{\mathbf{e}_n \mathbf{e}_n^T\} = E\{(\mathbf{x}_n - \hat{\mathbf{x}}_n)(\mathbf{x}_n - \hat{\mathbf{x}}_n)^T\} \quad (2.42)$$

แทนค่า $\hat{\mathbf{x}}_n$ ด้วยสมการที่ 2.41 ในสมการที่ 2.42 ได้ดังสมการที่ 2.43

$$E\{\mathbf{e}_n \mathbf{e}_n^T\} = E\{(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n - \mathbf{K}(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n))(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n - \mathbf{K}(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n))^T\} \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} &= E\{(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n)(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n)^T\} + E\{(\mathbf{K}(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n))(\mathbf{K}(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n))^T\} \\ &\quad - E\{(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n)(\mathbf{K}(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n))^T\} + E\{(\mathbf{K}(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n))(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n)^T\} \end{aligned} \quad (2.44)$$

จากสมการที่ 2.42 แทน $\tilde{\mathbf{P}}_n = E\{\tilde{\mathbf{e}}_n \tilde{\mathbf{e}}_n^T\}$

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_n &= \tilde{\mathbf{P}}_n + \mathbf{K}E\{(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n)(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n)^T\}\mathbf{K}^T - E\{(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n)(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n)^T\}\mathbf{K}^T \\ &\quad - \mathbf{K}E\{(\mathbf{y}_n - \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}_n)(\mathbf{x}_n - \bar{\mathbf{x}}_n)^T\} \end{aligned} \quad (2.45)$$

แทนค่าในสมการที่ 2.45 ด้วยสมการที่ 2.37 จะได้ดังสมการที่ 2.46 – สมการที่ 2.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-E\{(x_n - \bar{x}_n)(Cx_n + v_n - C\bar{x}_n)^T\}K^T - KE\{(Cx_n + v_n - C\bar{x}_n)(x_n - \bar{x}_n)^T\} \quad (2.46)$$

$$P_n = \bar{P}_n + KCE\{(x_n - \bar{x}_n)(x_n - \bar{x}_n)^T\}C^TK^T + KRK^T - E\{(x_n - \bar{x}_n)(x_n - \bar{x}_n)^T\}C^TK^T - KCE\{(x_n - \bar{x}_n)(x_n - \bar{x}_n)^T\} \quad (2.47)$$

$$= \bar{P}_n + KC\bar{P}_nC^TK^T + KRK^T - \bar{P}_nC^TK^T - KC\bar{P}_n \quad (2.48)$$

ทำการดิฟเฟอเรนเชียลในสมการที่ 2.48 และเทียบสมการที่ได้จากการดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ ศูนย์เพื่อหาค่าอัตราขยายกาลมาน

$$A = Ax A^T, \frac{\partial A}{\partial x} = 2xA^T \quad (2.49)$$

จากสมการที่ 2.49 สามารถหาค่าสมการที่ 2.48 ได้ตั้งสมการที่ 2.50 และ สมการที่ 2.51

$$\frac{\partial E\{e_n e_n^T\}}{\partial K} = 2C\bar{P}_nC^TK^T + 2RK^T - C\bar{P}_n - (\bar{P}_nC^T)^T = 0 \quad (2.50)$$

$$K^T = (C\bar{P}_nC^T + R)^{-1} C\bar{P}_n \quad (2.51)$$

$$K = \bar{P}_nC^T (C\bar{P}_nC^T + R)^{-1} \quad (2.51)$$

หาค่าการเปลี่ยนแปลงความแปรปรวนร่วมในสถานะ n หาได้จากสมการที่ 2.52

$$P_n = E\{e_n e_n^T\} \quad (2.52)$$

แทนค่า K เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพร้อมกับค่าอัตราขยายกาลมานในสถานะ n โดยแทนสมการที่ 2.50 ด้วยสมการที่ 2.49 ได้ตั้งสมการที่ 2.54 และสมการที่ 2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
P_n &= \tilde{P}_n + KC\tilde{P}_n C^T K^T + KRK^T - \tilde{P}_n C^T K^T - KC\tilde{P}_n \\
&= \tilde{P}_n + K(C\tilde{P}_n C^T K^T + R)K^T - \tilde{P}_n C^T K^T - KC\tilde{P}_n \\
&= \tilde{P}_n + \tilde{P}_n C^T (C\tilde{P}_n C^T + R)^{-1} (C\tilde{P}_n C^T + R) (C\tilde{P}_n C^T + R)^{-1} C\tilde{P}_n \\
&\quad - \tilde{P}_n C^T (C\tilde{P}_n C^T + R)^{-1} C\tilde{P}_n - KC\tilde{P}_n \\
&= \tilde{P}_n + \tilde{P}_n C^T (C\tilde{P}_n C^T + R)^{-1} C\tilde{P}_n - \tilde{P}_n C^T (C\tilde{P}_n C^T + R)^{-1} C\tilde{P}_n - KC\tilde{P}_n \quad (2.53)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \tilde{P}_n + KC\tilde{P}_n \\
&= (I - KC)\tilde{P}_n \quad (2.54)
\end{aligned}$$

หาค่าการเปลี่ยนแปลงความแปรปรวนร่วมสภาวะ $n+1$ ได้ดังสมการที่ 2.54

$$\tilde{P}_{n+1} = E\{e_{n+1}e_{n+1}^T\} = E\{(x_{n+1} - \hat{x}_{n+1})(x_{n+1} - \hat{x}_{n+1})^T\} \quad (2.55)$$

แทนสมการที่ 2.54 ด้วยสมการที่ 2.51 ได้ดังสมการที่ 2.55

$$\tilde{P}_{n+1} = E\{(Ax_n + Bu_n + w_n - A\hat{x}_n - Bu_n)(Ax_n + Bu_n + w_n - A\hat{x}_n - Bu_n)^T\} \quad (2.56)$$

$$= E\{(Ax_n - A\hat{x}_n)(Ax_n - A\hat{x}_n)^T + w_n(Ax_n - A\hat{x}_n)^T + (Ax_n - A\hat{x}_n)w_n^T + w_n w_n^T\} \quad (2.57)$$

$$= AE\{(x_n - \hat{x}_n)(x_n - \hat{x}_n)\} A^T + E\{w_n w_n^T\} \quad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการใช้เอกสารนี้เป็นการรับประกันความถูกต้องของเนื้อหา และต้องขออภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tilde{P}_{n+1} = AP_nA^T + Q \quad (2.59)$$

จากสมการที่ 2.40 ถึง สมการที่ 2.60 เป็นสมการคานมานฟิลเตอร์ไม่ต่อเนื่อง (The Discrete Kalman Filter Equations) ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นสมการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (The time update equations) ดังสมการที่ 2.60 และสมการที่ 2.61 ส่วนที่สองเป็นสมการเปลี่ยนแปลงตามการวัด (measurement of updated equations) ได้ดังสมการที่ 2.62 – 2.64 ซึ่งเขียนเป็นไคอะแกรมแสดงการประมาณค่าได้ดังภาพที่ 2.6 และลำดับขั้นตอนการคำนวณของการกรองคานมานแสดงดังภาพที่ 2.7

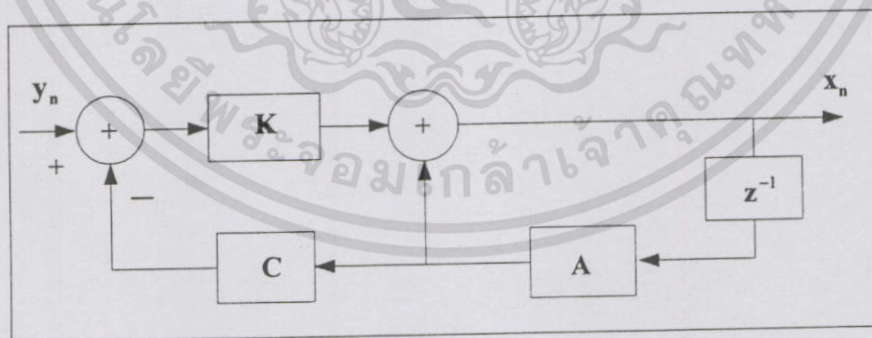
$$x_n = Ax_{n-1} + Bu_{n-1} \quad (2.60)$$

$$\tilde{P}_{n+1} = A_n P_n A_n^T + Q \quad (2.61)$$

$$K = \tilde{P}_n C^T (C_n \tilde{P}_n C^T + R)^{-1} \quad (2.62)$$

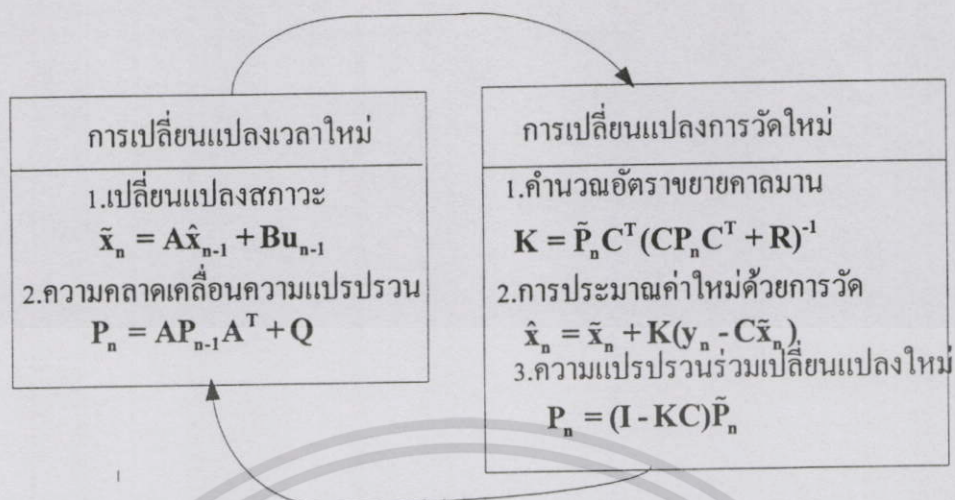
$$\hat{x}_n = \hat{x}_n + K(y_n - C\hat{x}_n) \quad (2.63)$$

$$P_n = (I + KC) \tilde{P}_n \quad (2.64)$$



รูปที่ 2.6 การประมาณค่า x_n จากการวัด y_n ของสถานะ n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ลำดับการคำนวณการกรองกาลมาน

