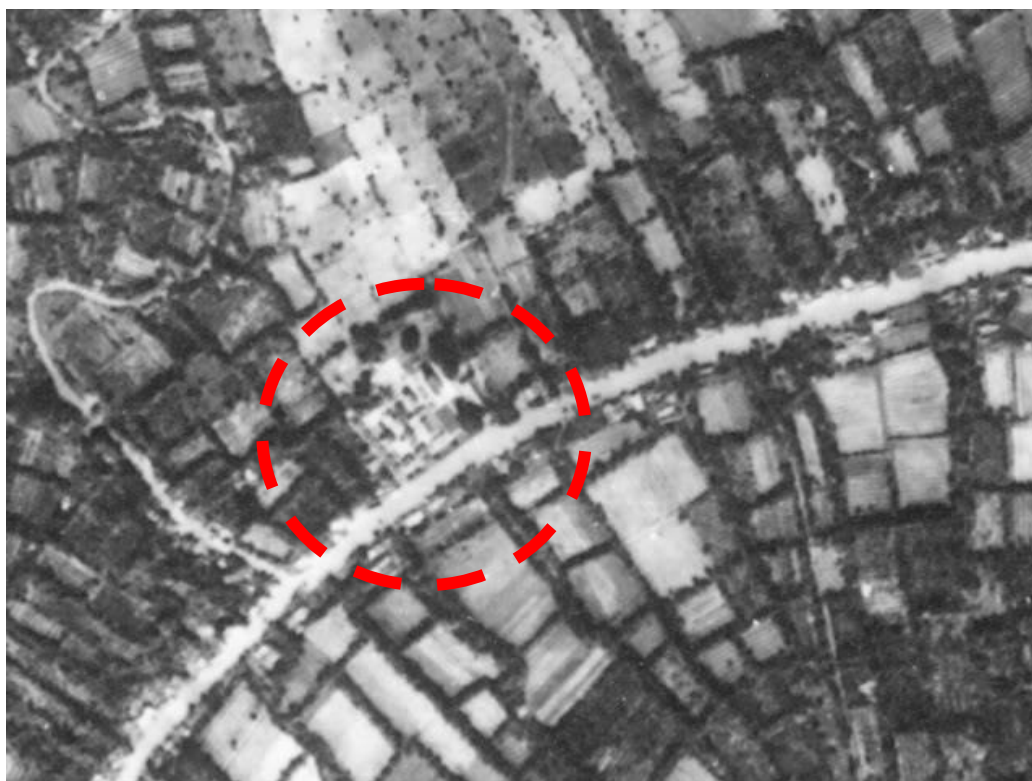


3. การทำแผนที่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศดิจิทัล (Digital Airborne Mapping)

ประเทศไทยเริ่มมีการทดสอบการบินที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่เป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2473 ที่จังหวัดสุรินทร์ แต่พบว่าค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงหยุดดำเนินการไปก่อนในปี พ.ศ. 2490 กรมที่ดินและกรมการแผนที่มีความริเริ่มอีกครั้งในการดำเนินกิจการถ่ายภาพทางอากาศเพื่อการรองรับการเร่งรัดออกโฉนดและงานสำรวจทำแผนที่เพื่อใช้ในการสร้างทางรถไฟ อีกทั้งการประยุกต์ใช้อื่นๆสำหรับทางการ โดยเฉพาะความต้องการแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ครอบคลุมทั่วประเทศ ดังนั้นจึงมีการจัดตั้งองค์การทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ เมื่อ พ.ศ. 2493 โดยพลโทพระยาศลวิธานนิเทศเป็นประธาน องค์การมีสำนักงานตั้งอยู่ที่ ตึกหน้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ต่อมาภายหลังได้อนุมัติให้เป็นกรมการแผนที่รูปถ่ายทางอากาศเมื่อ พ.ศ. 2494

ใน รูปที่ 3-1 ภาพบริเวณวัดโมลี อำเภอบางรักใหญ่ จังหวัดนนทบุรี บันทึกเมื่อ พ.ศ. 2495 เป็นส่วนของภาพจากโครงการถ่ายภาพทางอากาศ “WWS” เปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากดาวเทียมรายละเอียดสูง “QuickBird” บันทึกเมื่อ พ.ศ. 2553



รูปที่ 3-1 ภาพบริเวณวัดโมลี อำเภอบางรักใหญ่ จังหวัดนพนบุรี บันทึกเมื่อ พ.ศ. 2495



รูปที่ 3-2 ภาพบริเวณวัดโมลี อำเภอบางรักใหญ่ จังหวัดนพนบุรี บันทึกเมื่อ พ.ศ. 2553 จากดาวเทียม QuickBird

หลังจากนั้นวิวัฒนาการถ่ายภาพทางอากาศในประเทศไทยก็เจริญก้าวหน้ามาโดยลำดับ มีการบินบันทึกภาพถ่ายทางอากาศเพื่อแผนที่เพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาประเทศ ที่เป็นร่องของจากหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานปฏิรูปที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง กรมชลประทาน และอื่นๆอีกมาก โดยเป็นการบินบันทึกภาพถ่ายทางอากาศที่มาตราส่วนระหว่าง 1:6,000 ถึง 1:50,000 โดยสรุปอาจพิจารณาจากโครงการขนาดใหญ่ของประเทศไทยที่มีการใช้งานภาพถ่ายทางอากาศในการทำแผนที่และภูมิสารสนเทศ โดยหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบดำเนินการคือ กรมแผนที่ทหาร สังกัดกองบัญชาการกองทัพไทย กระทรวงกลาโหม ได้จาก โครงการขนาดใหญ่ปรากฏใน ตารางที่ 3-1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3-1 โครงการถ่ายภาพทางอากาศของประเทศไทย (สารานุกรมไทยเล่มที่ 17, ____)¹

โครงการ	ปีที่บันทึกภาพ พ.ศ.	ชนิดภาพ จำนวน	มาตราส่วน	บริเวณที่ ถ่ายภาพ
1. โครงการกรมการแผนที่ รูปถ่ายทางอากาศร่วมกับ สหรัฐฯ ว่าจ้างบริษัท World Wide Survey (WWS)	2495 - 2499	ภาพขาว-ดำ ~140 ม้วน	1:40,000 – 1:60,000	ทั่วประเทศ ยกเว้นภาคใต้ ตั้งแต่จังหวัด ชุมพรลงไป
2. โครงการความร่วมมือ สหรัฐฯ โดยหน่วยบิน VAP-61 กองทัพอากาศสหรัฐฯ	2509 - 2513	ภาพขาว-ดำ ~967 ม้วน	1:25,000 - 1:50,000	ทั่วประเทศ ตั้งแต่ละติจูด 7° ลงไป
3. โครงการออกหนังสือ รับรองการทำประโยชน์ ของกรมที่ดิน (น.ส. 3/N.S.3)	2515 - 2522	ภาพขาว-ดำ ~2,105 ม้วน	1:15,000	ทั่วประเทศ
4. โครงการพัฒนาชนบท แห่งชาติ (กชช)	2526 - 2528	ภาพขาว-ดำ ~3,671 ม้วน	1:15,000	เฉพาะพื้นที่ป่า เขาทั่วประเทศ
5. โครงการพัฒนากรม ที่ดิน (Rectified Photo) โดย North West, IGN France	2529 - 2544	ภาพขาว-ดำ	1:6,000 , 1:15,000, 1:50,000	ทั่วประเทศ
6. โครงการแผนที่ กรมแผนที่ ทหาร NIMA	2539 - 2543	ภาพขาว-ดำ	1:50,000	ทั่วประเทศ

¹ รายละเอียดหาได้จาก “ข้อมูลโครงการภาพถ่ายทางอากาศจังหวัดต่างๆ” ดาวโหลดได้จาก <http://www.rtsd.mi.th>
เว็บไซต์ของ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย (เข้าถึง 1 สค. 2553)

โครงการ	ปีที่ บันทึกภาพ พ.ศ.	ชนิดภาพ จำนวน	มาตราส่วน	บริเวณที่ ถ่ายภาพ
7.โครงการจัดทำแผนที่ กายภาพผังเมือง ของกรม โยธาธิการและผังเมือง	2538 - 2547	ภาพขาว-ดำ และภาพสี	2538 small- format 2539-2545: 1:15,000 สี 2545-2547: ใช้โครงการ กษ.	อ ง ค์ ก ร ปกครองส่วน ท้ อ ง ถี่ น (เทศบาลและ อ บ ต .) กระจายทั่ว ประเทศ รวม 356 พื้ น ที่ (ยธ.)
8. โครงการจัดทำแผนที่ เพื่ อ ก า ร บ ริ ก า ร ทรัพยากรธรรมชาติ และ ทรัพยากรสินของกระทรวง เกษตร และสหกรณ์	2544 - 2546	ภาพสี 75,000 ภาพ มีจีพีเอสช่วย กำหนดพิกัด จุดเปิดถ่าย	1:25,000	ทั่วประเทศ

การบันทึกภาพถ่ายทางอากาศเพื่อทำแผนที่โดยการใช้กล้องที่บรรจุฟิล์มที่เป็น
ผลิตมาเพื่อการนี้โดยเฉพาะ จากนั้นจะผ่านกรรมวิธีล้างอัดผลิตออกมาเป็นฟิล์มเนกาตีฟ
ฟิล์มไดอาพอซิติฟ หรือฟิล์มบนกระดาษโปรไมด์ และในช่วงทศวรรษหลังนี้ การรังวัดด้วย
ภาพในประเทศได้พัฒนาไปสู่การใช้ภาพดิจิทัลโดยมีการใช้เครื่องสแกนเนอร์สำหรับ
ภาพถ่ายทางอากาศโดยเฉพาะจาก ตารางที่ 3-1 รายการที่ 6. โครงการจัดทำแผนที่
กายภาพผังเมือง ของกรมโยธาธิการและผังเมือง รายการที่ 7. โครงการกระทรวงเกษตร
และสหกรณ์ (พื้นที่กรมแผนที่ทหาร) เครื่องสแกนเนอร์สำหรับภาพถ่ายทางอากาศที่พบ
บ่ อ ย คื อ Vexcel UltraScan 5000, ZI/Imaging PhotoScan แล ะ Leica DSW600
โดยเฉพาะในโครงการจัดทำแผนที่ฯ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ภาพทั้งหมดประมาณ
70,000 ภาพ ถูกสแกนด้วยความละเอียดจุดภาพ 15 ไมครอนอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการ
จัดทำแผนที่ภาพออร์โทสี่มาตราส่วน 1:4,000 ที่ความละเอียดจุดภาพ 0.5 เมตร และข้อมูล
แบบจำลองระดับความละเอียดจุดภาพสูงมาก 5 เมตร ความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง 2-4

เมตร ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายดิจิทัลและแบบจำลองระดับปัจจุบันอยู่ในงานบริการแผนที่และข้อมูลทางแผนที่กรมแผนที่ทหาร หรือดูข้อมูลเบื้องต้นได้ที่ <http://www.iddservice.org>

ขณะนี้กรมแผนที่ทหารกำลังดำเนินการกราด (สแกน) ภาพถ่ายทางอากาศทั้งหมดที่ยังไม่เป็นดิจิทัลให้เป็นดิจิทัลภายใต้ “โครงการอนุรักษ์และสำเนาฟิล์มภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์” (พศ.2552) และในเวลาต่อเนื่องกัน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้ริเริ่ม “โครงการเร่งด่วนเพื่อแก้ไขปัญหาการบุกรุกทำลายทรัพยากรป่าไม้ของประเทศ” เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลแนวเขตที่ดินของรัฐประเภทป่าไม้ (พศ. 2553) สาระสำคัญของโครงการในส่วนภาพถ่ายทางอากาศคือจะมีการใช้ประโยชน์จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศดิจิทัลที่สแกนขึ้นมาจากภาพถ่ายทางอากาศที่ได้บันทึกมาในห้วงเวลาต่างๆ ในอดีตดังที่ได้กล่าวสรุปมาข้างต้น

กล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ยังใช้ฟิล์มอยู่โดยผู้ผลิตชั้นนำด้านนี้ ตั้งแต่ ค.ศ. 2007 บริษัทผู้ผลิตเครื่องสำรวจทำแผนที่หลักๆ ได้ประกาศเลิกสายการผลิตกล้องถ่ายภาพทางอากาศด้วยฟิล์มไปแล้ว กล้องถ่ายภาพทางอากาศด้วยฟิล์มรุ่นล่าสุดที่ได้รับความนิยมและเป็นมาตรฐาน แสดงให้เห็นใน รูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 กล้องถ่ายภาพทางอากาศด้วยฟิล์มรุ่นสุดท้าย ซ้าย:กล้อง Leica RC30 ขวา:กล้อง RMK TOP

กล้องถ่ายภาพทางอากาศด้วยฟิล์มเหล่านี้ยังมีการบำรุงรักษาและใช้งานอยู่เท่าที่จะทำได้ ในระยะหลังของการใช้งานกล้องถ่ายภาพทางอากาศนี้ ผู้ใช้มักติดตั้งอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งโดยตรง (DG) โดยเฉพาะเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสหรือจีเอ็นเอสเอสและไอเอ็มยู ไอเอ็มยูจะติดตั้งแนบสนิทกับกล้องเพื่อตรวจจบการวางตัว (orientation) โดยตรงปรากฏในรูปที่ 3-4 อีกทั้งมีการติดตั้งควบคู่ไปกับเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสบนอากาศยาน ทั้งนี้เพื่อ

เพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการบินถ่ายภาพ ความละเอียดถูกต้องน่าเชื่อถือในการประมวลผล

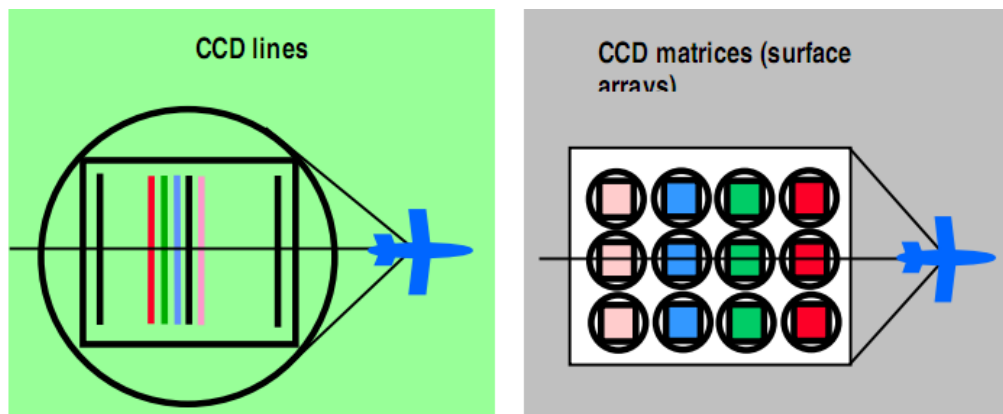


รูปที่ 3-4 การติดตั้ง IMU กับกล้องถ่ายภาพดั้งเดิม ช่าย: AEROcontrol ขวา: LN200

ราว ค.ศ. 2000 บริษัท Z/I Imaging และ LH System ผู้ผลิตกล้องถ่ายภาพทางอากาศชนิดใช้ฟิล์มที่มีชื่อเสียงได้นำผลิตภัณฑ์กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล Digital Modular Camera (DMC) และ Airborne Digital Sensor 40 (ADS-40) ตามลำดับ (Ziemann 2004) ออกสู่ตลาดเป็นครั้งแรก กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลสามารถบันทึกภาพภูมิประเทศให้อยู่ในรูปดิจิทัลได้โดยตรง ทำให้กระบวนการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศปัจจุบันที่ต้องบันทึกภาพด้วยฟิล์มและล้างอัดภาพเสียก่อน แล้วนำผลการบันทึกในรูปฟิล์มมาสแกนด้วยสแกนเนอร์ หลีกเลี่ยงกระบวนการที่ยุ่งยากซับซ้อน ลดปัญหาการใช้วัสดุสิ้นเปลือง เช่น ฟิล์ม เคมีล้างอัดรูป วัสดุตั้งกล่าวจึงไม่มีความจำเป็นต่อไปอีก การแจกจ่ายภาพดิจิทัลทำได้ง่าย การผลิตประมวลผลภาพถ่ายแผนที่ในระบบดิจิทัลมีความสมบูรณ์เป็นดิจิทัลทั้งกระบวนการจึงเกิดขึ้น

