

การรับวัดด้วยภาพดิจิทัล

Digital Photogrammetry

การรับวัดด้วยภาพดิจิทัล

Digital Photogrammetry

ไพศาล สันติธรรมนนท์



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2553

330.-

ไพศาล ลันติธรรมนนท์

การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล/ไพศาล ลันติธรรมนนท์

1. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล -- เทคนิคดิจิทัล.
2. การประมวลผลภาพ -- เทคนิคดิจิทัล.

526.982

ISBN 978-974-03-2631-1

สพจ. 1117



สรรคุณคำวิชาการ ผู้สืบทอด
www.ChulaPress.com
Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2553

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้นต้องได้รับ
อนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดทำหน่วย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5300-1 โทรสาร 0-2160-5304

CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย

ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงราย จ.เชียงราย โทร. 0-5377-6000

ร้านหนังสือบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) रामคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573 โทรสาร 0-2539-7091

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สยามสแควร์ ชั้น 14 โทร. 0-2218-9889-90 โทรสาร 0-2254-9495

กองบรรณาธิการ : กนิษฐา กิตติคุณ

พิสูจน์อักษร : ปุณณิสา บุญเปี่ยม

ออกแบบปก : Monyart

ออกแบบรูปเล่ม : สุคนิศา สกาวรัตนานนท์

พิมพ์ที่ : บริษัทแอคทีฟ พรินท์ จำกัด โทร. 0-2215-7220 โทรสาร 0-2214-0038

คำนำ

การรังวัดด้วยภาพเป็นศาสตร์ที่เป็นรากฐานสำคัญในการทำแผนที่ในประเทศไทยมาเป็นเวลานานจนจนถึงปัจจุบัน การทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการผลิตแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนเล็กไปจนถึงมาตราส่วนใหญ่ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการจากการรังวัดโดยตรงบนแผ่นฟิล์มที่บันทึกภาพภูมิประเทศโดยตรง เปลี่ยนมาเป็นการประมวลผลและรังวัดบนภาพดิจิทัลที่ได้จากการสแกนแผ่นฟิล์มหรือภาพจากการใช้กล้องดิจิทัล บันทึกภาพจากอากาศยานโดยตรง ด้วยวิธีการประมวลผลแบบดิจิทัลแบบใหม่บนคอมพิวเตอร์นำมาประยุกต์ใช้กับการรังวัดด้วยภาพทำให้ผลงานมีความละเอียดถูกต้อง การใช้งานทำได้สะดวกรวดเร็ว และยังทำให้เกิดรูปแบบการประยุกต์ใช้ได้หลากหลายอย่างไม่เคยทำได้มาก่อน

ความสำคัญของการใช้ภาพถ่ายทางอากาศที่ขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกับการเติบโตของภูมิสารสนเทศในทศวรรษที่ผ่านมา ทั้งนี้จะเห็นได้จากการที่มีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อการปรับปรุงแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ทั่วประเทศ การบันทึกภาพถ่ายทางอากาศเพื่อใช้สร้างฐานข้อมูลภาพถ่ายผังเมืองครอบคลุมพื้นที่เมืองที่มีประชากรและมีความเป็นเมืองหนาแน่นกระจายทั่วประเทศ และในโครงการแผนที่เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพย์สินของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ก็ได้มีการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศสี มาตราส่วน 1:25,000 ครอบคลุมทั่วประเทศกว่า 70,000 ภาพ ภาพถ่ายทางอากาศทั้งหมดได้ผลิตด้วยกรรมวิธีประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นแผนที่ภาพออร์โทที่มาตราส่วน 1:4,000 ความละเอียดจุดภาพ 0.5 เมตร พร้อมทั้งแบบจำลองระดับความละเอียดสูงที่มีระยะห่างจุดระดับทุก ๆ 5 เมตร ความถูกต้องจุดระดับมีความแม่นยำสูงถึง 2-4 เมตร ปัจจุบันชุดข้อมูลดังกล่าวให้บริการโดยกรมแผนที่ดิน แผนที่ภาพถ่ายออร์โทสีและแบบจำลองระดับความละเอียดสูงจะเป็นรากฐานที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาภูมิสารสนเทศ และโครงสร้างพื้นฐานทางภูมิสารสนเทศของประเทศต่อไป

ในช่วงเปลี่ยนผ่านศตวรรษ ค.ศ. 2000 ในระดับนานาชาติก็ปรากฏมีการให้บริการภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงจากดาวเทียมหลายดวง ทำให้วิศวกรสำรวจและนักภูมิสารสนเทศมีทางเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการสร้างข้อมูลเพื่อนำไปใช้ทำแผนที่และภูมิสารสนเทศ ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงมีหลักการประมวลและใช้ระบบการประมวลผลร่วมกันกับภาพถ่ายทางอากาศ และในทิศทางเดียวกัน ประเทศไทยได้มีการส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากร THEOS ขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2551 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร THEOS สามารถบันทึกภาพแผนที่โครมาติกความละเอียดสูงถึง 2 เมตรพร้อมภาพสีมัลติสเปกตรัมความละเอียดจุดภาพ 15 เมตร ข้อมูลภาพจากดาวเทียมรายละเอียดสูงจากการให้บริการและดำเนินการดาวเทียมสำรวจโลกใหม่ ๆ เหล่านี้ จะเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับนำมาใช้ประมวลผลการรังวัดด้วยภาพได้เพิ่มขึ้นมากไปอีก