จากการพิจารณาสมการที่ 2.60 ถึงสมการที่ 2.64 สรุปได้ว่า ถ้าการประมาณค่าภายหลังของสัญญาณรบกวนมีค่าเป็นศูนย์ อัตราขยายกาลมาน $\mathbf{K} = \mathbf{0}$ และถ้าสัญญาณรบกวนจากการวัดมีค่าเป็นศูนย์ อัตราขยายกาลมาน $\mathbf{K} = \mathbf{C}^{-1}$ โดยที่ตัวกรองกาลมานสามารถใช้ได้ดีกับระบบที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ขอมให้ประมาณค่าสถานะอดีต สถานะปัจจุบันและสถานะในอนาคต
2. ระบบต้องการรูปแบบของระบบไดนามิก (ที่ประมาณค่าน้อยๆ)
3. ต้องเป็นคิซติคอดฟิลด์เตอร์ที่สามารถสร้างขึ้นได้
4. เป็นการประมาณค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบเชิงเส้น
5. ถ้าต้องการใช้กับระบบไม่เชิงเส้นแล้วจะใช้เอ็กซ์เทนเดดคาลมาน (Extended Kalman)

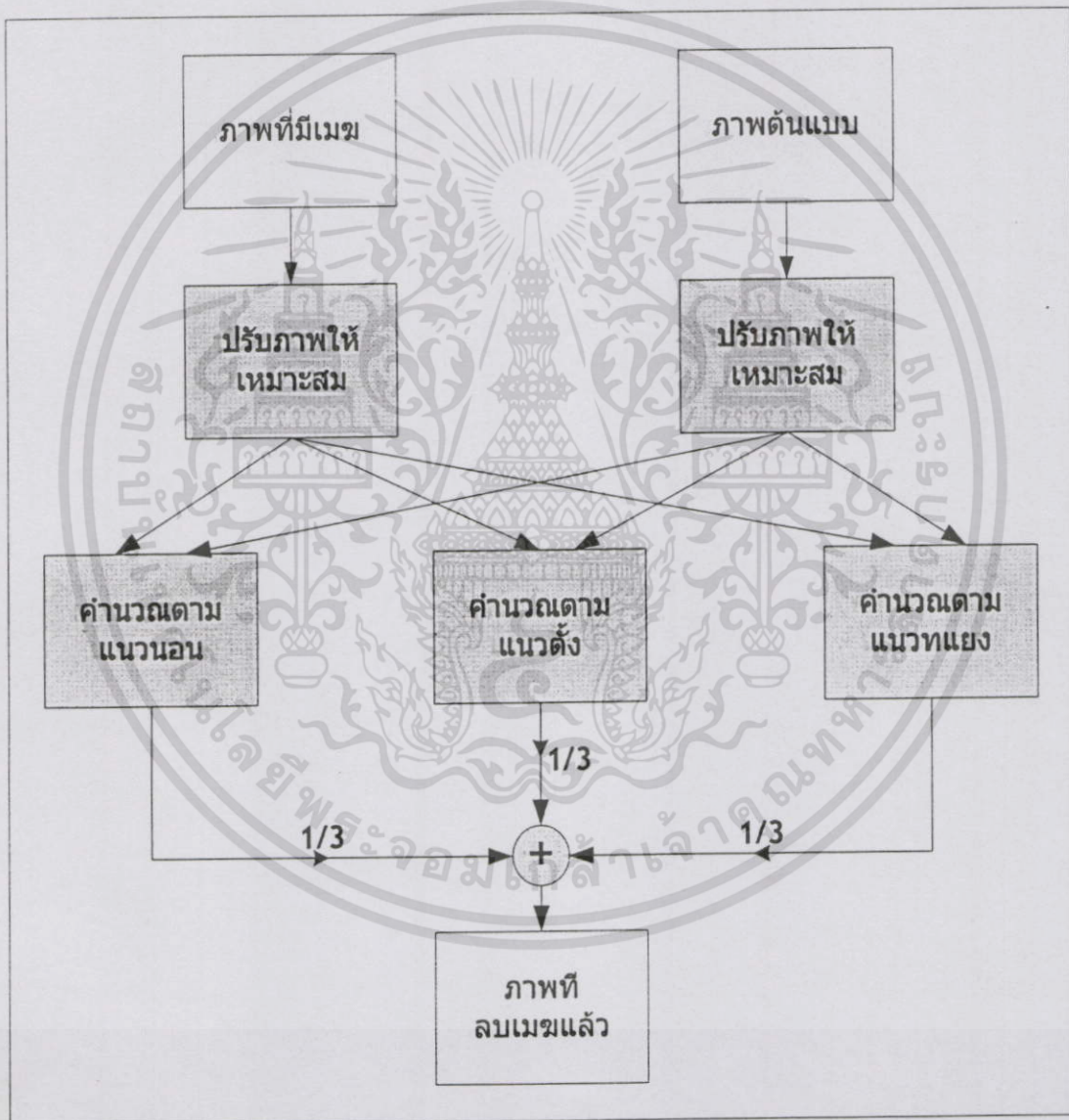
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ออกแบบการทดลอง

3.1 แผนผังการทำงาน

การออกแบบการทดลองของการลบเมฆออกจากภาพด้วยคาลมานฟิลเตอร์โดยเทคนิคการกระทำหลายแกน มีลำดับการทำงานตามแผนผังที่แสดงในรูปที่ 3.1 [1-5]



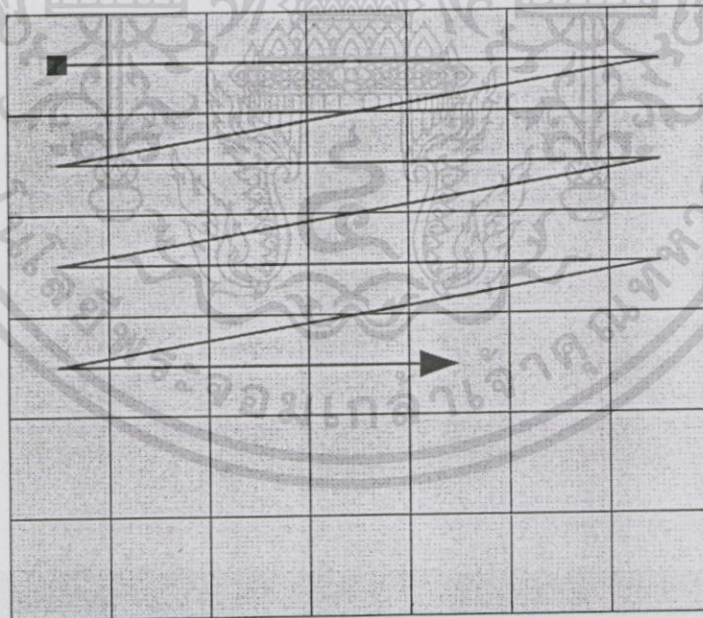
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของการลบเมฆออกจากภาพด้วยคาลมานฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาแผนผังตามรูปที่ 3.1 จะเริ่มจากด้านบนสุด เมื่อได้ภาพที่ต้องการลบเมฆออก และภาพต้นแบบแล้ว ก่อนที่จะทำการประมวลผล ต้องปรับภาพให้เข้ากันได้ทั้งตำแหน่งในภาพ และขนาดของภาพจะต้องเท่ากัน เพื่อการคำนวณที่มีประสิทธิภาพ เมื่อปรับภาพทั้งสองเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการคำนวณตามหลักการของกาลมานฟิลเตอร์เพื่อลบเมฆออกในแนวนอนจะได้ภาพเอาท์พุทออกมา 1 ภาพ จากนั้นจะทำการคำนวณเพื่อลบเมฆออกในแนวตั้งจะได้ภาพเอาท์พุทออกมา 1 ภาพ และจะทำการคำนวณเพื่อลบเมฆออกในแนวทแยงจะได้ภาพเอาท์พุทออกมาอีก 1 ภาพ ทั้งหมด 3 ภาพ จะนำเอาภาพเอาท์พุททั้งสามภาพนี้มาเฉลี่ยกันเพื่อปรับบางจุดของผลที่ได้จากการคำนวณในแกนหนึ่งๆ ที่มีความผิดพลาดมากให้มีความผิดพลาดน้อยลง จะได้ภาพเอาท์พุทสุดท้ายออกมา เป็นภาพที่ลบเมฆออกแล้ว

3.2 การลบเมฆออกจากภาพด้วยกาลมานฟิลเตอร์

การคำนวณของการลบเมฆออกจากภาพด้วยกาลมานฟิลเตอร์จะทำการคำนวณที่ละจุดภาพ เริ่มจากซ้ายมือ เรียงไปตามแนวนอน เมื่อพอดีกับความกว้างของภาพแล้วก็จะคำนวณจุดที่อยู่แถวถัดไปด้านล่างซ้ายมือสุด จากนั้นจะคำนวณเรียงไปตามแนวนอนอย่างนี้ไปเรื่อยๆ แบบซิกแซก จนครบทุกจุด ตามรูปที่ 3.2 [1-5, 9, 10]



รูปที่ 3.2 ลำดับจุดที่ทำการคำนวณเรียงตามแนวนอนแบบซิกแซก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังสาธารณะ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งยังเป็นตัวอย่างที่สอนและฝึกงานแล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.6 ตัวกรองกาล
มานไม่ต่อเนื่อง โค้ดที่ใช้คำนวณแสดงดังรูปที่ 3.3 และโฟลว์ชาร์ตดูได้จากรูปที่ 3.4

Code :