3.1 การบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล

ปัจจุบันถือได้ว่าเป็นยุคกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลแล้ว เนื่องจากผู้ผลิตรายใหญ่ทั้งหมดได้ประกาศยุติสายการผลิตกล้องใช้ฟิล์ม ประมาณในช่วง ค.ศ. 2007 ตลอดจนในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีความต้องการใหม่ๆเกิดขึ้นที่เป็นแรงขับเคลื่อนมีการพัฒนา CCD ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น มีความคมชัดละเอียดถูกต้องสูงขึ้น พัฒนาการแรกคือความก้าวร้าวเทียมสำรวจทรัพยากรมาสู่ดาวเทียมรายละเอียดสูง และวงการไอทีที่มีความต้องการใช้งานภูมิสารสนเทศ



รูปที่ 3-5 ช่าย แนวคิดการใช้ 3 line-CCD ขวา: สร้างภาพเสมือนจาก Array CCD หลายตัว (Sandau, 2000)

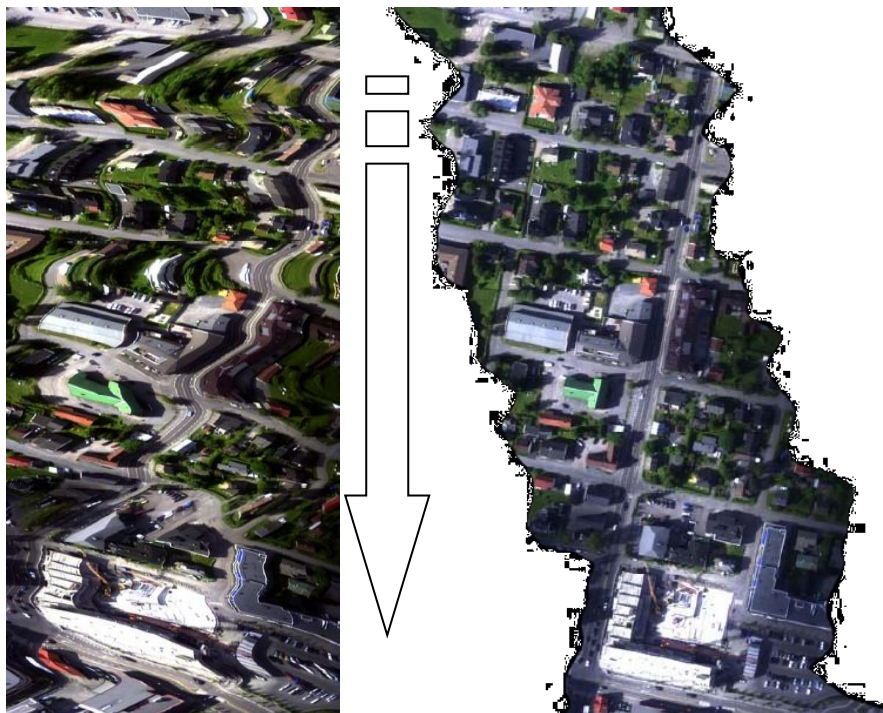
ในช่วงแรกของการพัฒนาระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลผู้พัฒนาจะต้องตัดสินใจเลือกปัจจัยหลักคือชนิดของ CCD ที่จะใช้ โดยเงื่อนไขคือความต้องการพื้นที่รับภาพขนาดใหญ่ที่เรียก “large-format” จะทำให้พื้นที่ครอบคลุมในแต่ละแนวนินกว้างคุ้มค่าสำหรับการบินอีกทั้งความคลาดเคลื่อนที่ไม่จำเป็นเนื่องจากมีภาพเล็กๆจำนวนมากก็จะตัดปัญหาออกไปได้

หากเลือกใช้ Array CCD ที่ขนาดพื้นที่รับภาพขนาดใหญ่หายาก ในช่วงแรกการพัฒนาถ่ายภาพทางอากาศ Array CCD มีขนาดใหญ่ที่สุดเพียง 4K x 4K เรียกว่า “medium-format” หากต้องการพื้นที่รับภาพขนาดใหญ่ก็จะใช้ Array CCD หลายตัวประกอบกัน Array CCD แต่ละตัวจะเป็นโมดูลอิสระ เมื่อผู้ผลิตนำโมดูลกล้องมาประกอบกันเป็นระบบกล้อง จึงเรียกว่ากล้อง “multi head” ภาพที่บันทึกได้อาจมีส่วนซ้อนกันเล็กน้อย เพื่อ

บันทึกภาพสีองค์ประกอบพื้นฐานสีแดง เขียว น้ำเงิน และบ่อยครั้งจะรองรับ ไกลอินฟราเรด (near-infrared) line-CCD สำหรับสีอาจมีความละเอียดจุดภาพต่ำกว่าภาพแพนโครมาติกถึง 4 เท่า เมื่อบันทึกภาพแล้วจะนำหลอมภาพ (image fusion) หรือ pansharpening ทำให้ได้ภาพสีความละเอียดสูงเท่ากับภาพขาวดำแพนโครมาติก

สำหรับการใช้ line CDD บันทึกภาพ โดยการใช้การบันทึกภาพแบบกวาด push-broom โดยการใช้ line CCD เคลื่อนที่ไปตามแนวนอน เป็นเรื่องปรกติที่อากาศยานต้องสั่นไหวไปตามพลศาสตร์และสภาวะแวดล้อมการบิน ดังนั้นภาพที่บันทึกได้ในแต่ละเส้นภาพจะมีความเป็นอิสระต่อกัน หากไม่แก้ไข โดยการที่จะต้องทราบพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอกของแต่ละเส้นภาพ ในขั้นตอนนี้เรียกว่า การจำลองแบบเซนเซอร์ (sensor modeling)

ในการทดสอบ line scanner กับเครื่องบิน Cessna 172 ที่ความสูง 650 เมตร อากาศแปรปรวนมาก ปรากฏภาพ



รูปที่ 3-7 ภาพจาก pushbroom scanner ซ้าย:ภาพบันทึก ขวา:ข้อมูลจากระบบนำหนแก้ไขแล้ว

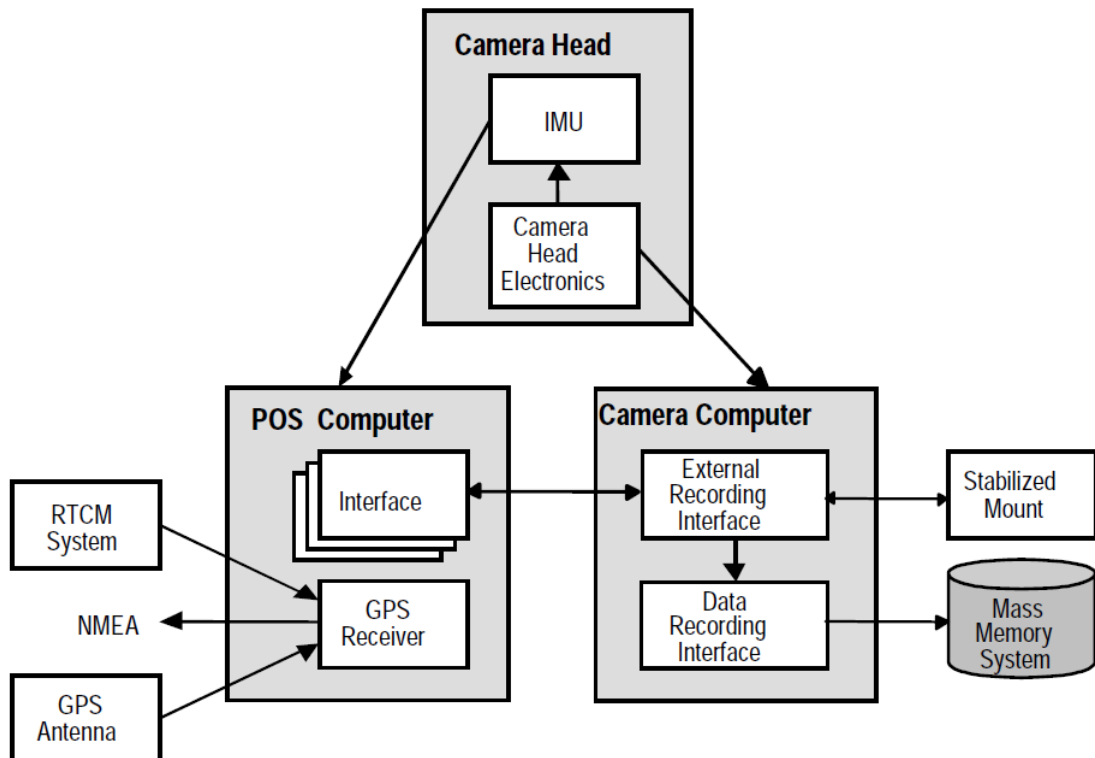
ในกรณีการบันทึกภาพของโลกด้วยวิธีการกวาดภาพ อากาศยานจะต้องมีระบบกำหนดพิกัดอ้างอิงโดยตรง (DG) ความละเอียดถูกต้องสูง เช่น GNSS/IMU หรือ GPS/IMU เป็นอย่างน้อย และในการปฏิบัติงานบินบันทึกภาพด้วยวิธีการกวาดภาพ นี้จะต้องวางแผนการบินและการ

ปฏิบัติงานกำหนดตำแหน่งการวางตัวไว้อย่างดี เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อบินบันทึกภาพได้แล้ว จะได้วิถี (trajectory) ของอุปกรณ์ตลอดเวลา เทคนิคการทำงานปัจจุบันสามารถเลือกใช้ได้หลายวิธี เช่น real-time kinematic, post-processing kinematic, real-time kinematic PPP, post-process kinematic PPP เป็นต้น และการบูรณาการอุปกรณ์ช่วยนำหนเช่น IMU มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดเนื่องจากมีข้อเด่นที่ชุดระบบนำหนอีกทั้งยังเป็นการเพิ่ม “ค่าสังเกต” ในระบบอีกด้วย

3.1.1 องค์ประกอบระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศ

ในภาพแสดงองค์ประกอบระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่มักจะประกอบด้วย

- 1) หัวกล้อง (Camera Head) ที่มีเซนเซอร์รับภาพทำหน้าที่รับภาพ 2) ระบบกล้องควบคุมภาพ (Camera Computer) ที่ควบคุมสั่งการกล้องและบันทึกภาพจัดเก็บ ประมวลผลภาพ
- 3) ระบบคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลกำหนดตำแหน่งและการวางตัว (Position and Orientation Sstem:POS Computer) ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ดังภาพ

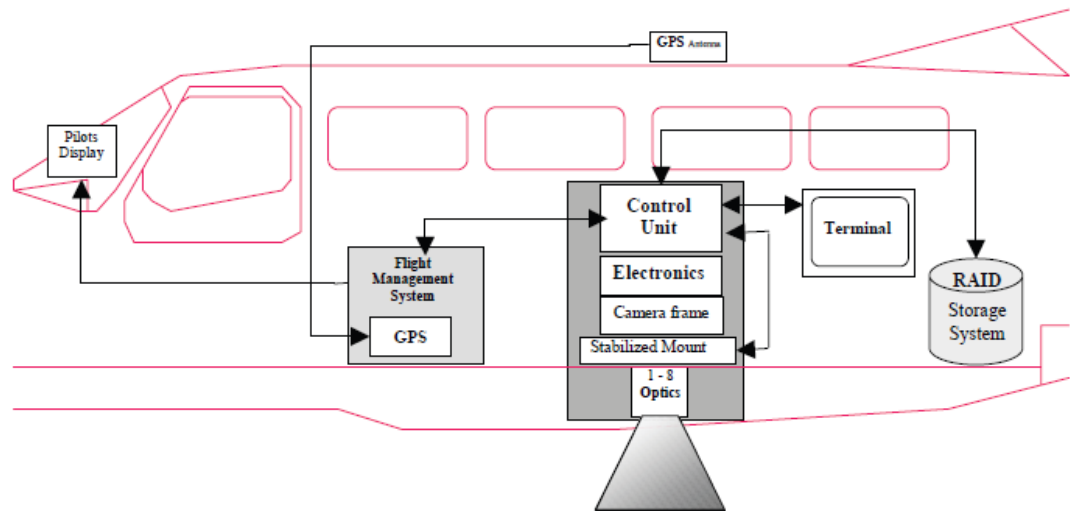


รูปที่ 3-8 องค์ประกอบระบบกล้อง ADS 40 ของ Leica (Sandau et.a. 2000)

ระบบทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันและอาจติดตั้งในอากาศยานดังภาพ ที่ประกอบด้วย

- Pilot Display ส่วนแสดงการทำงานของกล้องประกอบกับแนวนบิน
- Flight Management System ระบบช่วยบริหารการบินถ่ายภาพ
- ระบบกล้องถ่ายภาพที่ประกอบด้วย Control unit, electronics, camera frame, stablilized mounng และ Optics

-จอภาพ (terminal) สำหรับต้นหนถ่ายภาพ (camera operator) ตรวจสอบติดตามการถ่ายภาพ และควบคุมคุณภาพภาพที่บันทึกได้ในเบื้องต้น



รูปที่ 3-9 การติดตั้งระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศ Intergraph DMC (Hinz et.al. , 2001)

3.2 ตัวอย่างระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล

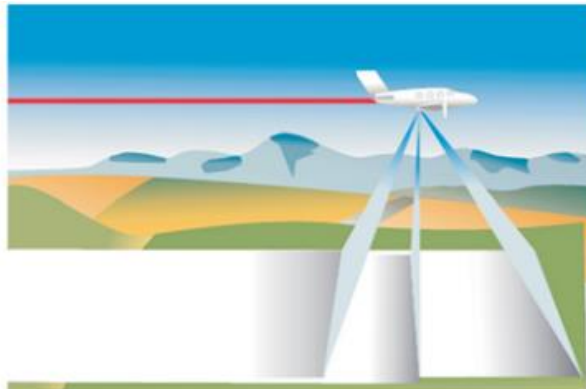
ระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลที่มีอยู่ปัจจุบันในตลาด อาจแบ่งเป็นกว้างๆ ได้ 2 กลุ่มคือกล้องที่ใช้ array CCD ที่บันทึกภาพแบบเฟรม และกล้องที่ใช้ line-CCD ที่บันทึกภาพแบบกวาดภาพหรือพวยพุ่ง กล้องที่บันทึกภาพเป็นเฟรมอาจแบ่งลงไปอีก 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้ array CCD เพียงตัวเดียว และกลุ่มที่ใช้ array CCD 2-4 ตัวเพื่อให้ได้ภาพกว้างขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผู้ใช้ภาพจะได้รับภาพเป็น “ภาพเสมือน virtual image” ที่เป็นภาพสังเคราะห์จากภาพกล้องย่อย มีความยาวโฟกัสปรกติ (nominal focal length) และปราศจากความผิดเพี้ยนของเลนส์