ปัจจุบันผลงานจากการรังวัดด้วยภาพนอกจากจะใช้ผลิตเป็นข้อมูลแผนที่มาตรฐานแล้ว ในกระบวนการประมวลผลยังสามารถสกัดและสังเคราะห์ให้เป็นภูมิสารสนเทศในรูปแบบสมัยใหม่ เช่น ระบบให้บริการภูมิสารสนเทศสามมิติผ่านเครือข่าย (On-line 3D Map Service) ระบบภูมิสารสนเทศภาพถ่ายเฉียง (Oblique Photogrammetric Information System) ระบบสารสนเทศภาพถ่ายสามมิติจากมุมมองบนท้องถนน (3D Immersive Street View) เป็นต้น

หนังสือนี้เรียบเรียงขึ้นจากประสบการณ์การเรียนการสอนและการวิจัยในกลุ่มสาขาวิทยาการ “การรังวัดด้วยภาพ” ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งนี้รวมถึงผลงานจากโครงการของนิสิตระดับปริญญาตรี วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอก งานวิจัยจากแหล่งทุนต่าง ๆ ตลอดจนการบริการวิชาการที่เกิดขึ้นจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และความร่วมมือกับหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน การวิจัยและความร่วมมือที่เกิดขึ้นและรวบรวมไว้ในที่นี้ยังเป็นผลงาน ความร่วมมือกับนักวิชาชีพและนักวิชาการจากต่างประเทศที่มีพัฒนาการด้านนี้อีกด้วย

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทั้งชาวไทยและต่างประเทศที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชานี้ให้แก่ผู้เขียน ทำให้ผู้เขียนได้เรียนรู้จักศาสตร์และเทคโนโลยีที่น่าอัศจรรย์และตื่นเต้น และยังสามารถใช้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศและสังคม การรังวัดด้วยภาพยังเป็นวิชาการที่มีความทันสมัยอยู่เสมอ จนบางครั้งมีความล้ายุคเกินจินตนาการของสังคม ผู้เขียนยังใคร่ขอบคุณเพื่อนร่วมวิชาชีพทั้งชาวไทยและต่างประเทศที่ผู้เขียนได้มีโอกาสได้ทำงานร่วมกันตลอดจนแลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดองค์ความรู้ นำมาสู่การเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือ “การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล” จะเป็นแหล่งความรู้สำหรับการเรียนรู้ของนักวิชาชีพ นิสิตนักศึกษา ตลอดจนใช้เป็นหนังสืออ้างอิงสำหรับวิชาชีพทางวิศวกรรมสำรวจและภูมิสารสนเทศอีกด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณการสนับสนุนจากโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือของคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนตำรา “การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry)” เล่มนี้ หนังสือเล่มนี้เป็นเล่มที่ 19 ในโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือของคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์

คณ-วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พฤษภาคม 2553

สารบัญ

1	บทนำ.....	1
1.1	คำจำกัดความ	2
1.2	นิยามของการรังวัดด้วยภาพตามการประยุกต์ใช้	3
1.3	วิวัฒนาการของการรังวัดด้วยภาพ	12
1.4	ระบบงานรังวัดด้วยภาพดิจิทัล.....	20
1.5	ผลิตภัณฑ์ได้จากงานรังวัดด้วยภาพ	27
1.6	การทำแผนที่ด้วยการรังวัดด้วยภาพ.....	31
1.7	วิชาชีพและองค์กรวิชาชีพ.....	32
1.8	คำถามท้ายบท	40
2	เรขาคณิตเบื้องต้น	41
2.1	เรขาคณิตของกล้องถ่ายภาพ.....	42
2.2	การบินถ่ายภาพ	48
2.3	ผลผลิตจากการบันทึกภาพ.....	51
2.4	การแปลงค่าพิกัดในสองมิติ	56
2.5	การแปลงค่าพิกัดในสามมิติ	61
2.6	การแปลงค่าพิกัดในสามมิติชนิดเจ็ดพารามิเตอร์	68
2.7	เรขาคณิตภาพถ่ายดึง	69
2.8	คำถามท้ายบท	71
3	การรังวัดภาพถ่ายเดี่ยว.....	73
3.1	การวัดพิกัดบนภาพถ่าย.....	74
3.2	สมการสภาวะร่วมเส้น.....	83
3.3	การวัดย้อนสำหรับภาพถ่ายเดี่ยว.....	90
3.4	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ	94
3.5	คำถามท้ายบท	98
4	การรังวัดบนภาพคู่สามมิติ.....	99
4.1	ภาพคู่สามมิติสำหรับภาพถ่ายทางอากาศ	100
4.2	เครื่องช่วยมองเห็นสามมิติเชิงทัศน	101
4.3	เครื่องช่วยมองเห็นสามมิติชนิดดิจิทัล.....	103
4.4	การคำนวณพิกัดวัดจากคู่ภาพสามมิติ	110
4.5	หลักการของเครื่องเขียนแผนที่เชิงวิเคราะห์	114
4.6	หลักการของเครื่องเขียนแผนที่ดิจิทัล (Digital Stereoplotter)	117