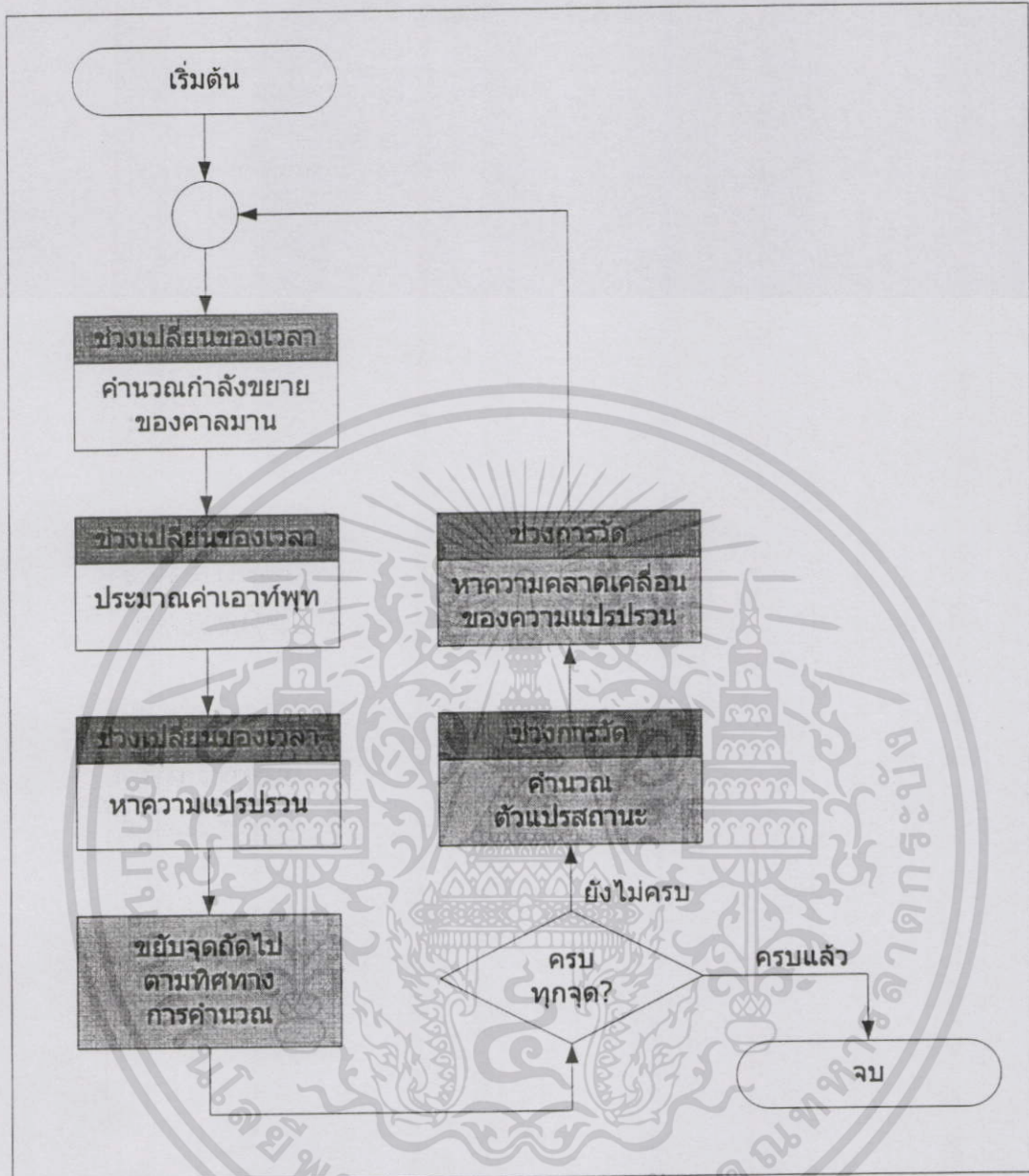
```

for my = 1:MR,
    for mx = 1:MC,
        if kfinit==0
            xp = [imb(1,1),imb(1,1),0,0]';
        else
            xp=A*x' + Bu;
        end
        kfinit=1;
        PP = A*P*A' + Q;
        K = PP*H'*inv(H*PP*H'+R);
        x = (xp + K*([ima(my,mx),ima(my,mx)]' - H*xp))';
        P = (eye(4)-K*H)*PP;
        my
        imi(my,mx) = x(1,1);
    end
end
end

```

รูปที่ 3.3 โค้ดในส่วนของกำนวนแต่ละจุด และการสแกนแบบซิกแซกตามแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

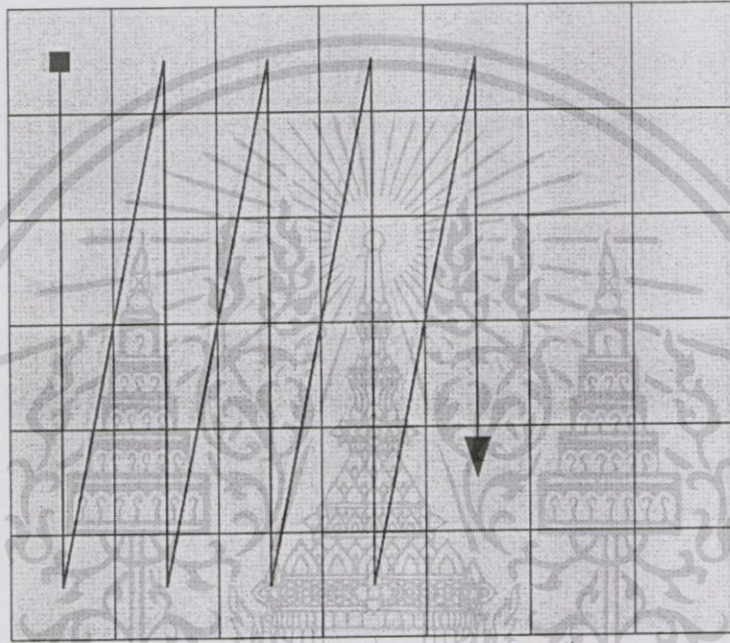


รูปที่ 3.4 โฟลวชาร์ตในส่วนของ การคำนวณแต่ละจุด และการสแกนแบบซิกแซกตามแนวนอน

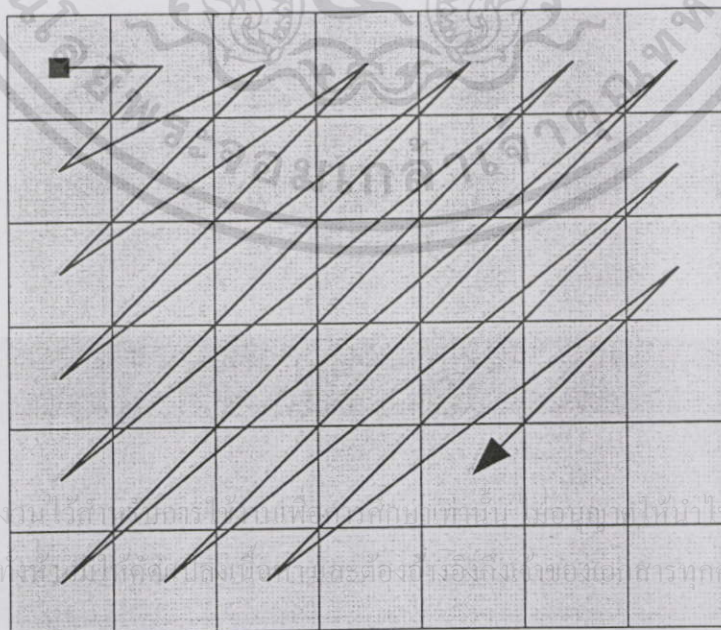
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การลบเมฆออกจากภาพด้วยคาสมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน

การลบเมฆออกจากภาพด้วยคาสมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกนจะเป็นการคำนวณแบบเดียวกันกับ การลบเมฆออกจากภาพด้วยคาสมานฟิลเตอร์ ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 โดยที่จะเป็นการคำนวณที่ละจุดเรียงไปตามแนวนอน แต่การลบเมฆออกจากภาพด้วยคาสมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน จะทำการคำนวณที่ละจุดเรียงไปในแนวตั้ง ดังที่แสดงในภาพที่ 3.5 และมีการคำนวณที่ละจุดเรียงกันไปแบบทแยงด้วยแสดงทิศทางการคำนวณไว้ในรูปที่ 3.6 [1-5]



รูปที่ 3.5 ลำดับจุดที่ทำการคำนวณเรียงตามแนวตั้งแบบซิกแซก



รูปที่ 3.6 ลำดับจุดที่ทำการคำนวณเรียงตามทแยงแบบซิกแซก

ถึงแม้ว่าจะทำการคำนวณทั้งสามแกนเรียบร้อยแล้วแต่จะยังไม่เสร็จสิ้นกระบวนการ เหลือเพียงแต่การนำเอาผลจากการคำนวณของทั้งสามแกนมาเฉลี่ยกันเสียก่อน เพื่อปรับความผิดพลาดที่แต่ละแกนมีความสามารถในการลบเมฆได้แตกต่างกัน เมื่อเฉลี่ยกันเรียบร้อยแล้วจึงจะถือว่าเสร็จสิ้นการลบเมฆออกจากภาพตามหลักการที่นำเสนอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

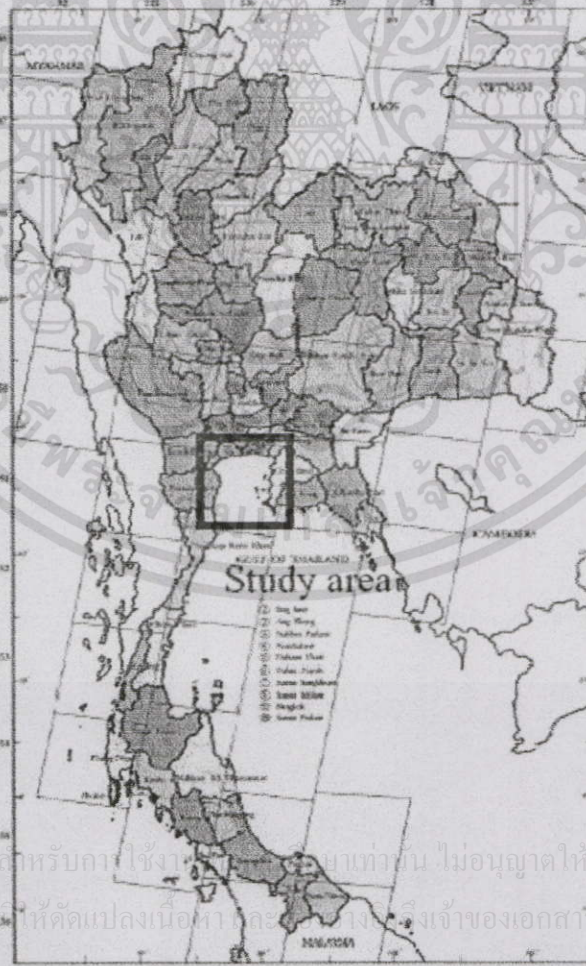
บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองของการลบเมฆออกจากภาพด้วยคลาสมานฟิลเตอร์โดยเทคนิคการกระทำหลายแกน จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการลบเมฆออกจากภาพด้วยคลาสมานฟิลเตอร์ โดยเทคนิคการกระทำหลายแกนด้วยคลาสมานฟิลเตอร์ และส่วนที่สองจะเป็นการทดลองเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอนี้เทียบกับวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่(Background Reference)