ในตัวอย่างนี้จะเป็นระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลขนาดใหญ่ เป็นกล้องออกแบบมาสำหรับการทำแผนที่โดยเฉพาะ (mapping-grade) ตัวอย่างระบบกล้องบันทึกภาพดิจิทัลที่พบมีดังนี้

3.2.1 Leica ADS40

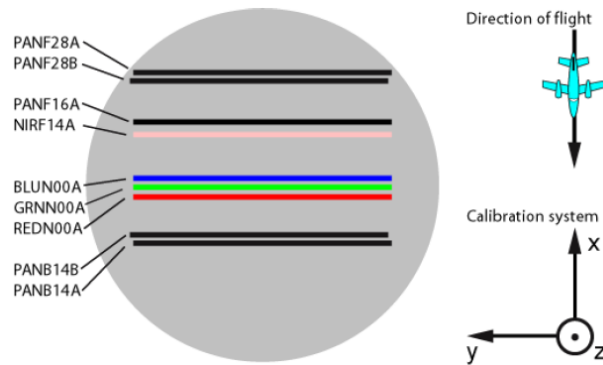
Leica ADS40 เป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศตัวแรกของผู้ผลิตกล้องถ่ายภาพทางอากาศรายใหญ่ที่สุดรายหนึ่งในตลาด กล้อง ADS40 เป็นพัฒนาการจากกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งโครงการอวกาศของหน่วยงานการบินอวกาศเยอรมัน (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt : DLR, engl: German Aerospace Center) (Sandau,2000)

กล้อง Leica ADS40 เป็นกล้องชนิด push-broom และมี line-CCD หลายชุด ทั้ง ทั้งหมดติดตั้งบนฉากรับภาพเดียวกันเรียกว่า Sensor Head SH40



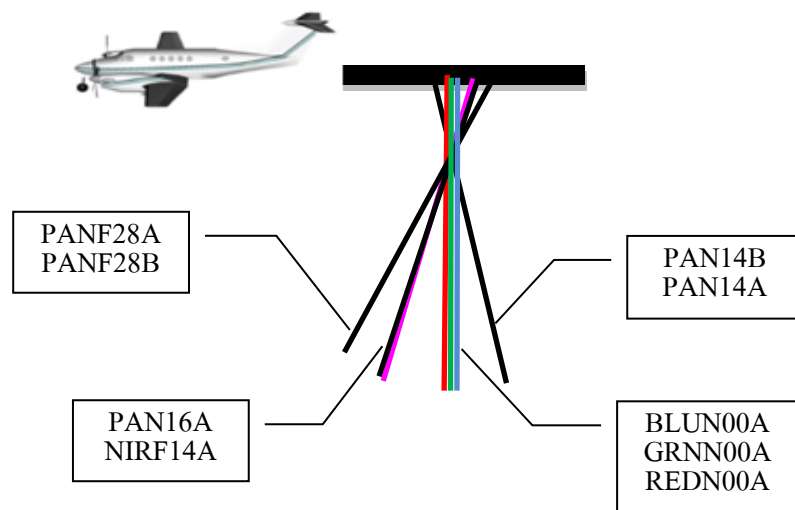
รูปที่ 3-10 ซ้าย: กล้อง Leica ADS40 ขวา: การกวาดเป็นเส้นสำหรับ panchromatic

กล้อง ADS40 มีระนาบรับภาพ (focal plane) มี line CCD รวม 7 เส้น ทั้งหมดติดตั้งบนระนาบรับภาพเดียวกัน ในจำนวนนี้เป็น panchromatic 3 เส้น และมัลติสเปกตรัม (R-G-B-NIR) อีก 4 เส้น สำหรับ Line CCD 2 เส้นที่กวาดไปข้างหน้าและกวาดไปข้างหลัง เป็นชนิด staggered CCD ซึ่งเป็นนำ line-CCD มีเรียงชิดและให้เยื้องกัน $\frac{1}{2}$ จุดภาพ ผลการรับภาพบน line-CCD ทั้งสองจะมีการนำการรับภาพจากทั้งสองมาประมวลผลร่วมกัน ทำให้ได้คุณภาพดีขึ้น



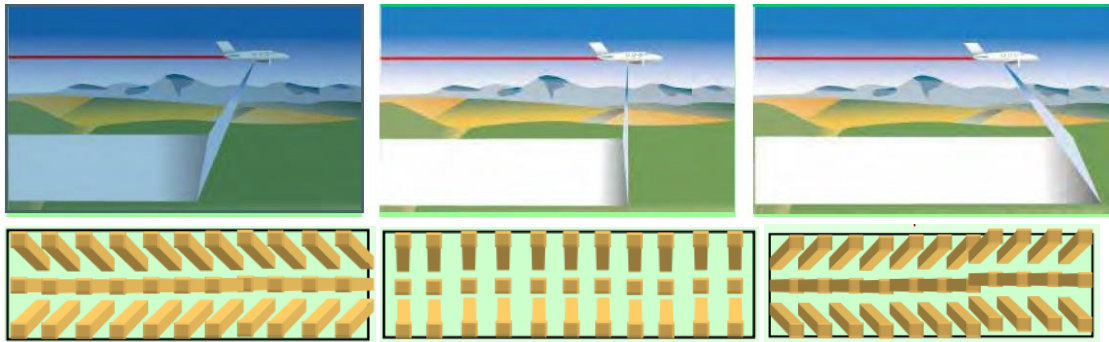
รูปที่ 3-11 แสดงการจัดเรียง Line-CCD ของกล้อง ADS40 Sensor Head SH40

สำหรับการวางตัวของ Line CCD ในกล้อง ADS 40 แสดงในรูปถัดไป จะเห็นว่า panchromatic บันทึกภาพเอียงเป็นมุมตั้งรูป มีการใช้ Staggered Line CCD 2 ชุดคือชุดที่เอียงรับภาพ 28 องศาไปข้างหลัง และ 14 องศาไปข้างหน้า



รูปที่ 3-12 การวางตัวของ Line CCD ในกล้อง ADS40 Sensor Head SH40

เนื่องจากกล้องเป็นชนิดกวาดภาพด้วย เซนเซอร์รับภาพมองไปข้างหลัง แนวเกือบตั้ง และมองไปข้างหน้า จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ relief displacement สำหรับรูปอาคารและสิ่งปลูกสร้างเล็กน้อยแตกต่างกัน ปัจจัยได้แก่ ความสูงอาคารและสิ่งปลูกสร้าง มุมเอียงของมุมมองเซนเซอร์ (PANF28, PANF16 และ PANB14) และตำแหน่งจุดภาพที่ห่างออกไปจากศูนย์กลางของ line CCD โดยแสดงให้เห็นในภาพต่อไปนี้



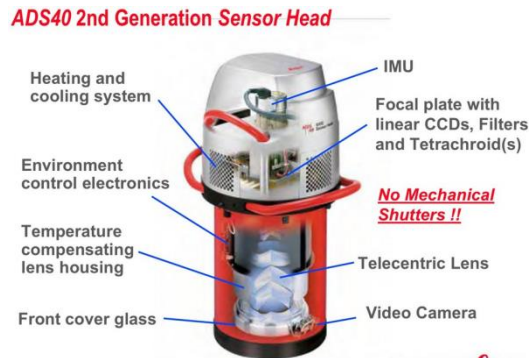
รูปที่ 3-13 ซ้าย: กล้อง Leica ADS40 ขวา: การถ่ายภาพทางอากาศแบบกวาดเป็นเส้น

ระบบกล้อง ADS40 มาพร้อมระบบกำหนดตำแหน่งและการวางตัว Applanix POS AV 310 เนื่องจากเป็นกล้องชนิดกวาดภาพ จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญของระบบกำหนดพิกัดอ้างอิงโดยตรงที่มีคุณภาพน่าเชื่อถือ

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

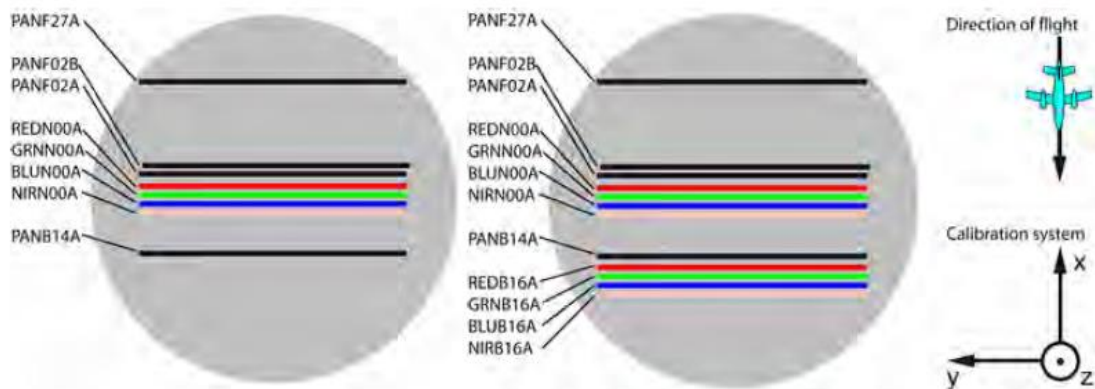
3.2.2 Leica ADS40 2nd Generation Sensor Head

Leica ADS40 2nd Generation Sensor Head เป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศพัฒนาต่อจากกล้องรุ่นแรกของผู้ผลิตกล้องถ่ายภาพทางอากาศรายใหญ่ที่สุดรายหนึ่งในตลาด สารระสำคัญของการปรับปรุงคือการที่มี Sensor Head ให้เลือก 2 ชนิด คือ SH51 และ SH52



รูปที่ 3-14 ซ้าย: กล้อง Leica ADS40 2nd Generation

ความต่างระหว่าง Sensor Head ชนิด SH51 และ SH52 คือการเน้นภาพมัลติสเปกตรัม โดยที่ SH51 มีมุมมองของซุ่มมัลติสเปกตรัมอยู่ที่แนวดิ่ง (nadir) เท่านั้น ขณะที่ SH2 มีชุดระบบเซนเซอร์รับภาพมัลติสเปกตรัม 2 ชุดชุดหนึ่งรับภาพในแนวดิ่ง (nadir) และอีกชุดหนึ่งรับภาพในแนวออกจากแนวดิ่ง 16 องศาไปทิศทางข้างหลัง (backward) ดังปรากฏในรูป

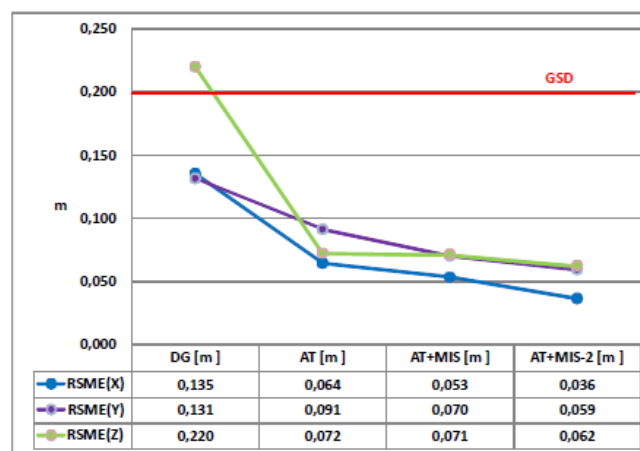


รูปที่ 3-15 กล้อง Leica ADS40 2nd Generation ซ้าย: Sensor Head SH51 ขวา: Sensor Head SH52

สำหรับการบันทึกภาพแพนโครมาติก กล้อง SH51 มีเซนเซอร์รับภาพแพนโครมาติกเป็น เป็นชนิด staggered เพียง 1 ชุดและติดตั้งบันทึกภาพตั้ง (nadir) และสำหรับการบันทึกภาพ สเตอริโอ กล้อง SH51 มีเซนเซอร์รับภาพแพนโครมาติกอีก 2 ชุดแต่เป็น ชนิด line-CCD ปรกติโดยเซนเซอร์ทั้งสองบันทึกภาพที่มุมเอียง 27° ไปข้างหน้า (forward) และอีกเซนเซอร์หนึ่งบันทึกภาพเอียงไปข้างหลัง 14°

สำหรับกล้อง SH52 มีเซนเซอร์บันทึกภาพแพนโครมาติก รับภาพแพนโครมาติกเป็น เป็นชนิด staggered เพียง 1 ชุดและติดตั้งบันทึกภาพตั้ง (nadir) และสำหรับการบันทึกภาพ สเตอริโอ กล้อง SH51 มีเซนเซอร์รับภาพแพนโครมาติกอีก 2 ชุดแต่เป็น ชนิด line-CCD ปรกติ มีมุมเอียงในการบันทึกภาพเช่นเดียวกับ กล้อง SH51

ผลการประเมินระบบกล้อง ADS40 เพดานบิน 2000 เมตร ด้วยกล้อง ADS40 second generation DG: Direct Georeferencing , AT: aerial triangulation, AT+MIS: aerial triangulation and IMU misalignment, AT+MIS-2 : aerial triangulation and IMU misalignment per strip (Casella et.a., 2008) แสดงในภาพ



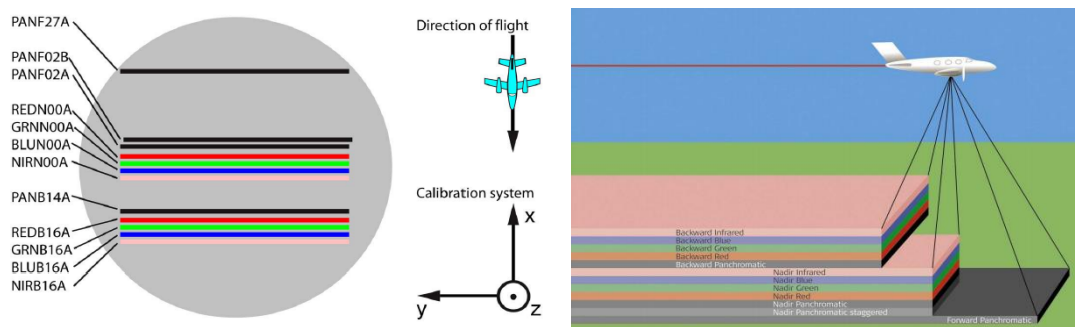
รูปที่ 3-16 ผลการประมาณความละเอียดถูกต้องของบล็อกภาพจากกล้อง ADS40