4.7	ขั้นตอนวิธีของเครื่องเขียนแผนที่เชิงวิเคราะห์.....	120
4.8	ขั้นตอนวิธีของเครื่องเขียนแผนที่ดิจิทัล	125
4.9	การเปรียบเทียบเครื่องเขียนแผนที่	126
4.10	ความละเอียดถูกต้องของการวัดบนภาพคู่สามมิติ	127
4.11	การประยุกต์ใช้ความละเอียดถูกต้องในการออกแบบระบบงาน.....	133
4.12	คำถามท้ายบท	137
5	ย้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ	139
5.1	จุดควบคุมภาพถ่าย	140
5.2	ชนิดของจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ	142
5.3	ตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่าย	145
5.4	วิธีการระบุค่าการจัดวางภาพภายนอก	146
5.5	เทคนิคการคำนวณย้ายสามเหลี่ยมแบบลำแสงเป็นบล็อก	147
5.6	การแก้ปัญหาย้ายสามเหลี่ยม	151
5.7	ตัวอย่างการสร้างระบบสมการ.....	152
5.8	การกำหนดความละเอียดถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดิน.....	160
5.9	การจัดวางจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดิน	162
5.10	ขั้นตอนการวัดสำหรับงานย้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ	169
5.11	ข้อควรระวังและข้อสังเกต.....	172
5.12	การวัดสอบตนเอง (Self-calibration).....	174
5.13	การคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีแบบจำลองอิสระ	175
5.14	วิวัฒนาการของงานย้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ	178
5.15	คำถามท้ายบท	181
6	แบบจำลองระดับ.....	183
6.1	บทนำ	183
6.2	เทคโนโลยีการรังวัดค่าระดับ	184
6.3	เกณฑ์ความละเอียดถูกต้องของจุดค่าระดับ	197
6.4	ความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองระดับจากภาพถ่ายดิจิทัล	200
6.5	ระยะห่างของจุดระดับ	201
6.6	รูปแบบการจัดเก็บแบบจำลองระดับ	203
6.7	การประมวลผลแบบจำลองระดับ.....	209
6.8	การควบคุมคุณภาพ	214
6.9	การแปลงรูปแบบแบบจำลองระดับ	219
6.10	การแบ่งข้อมูลแบบจำลองระดับเป็นระวางแผนที่	222
6.11	รูปแบบการจัดเก็บแบบจำลองระดับ	223

6.12	แบบจำลองระดับพร้อมใช้	225
6.13	คำถามท้ายบท	233
7	การประมวลผลภาพ	235
7.1	กระบวนการดิจิทัล (Digitization)	236
7.2	ชนิดของภาพดิจิทัล	240
7.3	แหล่งที่มาของภาพดิจิทัล	245
7.4	สแกนเนอร์	247
7.5	การสแกนภาพถ่ายทางอากาศ	248
7.6	ฮิสโทแกรม	255
7.7	การจัดการฮิสโทแกรม	257
7.8	การทำภาพให้เป็นภาพสีกลับ	260
7.9	การทำภาพให้เป็นสอง	261
7.10	การปรับความคมชัดและความสว่างของภาพ	264
7.11	การปรับภาพด้วยวิธีดิงยี้ด	266
7.12	การบีบอัดภาพ	267
7.13	การอ้างอิงค่าพิกัดโลก	271
7.14	คำถามท้ายบท	275
8	แผนที่ภาพออร์โท	277
8.1	ภาพตัดแก้ออร์โท	277
8.2	สถานีงานรังวัดด้วยภาพดิจิทัล	284
8.3	การผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โทในต่างประเทศ	285
8.4	มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของการทำแผนที่	290
8.5	ความละเอียดถูกต้องภาพตัดแก้ออร์โทในทางปฏิบัติ	295
8.6	ข้อคิดคำนึงในการตัดแก้ออร์โทภาพถ่ายทางอากาศ	295
8.7	ขั้นตอนวิธีในการผลิตภาพถ่ายตัดแก้ออร์โท	300
8.8	การโมเสกภาพ	306
8.9	การจัดเก็บ	311
8.10	การประยุกต์ใช้การบีบอัดข้อมูล	315
8.11	การประยุกต์ใช้งานแผนที่ภาพตัดแก้ออร์โท	318
8.12	แผนที่ภาพสีออร์โทโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์	325
8.13	คำถามท้ายบท	328
9	เอกสารอ้างอิง	329
10	ประวัติผู้เขียน	335