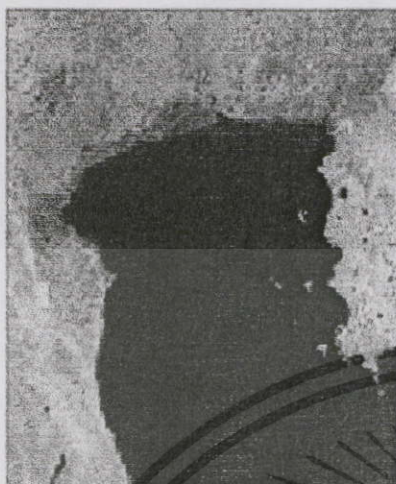
4.1 การลบเมฆออกจากภาพด้วยคลาสมานฟิลเตอร์โดยเทคนิคการกระทำหลายแกน

ภาพที่ใช้ในการทดลองจะเป็นภาพที่ได้จากดาวเทียม LANDSAT-5 TM เฉพาะในส่วนของหลักที่ 129 แถวที่ 51 อยู่ในราชอาณาจักรไทย ดังรูปที่ 4.1 สำหรับภาพดินแบบถ่ายไว้เมื่อวันที่ 26 มีนาคม 2548 ดังรูปที่ 4.2 และภาพที่จะทำการลบเมฆออกถ่ายไว้เมื่อวันที่ 29 เมษายน 2548 ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งในการถ่ายภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และสงวนลิขสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปที่ถ่ายเมื่อวันที่ 26 มีนาคม 2548



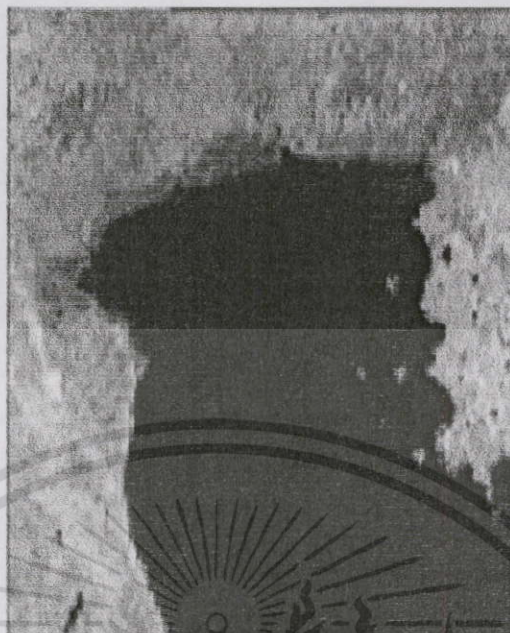
รูปที่ 4.3 รูปที่ถ่ายเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2548

เมื่อทำการลบเมฆออกจากภาพด้วยกาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวนอน จะได้ผลดังรูปที่ 4.4
ทำการลบเมฆออกจากภาพด้วยกาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวตั้ง จะได้ผลดังรูปที่ 4.5 และทำการลบ
เมฆออกจากภาพด้วยกาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวทแยง จะได้ผลดังรูปที่ 4.6 และเมื่อนำผลของการ
ลบเมฆทั้งสามแกนมาเฉลี่ยกันจะได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.4 ผลที่ได้จากการลบเมฆด้วยกาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

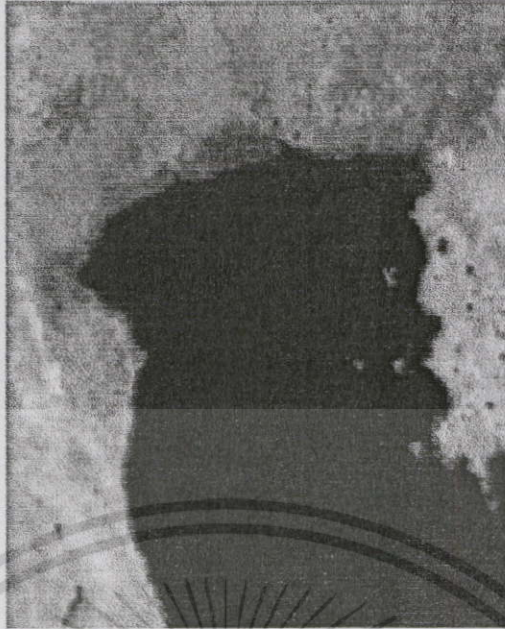


รูปที่ 4.5 ผลที่ได้จากการลบเมฆด้วยคาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวตั้ง



รูปที่ 4.6 ผลที่ได้จากการลบเมฆด้วยคาลมานฟิลเตอร์เฉพาะทแยง

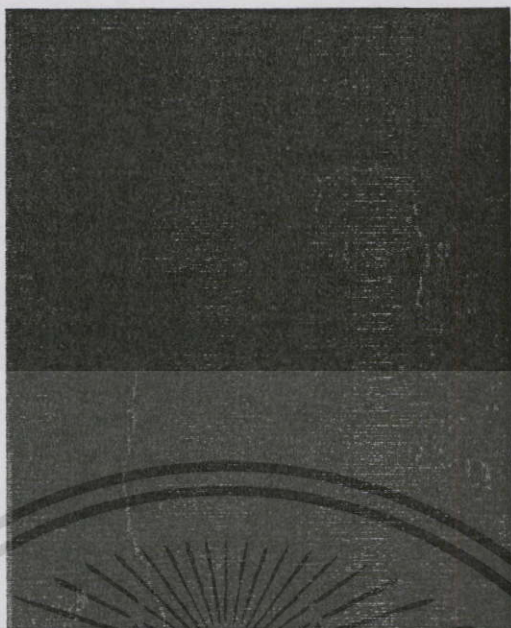
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลที่ได้จากการลบเมฆด้วยคาลมานฟิลเตอร์ทั้งสามแกนเฉลี่ยกัน

ผลจากการลบเมฆออกจากภาพด้วยคาลมานฟิลเตอร์ จะนำไปเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ โดยที่ผลของการเปรียบเทียบภาพ ที่ลบเมฆออกด้วยคาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวนอน หักล้างกับภาพต้นแบบได้แสดงดังรูปที่ 4.8 ผลของการเปรียบเทียบภาพ ที่ลบเมฆออกด้วยคาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวตั้ง หักล้างกับภาพต้นแบบได้แสดงดังรูปที่ 4.9 ผลของการเปรียบเทียบภาพ ที่ลบเมฆออกด้วยคาลมานฟิลเตอร์เฉพาะแนวทแยง หักล้างกับภาพต้นแบบได้แสดงดังรูปที่ 4.10 และผลของการเปรียบเทียบภาพ ที่ลบเมฆออกด้วยคาลมานฟิลเตอร์ทั้งสามแกนเฉลี่ยกัน หักล้างกับภาพต้นแบบได้แสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งคำนวณหาความแตกต่างของภาพด้วยวิธี Root Mean Square ได้ค่าเป็น 2, 2, 4 และ 2.6667 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

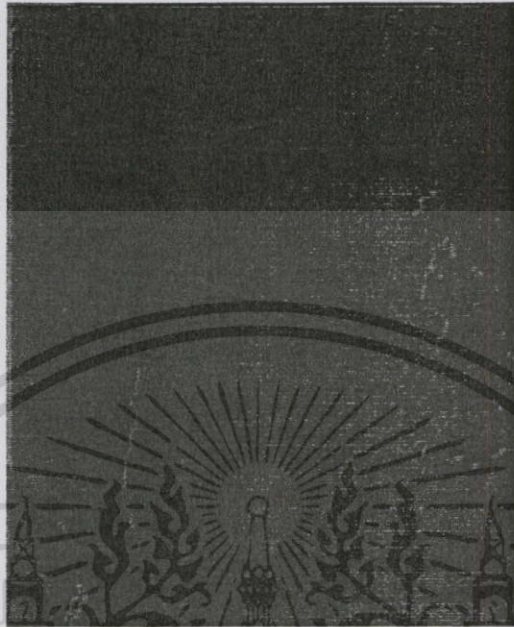


รูปที่ 4.8 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในแนวนอนหักล้างด้วยภาพต้นแบบ

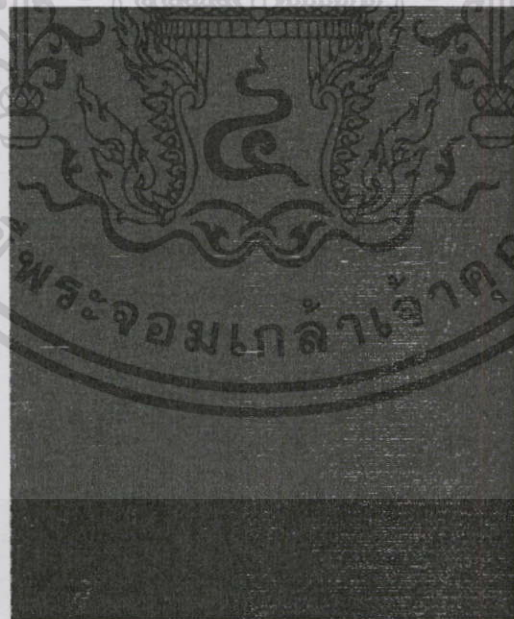


รูปที่ 4.9 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในแนวตั้งหักล้างด้วยภาพต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในแนวทแยงหักล้างด้วยภาพต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.11 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในสามแกนเฉลี่ยกันหักล้างด้วยภาพต้นแบบ

นอกจากจะทำการหาผลต่างของภาพที่ลบเมฆออกเทียบกับภาพต้นแบบแล้ว ยังได้ทำการทดลองเปรียบเทียบภาพที่ลบเมฆออกเทียบกับภาพก่อนที่จะลบเมฆออก โดยผลที่ได้จากการนำภาพที่ลบเมฆตามแนวอนเทียบกับภาพก่อนลบเมฆได้ผลดังรูปที่ 4.12 ผลที่ได้จากการนำภาพที่ลบเมฆตามแนวตั้งเทียบกับภาพก่อนลบเมฆได้ผลดังรูปที่ 4.13 ผลที่ได้จากการนำภาพที่ลบเมฆตามแนวทแยงเทียบกับภาพก่อนลบเมฆได้ผลดังรูปที่ 4.14 และ ผลที่ได้จากการนำภาพที่ลบเมฆทั้งสามแกนเฉลี่ยกันเทียบกับภาพก่อนลบเมฆได้ผลดังรูปที่ 4.15 ซึ่งคำนวณหาความแตกต่างของภาพด้วยวิธี Root Mean Square ได้ค่าเป็น 5, 5, 3 และ 4.3333 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในแนวนอนหักล้างด้วยภาพภาพก่อนลบเมฆ