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

3.2.3 Leica ADS80

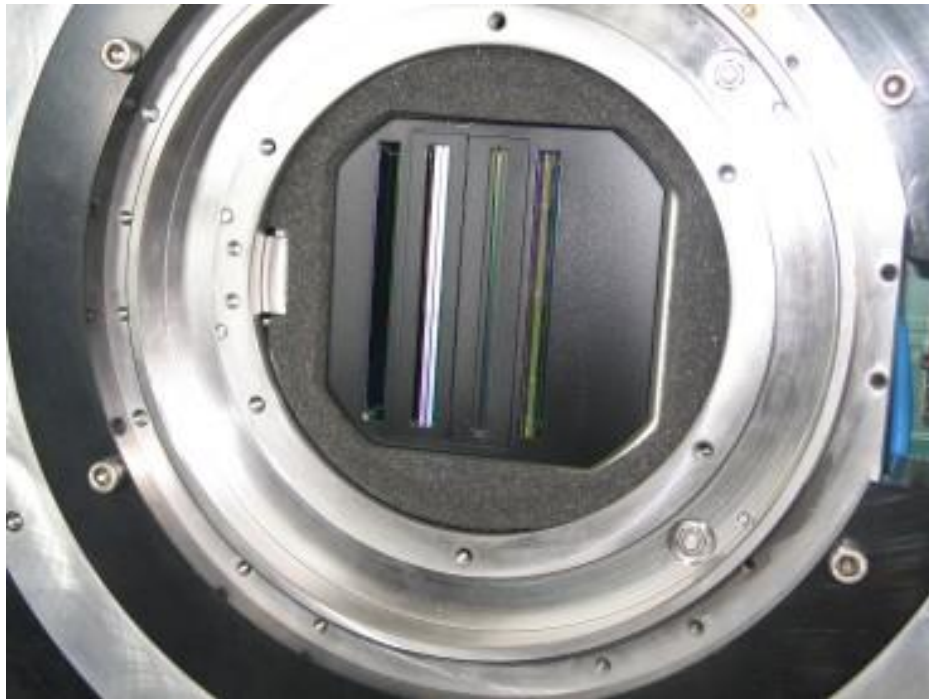
Leica ADS80 เป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศพัฒนาการล่าสุดจาก Leica GeoSystem ระบบมีระบบให้ดียิ่งขึ้น ในระบบเซนเซอร์รับภาพ มีหัวเซนเซอร์ให้เลือก 2 ชนิด คือ SH81 และ SH82 และมีการจัดเรียงเซนเซอร์รับภาพคล้ายคลึงกับ SH51 และ SH52 ตามลำดับ

ตัวอย่างในรูปต่อไปแสดงเซนเซอร์ SH82 และวิธีการกวาดภาพที่เน้นคุณภาพมัลติสเปกตรัมมากขึ้น



รูปที่ 3-17 Leica ADS80 ช่าย: Sensor Head SH82 ขวา: การกวาดภาพ

เซนเซอร์ทุกตัวมีขนาดจุดภาพเท่ากันทั้งหมด ดังนั้นการสร้างภาพ color composite ไม่จำเป็นต้องมีการทำ fusion หรือ pan-sharpening ใดๆ ในภาพแสดงโครงสร้างของระนาบรับภาพและการจัดเรียงเส้นภาพของชุด line-CCD



รูปที่ 3-18 การจัดเรียงเส้นภาพ line-CC ของกล้อง ADS

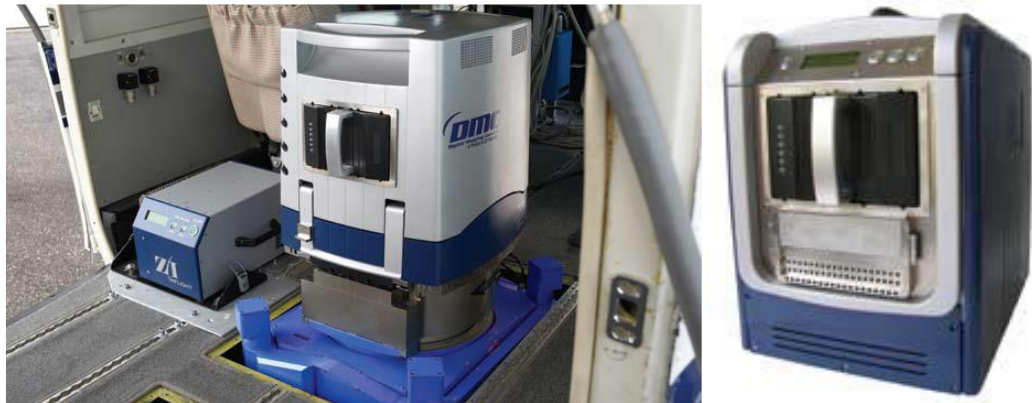
ระบบกล้องผูกแน่นรวมกับระบบกำหนดตำแหน่งโดยตรง เนื่องจากกล้องเป็นชนิดกวาดภาพ และผู้ผลิตมีระบบ GNSS/IMU ชื่อว่า IPAS ติดตั้งรวมกันมา และได้ให้ความละเอียดถูกต้องตามความละเอียดจุดภาพของการทำแผนที่ที่ต้องการ และผู้ใช้เลือกวิธีการกำหนดตำแหน่งตรง Precise Point Positioning (PPP) หรือ การประมวลผลด้วย phase differential ผู้ผลิตแสดงให้เห็นในรูป

ตารางที่ 3-2 ความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งสัมบูรณ์ในการทำแผนที่ด้วยกล้อง Leica ADS80

Quality of external orientation of Leica ADS80 images depending on mission parameters and based on the application of PPP (Precise ephemeris data)												
Mission Type	Mission Parameters				5 cm GSD		10 cm GSD		15 cm GSD		20 cm GSD	
	GNSS data	GNSS ground ref station	Aero-triangulation	GCPs	relative	absolute (cm)	relative	absolute (cm)	relative	absolute (cm)	relative	absolute (cm)
1	PPP	no	no	no	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100
2			yes	no	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50
3			yes	yes	0.5 pixels	< 5	0.5 pixels	< 10	0.5 pixels	< 15	0.5 pixels	< 20
4	phase differential	yes	no	no	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100
5			yes	no	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50
6			yes	yes	0.5 pixels	< 5	0.5 pixels	< 6	0.5 pixels	< 8	0.5 pixels	< 10

3.2.4 Intergraph Digital Modular Camera (DMC)

กล้องดิจิทัลสำหรับถ่ายภาพทางอากาศของผู้ผลิต Carl Zeiss ต่อมาใช้ชื่อ ZI Imaging จวบจนเป็น Intergraph ในปัจจุบัน Carl Zeiss มากด้วยประสิทธิภาพออกแบบและผลิตกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่เป็นที่นิยมและได้รับความเชื่อถืออย่างสูง เช่น RMK, RMK-TOP และ LMK



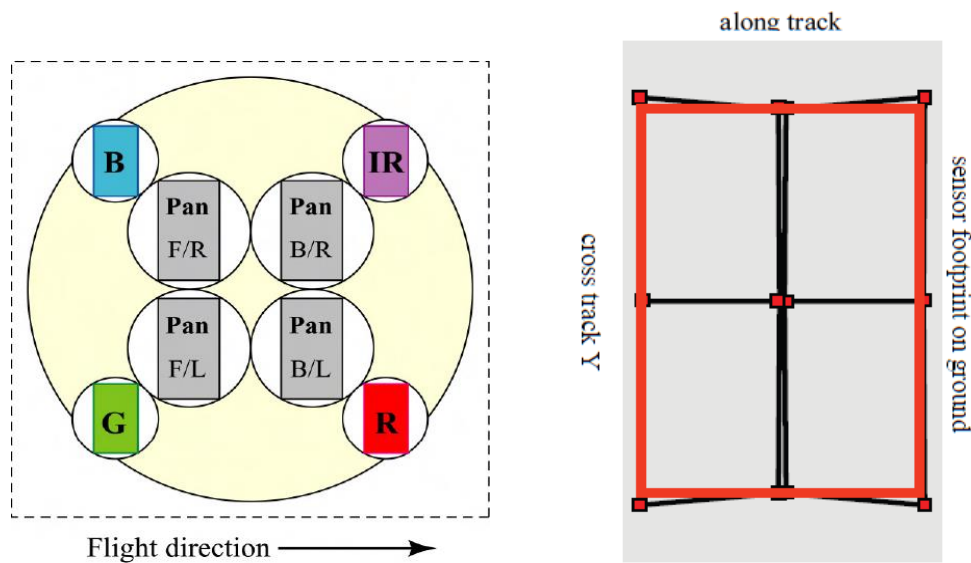
รูปที่ 3-19 ระบบกล้อง DMC ติดตั้งบน stabilizer Z/I Mount (ซ้าย) SSD Readout Station (ขวา)

กล้อง DMC เลือกใช้ array CCD ขนาด $7,168 \times 4,096$ จุดภาพ จำนวน 4 ชั้น บรรจุในกล้องอิสระเป็นโมดูล ส่วนภาพสีมัลติสเปกตรัมเป็นภาพยาน แดง เขียว น้ำเงิน และ ไกล์อินฟราเรด ภาพแต่ละภาพได้จากกล้อง CCD ความละเอียดจุดภาพ $3k \times 2k$ สำหรับแต่ละกล้อง และมีความยาวโฟกัสเพียง 25 มิลลิเมตร



รูปที่ 3-20 โมดูลกล้อง pan และ ms (ซ้าย) โมดูลกล้องทั้ง 8 ในเลนส์โคน (กลาง) ตำแหน่งกล้องมองจากล่าง

ภาพมัลติสเปกตรัมที่บันทึกจะถูกหลอมรวมไปกับภาพแพนโครมาติก จึงทำให้ DMC ผลิตภาพถ่ายที่สุดเป็นภาพสีชนิด 4 แบนด์ได้และมีจำนวนจุดภาพเป็น $7,680 \times 13,824$ จุดภาพ

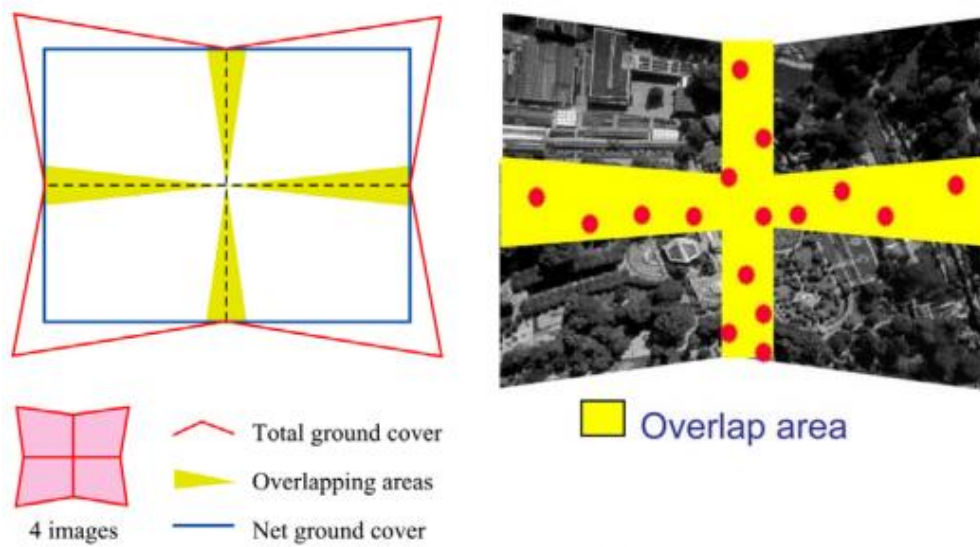


รูปที่ 3-21 ก) ตำแหน่งกล้องแพนโครมาติกทั้งสี่ Pan (F/R,F/L,B/R,B/L)

ข) พื้นที่ครอบคลุมจากกล้องแพนโครมาติกทั้ง 4

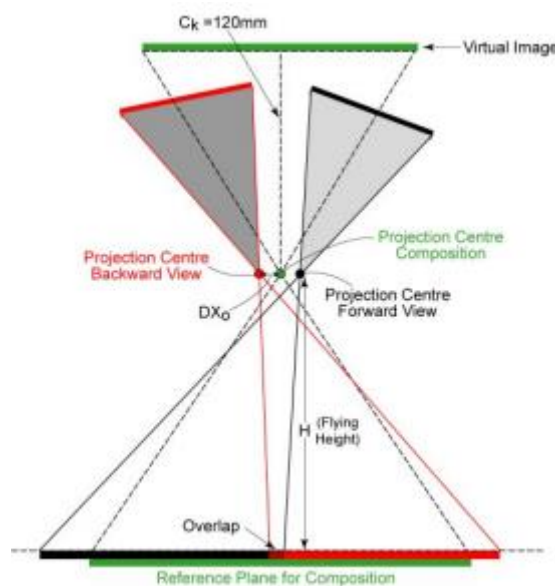
จึงกล่าวได้ว่า DMC เป็น “กล้องถ่ายภาพชนิดเฟรม” โดยภาพที่บันทึกได้เป็นภาพเสมือน (virtual image) ขนาด 7,680 x 13,824 จุดภาพ และมี FOV เป็น 44° และ 74° ตามลำดับ ภาพที่สร้างขึ้นใหม่มีการกำหนดความยาวโฟกัส “เป็น 120 มิลลิเมตร” ในระหว่างการผลิตภาพเสมือนระบบจะทำการปรับแก้ภาพด้วยค่าแก้ความผิดเพี้ยนของเลนส์ไปพร้อมกันในตัว จึงทำให้ภาพที่ได้จากระบบกำหนดให้มีความยาวโฟกัสเป็น 120 มิลลิเมตรพอดี และถือว่าไม่มีความผิดเพี้ยนของเลนส์แฝงอยู่ (Hinz et.al. 2001)

ในการสร้างภาพเสมือนจากภาพของกล้องทั้ง 4 จะมีการบันทึกภาพที่มีส่วนซ้อนกัน มีการวัดจัดภาพบนส่วนซ้อนอย่างอัตโนมัติ จากนั้นจะมีการตัดแก้ภาพและโมเสคต่อเชื่อมกัน หลังจากนั้นจะนำข้อมูลภาพสี (RGB-NIR) มาประมวลผลภาพรวม ทำให้ได้ภาพเสมือนที่เป็นภาพสีผืนใหญ่ในที่สุด



รูปที่ 3-22 ซ้าย: ขอบเขตภาพจากกล้องย่อย และพื้นที่ครอบคลุมที่ได้ (ขวา) จุดโยงยึดบนส่วนซ้อน

กล้องทั้ง 4 บันทึกภาพโครมาติกพร้อมๆกัน แล้วนำภาพที่ได้มาต่อเชื่อมกันเป็นผืนใหญ่ที่เรียกว่า ภาพเสมือน “virtual image” ดังภาพ



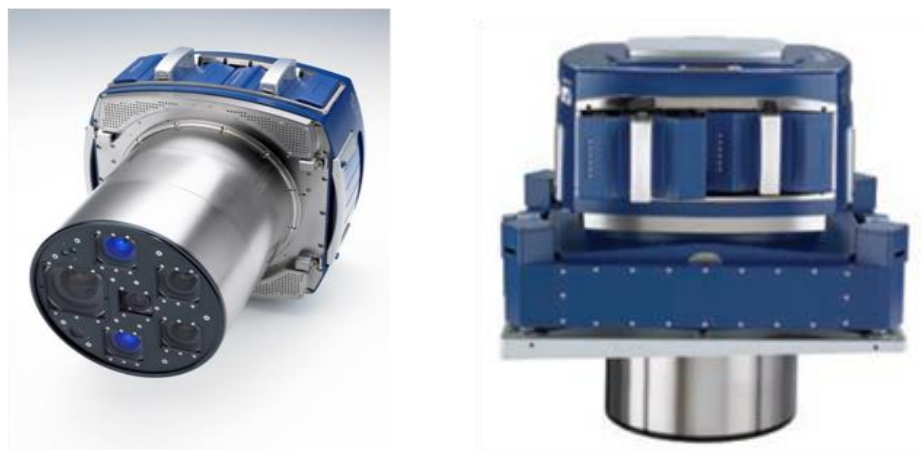
รูปที่ 3-23 แนวคิดการสร้างภาพเสมือนที่มีความยาวโฟกัส 120 มิลลิเมตร