1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการเกริ่นนำ เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงภาพรวมของการรังวัดด้วยภาพ คำจำกัดความของการรังวัดด้วยภาพจากกลุ่มนักวิชาชีพที่เกี่ยวข้องโดยตรง ประเภทของการรังวัดด้วยภาพตามลักษณะงาน ประวัติความเป็นมา วิวัฒนาการของการรังวัดด้วยภาพจากอดีตไปจนถึงปัจจุบัน ระบบงานประมวลผลภาพโดยเฉพาะระบบที่ประยุกต์ใช้กับงานการรังวัดด้วยภาพดิจิทัล ผลผลิตของการรังวัดด้วยภาพ สถาบันการศึกษา วิชาชีพการรังวัดด้วยภาพ และหน่วยงานที่ใช้การรังวัดด้วยภาพ

1.1 คำจำกัดความ

การรังวัดด้วยภาพ (photogrammetry) เป็นศาสตร์และเทคโนโลยีหนึ่งสำหรับการสำรวจรังวัดเพื่อทำแผนที่และผลิตเป็นข้อมูลภูมิสารสนเทศ การรังวัดด้วยภาพจะใช้ภาพเป็นสื่อกลางในการรังวัด ภาพที่ใช้เป็นสื่อกลางในการบันทึกสิ่งปกคลุมและสิ่งที่ปรากฏทางกายภาพบนพื้นผิวภูมิประเทศ สิ่งที่ปกคลุมและปรากฏบนภูมิประเทศเป็นไปตามลักษณะของการใช้ที่ดิน อาณาบริเวณ อาคารสถานที่ หรือวัตถุที่สนใจ ภาพของสิ่งเหล่านั้นจะไปปรากฏในลักษณะจำลองแบบตามหลักการฉายแสงด้วยวิธีทางกลไก เชิงทัศน หรือเชิงคณิตศาสตร์ ทำให้สามารถจำลองสถานการณ์เหมือนขณะที่บันทึกภาพได้

การรังวัดด้วยภาพเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ เนื่องการรังวัดด้วยภาพเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน ต้องใช้การคำนวณขั้นสูง ต้องใช้เครื่องมือเป็นกลไกและอุปกรณ์เชิงทัศนที่ต้องใช้ทั้งความเข้าใจ การฝึกฝน และความชำนาญในการทำงาน ยิ่งในปัจจุบันต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์และชุดซอฟต์แวร์ที่มีความสลับซับซ้อน ผลลัพธ์ที่ได้จากการรังวัดด้วยภาพจะได้ทั้งพิกัดของตำแหน่งวัตถุ ขนาด และรูปร่างสามมิติพร้อมกันได้ทันที นอกจากนั้นบางระบบยังสามารถนำพื้นผิววัตถุ (texture) ผสมรวมเข้าไป ทำให้แบบจำลองสามมิติที่ได้มีความเสมือนจริงมากขึ้น

การรังวัดด้วยภาพสามารถทำได้โดยผู้ที่รังวัดไม่จำเป็นต้องเข้าสัมผัสวัตถุ การรังวัดและประมวลผลสามารถใช้การสังเกตและบันทึกจากระยะไกล การรังวัดทำได้ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบการทำงานเป็นจำนวนมาก กระบวนการทุกขั้นตอนมีความละเอียดอ่อน ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนความชำนาญและผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี

1.1.1 นิยามของการรังวัดด้วยภาพตาม ISPRS

International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) เป็นสมาคมวิชาชีพนานาชาติสำหรับการรังวัดด้วยภาพและการสำรวจระยะไกลได้นิยามความหมายของการรังวัดด้วยภาพไว้ว่า การรังวัดด้วยภาพและการสำรวจระยะไกล เป็นศิลปะ วิทยาการ และเทคโนโลยีในการที่จะได้ข้อมูลข่าวสารที่เชื่อถือได้ จากวิธีการรังวัดบนภาพ (imaging) ของวัตถุที่บันทึกโดยไม่ต้องสัมผัสวัตถุนั้น หรืออาจเป็นการรังวัดบนภาพที่ได้จากกระบวนการตรวจจับ (sensor system) โลกและสิ่งแวดล้อม หรือวัตถุทางกายภาพต่าง ๆ และมีการประมวลผลด้วยการบันทึก การวัดการวิเคราะห์ และการแสดงผล

ตามเนื้อความต้นฉบับกล่าวไว้ ดังนี้

Photogrammetry and Remote Sensing is the art, science, and technology of obtaining reliable information from non-contact imaging and other sensor systems about the Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analyzing and representation (ISPRS).

1.1.2 นิยามของการรังวัดด้วยภาพตาม ASPRS

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) เป็นสมาคมวิชาชีพสำหรับการรังวัดด้วยภาพและสำรวจระยะไกลในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นิยามความหมายของการรังวัดด้วยภาพไว้ว่า การรังวัดด้วยภาพเป็นศิลปะ วิทยาการ และเทคโนโลยีในการที่ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารที่มีความน่าเชื่อถือเกี่ยวกับกายภาพของวัตถุและสิ่งแวดล้อมโดยผ่านกระบวนการบันทึก การวัด และการแปลภาพ และรูปแบบของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกมาและปรากฏการณ์อื่น ๆ

ตามเนื้อความต้นฉบับกล่าวไว้ดังนี้

Photogrammetry is the art, science, and technology of obtaining reliable information about physical objects and the environment, through processes of recording, measuring, and interpreting images and patterns of electromagnetic radiant energy and other phenomena (ASPRS).

