ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246250

การปรับแก้ข้อมูลไดคาร์ระหว่างผนวนินโดยอาศัยอุดรวบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศ

นายกรีฑา สุวรรณสงคราม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00250949

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246250

การปรับแก้ข้อมูลไลดาร์ระหว่างแนวบินโดยอาศัยจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศ

นาย กรีฑา สุวรรณสะอาด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5070534721

LIDAR STRIP ADJUSTMENT WITH AIDING OF AERIAL PHOTOGRAPH CONTROL POINTS

Mr. Kreeta Suwansaard

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับแก้ข้อมูลไลดาร์ระหว่างแนวบินโดยอาศัยจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศ
โดย	นายกรีฑา สุวรรณสะอาด
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.ธงทิศ ฉายากุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร. ธงทิศ ฉายากุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมมานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. สุกิจ วิเศษสินธุ์)

กรีฑา สุวรรณสะอาด : การปรับแก้ข้อมูลไลดาร์ระหว่างแนวบินโดยอาศัยจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศ. (LIDAR STRIP ADJUSTMENT WITH AIDING OF AERIAL PHOTOGRAPH CONTROL POINTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร.ธงทิศ ฉายากุล, 110 หน้า.

246250

เทคโนโลยี LiDAR (Light Detection and Ranging) เป็นระบบสำรวจรังวัดความสูงภูมิประเทศ ที่มีลักษณะการบินสำรวจข้อมูลโดยใช้ลำแสงเลเซอร์ที่ส่งออกและสะท้อนกลับมายังเซ็นเซอร์ และมีการจัดเก็บข้อมูลเป็นจุด (x,y,z) ในการบินสำรวจข้อมูล LiDAR นั้น อาศัยการบินตามแนวบิน(flight line หรือ flight strip) อย่างต่อเนื่องครอบคลุมพื้นที่ที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีการซ้อนทับระหว่างแนวบิน (overlap) เมื่อผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลในส่วนซ้อนทับ พบว่า จุดข้อมูลความสูงภายหลังการสะท้อนกลับจากวัตถุเดียวกันมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งในความเป็นจริงค่าความสูงของวัตถุเดียวกันย่อมต้องมีค่าเท่ากัน

งานวิจัยครั้งนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้านความสูงของข้อมูล LiDAR ในบริเวณพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบิน ใช้จุดควบคุมในการปรับแก้ที่เลือกมาจากบริเวณพื้นที่อาคารในภาพถ่ายทางอากาศทั้งหมด กำหนดระยะห่างของจุดระหว่างสองแนวบินที่ระยะ 5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ดำเนินการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นด้วยวิธีลีสท์สแควร์ และดำเนินการปรับแก้ 3 กรณี คือ 1)ปรับแก้ข้อมูล LiDAR เฉพาะพื้นที่อาคาร 2)ปรับแก้ข้อมูล LiDAR บนพื้นที่ซ้อนทับทั้งหมด และ 3)ปรับแก้ข้อมูล LiDAR ของแนวบิน จากผลการปรับแก้กรณีที่ 1 พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระยะห่างของจุดระหว่างสองแนวบิน 5 และ 10 เซนติเมตร เท่ากับ 0.06744 เมตร และ 0.03864 เมตร ตามลำดับ ซึ่งการที่พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าที่ 10 เซนติเมตร เนื่องจากจำนวนจุดข้อมูลที่ 5 เซนติเมตรมีจำนวนน้อยกว่าจึงส่งผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงกว่า จากนั้นใช้พารามิเตอร์จากการปรับแก้ขั้นตอนที่ 1 ทำการปรับแก้ในกรณีที่ 2 (ปรับแก้บนพื้นที่ซ้อนทับทั้งหมด) ซึ่งพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระยะห่าง 5 และ 10 เซนติเมตร เท่ากับ 0.13846 เมตร 0.37832 เมตร ตามลำดับ จากการปรับแก้ในกรณีที่ 1 และ 2 พบว่า ที่ระยะห่างของจุดระหว่างสองแนวบินระยะ 5 เซนติเมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าที่ 10 เซนติเมตร ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ระยะ 5 เซนติเมตร ไปดำเนินการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ทั้งแนวบิน ในกรณีที่ 3