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง

ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

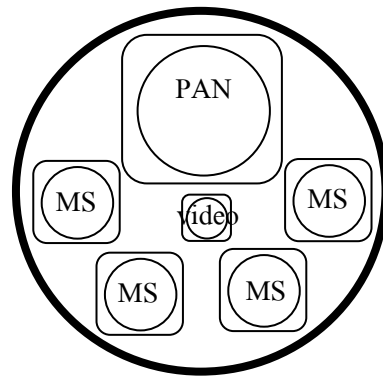
3.2.5 Intergraph RMK-DX / DMC II

ระบบกล้อง RMK-DX และ DMC II เป็นกล้องที่พัฒนาบนพื้นฐานโครงสร้างตัวกล้องเรียกว่า RMD-D และเรียกกล้องตัวแรกในรุ่นว่า RMK-DX “super-medium” ถือได้ว่าเป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศตัวแรกที่ใช้ Array CCD ขนาดใหญ่ 144 ล้านจุดภาพ (12,240 x 11,418 pixel) ขนาดใหญ่มากเพียงชิ้นเดียวสำหรับภาพแพนโครมาติก และยังมีกล้องมัลติสเปกตรัมอีก 4 กล้อง ภาพดังนั้นภาพผลลัพธ์แพนโครมาติกจึงไม่ต้องการผลิตภาพเสมือน (virtual image) จากกล้องเล็กๆหลายตัว ทำให้ขั้นตอนการดูแลกล้องย่อยและการประกอบภาพเข้าด้วยกันหมดไป ซึ่งอาจส่งผลให้ความละเอียดถูกต้อง คุณภาพ และความน่าเชื่อถือของภาพและระบบดีขึ้น กล้องในซีรีส์ RMK-DX ถือว่าเป็นกล้องรุ่นที่ 2 ต่อจาก DMC



รูปที่ 3-24 ซ้าย : กล้อง RMK-D ขวา : ตำแหน่งหน่วยความจำบันทึกภาพ 2 ชุด

สำหรับภาพสีได้จากกล้องมัลติสเปกตรัม แต่ละกล้องมีจุดภาพ 6,846 x 6,096 จุดภาพ ขนาดจุดภาพ 7.2 ไมครอน ความยาวโฟกัส 45 มิลลิเมตร ดังนั้นอัตราส่วนขนาดจุดภาพแพนโครมาติกและมัลติสเปกตรัมเป็น 1:2



รูปที่ 3-25 ซ้าย : ตัวกล้อง pan และ ms ขวา : ตำแหน่งกล้อง

บนพื้นฐานโครงสร้าง RMK-D ยังได้พัฒนาเป็นระบบกล้อง DMC II 140 ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับ RMK-DX มาก กล้อง DMC-II 140 ประกอบด้วย 5 กล้องที่มี array CCD ขึ้นเดี่ยวสำหรับแต่ละกล้อง ภาพจากกล้อง DMC II 140 มีกล้องแพนโครมาติกขนาด 12240x11418 จุดภาพหรือ 144 MP ขณะที่กล้องมัลติสเปกตรัมทั้ง 4 มีจุดภาพ 6,846x6,096 จุดภาพหรือ 42 MP ขนาดจุดภาพเป็น 7.2 ทั้งหมด ความลึกเชิงรังสี 14 บิต และกล้องมีความยาวโฟกัส 92 มิลลิเมตร (pan) และ 45 มิลลิเมตร (ms)

ในซีรีย์นี้ Intergraph ยังผลิตกล้องที่ใช้ array CCD ที่ใหญ่ขึ้นไปอีกได้แก่ DMC II 230 และ DMC II 250 ซึ่งมีโครงสร้างบนพื้นฐานแบบ RMK-D เช่นกัน

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

3.2.6 Microsoft UltraCam-D

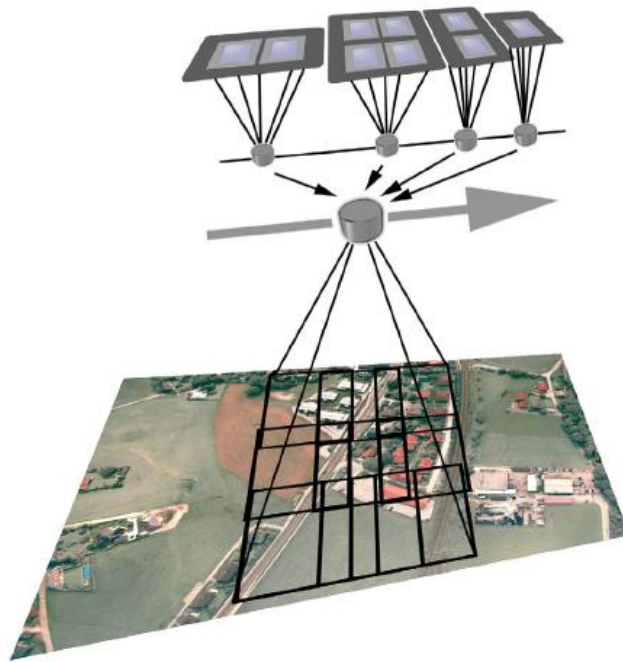
กล้อง UltraCam-D ถือได้ว่าเป็นจากผู้ผลิตรายใหม่ แต่ผู้ผลิตรายใหม่นี้เป็นการร่วมทุนของธุรกิจด้าน Remote Sensing ที่มีประสบการณ์ด้านเรดาร์ Vecxel Imaging และธุรกิจด้านไอทีและซอฟต์แวร์คือ Microsoft Corporation

แนวคิดการออกแบบคือกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่มีพื้นที่รับภาพขนาดใหญ่ $11,500 \times 7,500$ จุดภาพ ขนาดจุดภาพบนเซนเซอร์ CCD เป็น 9 ไมครอน ความยาวโฟกัสกล้อง 100 มิลลิเมตร FOV เป็น $55^\circ/37^\circ$ ตามลำดับ ในภาพต่อไปแสดงกล้องและการจัดวางเซนเซอร์และเลนส์



รูปที่ 3-26 ซ้าย: กล้อง Microsoft Ultracam-D กลาง: ขณะติดตั้ง ขวา: ตำแหน่งเลนส์

สำหรับภาพมัลติสเปกตรัม กล้อง UltraCam มีเซนเซอร์รับรู้ 4 ช่วงคลื่นคือ แดง เขียว น้ำเงิน และ ใกล้อินฟราเรด โดยที่ CCD มีขนาดจุดภาพ 9 ไมครอน และจำนวนจุดภาพเป็น $3,680 \times 2,400$ จุดภาพ ความยาวโฟกัสกล้องเป็น 28 มิลลิเมตร



รูปที่ 3-27 การถ่ายจากหลายกล้องมีการหน่วงเวลา syntopic mode (Leberl et.al 2003)

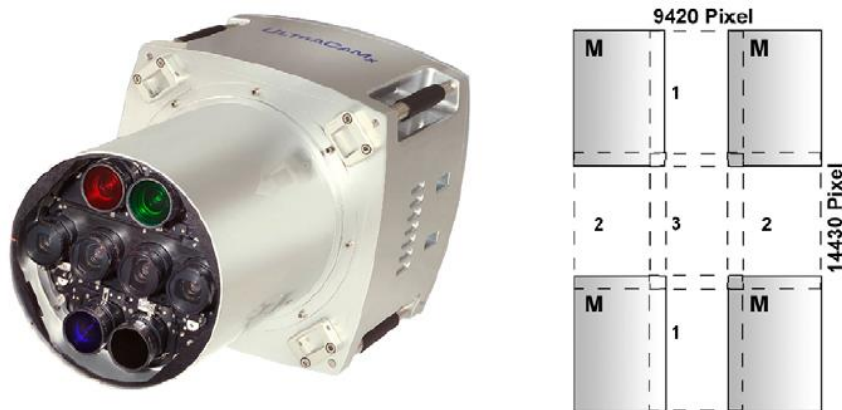
ระบบสามารถบันทึกภาพด้วยความเร็วสูง และด้วยเหตุว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงวัสดุมากขึ้น หากบันทึกภาพมีส่วนซ้อนในแนวนินมากกว่าปกติคือมากกว่า 60% การบันทึกภาพให้มีส่วนซ้อนมากขึ้นจะช่วยให้การสังเคราะห์ด้วยการจับคู่ภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น และการมีส่วนซ้อนมากๆ ในเมืองจะช่วยขจัดปัญหาการบิดเบ่งของอาคารสูง อีกทั้งสนับสนุนงานผลิตแผนที่ออร์ทอโกราฟี (true ortho) ระบบกล้อง Ultracam สามารถบันทึกให้มีส่วนซ้อนได้มากถึง 90%-95%

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

3.2.7 Microsoft UltraCamX

กล้อง Microsoft UltraCamX เป็นการพัฒนาต่อเนื่องจาก UltraCam-D ในช่วงเวลาที่กำลังจะเกิดความร่วมมือกับ Microsoft ในปี ค.ศ. 2006 UltraCamX มีความสามารถในการบันทึกภาพได้เร็วจึงทำให้ผู้ใช้ควรที่จะใช้ประโยชน์จากการบันทึกภาพให้มีส่วนซ้อนมากขึ้น

ระบบกล้อง UltraCamX ประกอบด้วยเซนเซอร์ 8 หัว โดยที่ 4 หัวเป็นเซนเซอร์บันทึกภาพแพนโครมาติก ความยาวโฟกัส 100 มิลลิเมตร และอีก 4 หัวบันทึกภาพมัลติสเปกตรัม ความยาวโฟกัส 33 มิลลิเมตร ในการนี้ทำให้สัดส่วนภาพมัลติสเปกตรัมต่อภาพแพนเป็น 1:3 เซนเซอร์ทั้ง 8 หัวประกอบด้วย CDD รุ่น FTF5033 จาก DALSA ทั้งหมด

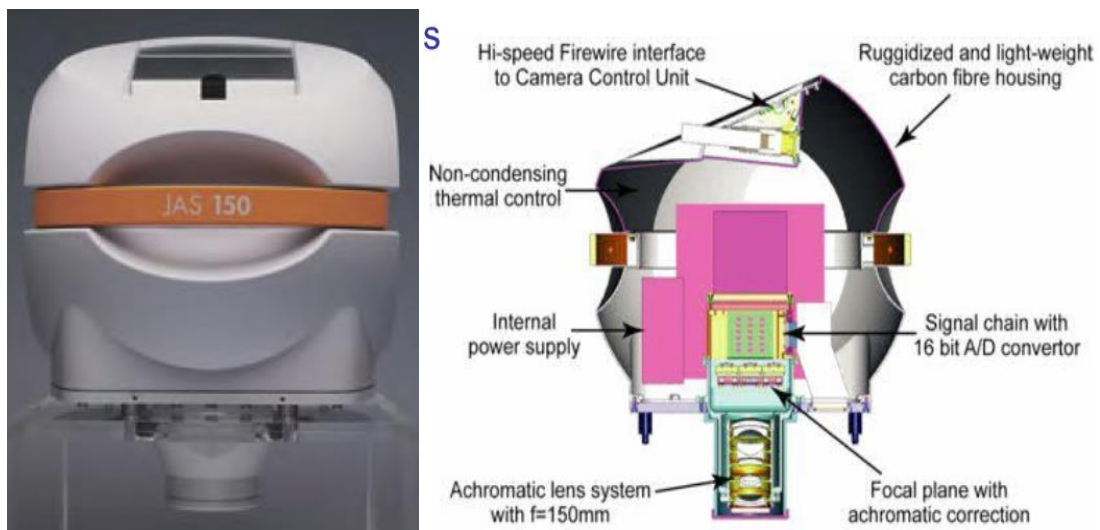


รูปที่ 3-28 ซ้าย: กล้อง UltraCamX ขวา: การจัดวางระนาบรับภาพ (Gruber, 2008)

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

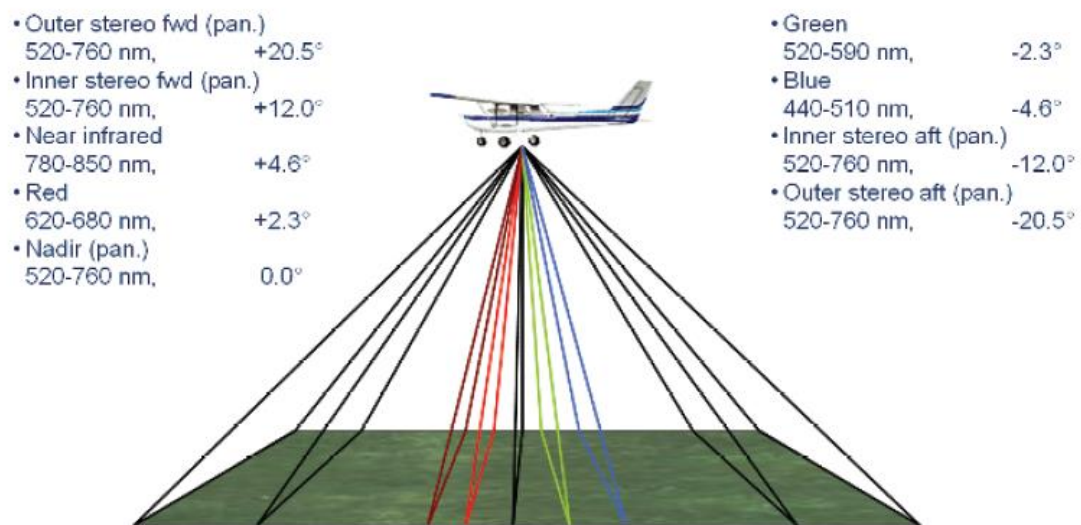
3.2.8 Jena Airborne Scanner 150 (JAS-150)

กล้องดิจิทัล Jena Airborne Scanner 150 (JAS-150) จากผู้ผลิต Jena Optronik กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลเป็นการพัฒนาต่อเนื่องจากงานวิจัยขององค์การอวกาศแห่งเยอรมนี Deutscher Luft- und Raumfahrt (DLR) ภายใต้โครงการพัฒนาเซนเซอร์บันทึกภาพ HRSC-AX ที่ใช้สำหรับบันทึกภาพสำหรับพื้นผิวภูมิประเทศของดาวอังคาร ในช่วง ค.ศ. 1990 กล้อง JAS-150 เป็นชนิดกวาดภาพและมี line-CCD 9 ชั้นเรียงกัน กล้องใช้ชุดเลนส์มาตรฐานความยาวโฟกัส 150 มิลลิเมตรคล้ายกับเลนส์ wide-angle ในกล้องถ่ายภาพทางอากาศเดิม ระบบสามารถบันทึกภาพสเตอริโอ 5 ช่องสัญญาณสำหรับภาพแพนโครมาติก จึงสามารถวิเคราะห์ภาพสเตอริโอโดยการจับคู่ภาพที่มุมมองต่างๆ ที่แตกต่างกันได้หลายรูปแบบ ซึ่งผู้เขียนเรียกในที่นี้ว่า “penta-stereo”