1.2 นิยามของการรังวัดด้วยภาพตามการประยุกต์ใช้

นอกจากความหมายของการรังวัดด้วยภาพ (photogrammetry) ดังที่กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น ยังมีการนำการรังวัดด้วยภาพไปประยุกต์เฉพาะทางต่าง ๆ หรือมีการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยนำเทคโนโลยีอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยเฉพาะการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงสมัยใหม่ เช่น การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) การรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส (Global Positioning System: GPS) ทำให้เกิดเป็นศาสตร์ในการรังวัดด้วยภาพแขนงย่อยออกไปตามขอบเขตการใช้งาน ดังนั้น นิยามการรังวัดโดยใช้ภาพเป็นสื่อกลางสามารถแบ่งเป็นประเภทตามลักษณะการประยุกต์ใช้งานและการผนวกรวมเทคโนโลยีอื่น ๆ ดังนี้

1.2.1 การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Air-borne Photogrammetry/ Aerial Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศเป็นการรังวัดทำแผนที่จากภาพถ่ายที่บันทึกจากกล้องที่ติดตั้งบนอากาศยาน ภาพที่บันทึกได้นี้เรียกว่า ภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photography) การรังวัดทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศเป็นกรณีพิเศษและเป็นวิธีการหลักในการทำแผนที่ในพื้นที่บริเวณกว้างวิธีหนึ่ง การบันทึกภาพถ่ายทางอากาศทำได้โดยการใช้กล้องถ่ายภาพที่มีพื้นที่รับภาพขนาดใหญ่ (large-format) ไปจนถึงการใช้กล้องถ่ายภาพที่มีพื้นที่รับภาพขนาดปานกลาง (medium-format) ไปจนถึงเล็ก (small-format) ก็ได้ กล้องที่ออกแบบเฉพาะกิจนี้มีพื้นที่รับภาพกว้างและยาวในช่วง 6-12 นิ้ว หรือคิดเป็น 15-30 ซม. สำหรับการรังวัดทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศทั่วไป นิยมใช้กล้องถ่ายภาพที่มีพื้นที่รับภาพขนาดใหญ่ กล่าวคือมีขนาดพื้นที่รับภาพกว้างและยาว 9 นิ้ว หรือ $\frac{3}{4}$ ฟุต หรือเท่ากับ 230 มม. โดยประมาณ

การบันทึกภาพถ่ายทางอากาศเพื่อทำแผนที่ จะบันทึกภาพถ่ายในแนวตั้งหรือเกือบตั้ง โดยทั่วไปแกนตั้งของภาพอาจเบี่ยงเบนจากแนวตั้งไม่เกิน 3° เพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุมและคุณภาพภาพถ่ายทางอากาศสม่ำเสมออย่างเป็นระบบในพื้นที่ ดังนั้น เครื่องบินหรืออากาศยานที่ใช้จะต้องมีเสถียรภาพสูง สามารถประคองลำตัวได้นิ่งเมื่อบินในระดับค่อนข้างต่ำ และใช้ความเร็วไม่สูงมากนักเพื่อให้ภาพที่บันทึกได้ไม่เบลอและมีความคมชัดสูง เครื่องบินที่ใช้จะเป็นชนิดปีกยึด (fixed wing) และมีเครื่องยนต์สองเครื่องติดตั้งบนปีกสมดุกัน การถ่ายภาพทางอากาศและการรังวัดทำแผนที่ด้วยวิธีนี้ถือได้ว่าเป็นวิธีหลักที่มีความสะดวกรวดเร็วที่สุดที่จะทำแผนที่ระดับภูมิภาค ระดับประเทศ ระดับโครงการ ไปจนถึงการสำรวจเป็นพื้นที่เฉพาะหรือการสำรวจตามแนวทาง สำหรับการรังวัดทำแผนที่มาตราส่วนเล็ก 1 : 50,000 ไปจนถึงแผนที่มาตราส่วนใหญ่ 1 : 1,000

ในตัวอย่างต่อไปนี้ แสดงภาพถ่ายทางอากาศสีมาตราส่วน 1 : 25,000 จากโครงการแผนที่เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพยากรของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2544 ถึง 2549 ซึ่งถือได้ว่าเป็นโครงการ การรังวัดด้วยภาพที่ครอบคลุมพื้นที่ครั้งแรกและสำคัญที่สุดของประวัติศาสตร์การรังวัดทำแผนที่ของประเทศไทย ในโครงการแผนที่เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพยากรของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศครอบคลุมทั่วประเทศกว่า 70,000 ภาพในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน แล้วนำมาผลิตแผนที่ภาพออร์โทพร้อมความละเอียดจุดภาพ 0.5 ม. และแบบจำลองระดับความละเอียดสูงที่มีค่าระดับทุก ๆ เมตร