รูปที่ 4.13 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในแนวตั้งหักล้างด้วยภาพภาพก่อนลบเมฆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วในแนวทแยงหักล้างด้วยภาพภาพก่อนลบเมฆ



รูปที่ 4.15 ผลของภาพที่ลบเมฆออกแล้วทั้งสามแกนเฉลี่ยกันหักล้างด้วยภาพก่อนลบเมฆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเปรียบเทียบการลบเมฆโดยวิธีที่นำเสนอ เทียบกับ วิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่

การลบเมฆออกจากภาพที่เราสนใจนั้นด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่ (Background Reference) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และใช้เวลาในการคำนวณน้อย แต่ก็ยังมีผลที่คลาดเคลื่อนไปมากในภาพบางกรณี ส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณแบบใช้ภาพอ้างอิงคงที่เทียบกับ วิธีคาถมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน

ภาพต้นแบบที่ใช้จะเป็นภาพเดียวกับผลการทดลองในส่วนแรก คือภาพที่ได้จากการถ่ายของ LANDSAT-5 TM เมื่อวันที่ 26 มีนาคม 2548 และภาพที่จะทำการลบภาพออก ก็มาจากการทดลองส่วนแรกเช่นกัน คือภาพที่ได้จากการถ่ายของ LANDSAT-5 TM เมื่อวันที่ 29 เมษายน 2548 แสดงดังรูปที่ 4.16(ก) และ รูปที่ 4.16(ข) ตามลำดับ



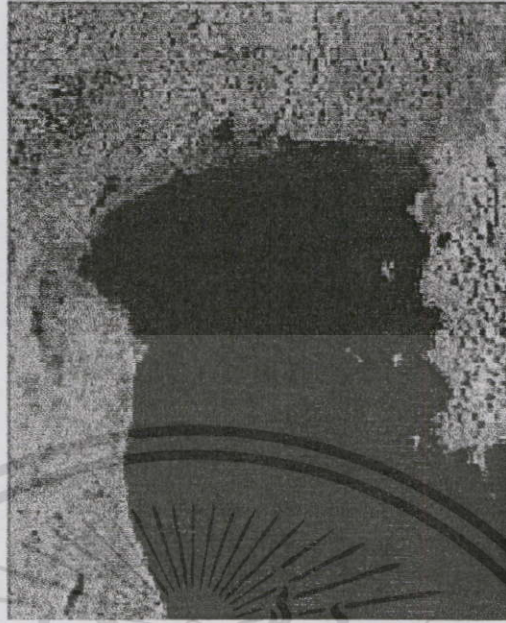
(ก.) ถ่ายเมื่อวันที่ 26 มีนาคม 2548

(ข.) ถ่ายเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2548

รูปที่ 4.16 คือภาพที่ได้จากการถ่ายของ LANDSAT-5 TM

ผลที่ได้จากการลบภาพด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่ แสดงดังรูปที่ 4.17 และผลของการลบเมฆออกจากภาพด้วยวิธีคาถมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน แสดงดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



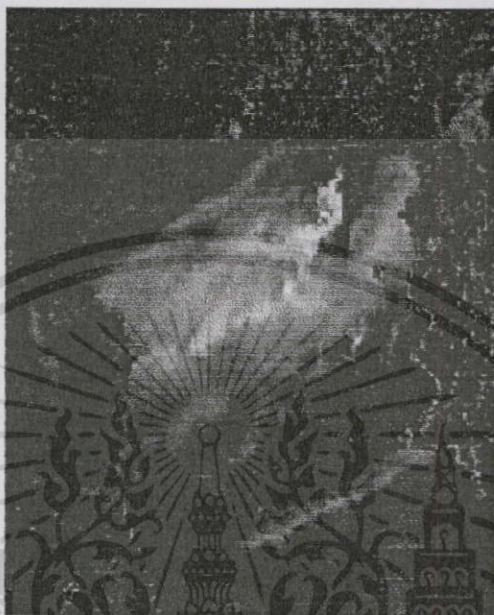
รูปที่ 4.17 รูปที่ได้จากการลบเมฆด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่



รูปที่ 4.18 ผลของการลบเมฆด้วยวิธีคาลมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลองเปรียบเทียบเมฆที่ถูกลบออกไป ด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่ ได้ผลตามรูปที่ 4.19
 เทียบกับภาพเมฆที่ถูกลบออกไปด้วยวิธีคาลมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน ได้ผลตามรูปที่
 4.20



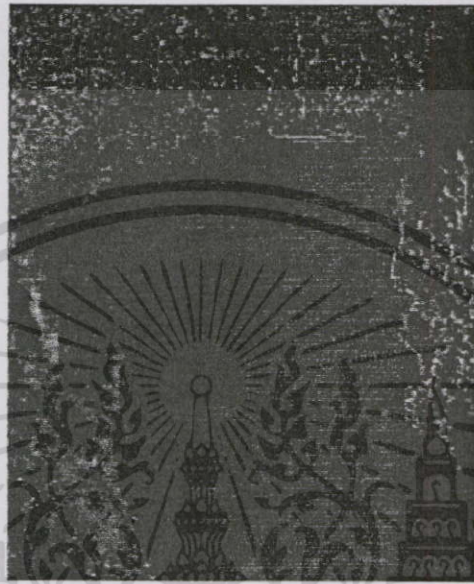
รูปที่ 4.19 ผลภาพเมฆที่ถูกลบออกไปด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่



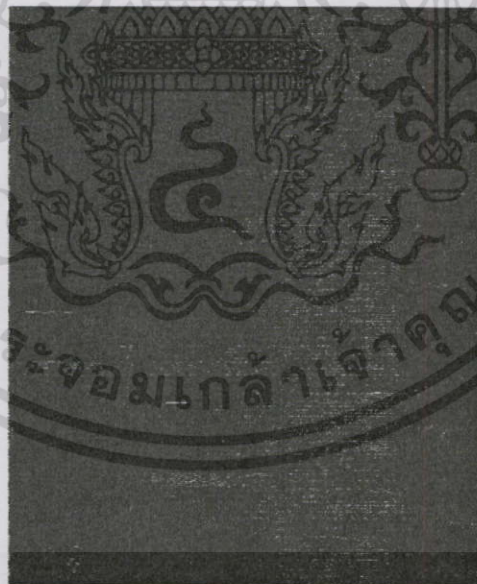
รูปที่ 4.20 ผลภาพเมฆที่ถูกลบออกไปด้วยวิธีคาลมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลองเปรียบเทียบผลต่างของภาพเมฆที่ถูกลบออก กับ ภาพต้นแบบ ด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิง
 คงที่ ได้ผลตามรูปที่ 4.21 และคำนวณค่าความต่างของภาพด้วยวิธี ค่าเฉลี่ยกำลังสอง ได้ 36.116
 เทียบกับภาพผลต่างของภาพเมฆที่ถูกลบออก กับ ภาพต้นแบบด้วยวิธีคาลมานฟิลเตอร์โดยใช้
 เทคนิคหลายแกน ได้ผลตามรูปที่ 4.22 ซึ่งมีค่าความต่างของภาพเป็น 2.6667



รูปที่ 4.21 ผลต่างของการลบเมฆด้วยวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่เทียบกับภาพต้นแบบ



รูปที่ 4.22 ผลต่างของการลบเมฆด้วยวิธีคาลมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกนเทียบกับภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นแบบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ว่า การลบเมฆออกจากภาพที่ต้องการด้วย
คาลมานฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกน นั้นสามารถที่จะลบเมฆออกจากภาพที่ต้องการได้อย่าง
แนบเนียนเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ นอกจากนี้จากการทดลองในส่วนที่ทำการเปรียบเทียบ
หลักการที่น่าเสนอเทียบกับวิธีใช้ภาพอ้างอิงคงที่ จะเห็นได้ว่าผลของการลบเมฆด้วยวิธีใช้คาลมาน
ฟิลเตอร์โดยใช้เทคนิคหลายแกนมีความสามารถในการลบภาพออกจากเมฆได้ดีกว่า วิธีใช้ภาพ
อ้างอิงคงที่ อย่างเห็นได้ชัดจากรูปที่เปรียบเทียบให้เห็น และค่าความต่างของภาพที่ได้จากการ
คำนวณ