การปรับแก้ข้อมูล LiDAR ของแนวบินโดยการเลือกจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศสามารถใช้พารามิเตอร์จากการปรับแก้ดังกล่าว ปรับแก้ค่าความสูง LiDAR ตลอดทั้งแนวบินได้ โดยได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แนวบินที่ 1 เท่ากับ 0.13886 เมตร และ แนวบินที่ 2 เท่ากับ 0.27767 เมตร

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต.....กรีฑา สุวรรณสะอาด.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2553.....

5070534721 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS : LiDAR / STRIP ADJUSTMENT / AERIAL PHOTOGRAPH

KREETA SUWANSAARD: LIDAR STRIP ADJUSTMENT WITH AIDIND OF AERIAL PHOTOGRAPH CONTROL POINTS. ADVISOR : DR.THONGTHIT CHAYAKOL, 110 pp.

246250

LiDAR(Light Detection and Ranging) is a height terrain survey system consisting of a laser emitted from an aircraft to the surface of the earth, and reflected back to a sensor on board of the aircraft. It also has storaged data as a point in three dimension coordinate (x,y,z). In LiDAR survey, the aircraft flies continuously along the flight line(or flight strip) covering an overlap area. After the researcher had studied LiDAR data on the overlap area, it was found that the points that show the height of the same object were unequal which, in fact, they must be equal.

This research aimed to study of error correction in height of LiDAR data in the area of the overlap between the flight lines. The control points were selected from the area of a building of aerial photograph. The distance between two flight lines was set to 5 and 10 centimeters in order to compare their results. The method of least squares was used to adjust and minimize the error. There were three cases of adjustment ; 1)adjust the LiDAR data of building area 2)adjust the LiDAR data of the entire overlap area, and 3)adjust the LiDAR data of the flight line. The result from the first case showed that the standard deviation, of the height correction, was 0.06744 m for 5-cm flight lines distance, and was 0.03864 m for 10-cm flight lines distance. The standard deviation of 5-cm distance was higher than that of 10-cm distance because of the points selected at 5-cm distance had smaller number than that of 10-cm distance. After using the parameters from the first case to adjust for the second case, it was found that the standard deviation, of the height correction, for 5-cm and 10-cm distance was 0.13846 m and 0.37832 m respectively. From the first two cases, it was found that the smaller standard deviation occurred at 5-cm distance, so the adjustment of the LiDAR data of the flight line(the third case) was conducted at 5-cm distance.

From the adjustment of LiDAR data of the flight line, with use of control points from aerial photographs and parameters from prior adjustment, it was found that the standard deviation was 0.13886 m for the first flight line and was 0.27767 m for the second flight line.

Department : Survey Engineering Student's Signature Kreeta Suwansaard

Field of Study : Survey Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา น้องชายและน้องสาว อย่างสูงสำหรับการสนับสนุนและความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.ธงทิศ ฉายากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ ประธานกรรมการสอบสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์ และ ดร. สุกิจ วิเศษสินธุ์ ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ และให้ข้อคิดเห็นในแง่มุมต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา ที่กรุณาให้ทุนการศึกษาในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์คณาวุฒิ เจียมวัฒนพงศ์ อาจารย์ประจำคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา ที่ได้ให้คำปรึกษา และข้อคิดในแง่ต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบคุณ นายปโยธร ศิริโยธา นายธนรัตน์ มิตรยอดวงศ์ นางสาวจุฑามาศ ปานกลิ่น นายณกร วัฒนกิจ นางสาวกรุณา พิมพ์ประสานต์ นายอรุณ บุรีรักษ์ รุ่นพี่ เพื่อนๆ และรุ่นน้องภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกคนสำหรับความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องทั้งหมด และหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 4