รูปที่ 3-29 ซ้าย:กล้อง JAS 150 ขวา:โครงสร้างภายใน

กล้อง JAS 150 มีการออกแบบใช้ line-CCD สำหรับบันทึกเส้นภาพย่านสเปกตรัมต่างๆ กระจายไปบนฉากรับภาพที่มุมมองไปข้างหน้า +20.5° เรื่อยไปจนถึง -20.5° มองไปข้างหลัง line-CCD สำหรับภาพแพนโครมาติกมีถึง 5 เซนเซอร์ และสำหรับภาพสี RGB-NIR อีก 4 เซนเซอร์ รวมเป็น line-CCD ทั้งหมด 9 เส้นภาพ โดยที่ line-CCD ทุกเส้นมีจำนวนจุดภาพ 12,000 จุดภาพ ความยาวโฟกัสปกติเป็น 151 มิลลิเมตร ในภาพแสดงให้เห็นการบันทึกภาพบนเส้นภาพต่างๆ การติดตั้งแสดงให้เห็นในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3-30 มุมมองของ line-CCD สำหรับสเปกตรัมต่างๆของกล้อง JAS 150

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

3.2.9 IGI DigiCAM

DigiCAM เป็นกล้อง medium-format แต่ถูกออกแบบให้เป็น “digital aerial modular camera system” โมดูลกล้องพื้นฐานประกอบด้วยเซนเซอร์รับภาพ Hasselblad ‘digital back’ บันทึกภาพด้วยความละเอียดจุดภาพ 39 MegaPixel (7,216 x 5,412) ขนาดจุดภาพ 6.8 μm ความเร็ว 1.9 frame-per-sec เรียกว่าโมดูล DigiCAM H-39



รูปที่ 3-31 กล้อง DigiCAM เลนส์ ตัวกล้อง และ “digital back”

ระบบกล้องมีเลนส์ให้เลือกใช้หลายความยาวโฟกัส 28, 35, 50, 80, 100, 150, 210 และ 300 มม. มีฟิลเตอร์ให้เลือกใช้ 2 รูปแบบคือ ฟิลเตอร์สี RGB และฟิลเตอร์ สี-อินฟราเรด (CIR)

ประเด็นที่น่าสนใจที่สุดสำหรับระบบกล้อง IGI DigiCAM คือการที่สามารถเลือกหัวกล้องได้ตามจำนวนที่ต้องการตั้งแต่ 1 ถึง 5 หัวประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นกล้องขนาดใหญ่ที่ติดตั้งกล้องแนวตั้ง และติดตั้งกล้องในแนวเอียง (oblique) โดยการติดตั้งที่แนะนำปรากฏในตาราง ต่อไปนี้

ตารางที่ 3-3 รูปแบบการประกอบหัวกล้องสำหรับกล้อง DigitCAM

รูปแบบ	จำนวนหัวกล้อง	ปริมาณข้อมูล	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้
DigiCAM	1	39 MP	กล้องขนาดกลาง สำหรับประกอบไลดาร์
Double-DigiCAM	2	39 MP / 39MP	กล้องขนาดกลาง i) การบันทึก RGB พร้อม CIR ในคราวเดียวกัน ii) เพิ่มความเร็วในการบันทึกสลับกัน e.g.<1 sec
Dual-DigiCAM	2	79 MP	คล้ายกล้อง “ขนาดใหญ่”
Triple-DigiCAM	3	111 MP	กล้อง “ขนาดใหญ่” การกวาดกว้างมาก
Quattro-DigiCAM	4	145 MP	เป็นกล้อง “ขนาดใหญ่”
Dual-DigiCAM Oblique	2		สำหรับการถ่ายภาพเฉียง 45° สำหรับการแบบจำลองของเมือง 3 มิติ
Quattro-DigiCAM Oblique	4 x oblique		สำหรับการถ่ายภาพเฉียง 45° สำหรับการแบบจำลองของเมือง 3 มิติ
Penta-DigiCAM	4 x oblique 1 x vertical		สำหรับการถ่ายภาพเฉียง 45° และการถ่ายภาพตั้งพร้อมๆกัน

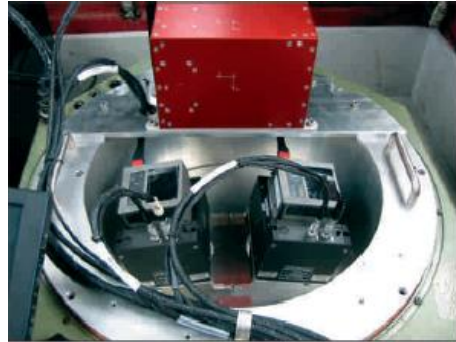
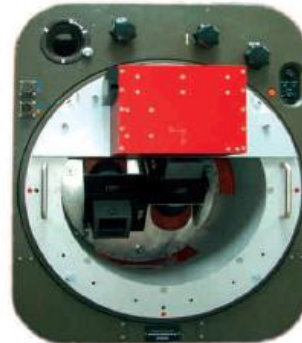
ในภาพต่อไปนี้จะแสดงกล้อง DigitCAM ในรูปแบบต่างๆ



DigiCAM with airborne LiDAR



Double-DigiCAM

Dual-DigiCAM
arranged along trackDual-DigiCAM
Oblique

รูปที่ 3-32 กล้อง DigiCAM ในรูปแบบต่าง ๆ

สำหรับกล้องสี่หัวสามารถที่จะให้พื้นที่ครอบคลุมขนาดใหญ่ได้ทำให้ลดเที่ยวบินลงไปได้มาก แสดงในรูปต่อไปนี้



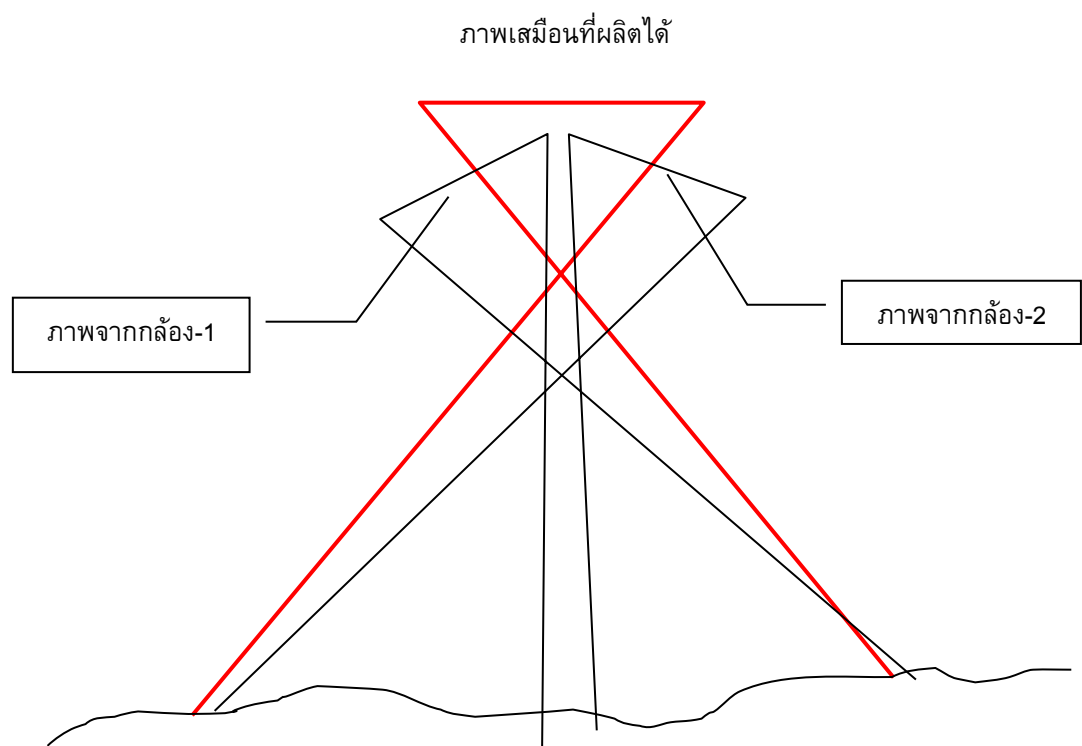
รูปที่ 3-33 กล้อง DigiCAM ในรูปแบบ Quattro

ปัจจุบัน IGI ยังมีหัวกล้องที่มีเซนเซอร์รับภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้นดังปรากฏในตารางสรุปต่อไปนี้

ตารางที่ 3-4 ขนาดเซนเซอร์ของกล้อง IGI DigiCAM

Sensor	ขนาดจุดภาพ	จำนวนจุดภาพ	การจัดเรียง	ความลึกของรังสี
H-39	6.8 μm	39 MP	7,216 x 5,412	16 bit per color
H-50	6 μm	50 MP	8,176 x 6,132	16 bit per color
H-60	6 μm	60 MP	8,924 x 6,716	16 bit per color

กล้องที่ประกอบด้วยหลายหัว 2,3 และ 4 หัวเหล่านี้จะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันบ้าง แต่เมื่อบันทึกภาพมาแล้วจะมีซอฟต์แวร์ช่วยผลิตภาพที่บันทึกได้พร้อมๆกัน ให้กลายเป็นภาพใหม่ภาพเดียวมีความยาวโฟกัสเป็นค่าปรกติ และภาพที่ได้ยังมีการปรับแก้ความผิดเพี้ยนของเลนส์ไปด้วยในตัว ภาพถ่ายเสมือนที่ได้จึงสามารถใช้งานได้เหมือนกับภาพถ่ายทางอากาศทั่วไป และสามารถใช้งานได้สามารถใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศทั่วไปได้ เช่น การวัดค่าพิกัดภาพ การคำนวณข่ายสามเหลี่ยม การวัดบนภาพถ่ายเดี่ยวเมื่อมีแบบจำลองระดับ การรังวัดบนภาพคู่สามมิติหากมีส่วนซ้อนสเตอริโอ และการผลิตให้เป็นภาพตัดแก็อรัท



รูปที่ 3-34 ภาพถ่ายเสมือนจากภาพถ่ายสองกล้องที่มีส่วนซ้อนกัน

3.2.10 Trimble/RolleiMetric AIC

Trimble/RolleiMetric Aerial Industrial Camera: AIC เป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ยืดหยุ่นและเหมาะสำหรับผู้ผลิตกล้องที่จะไปออกแบบและผลิตเป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศ AIC มีเซนเซอร์ให้เลือกตาราง

ตารางที่ 3-5 ขนาดเซนเซอร์ของกล้อง Trimble AIC

Sensor	ขนาด จุดภาพ	จำนวนจุดภาพ	การจัดเรียง	ความลึกของรังสี
P25	9 μm	22 MP	5,440 x 4,080	16 bit per color
P45+	6.8 μm	39 MP	7,228 x 5,428	16 bit per color
P65+	6 μm	65 MP	8,924 x 6,732	16 bit per color

กล้อง AIC สามารถเลือกใช้เป็นกล้องเดี่ยวและสามารถประกอบกันไปได้จนถึง 4 หัวที่เรียกว่า Trimble Aerial Camera xN ทั้งนี้เพื่อกล้องประกอบมีพื้นที่รับภาพครอบคลุมพื้นที่บินถ่ายภาพให้มากที่สุด เพื่อประหยัดเวลาปฏิบัติงานถ่ายภาพทางอากาศ

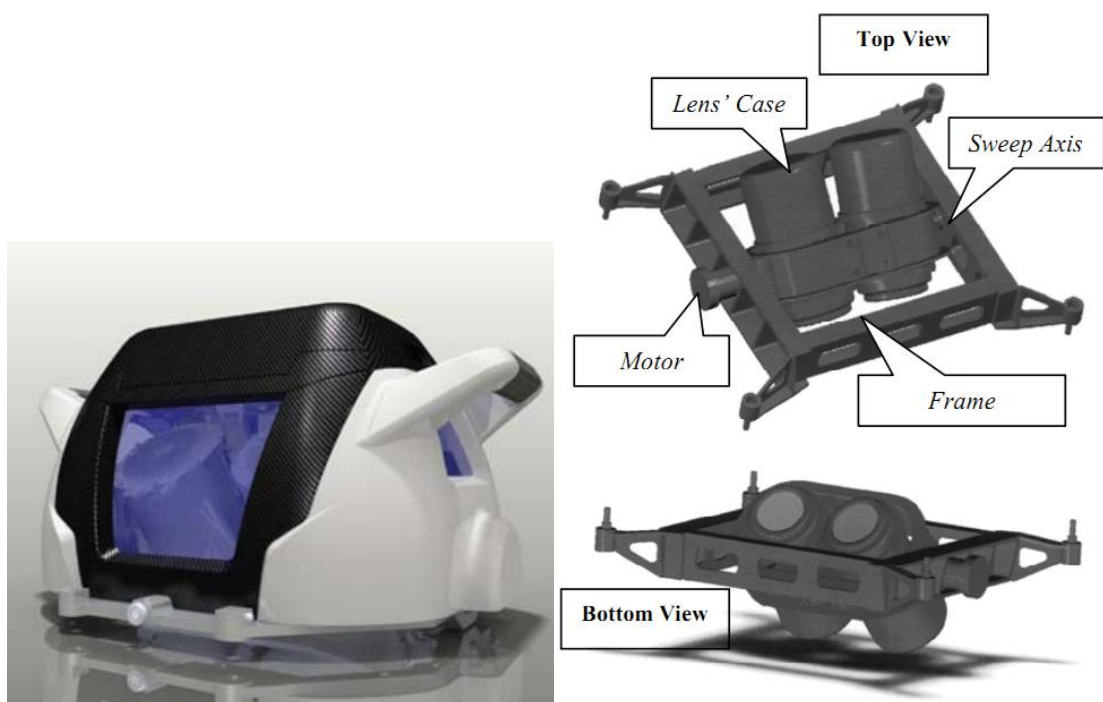


รูปที่ 3-35 ซ้าย: กล้อง AIC กลาง: AICx2 ขวา: AICx4

เนื่องจากรายละเอียดและคุณสมบัติด้านเทคนิคของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ บริษัทหรือผู้ผลิตจะมีการปรับให้ทันสมัยอยู่เสมอ ผู้อ่านควรจะขอข้อมูลจากบริษัทหรือผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการตัดสินใจนำไปใช้งานและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

3.2.11 VisionMap A3

VisionMap A3 เป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศจากการวิจัยและพัฒนาของประเทศไทย กล้องถ่ายภาพเป็นชนิดลูกผสม (hybrid) ใช้เทคนิคการบันทึกภาพเป็นเฟรม (frame) พร้อมการกวาดไปพร้อมกับการกวาดภาพ (push-broom) ระบบ VisionMap A3 จะทำการบันทึกภาพด้วย Array CCD จำนวน 2 ตัวต่อเนื่องกันในแนวนอนเพื่อเพิ่มความเร็วในการบันทึกภาพเฟรม ในขณะที่ตัวกล้องทั้งสองมีการกวาดออกไปทางซ้ายและขวาของแนวนอน ทำให้การบันทึกภาพทำได้เป็นแถบกว้างขึ้น โดยความกว้างการกวาดโดยรวมสูงที่สุดถึง 104 องศา (Petchanikov, 2009)