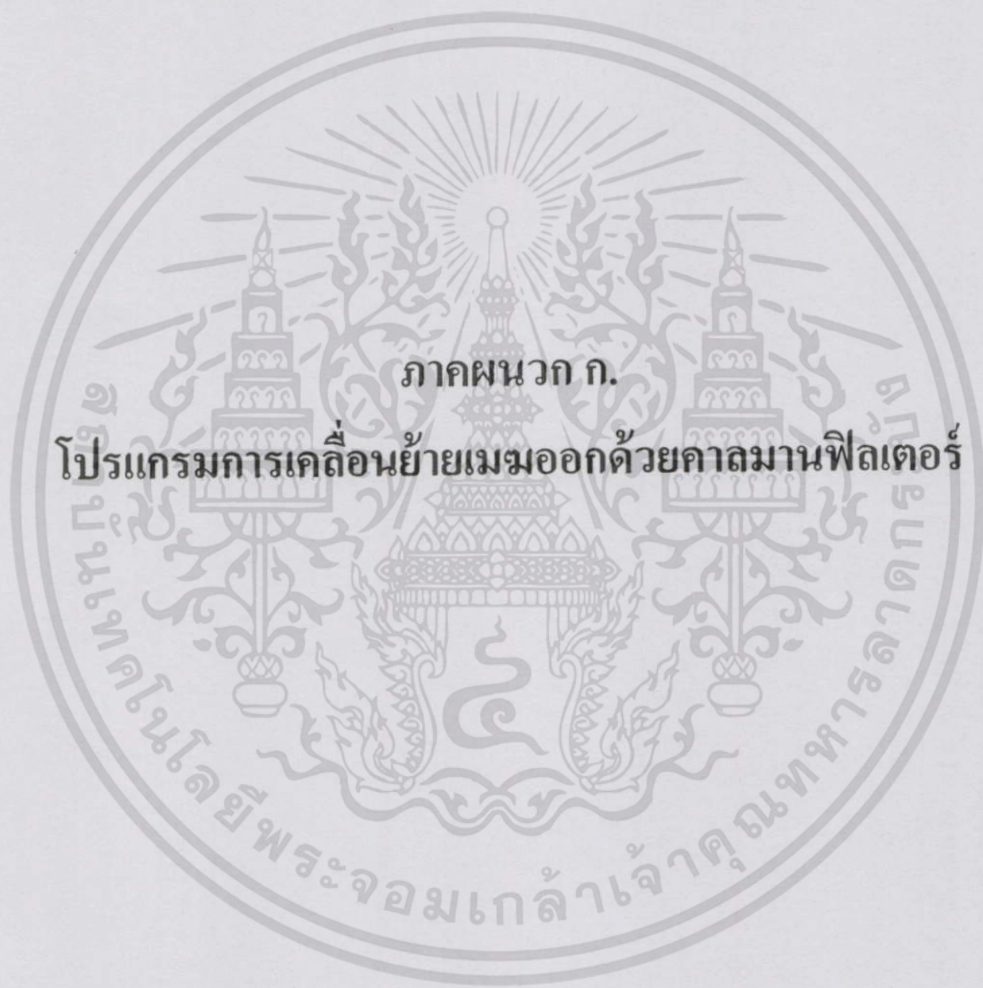
การลบเมฆด้วยวิธีที่น่าเสนอนี้สามารถนำไปใช้ในการลบเมฆออกจากภาพได้ แต่ยังเป็นใน
ขั้นตอนการวิจัยอยู่ ซึ่งการใช้งานจริงอาจจะต้องพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์จึงจะ
เหมาะแก่การใช้งานจริง หากสามารถนำไปใช้งานได้ ในการซื้อเครื่องมีราคาแพงในการ
ถ่ายภาพที่ไม่ต้องการเมฆ จะเป็นการประหยัดเงินตราได้เป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Cheevasuvit, K. Dejhan and T. Tanapapanich, "Cloud cover and cloud shadow removing based on 2-dimensional histogram," ACRS1992, Oct. 1992.
- [2] J. Nunez, X. Otazu and R. Ardiol, "Multiresolution-Based Image Fusion with Additive Wavelet Decomposition," IEEE Tran, Geoscience and Remote Sensing, vol.37, No.3, pp. 1203-1211, May 1999.
- [3] S. Wisetphanichkij, K. Dejhan and F. Cheevasuvit, "Multi-temporal Cloud Removing Based on Image Fusion with Additive Wavelet decomposition", ACRS1999, Oct. 1999.
- [4] M. H. Hayes, *Statistical Digital Signal Processing and Modeling*, John Wiley & Sons Inc., USA, 1996.
- [5] R. C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, USA, Sep. 1993.
- [6] "Digital Image Processing for Remote Sensing," edited by Ralph Bernstein, IEEE Press, 1978.
- [7] P.C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital image processing," Addison-Wesley Publishing Company, 1987.
- [8] N. Ahmed and K.R. Rao, "Orthogonal Transforms for digital signal processing," Springer-Verlag, New York 1975.
- [9] Mohinder S. Grewal and Angus P. Andrews. *Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB*. New York: John Wiley & Sons, 2001
- [10] Brian, D. O. Anderson and J. B. Moore, *Optimal Filter*, Prentice-Hall, 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

โปรแกรมการเคลื่อนย้ายเมมออกด้วยคาลมานฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clear all;

close all;

clc;

% compute the background image

im_b = imread('b.bmp');

figure(1); imshow(im_b);

im_b = double(im_b);

imb = im_b(:, :, 1);

[MR,MC,Dim] = size(imb);

% Kalman filter initialization
R=[[0.2845,0.0045],[0.0045,0.0455]'];
H=[[1,0],[0,1],[0,0],[0,0]'];

Q=0.01*eye(4);
P = 100*eye(4);
dt=1;
A=[[1,0,0,0],[0,1,0,0],[dt,0,1,0],[0,dt,0,1]'];
g = 6;
Bu = [0,0,0,g]';
kfinit=0;
x=zeros(100,4);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

im_a = imread('a.bmp');
figure(2);imshow(im_a)
im_a = double(im_a);
ima = im_a(:,:,1);
%imo = im_b;
%-----
% horizontal scan
for my = 1:MR,
    for mx = 1:MC,
        if kfinit==0
            xp = [imb(1,1),imb(1,1),0,0]';
        else
            xp=A*x' + Bu;
        end
        kfinit=1;
        PP = A*P*A' + Q;
        K = PP*H'*inv(H*PP*H'+R);
        x = (xp + K*([ima(my,mx),ima(my,mx)]' - H*xp))';
        P = (eye(4)-K*H)*PP;
    my
        imi(my,mx) = x(1,1);
    end
end
im_i(:,:,1) = imi(:,:,1);
im_i(:,:,2) = imi(:,:,2);

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรอิจใด ๆ ทั้งสิ้น ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
im_i(:, :, 3) = imi(:, :, 3);
```

```
im_i = uint8(imi);
```

```
figure(3); imshow(im_i);
```

```
title('Horizontal');
```

```
%-----
% vertical scan
for mx = 1:MC,
    for my = 1:MR,
        if kfini==0
            xp = [imb(1,1),imb(1,1),0,0]';
        else
            xp=A*x' + Bu;
        end
        kfini=1;
        PP = A*P*A' + Q;
        K = PP*H'*inv(H*PP*H'+R);
        x = (xp + K*([ima(my,mx),ima(my,mx)]' - H*xp))';
        P = (eye(4)-K*H)*PP;
    end
    mx
    imj(my,mx) = x(1,1);
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีให้นำไปใช้

```
im_j(:, :, 1) = imj(:, :);
```

```
im_j(:, :, 2) = imj(:, :);
```

```
im_j(:, :, 3) = imj(:, :);
```

```
im_j = uint8(imj);
```

```
figure(4); imshow(im_j);
```

```
title('Vertical');
```

```
%-----
```

```
% Diagonal scan
```

```
n = MR;
```

```
m = MC;
```

```
imb = imb';
```

```
ima = ima';
```

```
imk(m,n) = 0
```

```
k = 1;
```

```
for i=n-1:-1:0;
```

```
    for j=1:m-i
```

```
        % g(j+i,j) = k
```

```
        if kfini==0
```

```
            xp = [imb(1,1),imb(1,1),0,0]';
```

```
        else
```

```
            xp=A*x' + Bu;
```

```
        end
```

```
        kfini=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PP = A*P*A' + Q;

K = PP*H'*inv(H*PP*H'+R);

x = (xp + K*([ima(j+i,j),ima(j+i,j)]' - H*xp))';

P = (eye(4)-K*H)*PP;

imk(j+i,j) = x(1,1);

end

end

for i = 1:n-m-1

    for j = 1:m

%       g(j,j+i) = k

        if kfinit==0

            xp = [imb(1,1),imb(1,1),0,0]';

        else

            xp=A*x' + Bu;

        end

        kfinit=1;

        PP = A*P*A' + Q;

        K = PP*H'*inv(H*PP*H'+R);

        x = (xp + K*([ima(j,j+i),ima(j,j+i)]' - H*xp))';

        P = (eye(4)-K*H)*PP;

        imk(j,j+i) = x(1,1);

    end

end

end

for i=0:n-1,
    for j=1:m-i

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% g(j,j+i+n-m) = k
if kfinit==0
    xp = [imb(1,1),imb(1,1),0,0]';
else
    xp=A*x' + Bu;
end
kfinit=1;
PP = A*P*A' + Q;
K = PP*H'*inv(H*PP*H'+R);
x = (xp + K*([ima(j,j+i+n-m),ima(j,j+i+n-m)]' - H*xp))';
P = (eye(4)-K*H)*PP;
imk(j,j+i+n-m) = x(1,1);
end
end
im_k(:,1) = imk(:,1);
im_k(:,2) = imk(:,2);
im_k(:,3) = imk(:,3);

im_k = uint8(imk);
im_k = im_k';
figure(5); imshow(im_k);
title('Diagonal');

%////////////////////////////////////

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
clear all;
```

```
close all;
```

```
clc;
```

```
load im_a;
```

```
load im_b;
```

```
load im_i;
```

```
load im_j;
```

```
load im_k;
```

```
ima = double(im_a);
```

```
imb = double(im_b);
```

```
imi = double(im_i);
```

```
imj = double(im_j);
```

```
imk = double(im_k);
```

```
imijk = (imi+imj+imk)/3;
```

```
imia = abs(imi-ima);
```

```
imja = abs(imj-ima);
```

```
imka = abs(imk-ima);
```

```
imib = abs(imi-imb);
```

```
imjb = abs(imj-imb);
```

```
imkb = abs(imk-imb);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้เพื่อรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

imijka = abs(imijk-ima);
imijkb = abs(imijk-imb);

imx = imijka;
rms = 0;
[y x] = size(imx)
for i = 1 : x,
    for j = 1 : y,
        rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);
    end
end
rms_imijka = sqrt(rms / x / y);

imx = imijkb;
rms = 0;
[y x] = size(imx)
for i = 1 : x,
    for j = 1 : y,
        rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);
    end
end
rms_imijkb = sqrt(rms / x / y);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
imx = imia;
```

```

rms = 0;
[y x] = size(imx)
for i = 1 : x,
    for j = 1 : y,
        rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);
    end
end
rms_imia = sqrt(rms / x / y);

```

```

imx = imja;
rms = 0;
[y x] = size(imx)
for i = 1 : x,
    for j = 1 : y,
        rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);
    end
end
rms_imja = sqrt(rms / x / y);

```

```

imx = imka;
rms = 0;
[y x] = size(imx)
for i = 1 : x,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);

```

```

end

end

rms_imka = sqrt(rms / x / y);

imx = imib;

rms = 0;

[y x] = size(imx)

for i = 1 : x,
    for j = 1 : y,
        rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);
    end
end

rms_imib = sqrt(rms / x / y);

imx = imjb;

rms = 0;

[y x] = size(imx)

for i = 1 : x,
    for j = 1 : y,
        rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);
    end
end

end

rms_imjb = sqrt(rms / x / y);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
imx = imkb;
```

```

rms = 0;
[y x] = size(imx)
for i = 1 : x,
    for j = 1 : y,
        rms = rms + imx(y,x) * imx(y,x);
    end
end
rms_imkb = sqrt(rms / x / y);