1.5 แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

บทที่ 2 แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 หลักการทำงานของ Airborne Laser Scanning..... 7

2.1.1 องค์ประกอบระบบเลเซอร์สแกนเนอร์..... 7

2.1.2 ส่วนประกอบของระบบ Airborne Laser Scanning..... 8

2.2 ความคลาดเคลื่อน..... 15

2.2.1 ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล LiDAR..... 15

2.2.2 สาเหตุของความคลาดเคลื่อน..... 16

2.3 การใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อพิจารณาตำแหน่งข้อมูล LiDAR..... 16

2.3.1 ภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photograph)..... 16

2.3.2 การหาขอบวัตถุ (Edge Detection) 17

2.3.3 Canny Edge Detection Algorithm..... 19

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน..... 20

2.4.1 วิธีการคำนวณปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนด้วยวิธีลีสท์สแควร์..... 21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ชนิดวิธีของการปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ 22

2.4.3 สมการระนาบและการปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ 24

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 25

บทที่ 3 การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล..... 29

3.1 การเตรียมข้อมูล LiDAR..... 30

3.1.1 จัดเตรียมข้อมูลLiDARของบริเวณพื้นที่ศึกษา..... 30

3.1.2 กำหนดแนวบินของข้อมูล LiDAR บริเวณพื้นที่ศึกษา..... 30

3.2 กำหนดตำแหน่งซ้อนทับระหว่างแนวบินของข้อมูล LiDAR..... 31

3.2.1 กำหนดตำแหน่งพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบิน..... 31

3.2.2 เลือกตำแหน่งพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบิน..... 31

3.3 การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ..... 32

3.4 การเลือกพื้นที่และการหาขอบวัตถุจากภาพถ่ายทางอากาศ..... 34

3.4.1 การพิจารณาพื้นที่อาคาร..... 34

3.4.2 การพิจารณาพื้นที่ถนน..... 35

3.4.3 การหาขอบวัตถุพื้นที่อาคาร..... 36

3.4.4 การสร้างชั้นข้อมูลอาคาร..... 37

3.5 การใช้ภาพถ่ายทางอากาศเป็นจุดควบคุมข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบิน..... 39

3.6 การเลือกจุดข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบิน..... 41

3.6.1 การพิจารณาเลือกจุดระหว่างแนวบิน..... 41

3.6.2 การเลือกจุดข้อมูล LiDAR เมื่อเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ..... 43

3.6.3 เปรียบเทียบการเลือกจุดระหว่างแนวบินจากภาพถ่ายทางอากาศและชั้นข้อมูลอาคาร..... 50

3.6.4 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวบิน ที่ระยะห่างระหว่างจุด ไม่เกิน 5 และ 10 เซนติเมตร 55

3.7 การปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์..... 58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การประมวลผลข้อมูล 61

4.1 ผลการเตรียมข้อมูลและกำหนดตำแหน่งซ้อนทับระหว่างแนวบินของข้อมูล LiDAR 61

4.2 ผลการเตรียมการเลือกพื้นที่และการหาขอบวัตถุจากภาพถ่ายทางอากาศ 62

4.3 ผลการใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อพิจารณาข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบิน ... 65

4.4 ผลการเลือกจุดข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบิน 68

4.4.1 ข้อมูล LiDAR บนชั้นข้อมูลอาคารที่ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร ... 68

4.4.2 ข้อมูล LiDAR บนชั้นข้อมูลอาคารที่ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร 69

4.5 ผลการปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ 70

4.5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวบิน ที่ระยะห่างระหว่างจุดไม่เกิน 5 และ10 เซนติเมตร 70

4.5.2 กราฟแสดงความสูงต่างและความสูงปรับแก้ระหว่างแนวบิน 73

4.5.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณสมการระนาบ 75

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 79

5.1 บทสรุป 79

5.2 ข้อเสนอแนะ 83

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 83

รายการอ้างอิง 84

ภาคผนวก 87

ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าความสูงต่างและความสูงปรับแก้ระหว่างแนวบิน 88