รูปภาพ 1-1 ภาพถ่ายทางอากาศสีมาตราส่วน 1 : 25,000

(ที่มา : โครงการแผนที่ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2544-2549)

1.2.2 การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (digital photogrammetry) หรือการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข เป็นการรังวัดด้วยภาพที่นำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) มาใช้ในกระบวนการรังวัดและประมวลผล กระบวนการทำงานจะใช้การคำนวณเชิงวิเคราะห์โดยอาศัยการคำนวณเชิงเลขเป็นหลักการนำคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์มาช่วยในการรังวัด สามารถลดความผิดพลาด ลดความเหนื่อยล้าของมนุษย์ในการทำงานได้ แต่อย่างไรก็ตาม

ต้องใช้ความรู้ความเข้าใจ มีความชำนาญการใช้คอมพิวเตอร์ ตลอดจนต้องเรียนรู้ขั้นตอนกรรมวิธีตามระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้

ในห้วงเวลาที่การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศด้วยการใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศชนิดเป็นดิจิทัลยังไม่แพร่หลาย การรังวัดด้วยภาพดิจิทัลจึงเริ่มด้วยการเปลี่ยนภาพถ่ายทางอากาศที่อยู่บนฟิล์มเนกาทีฟหรือพอซิทีฟไปรังใส (diapositive) ให้เป็นภาพถ่ายเชิงเลขหรือภาพถ่ายดิจิทัลเสียก่อน ในการนี้ต้องมีการใช้สแกนเนอร์สำหรับภาพถ่ายทางอากาศโดยเฉพาะ (Photogrammetric Scanner) ปัจจุบันมีระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่เป็นดิจิทัลได้มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ และถูกนำมาใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ รวมทั้งการทดแทนระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศเดิมที่บันทึกภาพด้วยวัสดุฟิล์ม

อีกวิวัฒนาการหนึ่งที่สำคัญของกล้องถ่ายภาพทางอากาศคือ กล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ใช้ประโยชน์จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้งานทั่วไป ด้วยพัฒนาการของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่พัฒนารุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว กล้องดิจิทัลมีประสิทธิภาพสามารถบันทึกภาพได้ด้วยความละเอียดสูงระดับ 10-40 ล้านจุดภาพหรือเมกะพิกเซล (Mega Pixel: MP) ด้วยเหตุนี้ปัจจุบันจึงมีกล้องถ่ายภาพทางอากาศรุ่นใหม่ระดับ medium-format ไปจนถึง large-format จำนวนมากที่พัฒนามาบนพื้นฐานของเทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่มีอยู่แล้วในตลาดมากขึ้นเรื่อย ๆ

1.2.3 การรังวัดด้วยภาพด้วย softcopy (Softcopy Photogrammetry)

Softcopy photogrammetry คือ เครื่องมือในการประมวลผลการรังวัดด้วยภาพที่อยู่ในรูปแบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งในความหมายนี้ต้องการเน้นชัดให้ตรงข้ามกับคำว่า “hard-copy photogrammetry” ซึ่งเป็นการรังวัดด้วยภาพที่ต้องใช้เครื่องและวัสดุที่มีตัวตนนำมาประกอบใช้เป็นเครื่องมือรังวัดสำหรับการรังวัดด้วยภาพ การรังวัดบนภาพด้วย softcopy เป็นคำนิยามทางเทคนิคที่นิยมกล่าวถึงบ่อยในช่วงปลายศตวรรษที่ 80 ไปจนถึงช่วงต้นศตวรรษที่ 90 เป็นช่วงต่อระหว่างยุคของการประมวลผลการรังวัดด้วยภาพด้วยเครื่องมือที่เป็นกลไกเชิงวิเคราะห์ เปลี่ยนผ่านก้าวไปสู่ยุคสมัยของการรังวัดและประมวลผลด้วยเครื่องมือและกรรมวิธีที่เป็นดิจิทัล

การรังวัดบนภาพด้วย softcopy เป็นการรังวัดด้วยภาพโดยหลักการพื้นฐานเดียวกันกับการรังวัดบนภาพเชิงวิเคราะห์ แต่มีการนำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์มาช่วย เป็นการรังวัดบนภาพโดยการใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วยซอฟต์แวร์และคอมพิวเตอร์ทั้งสิ้น โดยที่จุดเริ่มต้นคือต้องมีภาพถ่ายโดยเฉพาะภาพถ่ายทางอากาศในรูปดิจิทัลเสียก่อน