```

```

im_ia = uint8(imia);
im_ja = uint8(imja);
im_ka = uint8(imka);
im_ib = uint8(imib);
im_jb = uint8(imjb);
im_kb = uint8(imkb);
im_ijk = uint8(imijk);
im_ijka = uint8(imijka);
im_ijkb = uint8(imijkb);

```

```

i = 1;
figure(i); imshow(im_a); i = i+1;

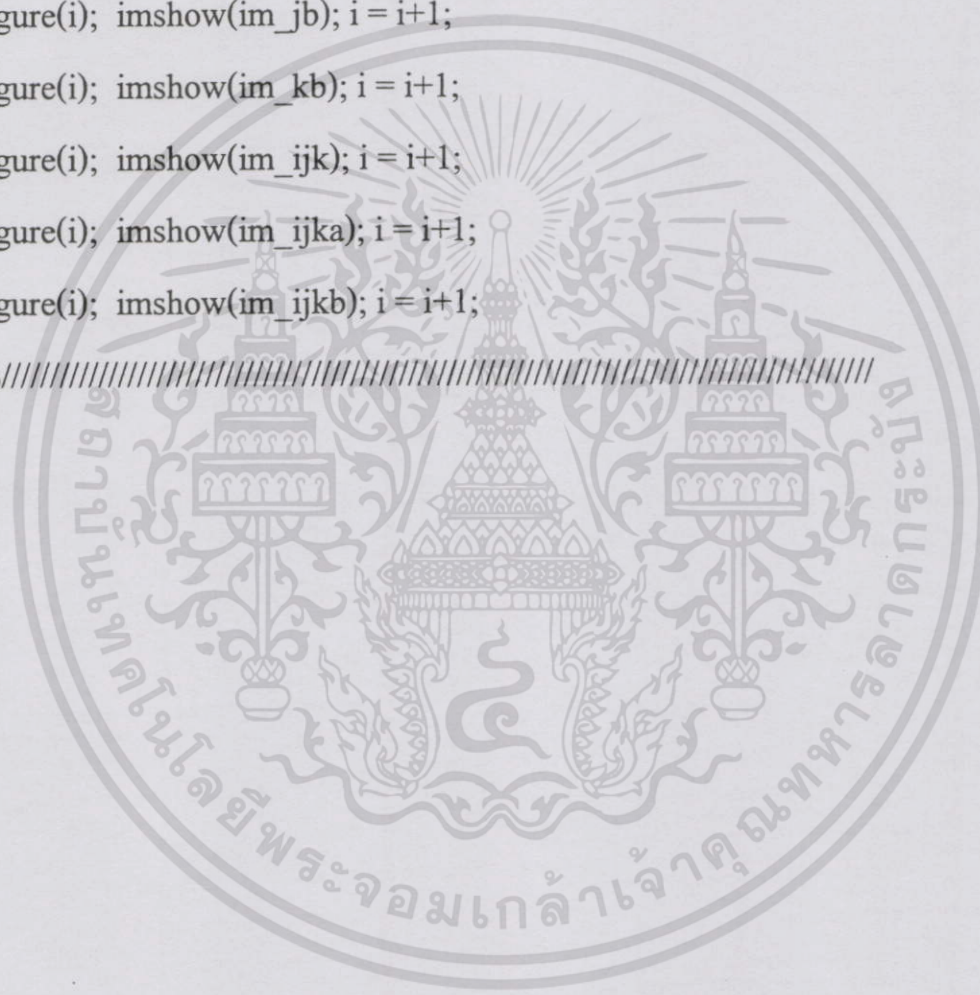
```

เอกสารนี้ figure(i); imshow(im_b); i = i+1; เป็นการศึกษานั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

figure(i); imshow(im_j); i = i+1;
figure(i); imshow(im_k); i = i+1;
figure(i); imshow(im_ia); i = i+1;
figure(i); imshow(im_ja); i = i+1;
figure(i); imshow(im_ka); i = i+1;
figure(i); imshow(im_ib); i = i+1;
figure(i); imshow(im_jb); i = i+1;
figure(i); imshow(im_kb); i = i+1;
figure(i); imshow(im_ijk); i = i+1;
figure(i); imshow(im_ijka); i = i+1;
figure(i); imshow(im_ijkb); i = i+1;
%////////////////////////////////////

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

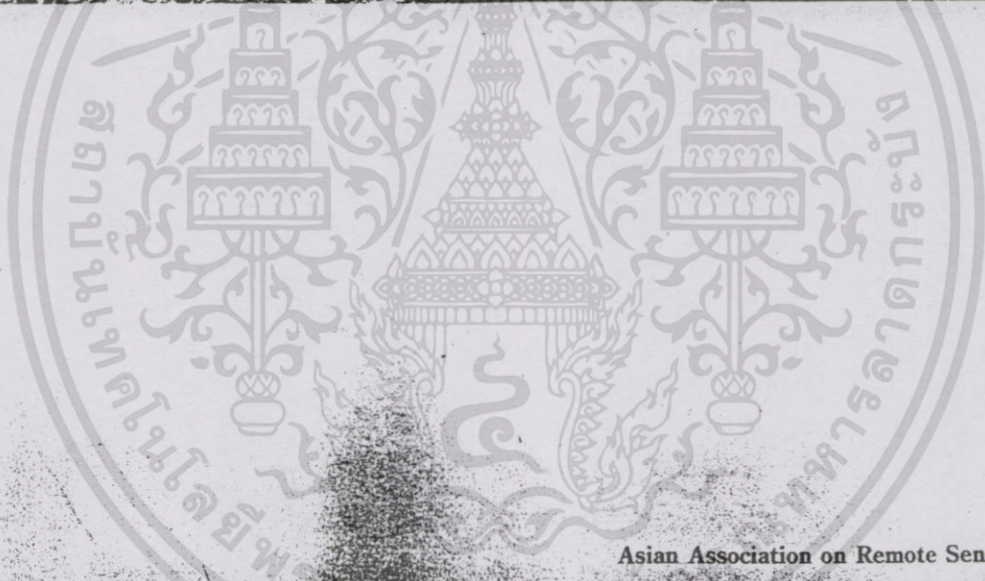
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceedings **1**

VOLUME



THE 25th ACRS Silver Jubilee



Asian Association on Remote Sensing (AARS)

Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization)

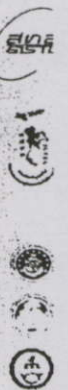
Remote Sensing and GIS Association of Thailand

Japan Association of Remote Sensing

Air Force Office of Scientific Research

Asian Office of Aerospace R&D

US Army Asian Research Office



เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ...
ไม่ว่ากรณีใด...

**Proceedings of
The 25th Asian Conference
on Remote Sensing
Volume 1**

22-26 November 2004

**Sheraton Chiang Mai Hotel,
Chiang Mai, THAILAND**

Organized by

Asian Association on Remote Sensing (AARS)
Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization)

Supported by

Remote Sensing and GIS Association of Thailand (RESGAT)
Japan Association of Remote Sensing (JARS)
Air Force Office of Scientific Research (AFOSR)
Asian Office of Aerospace R&D (AOARD)
US Army Asian Research Office (ARO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multi-temporal Cloud Removing Technique via Adaptive Kalman Filter

Kobchai DEJHAN, Sompong WISETPHANICHKIJ and
Chaiwut ARIYAPATTANAKULFaculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Tel: +66-2-3264238, +66-2-326-4242, Fax: +66-2-326-4554
e-mail: {sompong, kobchai}@telecom.kmitl.ac.th

Chanchai Pienvijarnpong

Geo-Information and Space Technology Development Agency (GISTDA)
Chalongkrug Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
e-mail: chanchai@gistda.or.th

KEY WORDS: Cloud removing, Adaptive filter, Discrete Kalman filter.

ABSTRACT This paper proposes cloud removing technique by adaptive Kalman filter. The multi-temporal images, cloud-cover image and reference image are applied to the filter. This recursive nature of filter is one of the very appealing features which is designed to operate on all of the data directly for each estimate and instead recursively conditions the current estimate on all of the past measurement. The output of filters with 3 different raster scans then combined together to achieve the cloud removed result.

1. INTRODUCTION

The image distortion due to cloud cover and cloud shadow is a classical problem of visible band of remote sensing imagery. Especially, for non-stationary satellite that commonly found in earth resource observation application. The long recurrent period that can up to 44 days for JERS-1, 26 days for SPOT or 16 days for LANDSAT turn to be a trouble for monitoring (change detection) problem when the continuity of acquired scene was broken by cloud cover problem. To recovery the hidden area under cloud and its shadow, the various techniques were proposed in the previous papers. The histogram-based technique is a classical method that can be found in previous paper [1]. The fusion techniques [2] are also adopted for this task [3]. The key of these techniques is to find out the hidden area on corrupted image and then *replace* with clearer or reference image. The effectiveness of these methods depends on how to extract the cloud over or hidden area efficiently. This paper proposes the alternative way to solve this problem by *reconstruct* the distort area. By feeding these two images, cloud-covered image and reference image to the well known recursive adaptive filter, the discrete Kalman's filter [4]. The recovering of hidden area can be accomplished within 5 steps for each pixel,

Let s_i is i^{th} state and $h_i(s_i)$ is a linear function

$$s_{i+1} = H_i s_i + n_i \text{ and } x_i = F_i s_i + \eta_i \quad (1)$$

when, H = state transition matrix, n_i and η_i are process noise and measurement noise, respectively.

Time update

- 1). Prediction of states,

$$\hat{s}_{i+1} = H_{i+1} \hat{s}_i$$

- 2). Prediction of the covariance matrix of state,

$$P_{i+1} = H_{i+1} P_i H_{i+1}^T + Q_{i+1}$$

Measurement update

- 3). Kalman gain matrix,

$$K_i = P_{i+1} F_i^T (F_i P_{i+1} F_i^T + \Lambda_i)^{-1}$$

- 4). Update of the state estimation,

$$\hat{s}_i = \hat{s}_{i+1} + K_i (x_i - F_i \hat{s}_{i+1})$$

- 5). Update of the covariance matrix of states,

$$P_i = (I - K_i F_i) P_{i+1}$$

The Kalman filter estimates a process by using a form of feedback control. It estimates the process state at some time and then obtains the feedback in the form of (noisy) measurements. As such, the equations for the Kalman filter fall into groups, time update equations and measurement update equations. The time update equations are responsible for projecting forward (in time) the current state and error covariance estimates to obtain the a priori estimates for the next time step. The measurement update equations are responsible for the feedback i.e., for incorporating a new measurement into the a priori estimate to obtain an improved posteriori estimate. The time update equations can also be thought of as predictor equations, while the measurement update equations can be thought of as corrector equations.