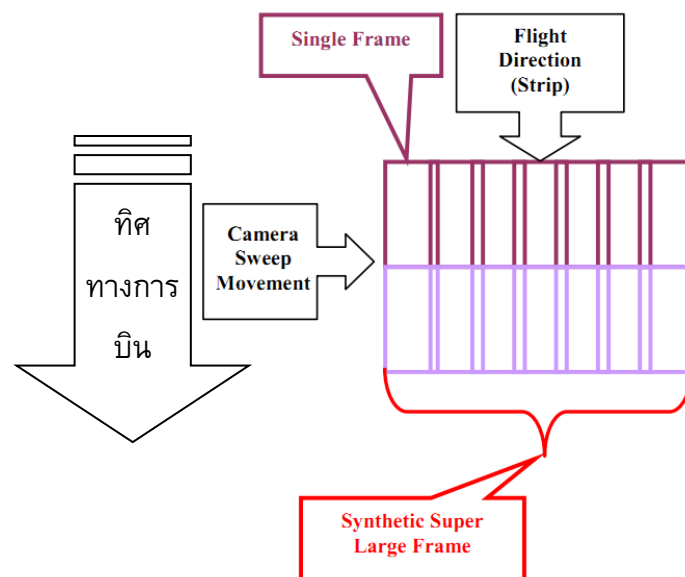
รูปที่ 3-36 ระบบกล้อง VisionMap A3 ซ้าย: ภายนอก ขวา: โครงสร้างภายใน (Petchanikov, 2009)

กล้องถ่ายภาพชนิดเฟรมที่ประกอบอยู่ใน VisionMap A3 แต่ละกล้องที่มีความยาวโฟกัสถึง 300 มิลลิเมตร แต่กระบอกเลนส์มีการใช้กระจกนูนสทอนด้วยเพื่อย่นระยะความยาวกระบอกเลนส์ให้สั้นลง (โปรดหาอ่าน Maksutov design) ณากรับภาพเป็น Array CCD ของ KODAK รุ่น KAI-11002 เมื่อประกอบเข้าเป็นระบบกล้อง จึงมีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3-6 กล้องที่ประกอบขึ้นเป็น Vision A3 (ดัดแปลงจาก Petchanikov, 2009)

คุณสมบัติ	คำอธิบาย
เซนเซอร์	KODAK KAI-11002
การจัดเรียงจุดภาพ	RGB (Bayer)
ความลึกสี	12 bit per color / 8 bit per color (post-processed)
ขนาดจุดภาพ	9 μ m (H) X 9 μ m (V)
ขนาด	37.25 mm (H) X 25.70 mm (V) (diagonal) 43.3 mm
จำนวนจุดภาพ	4,008 x 2,672 = 10.7 MB
ความเร็ว	สำหรับ Kodak :1-3 fps (progressive) สำหรับ A3 : 7 fps
ความยาวโฟกัส	300 mm
การบีบอัดภาพ	JPEG-200 (onboard)

ในการบันทึกภาพจะมีการกวาดภาพไปทางซ้ายและขวาของแนวนอน ภาพที่บันทึกได้จากกล้องเป็นเฟรมจะมีสวนซ้อนกัน เพื่อนำมาผลิตเป็นผืนใหญ่เป็น ภาพเสมือน (virtual image) เรียกในที่นี้ว่า Synthetic Super Large Frame (SLF) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำมาใช้งาน ภายหลัง รูปแบบการบันทึกแสดงให้เห็นในภาพ



รูปที่ 3-37 รูปแบบกล้องย้อยบันทึกภาพและผลิตเป็นภาพ SLF (Petchanikov, 2009)

ด้วยคุณลักษณะของระบบกล้อง VisionMap A3 ที่ออกแบบนี้ทำให้ได้ผลผลิตการบันทึกภาพเพื่อการผลิตภาพออร์โท สรุปรตามความละเอียดจุดภาพที่ต้องการ ในตาราง GSD 0.05 ไปจนถึง 0.30 เมตร จะทำให้ได้ความเร็วในการบันทึกภาพ 158 ถึง 4,662 ตร.กม. ต่อ ชั่วโมง ทั้งนี้จะต้องควบคุมการบิน มุมเอียงของภาพ ความสูงบินเหนือพื้นที่ และความเร็วเครื่องบิน ตามปรากฏรายละเอียดอยู่ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-7 ความเร็วในการบันทึกภาพเพื่อการผลิตภาพออร์โทที่ความละเอียดจุดภาพต่าง ๆ (Petchanikov, 2009)

Orthophoto GSD (meter)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
Max allowed oblique angle (deg from nadir)	10	15	17.5	22.5	25	25
Altitude above ground (feet)	5,500	10,900	16,400	21,900	27,300	32,800
Ground Speed (knot)	160	230	240	240	260	300
SLF Area (sq.km)	1.34	7.19	19.01	49.79	94.40	136.27
SLF Area (sq.mile)	0.52	2.77	7.34	19.23	36.45	52.62
Sweep Width (meter)	1,623	4,250	7,313	13,389	19,469	23,391
Orthophoto coverage (sq. km/hour)	158	683	1,261	2,212	3,363	4,662

Petchanikov และคณะ (2009) ได้ทำการวิจัยประเมินความละเอียดถูกต้องของระบบด้วยการบินบันทึกภาพที่ความสูง 8,500 ถึง 28,000 ฟุต ด้วยความละเอียดจุดภาพ 0.08 ถึง 0.26 เมตร โดยในพื้นที่มีการจัดทำจุดบังคับภาพ ส่วนหนึ่งเป็น GCP ที่นำมาใช้การคำนวณ bundle block adjustment และนำจุดบังคับภาพบางส่วนมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพในลักษณะของ Independent Check Point (ChP) นอกจากนั้นยังมีการปรับส่วนซ้อนด้านข้างให้แตกต่างกันมากจาก 48% ไปจนถึง 82% ผลการคำนวณปรับแก้ปรากฏในตาราง

ตารางที่ 3-8 ผลการประเมินความละเอียดถูกต้องบล็อกจากที่มี GCP และไม่มี GCP

Altitude (feet)	Area (sq. km)	GSD (m)	Forward Overlap	Side Overlap	Strips	GCP/ChP	RMSx (m)	RMSy (m)	RMSz (m)
12000	195	0.11	55	55	8	0/22	0.26	0.19	0.63
12000	195	0.11	55	55	8	11/11	0.19	0.11	0.23
28000	247	0.26	66	82	7	0/27	0.54	0.44	0.47
28000	247	0.26	66	67	4	0/27	0.57	0.58	0.83
28000	247	0.26	66	82	7	11/14	0.21	0.35	0.44
28000	247	0.26	66	67	4	11/14	0.29	0.30	0.56
8500	215	0.08	65	48	10	0/66	0.49	1.15	0.59
8500	215	0.08	65	48	10	18/48	0.16	0.18	0.28
8500	215	0.08	65	48	5	13/39	0.17	0.19	0.16
8500	215	0.08	65	48	5	16/22	0.06	0.08	0.10

3.2.12 M7 Visual Intelligence Iris One 50 System

ระบบกล้อง Iris One 50 System เป็นกล้องชนิดเซนเซอร์หลายหัว (multi-head sensor) โดยเซนเซอร์แต่ละหัวเป็นชนิดเฟรมและประกอบกันบนโครงยึดแบบโค้ง (arched) ดังนั้นระบบจึงมีชื่อว่า Arched Retinal Camera Array (ARCA™) มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3-38 ซ้าย: กล้อง AIC กลาง: AICx2 ขวา: AICx4



รูปที่ 3-39 ซ้าย: กล้อง AIC กลาง: AICx2 ขวา: AICx4

3.2.13 Trimble / Rollei Aerial Industrial Camera

Trimble/RolleiMetric Aerial Industrial Camera: AIC เป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ยืดหยุ่นและเหมาะสำหรับผู้ผลิตกล้องที่จะไปออกแบบและผลิตเป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศ AIC มีเซนเซอร์ให้เลือกตาราง

ตารางที่ 3-9 ขนาดเซนเซอร์ของกล้อง Trimble AIC

Sensor	ขนาด จุดภาพ	จำนวนจุดภาพ	การจัดเรียง	ความลึกของรังสี
P25	9 μm	22 MP	5,440 x 4,080	16 bit per color
P45+	6.8 μm	39 MP	7,228 x 5,428	16 bit per color
P65+	6 μm	65 MP	8,924 x 6,732	16 bit per color

กล้อง AIC สามารถเลือกใช้เป็นกล้องเดี่ยวและสามารถประกอบกันไปได้จนถึง 4 หัวที่เรียกว่า Trimble Aerial Camera xN ทั้งนี้เพื่อกล้องประกอบมีพื้นที่รับภาพครอบคลุมพื้นที่บินถ่ายภาพให้มากที่สุด เพื่อประหยัดเวลาปฏิบัติงานถ่ายภาพทางอากาศ



รูปที่ 3-40 ซ้าย: กล้อง AIC กลาง: AICx2 ขวา: AICx4

เมื่อประกอบกล้องเป็นระบบถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่ แล้วทำการบินที่กภาพที่ระดับความสูงบินเหนือภูมิประเทศในระดับต่างๆ จะทำให้ได้ภาพถ่ายภาพทางอากาศที่มีความ

ละเอียดจุดภาพแตกต่างกัน และจะส่งผลทำให้ความละเอียดถูกต้องของข้อมูลแผนที่ที่ได้มีความละเอียดถูกต้องแตกต่างกันดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-10 ความละเอียดจุดภาพและ ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลแผนที่ที่ได้จาก AIC

Resolution (GSD)	CE95 Accuracy using Direct Georeferencing	CE95 Accuracy using Ground Control Points
1 Meter	--NA--	
12-inch (30cm)	5.70 feet or 1.739 meters	(Not applicable)*
6-inch (15cm)	4.15 feet or 1.264 meters	(Not applicable)*
3-inch (7.5cm)	4.00 feet or 1.219 meters	(Not applicable)*
Highest advertised resolution	3-inch	

3.3 สรุปคุณลักษณะของกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล

ปัจจุบันมีกล้องถ่ายภาพทางอากาศออกมาเป็นจำนวนมาก ปริมาณจุดภาพที่บันทึกได้สำหรับแต่ละภาพกรณีบันทึกภาพแบบเฟรม และปริมาณจุดภาพที่บันทึกได้ขวางแนวนั้นกรณีการกวาดภาพ ทั้งสองกรณีปริมาณจุดภาพจะเป็นตัวกำหนดประเภทของกล้องถ่ายภาพทางอากาศว่าเป็นขนาดใหญ่ (large-format) หรือ ขนาดปานกลาง (medium format) แต่เดิมกล้องขนาดปานกลางหมายถึงกล้องที่มีขนาดเซนเซอร์รับภาพน้อยกว่า 4k x 4k หรือ 16 MP สำหรับกล้องขนาดใหญ่หมายถึงเซนเซอร์รับภาพมากกว่า 12k

แต่ปัจจุบันมีเซนเซอร์ขนาดใหญ่มากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะพัฒนาการของ array CCD ที่มีขนาดใหญ่ และมีผู้ผลิตได้หลายผู้ผลิต จึงทำให้ผลิตภัณฑ์กล้องถ่ายภาพทางอากาศออกสู่ท้องตลาดอย่างมาก ดังจะได้แสดงคุณลักษณะโดยย่อที่สำคัญต่อการนำไปประยุกต์ใช้ทำแผนที่ และคุณลักษณะสำคัญได้เปรียบเทียบในตารางต่อไปนี้

3.3.1 กล้องขนาดใหญ่ หลายหัวชนิดเฟรม

กล้องขนาดใหญ่ หลายหัวชนิดเฟรม ค่อนข้างเป็นที่นิยมในการออกแบบและพัฒนา เนื่องจากภาพที่ได้มีแนวคิดเป็นภาพ “เป็นใบๆ” เหมือนกับภาพถ่ายทางอากาศด้วยฟิล์ม ระบบ GPS/IMU เป็นเพียงทางเลือกหากต้องการทำ กำหนดตำแหน่งด้วยวิธีตรง (DG) กรณีการบันทึกหรือการประมวลผล GPS/IMU ล้มเหลวภาพที่บันทึกมา ข้อมูลภาพก็ยังใช้งานต่อไปได้

ตารางที่ 3-11 กล้อง large-format ชนิดเฟรม ที่ประกอบจาเซนเซอร์หลายหัว (Toth, 2009a)

Large-format, multihead, frame cameras									
System	Image Size [pixel]	CCD Sensor Size [pixel]	Number of Sensors	Pixel Size [micron]	Dynamic Range [bits]	Maximum Frame Rate [sec/image]	Field of View (FOV)	GPS/IMU	Software
DMC Digital Mapping Camera Intergraph	13,824 x 7,680	7,000 x 4,000 (pan) 3,000 x 2,000 (multispectral)	4 + 4	12	12	2.1	69.3° x 42°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
UltraCamX Vexcel Microsoft	14,430 x 9,420 (pan) 4,008 x 2,672 (MS)	3,680 x 2,400	9 + 4	7.2	14	1	55° x 37°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
UltraCam XP Vexcel Microsoft	17,310 x 11,310 (pan) 5,770 x 3,770 (RGB & NIR)	5,570 x 3,770	9 + 4	6	14	2	55° x 37°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
DiMAC DIMAC Systems	10,500 x 7,200	7,216 x 5,412	2 (2)	6.8	16	2.1	34° x 26° or 66° x 48°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
RolleiMetric AIC x4 Trimble	13,000 x 10,000	7,228 x 5,428	4	6.8	16	3	60/72/100 80° x 65° 70° x 45° 50° x 30°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
Quattro DigiCAM IGI-Systems	13,000 x 10,000	7,216 x 5,412	4	6.8	16	1.9	50/100 mm lens 85° x 60° 50° x 30°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)

3.3.2 กล้องขนาดใหญ่ชนิดเฟรมเซนเซอร์หัวเดียว

ปัจจุบันเริ่มมีเซนเซอร์ array CCD ขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งในระยะแรกของการพัฒนา กล้องยังไม่มีโอกาส ต่อมาด้วยพัฒนาการผลิตสารกึ่งตัวนำมีความทันสมัยขึ้น ตลาดมีความต้องการพอที่จะทำการผลิตออกมาจำหน่ายให้คุ้มค่าเชิงพาณิชย์ได้ การใช้เซนเซอร์ array CCD ขนาดใหญ่เป็นการทดแทนใกล้เคียงวิธีการบันทึกภาพถ่ายอากาศเดิมมากที่สุด จึงน่าจะเป็นที่ปรารถนาของผู้พัฒนาระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศ จึงทำให้มีผลผลิตกล้องขนาดใหญ่ใช้เซนเซอร์หัวเดียวมากขึ้นเรื่อยๆ เราเรียกกล้องประเภทนี้ว่า single head large-format camera

ตารางที่ 3-12 กล้องขนาดใหญ่ ชนิดเฟรมประกอบจากเซนเซอร์หัวเดียว

ระบบ	Focal length	CCD Size	Multi CCD	Pixel size	Dynamic range	Max frame	FOV
RMK DX “super-medium”	92 mm/45m	11712x11200 (144 MP)	RGB/NIR 6,800x6,096	7.2 μ m / 7.2 μ m	14 bits	2.0 sec	49.2°/47.3°
DMC II 140	92 mm/45m	12096x11200 (144 MP)	RGB/NIR 6,848x6,096	7.2 μ m / 7.2 μ m	14 bits	1.7 sec	50.7°/47.3°
DMC II 230	92 mm/45m	15104x14400 (218 MP)	RGB/NIR 6,848x6,096	5.6 μ m / 7.2 μ m	14 bits	1.7 sec	49.4°/47.3°
DMC II 250	112 mm/45 mm	17216x14565 (250 MP)	RGB/NIR 6,848x6,096	5.6 μ m / 7.2 μ m	14 bits	1.7 sec	46.6°/40.2°