1.2.4 การรังวัดด้วยภาพพร้อมจีพีเอส (GPS Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพพร้อมจีพีเอส คือ การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศที่ทำเป็น “บล็อก” และในขณะที่บินถ่ายภาพจะมีการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสคุณภาพสูงชนิดสองความถี่ช่วยในการหาตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพขณะที่บินบันทึกภาพด้วยการรับสัญญาณจีพีเอสจะรับไปพร้อมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอีกเครื่องหนึ่งที่สถานีฐาน การประมวลผลร่วมกันของข้อมูลสัญญาณทั้งสอง ทำให้ได้ค่าพิกัดของตำแหน่งบันทึกภาพจากการรับสัญญาณดาวเทียมบนเครื่องบินและเครื่องรับที่สถานีฐานแล้วนำไปคำนวณ จำเป็นต้องคำนวณภายหลัง (post-processing) ทำให้ผลการคำนวณค่าพิกัดมีประสิทธิภาพและความละเอียดถูกต้องมากขึ้น ค่าพิกัดที่ได้โดยตรงจากจีพีเอสแล้วนำไปสัมพันธ์กับพิกัดของศูนย์กลางของกล้อง (camera exposure coordinate) จะทำให้จำนวนจุดบังคับภาพถ่ายลดลงอย่างมาก ในขณะที่ให้ความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ของบล็อกสูงเช่นเดิม



รูปภาพ 1-2 เครื่องบินสำหรับการถ่ายภาพทางอากาศและเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

นอกจากนี้ การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศพร้อมจีพีเอสที่สมบูรณ์ยังมีการใช้อุปกรณ์วัดความอัตราเร่งและอัตราการหมุนที่เรียกว่า Inertial Measurement Unit (IMU) ไอเอ็มยู ประกอบด้วยเครื่องวัดอัตราการหมุนรอบแกนในสามมิติ (rotation rate) และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราเร่งเชิงเส้นทั้งสามแกน (linear 3-D acceleration) พร้อม ๆ กันในที่ว่างใด การใช้งานไอเอ็มยูจะมีการนำผลการวัดอัตราเร่งทั้งหมดมาประมวลผลร่วมกับผลการรับสัญญาณจีพีเอสทั้งหมด การผสมผสานข้อมูลการวัดจากจีพีเอสและไอเอ็มยูจะทำให้ตรวจจับตำแหน่งของระบบด้วยความละเอียดถูกต้องทั้งสามมิติในระดับดีกว่า 5 ซม. และได้ความละเอียดถูกต้องทางมุมหมุนทั้งสามแกนดีกว่า 10 มิลลิปดา การที่ได้ตำแหน่งและมุมหมุนของกล้องถ่ายภาพโดยเครื่องมือดังกล่าวบนเครื่องบินในขณะที่บันทึกภาพทำให้กระบวนการทำแผนที่จากภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลหรือระบบไลดาร์ (Light Detection and Ranging: Lidar) สะดวก มีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้นมาก กระบวนการหาตำแหน่งและการวางตัว

ของกล้องถ่ายภาพโดยตรงสำหรับเซนเซอร์ทำแผนที่นี้เรียกว่า Direct Geo-referencing (Cramer, 2000) หรือ Direct Geo-positioning (Sanchez, 2004)

1.2.5 การรังวัดด้วยภาพภาคพื้นดิน (Terrestrial Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพภาคพื้นดิน (terrestrial photogrammetry) เป็นการประยุกต์การรังวัดด้วยภาพที่มีการใช้เครื่องมือบันทึกภาพและดำเนินการรังวัดบนภาคพื้นดิน การรังวัดด้วยภาพภาคพื้นดินนิยมใช้กล้องที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายในพื้นที่ได้สะดวก ในยุคแรก ๆ การรังวัดภาพพื้นดินนิยมประยุกต์ใช้กับการทำแผนที่ภูมิประเทศที่ขอบเขตไม่กว้างขวางนัก แต่ภูมิประเทศมักมีความสลับซับซ้อนโดยธรรมชาติ เช่น การทำแผนที่ของเหมืองเปิด การทำแผนที่ของภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาและหุบเขา อุปสรรคอีกประการหนึ่งของการบันทึกภาพบนภาคพื้นดินคือ ขณะที่กล้องอยู่ใกล้พื้นดินและมองไปตามแนวราบจะทำให้ได้ภาพของภูมิประเทศหรือวัตถุปรากฏที่มาตราส่วนแตกต่างกันมาก ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการที่วัตถุที่ตั้งอยู่ใกล้และไกลจากกล้องแตกต่างกันมาก

เนื่องจากความยุ่งยากในเทคโนโลยีการบันทึกภาพ ได้แก่ ข้อจำกัดในเรื่องมาตราส่วนที่แปรเปลี่ยนมากในภาพกล้องถ่ายภาพที่มีความถูกต้องสูงมีราคาแพงและใช้เวลานาน ทำให้การใช้งานการรังวัดด้วยภาพภาคพื้นดินมีบทบาทน้อยลงมาก โดยเฉพาะการทำแผนที่ภูมิประเทศ อาจะยังเหลืออยู่จำกัดในการรังวัดอุตสาหกรรมและการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น การประกอบเรือและเครื่องบิน เป็นต้น นอกจากนี้ ปัจจุบันเทคโนโลยีการรังวัดด้วยกล้องโททอลสเตชัน (total station) กำลังเข้ามาแทนที่กล้องโททอลสเตชัน มีความสามารถในการวัดระยะทางไปยังวัตถุใด ๆ ได้โดยไม่ต้องเข้าถึง การรังวัดค่าพิกัดของจุดบนพื้นผิวที่อาจอยู่ไกลและอยู่ในที่สูงเข้าถึงได้ยาก ทำได้โดยอาศัยหลักการของเครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดไร้เป้าสะท้อน (Reflectorless EDM) ทำให้การรังวัดไปยังตำแหน่งที่กล่าวมาแล้วได้สะดวก