ภาคผนวก ข การหาขอบของวัตถุ 103

ภาคผนวก ค การประมวลผลด้วยโปรแกรม Matlab 2008a 106

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	รูปแบบและผลลัพธ์การScanning	10
2.2	ค่าแสดงการสะท้อนของวัสดุ	12
3.1	แสดงรายการเลือกจุดข้อมูล LiDAR.....	42
3.2	ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างแนวบินที่ระยะ15, 20, 30 และ 50 เซนติเมตร	50
3.3	แสดงข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างแนวบินที่ระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร....	53
3.4	ค่าความสูงระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร.....	55
3.5	ค่าความสูงระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร.....	56
4.1	ผลการปรับแก้ค่าความสูงคลาดเคลื่อนระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร.....	70
4.2	ผลการปรับแก้ค่าความสูงคลาดเคลื่อนระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร.....	71
5.1	สรุปผลการปรับแก้ความสูงต่างระหว่างแนวบินและความสูงของแต่ละแนวบิน..	81
ก-1	ผลการปรับแก้ค่าความสูงคลาดเคลื่อนระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร(แนวบินที่ซ้อนทับกัน).....	89
ก-2	ผลการปรับแก้ค่าความสูงคลาดเคลื่อนระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร(แนวบินที่ซ้อนทับกัน).....	93
ก-3	ค่าความสูงและค่าความสูงปรับแก้แนวบินที่ 1 (ปรับแก้ทั้งแนวบิน).....	97
ก-4	ค่าความสูงและค่าความสูงปรับแก้แนวบินที่ 2 (ปรับแก้ทั้งแนวบิน)	100