The estimated output of the filters then combined to achieve the cloud removing. All details of proposed scheme are mentioned in section 2. The subsequent section shows some samples of cloud removing result by proposed scheme.

2. CLOUD REMOVING SCHEME

Firstly, the two images, the cloud-covered and reference image, are registered and cropped precisely to bound the corresponding area. Due to the 1-D adaptive Kalman filter (order 32) is used in this paper. Therefore, three fashions of zigzag raster scans have to perform before applying to the filter as shown in fig.1. Let the scanned clouded image to be a corrupted measurement input signal and setting the scanned reference image to be a predicted state, the reconstructed image can be got by the estimated output of adaptive Kalman filter. Finally, three output filters are averaged to reduce the uncertainty in each raster scans.

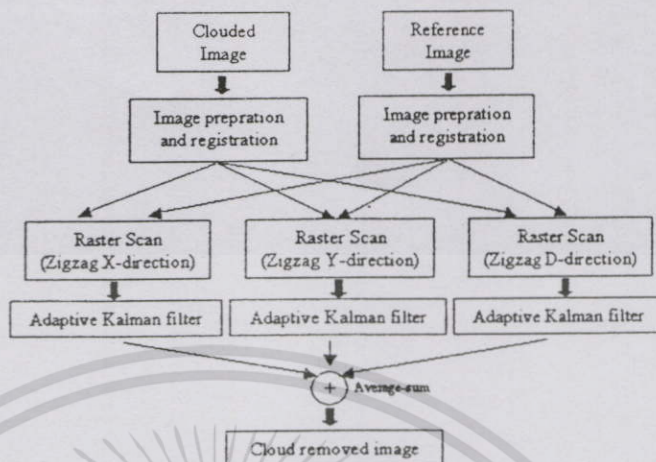


Fig.1 The proposed scheme

3. RESULTS

To verify the proposed scheme, the LANDSAT-5 TM images on path 129 row 51 at the middle part of Thailand that shown in fig.2 are used. The reference image is acquired on March 26, 2004 that clear from cloud (fig.3a) and the cloud-covered image is acquired on May 29, 2004 (fig.3b). Table 1. shows the estimated output and corresponding error. Finally, three outputs are averaged to obtain the cloud removed result.

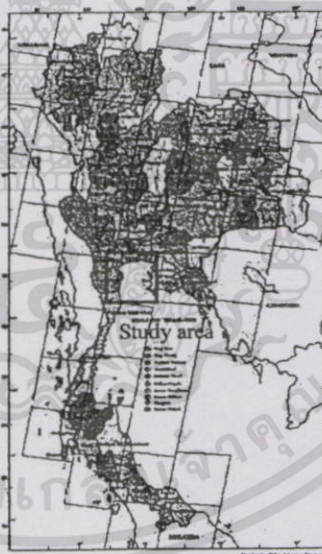
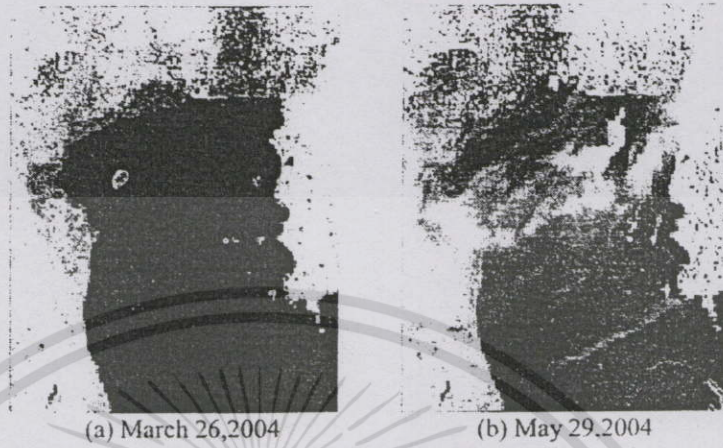


Fig.2 LANSAT-5 orbital path around Thailand



(a) March 26, 2004

(b) May 29, 2004

Fig. 3 LANDSAT5 (path 129, row 51)

Table 1. Adaptive Kalman filter output

	Horizontal scan (x-axis)	Vertical scan (y-axis)	Diagonal scan (z-axis)
Estimated output image			
Error (Reference - Estimated)			
Error (Reference - Cloud cover)			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

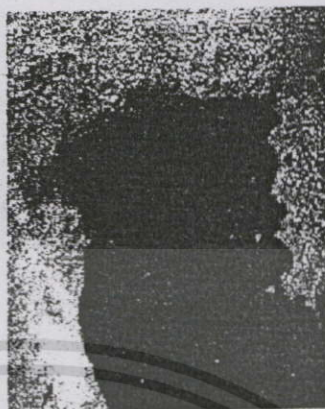


Fig 4 Cloud removing result

4. CONCLUSION

The proposed scheme successfully proves the cloud removing efficiency. However, it highly depends on the perfect registration between these two images. This drive the adaptive Kalman filter well estimates the hidden area. Furthermore, the reconstructed results also depend on the cloud cover area. If the measurement (cloud cover image) is very uncertain compare with reference image, then the filtered residual is resulted mainly by the noise. Kalman filter then self adjusts by updating its gain proportional to measurement signal. On the other hand, if the uncertainty in the measurement is small and that in the state estimate is big, then the filtered residual contains considerable information about errors in the state estimate and strong correction should be made to the state estimate. This results the small filter gain and estimate output now will follow the reference image.

5. REFERENCE

- [1] F. Cheevasuvit, K. Dejhan and T. Tanapapanich, "Cloud cover and cloud shadow removing based on 2-dimensional histogram," ACRS1992, Oct. 1992.
- [2] J. Nunez, X. Otazu and R. Ardiol, "Multiresolution-Based Image Fusion with Additive Wavelet Decomposition," IEEE Tran, Geoscience and Remote Sensing, vol.37, No.3, pp. 1203-1211, May 1999.
- [3] S. Wisetphanichkij, K. Dejhan and F. Cheevasuvit, "Multi-temporal Cloud Removing Based on Image Fusion with Additive Wavelet decomposition", ACRS1999, Oct. 1999.
- [4] M. H. Hayes, *Statistical Digital Signal Processing and Modeling*, John Wiley & Sons inc., USA, 1996.
- [5] R. C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Addition-Wesley Publishing Company, USA, Sep. 1993.

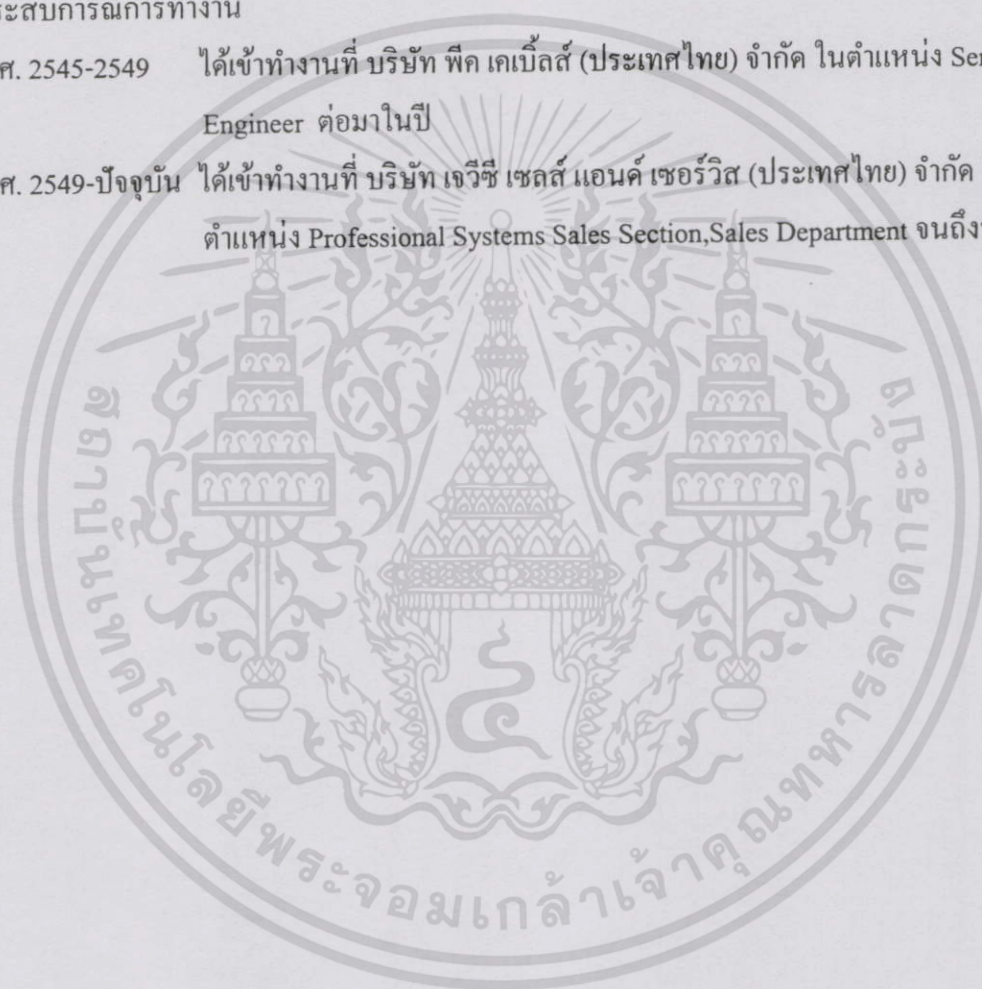
ประวัติผู้เขียน

นายชัชวดี อาริย์พัฒนกุล เกิดเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ.2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี เกียรตินิยมอันดับ 2 สาขาวิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2544

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2545-2549 ได้เข้าทำงานที่ บริษัท ฟิค เคมเบิ้ลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่ง Service Engineer ต่อมาในปี

พ.ศ. 2549-ปัจจุบัน ได้เข้าทำงานที่ บริษัท เจวีซี เซลส์ แอนด์ เซอร์วิส (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่ง Professional Systems Sales Section, Sales Department จนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้