1.2.6 การรังวัดด้วยภาพในระยะใกล้ (Close-range Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพในระยะใกล้ (close-range photogrammetry) เป็นการรังวัดด้วยภาพที่ระยะระหว่างกล้องถ่ายรูปอยู่ห่างจากวัตถุที่จะรังวัดไม่มากนัก โดยทั่วไปจะจำกัดในระยะ 1-100 ม. จะมีการใช้กล้องถ่ายภาพพิเศษเพื่อการนี้โดยเฉพาะ ดังตัวอย่างในภาพ 1-3



ก) Zeiss UMK



ข) WILD P31

รูปภาพ 1-3 กล้องถ่ายภาพระยะใกล้ด้วยฟิล์ม

ปัจจุบัน ด้วยวิวัฒนาการของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่มีขายในท้องตลาดและนิยมใช้งานอยู่ในชีวิตประจำวันทั่วไป หรือกล้องถ่ายภาพสำหรับงานอดิเรกและมีมืออาชีพที่มีศักยภาพพอที่จะนำมาใช้งานในการรังวัดด้วยภาพได้ โดยจะต้องมีกระบวนการปรับเทียบมาตรฐาน (calibration) เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะทางเรขาคณิตของกล้องดิจิทัลเหล่านั้นเสียก่อน การรังวัดด้วยภาพระยะใกล้สามารถประยุกต์ใช้กับงานบันทึกภาพและจำลองแบบโบราณสถาน โบราณวัตถุ งานด้านการตรวจสอบทางอุตสาหกรรม ทางด้านการแพทย์ เพื่อใช้หาขนาดและรูปร่างของวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนหรือต้องการประหยัดเวลาในการบันทึก



รูปภาพ 1-4 การรังวัดระยะใกล้ด้วยกล้องดิจิทัลเพื่อบันทึกภาพเหมือนเพื่อช่วยในการออกแบบก่อสร้าง

(ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ 2543)

การรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัลเป็นการสำรวจรังวัดโดยมีภาพเป็นสื่อกลางในการรังวัด แต่ภาพที่ใช้จะต้องเป็นข้อมูลภาพดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ กระบวนการทำงานยังคงพื้นฐานจากงานรังวัดด้วยภาพดั้งเดิม แต่อาศัยคอมพิวเตอร์ในการคำนวณเป็นส่วนใหญ่ ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็นในรูปแบบดิจิทัลทั้งตัวเลขค่าพิกัดแบบจำลองสามมิติ แบบจำลองสามมิติพร้อมลวดลาย (textured three-dimension model)

การรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัลโดยใช้กล้องที่มีขายอยู่ในท้องตลาด จัดเป็นวิธีที่ประหยัดและให้แบบจำลองสามมิติพร้อมพื้นผิวที่สวยงามได้ แต่เมื่อวัตถุหรือสิ่งปลูกสร้างที่จะจำลองแบบมีความซับซ้อน ก็จะทำให้การบันทึกภาพและการรังวัดควบคุมซับซ้อน การรังวัดบนรูปภาพสามมิติเป็นภาระงานมาก การกำหนดพื้นผิวและอื่น ๆ ยุ่งยากมาก ดังนั้น ในระยะหลังจึงมีการนำเอาเทคโนโลยีการรังวัดด้วยเลเซอร์ภาคพื้นดิน (laser scanner) มาใช้

ในภาพต่อไปนี้ แสดงเครื่องรังวัดด้วยเลเซอร์ภาคพื้นดินติดตั้งบนขาตั้งกล้องสำรวจ ระบบประกอบด้วยเครื่องกำเนิดเลเซอร์ ในภาพหมายเลข ① เครื่องกำเนิดเลเซอร์ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปกระทบวัตถุเพื่อวัดระยะทางอย่างต่อเนื่อง ปริซึม ③ เบี่ยงเบนลำแสงเลเซอร์ให้กวาดในแนวตั้ง ② โรเตอร์ ④ ส่วนบนที่ทำหน้าที่หมุนไปโดยรอบให้การกวาดในแนวราบเป็นพื้นที่กว้างและส่วนการเชื่อมต่อ ⑤ กับคอมพิวเตอร์ ⑥ สำหรับควบคุมเครื่องมือและจัดเก็บข้อมูล

ระบบรังวัดด้วยเลเซอร์ภาคพื้นดิน สามารถวัดมุมและระยะทางที่ตกกระทบเป้าหรือพื้นผิววัตถุ แล้วนำผลการรังวัดไปคำนวณพิกัดในสามมิติได้ละเอียดถูกต้องหลาย มม. ไปจนถึงเดซิเมตร ค่าพิกัดที่บันทึกได้นับหมื่นถึงหลายแสนจุดนี้เรียกว่า “point cloud” จะถูกจัดเก็บลงใน