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ลักษณะการทำงานและการบันทึกข้อมูล LiDAR	1
1.2	ลักษณะความคลาดเคลื่อนความสูงข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบิน	3
1.3	แผนผังวิธีดำเนินงานวิจัย	5
2.1	แสดงการทำงานของ Airborne Laser Scanning	7
2.2	แสดงการปล่อยแสงแบบ Pulsed Laser	9
2.3	แสดงช่วงของ Pulsed Laser	9
2.4	แสดงลักษณะคลื่นของ CW	9
2.5	แสดงการปล่อยช่วงคลื่นของ CW	9
2.6	แสดงการเกิดกำลังส่งและรับของเลเซอร์	10
2.7	แสดงลักษณะช่วงคลื่นของ Pulsed Laser	12
2.8	แสดงลักษณะคลื่นต่อเนื่องของ CW	13
2.9	กราฟแสดงการหาขอบวัตถุด้วยวิธี Gradient method	18
2.10	ตัวอย่างการหาขอบวัตถุโดยใช้ Edge detector แบบต่าง ๆ	18
2.11	ขั้นตอนการหาขอบวัตถุโดยวิธีของ Canny	19
2.12	แสดงภาพก่อนและหลังการปรับแนวบิน	24
2.13	แสดงการปรับแก้ระหว่างแนวบินโดยใช้วิธีการเดียวกับการปรับแก้ทาง Photogrammetric	25
3.1	ขั้นตอนวิธีการทำงาน	29
3.2	พื้นที่ศึกษาข้อมูล LiDAR บริเวณ อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี	30
3.3	การตั้งค่า Points LiDAR ระหว่างแนวบินด้วยสีที่ต่างกัน	31
3.4	กำหนดแนวพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบิน	31
3.5	เลือกพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบินที่ 1 และแนวบินที่ 2	32
3.6	พื้นที่ส่วนซ้อนทับระหว่างแนวบินที่ 1 และแนวบินที่ 2	32
3.7	ภาพถ่ายทางอากาศพื้นที่ศึกษา	33
3.8	ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่ อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี	33
3.9	อาคารที่มีลักษณะเรียบ (Flat roof)	34
3.10	อาคารที่มีลักษณะเป็นทรงจั่ว (Gable roof))	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.11	ความเสียหายต่อผิวถนน.....	35
3.12	ภาพถ่ายทางอากาศที่ทำการหาขอบวัตถุ (Edge Detection).....	36
3.13	ภาพถ่ายทางอากาศที่ทำการหาขอบวัตถุโดยวิธี Canny.....	37
3.14	กระบวนการสร้างชั้นข้อมูลอาคาร	38
3.15	การซ้อนทับข้อมูล LiDAR บนภาพถ่ายทางอากาศของแนวบินที่ 1.....	39
3.16	การซ้อนทับข้อมูล LiDAR บนภาพถ่ายทางอากาศของแนวบินที่ 2.....	39
3.17	ชั้นข้อมูลอาคารของจำนวนอาคารทั้งหมดบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	40
3.18	การซ้อนทับข้อมูล LiDAR บริเวณพื้นที่อาคารจากชั้นข้อมูลอาคาร.....	40
3.19	เปรียบเทียบการเลือกจุดบนภาพถ่ายทางอากาศ.....	41
3.20	ข้อมูล LiDAR ซ้อนทับชั้นข้อมูลอาคาร.....	43
3.21	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 บนชั้นข้อมูลอาคาร.....	44
3.22	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 2 บนชั้นข้อมูลอาคาร.....	44
3.23	ข้อมูล LiDAR ทั้งสองแนวบินบนชั้นข้อมูลอาคาร.....	45
3.24	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร ทั้งแนวบิน.....	45
3.25	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร ทั้งแนวบิน.....	46
3.26	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร เฉพาะบนชั้นข้อมูล..	46
3.27	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร เฉพาะบนชั้นข้อมูล..	47
3.28	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ทั้งแนวบิน.....	47
3.29	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ทั้งแนวบิน.....	48
3.30	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร เฉพาะบนชั้นข้อมูล	48
3.31	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร เฉพาะบนชั้นข้อมูล	49
3.32	ข้อมูล LiDAR ทั้งสองแนวบินที่ระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร..	49
3.33	แสดงภาพก่อนและหลังการปรับแนวบินระหว่างสองแนวบิน.....	58
4.1	ขอบเขตการซ้อนทับระหว่างแนวบิน.....	61
4.2	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 บริเวณพื้นที่ซ้อนทับ.....	62
4.3	ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 2 บริเวณพื้นที่ซ้อนทับ.....	62
4.4	ภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณพื้นที่ซ้อนทับ.....	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.5	ภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณพื้นที่อาคาร.....	63
4.6	อาคารที่เลือกพิจารณาจากภาพถ่ายทางอากาศ.....	64
4.7	การหาขอบวัตถุจากถ่ายทางอากาศของอาคารที่มีลักษณะเรียบ (Flat roof)....	65
4.8	การหาขอบวัตถุจากภาพถ่ายทางอากาศของอาคารที่มีลักษณะเป็นทรงจั่ว (Gable roof)	65
4.9	ชั้นข้อมูลอาคาร ทั้งหมดจำนวน 8 อาคาร.....	66
4.10	การแสดงตำแหน่งพิกัด LiDAR และภาพถ่ายทางอากาศเป็นจุดควบคุม.....	67
4.11	ข้อมูล LiDAR บนชั้นข้อมูลอาคาร ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร.....	68
4.12	ข้อมูล LiDAR บนชั้นข้อมูลอาคาร ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร.....	69
4.13	กราฟแสดงความสูงต่างระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร.....	73
4.14	กราฟแสดงความสูงปรับแก้ระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร...	73
4.15	กราฟแสดงความสูงต่างระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร.....	74
4.16	กราฟแสดงความสูงปรับแก้ระหว่างแนวบิน ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร.	74
4.17	ตำแหน่งการเลือกจุดข้อมูล LiDAR ทั้งแนวบินกระจายทั่วพื้นที่.....	78
ข-1	แสดงการหาขอบวัตถุด้วยวิธี Canny โดยใช้ Matlab 2008a.....	105