3.3.3 กล้องขนาดใหญ่ชนิดกวาดภาพ

กล้องขนาดใหญ่ ชนิดกวาดภาพใช้หลักการ push-broom และจำเป็นต้องมีระบบ GPS/IMU หรือ GNSS/IMU เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์การวางตัวภายนอก (exterior orientation parameter : EOP) กรณีการบินที่กหรือการประมวลผล GPS/IMU ล้มเหลวภาพที่บันทึกมา ข้อมูลภาพก็จะใช้งานไม่ได้เลย กล้องประเภทนี้ได้แก่

ตารางที่ 3-13 แสดงกล้องขนาดใหญ่ชนิดกวาดภาพ

กล้อง	Focal length mm.	FOV	Pan CCD Pixel	Mutispec CCD Pixel	Pixel Size	Dynamic Range	line rate
ADS40/SH40	62.5 mm	64°	12,000 for: Stag.12,000@+28° Stag.12,000@-14°	N@+18° G@+16° R@+14° RGB@nadir	6.5 μm	12 bits	
ADS40/SH51	62.5 mm	64°	12,000 for: @+27° Stag.12,000@nadir @-14°	RGB/N@nadir	6.5 μm	12 bits	
ADS40/SH52	62.5 mm	64°	12,000 for: @+27° staggered@+2° @-14°	RGB/N@nadir RGB/N@16°	6.5 μm	12 bits	
ADS80/SH81	62.5 mm	64°	12,000 for: @+27° Stag.12,000@nadir @-14°	RGB/N@nadir	6.5 μm	12 bits	

กล้อง	Focal length mm.	FO V	Pan CCD Pixel	Mutispec CCD Pixel	Pixe l Size	Dynami c Range	line rate
ADS80/SH8 2	62.5 mm	64°	12,000 for: @+27° staggered@+2° @-14°	RGB/N@nadir RGB/N@16°	6.5 µm	12 bits	
JAS150 “penta stereo”	150	29°	12,000@+20.5° 12,000@+12° 12,000@nadir 12,000@-12° 12,000@-20.5°	12000:all NIR@4.6 R@ 2.3 G@-2.3 B@-4.6	6.5 µm	12 bits	1.25 mse c
Wehrli 3-DAS-1	110	36°	Tri-color RGB	8002:all RGB@+26° RGB@nadir RGB@-16°	9 µm	14 bits	250- 745 Hz
Wehrli 4-DAS-1	100	39°	Tri-color RGB	8002 all RGB@+26° RGB@nadir NIR@nadir RGB@-16°	9 µm	14 bits	250- 745 Hz

3.3.4 กล้องขนาดกลางชนิดเฟรมหัวเดียว

กล้องขนาดกลางเกือบทั้งหมดจะใช้เซนเซอร์ Array CCD เพียงตัวเดียว ดังนั้นกล้องประเภทนี้จึงเรียกว่ามีหัวเดียว และผลิตภาพเป็นเฟรมทั้งหมด

ตารางที่ 3-14 กล้อง **medium-format** ที่ประกอบจากเซนเซอร์ตัวเดียวและเป็นชนิดเฟรม (Toth, 2009a)

Medium-format singlehead frame cameras									
System	Image Size	CCD Sensor Size	Number of Sensors	Pixel Size [micron]	Dynami c Range [bits]	Maximum Frame Rate [sec/image]	Field of View (FOV)	GPS/IMU	Software
S15 Spectral Instruments	10,580 x 10,560	10,580 x 10,560	1	9	16	2	74° x 74°	Optional	Any system (frame camera model)
UltraCamL Vexcel Microsoft	9,735 x 6,588	9,735 x 6,588 5,320 x 3,600	1+1	7.2	14	2	53° x 37°	Optional	Any system (frame camera model)
DiMAC^{LIGHT} DIMAC Systems	7,200 x 5,400	7,216 x 5,412	1	6.8	16	2.5	34° x 26° or 66° x 48°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
DSS Applanix Trimble	5,436 x 4,092	5,436 x 4,092	1	9	12	2.5	40/60 62° x 49° 44° x 34°	Built in	Any system (frame camera model)
DSS 439 Applanix Trimble	7,216 x 5,412	7,216 x 5,412	1	6.8	12	3	40/60 62° x 49° 44° x 34°	Built in	Any system (frame camera model)
DigiCAM IGI- Systems	5,440 x 4,080 7,216 x 5,428	5,440 x 4,080 7,216 x 5,428	1	9 6.8	16	2.5 1.9	35/40/80 69° x 55° 52° x 40° 33° x 25°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
Trimble Aerial (AIC) Trimble (Rollei)	5,440 x 4,080 7,228 x 5,428 8,924 x 6,732	5,440 x 4,080 7,228 x 5,428 8,924 x 6,732	1	9 6.8 6	16	1.7 1.9 1	50/80/120 69° x 55° 52° x 40° 23° 17°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
NexVue Spectrum Imaging	4,080 x 4,080	4,080 x 4,080	1	9	12	2.5	50/90 23° x 23° 42° x 42°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
RCD105 Leica GeoSystems	7,162 x 5,389	7,162 x 5,389	1 (1)	6.8	12	0.49	35/60/100 69.7° x 55.3° 44.2° x 34° 27.4° x 20.8°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)
RMK D Intergraph	6096 x 6500	6096 x 6500	4	7.2	14	1	45 mm lens 52° x 55°	Optional Integrated	Any system (frame camera model)

3.4 ปฏิบัติการบินถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล

การบินถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลโดยทั่วไปยังมีหลักเช่นเดียวกับภาพถ่ายทางอากาศด้วยฟิล์มในแง่ของการทำแผนที่ แต่ระบบกล้องเป็นดิจิทัลจึงต้องการเตรียมการในแง่ของระบบคอมพิวเตอร์ประมวล การจัดเก็บ การโอนถ่ายข้อมูลเพิ่มขึ้น และข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งคือการเตรียมการกำหนดตำแหน่งโดยตรง (direct georeferencing :DG) ซึ่งถ้าหากเลือกวิธี phase-differential processing กรณีนี้จะต้องมีการจัดเตรียมเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสชนิดสองความถี่ และอาจเป็นเครื่องรับชนิดจีเอ็นเอสเอสก็ยิ่งดี เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสภาคพื้นดินต้องติดตั้งบนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว รับสัญญาณต่อเนื่องขณะที่เครื่องบินเริ่มสตาร์ทจากหยุดนิ่งสำหรับซอฟต์แวร์ประมวลบางลักษณะ และจะต้องอยู่ในรัศมีการบินที่ภาพห่างจากอากาศยานไม่เกิน 30-60 กิโลเมตร ดังนั้นโครงการขนาดใหญ่ที่บันทึกภาพในพื้นที่กว้างขึ้นจะต้องมีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสมากกว่า 1 เครื่อง ด้วยเหตุนี้จึงมีความต้องการวิธีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงตรงโดยเป็นอิสระจากสถานฐาน เช่น การกำหนดตำแหน่งความถูกต้องสูงแบบจลน์ (kinetic precise point positioning : kinematic PPP)

3.4.1 การวางแผนการบิน (mission planning)

การวางแผนการบินเป็นการประมาณการวิธีการบันทึกภาพเพื่อให้ได้ภาพที่คุณลักษณะและคุณภาพสามารถตอบสนองต่อความต้องการของการผลิตแผนที่หรือภูมิสารสนเทศได้ อีกทั้งจะเป็นการกำหนดและวางแผนทรัพยากรที่ต้องใช้ได้แก่ อากาศยาน นักบิน ต้นหนถ่ายภาพ ระบบคอมพิวเตอร์ประมวลผลและหน่วยจัดเก็บข้อมูลภาพ อีกทั้งยังส่งผลต่อกระบวนการประมวลผลภาพไปสู่แผนที่และภูมิสารสนเทศท้ายที่สุด

ในส่วนของการต้องการการผลิตแผนที่ ปัจจัยหลักคือความละเอียดของภาพที่สามารถมองเห็นได้ (detectability) และความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่ง (geospatial accuracy) ที่ต้องการ ปัจจัยอื่นๆที่ต้องคำนึงได้แก่ วิธีการกำหนดตำแหน่งโดยตรง (DG) การจัดทำจุดบังคับภาพ การครอบคลุมของแนวกบินในพื้นที่โครงการ ส่วนซ้อนในแนวกบิน (forward overlap: p) ส่วนซ้อนระหว่างแนวกบิน (side-lap : q) ปริมาณเมฆที่ยอมรับได้

นอกจากนี้ยังมี ความต้องการของผลผลิตได้ แก่ภาพชนิด 3 แบนด์ (RGB) หรือ 4 แบนด์ (RGB/NIR) ฟอรัมเมตภาพ ประเภทการบีบอัดและไม่บีบอัดและอัลกอริทึมที่ใช้ ภาพพร้อมค่าพารามิเตอร์การวางภาพภายนอก (exterior orientation parameter : EOP), การผลิต

แบบจำลองระดับ การรังวัดพิกัดในสามมิติสำหรับพีเจอรที่สนใจ การสร้างแบบจำลองสามมิติของเมือง การสร้างแบบจำลองสามมิติเสมือนจริง การผลิตภาพออร์โธที่พื้นดิน (ground ortho) การผลิตภาพออร์โธจริง (true ortho) การผลิตเป็นระวางแผนที่ภาพออร์โธ การผลิตเป็นระวางเพื่อนำเข้าในระบบให้บริการแผนที่ออนไลน์ การผนวกกับภูมิสารสนเทศอื่นๆ เช่น ภูมิสารสนเทศ

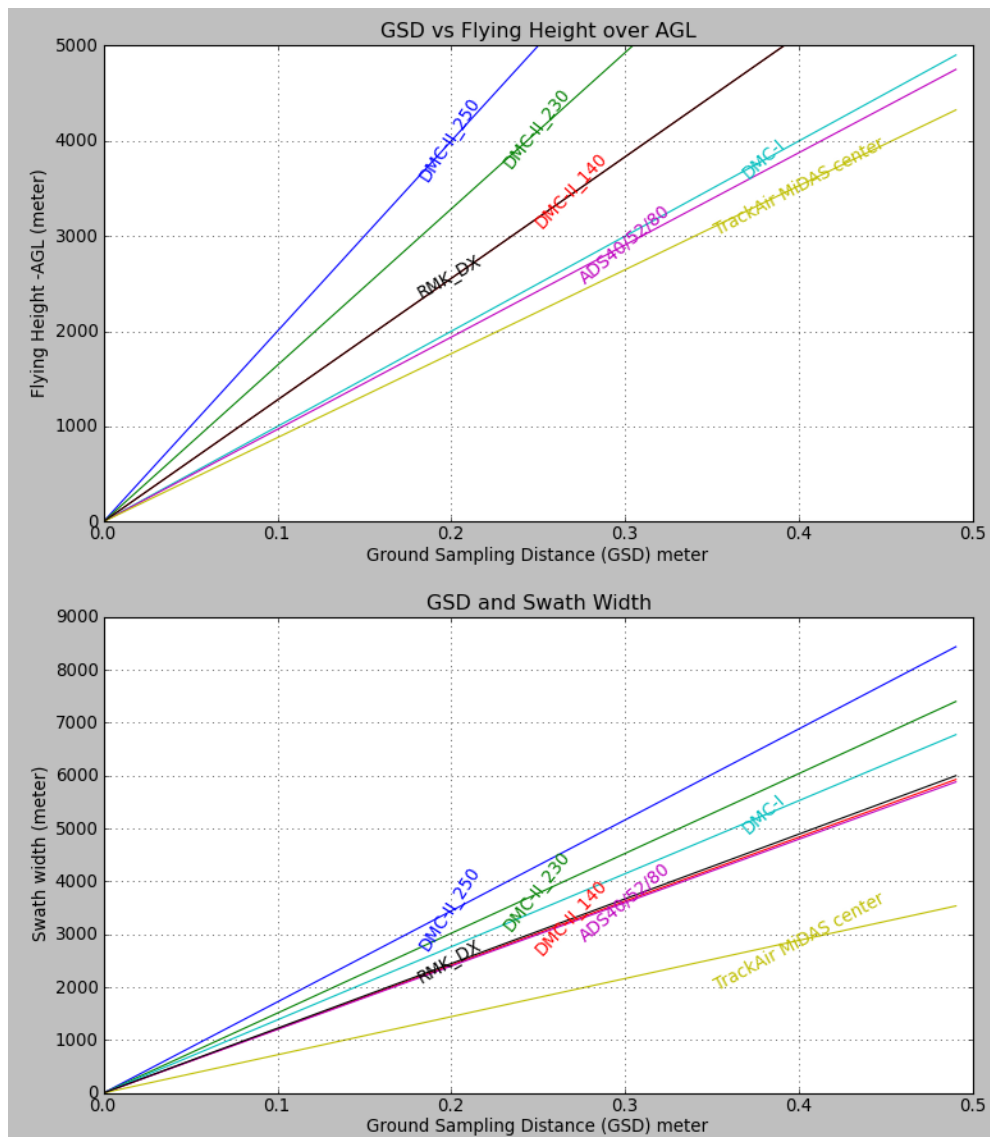
สมาคมสำรวจรังวัดด้วยภาพและสำรวจระยะไกลของชาวอเมริกัน (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing :ASPRS) ได้มีการยกร่างคู่มือการจัดซื้อจัดจ้างการถ่ายภาพทางอากาศ ไลดาร์และข้อมูลสำรวจระยะไกลสำหรับการทำแผนที่และภูมิสารสนเทศ (Guidelines for Procurement of Professional Aerial Imagery, Photogrammetry, Lidar and Related Remote Sensor-based Geospatial Mapping Services) ASPRS, 200X. สารสำคัญส่วนหนึ่งคือการกำหนดขอบเขตความสามารถของผู้รับจ้างตามภาระงานสนับสนุนการบินถ่ายภาพทางอากาศ ASPRS กำหนดเป็น

- 1) จุดควบคุมภาคพื้นดิน
- 2) แผนการบินถ่ายภาพเพื่อผลิตแผนที่ภาพออร์โธและงานรังวัด
- 3) การกำหนดพิกัดอ้างอิงตรงเพื่การบินที่ภาพถ่ายทางอากาศ
- 4) งานถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ
- 5) การจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ แบบจำลองระดับ และแผนที่รายละเอียด
- 6) การผลิตแผนที่ภาพออร์โธ
- 7) การบันทึกและประมวลผลไลดาร์
- 8) การบันทึกและประมวลผลเรดาร์
- 9) การแปลตีความภาพและการทำแผนที่เฉพาะเรื่อง

3.4.2 พารามิเตอร์การบินถ่ายภาพ

ในการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศ เมื่อตัดสินใจเลือกความละเอียดจุดภาพแล้ว จะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดระดับเพดานบิน (flying height over AGL) และความกว้างของแถบภาพ (swath width) ที่จะบันทึกได้ เนื่องจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีความยาวโฟกัสที่

หลากหลายและจำนวนจุดภาพบนฉากรับภาพ CCD ที่แตกต่างกัน ในกราฟต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงปัจจัยดังกล่าว สำหรับกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลที่พบบ่อย

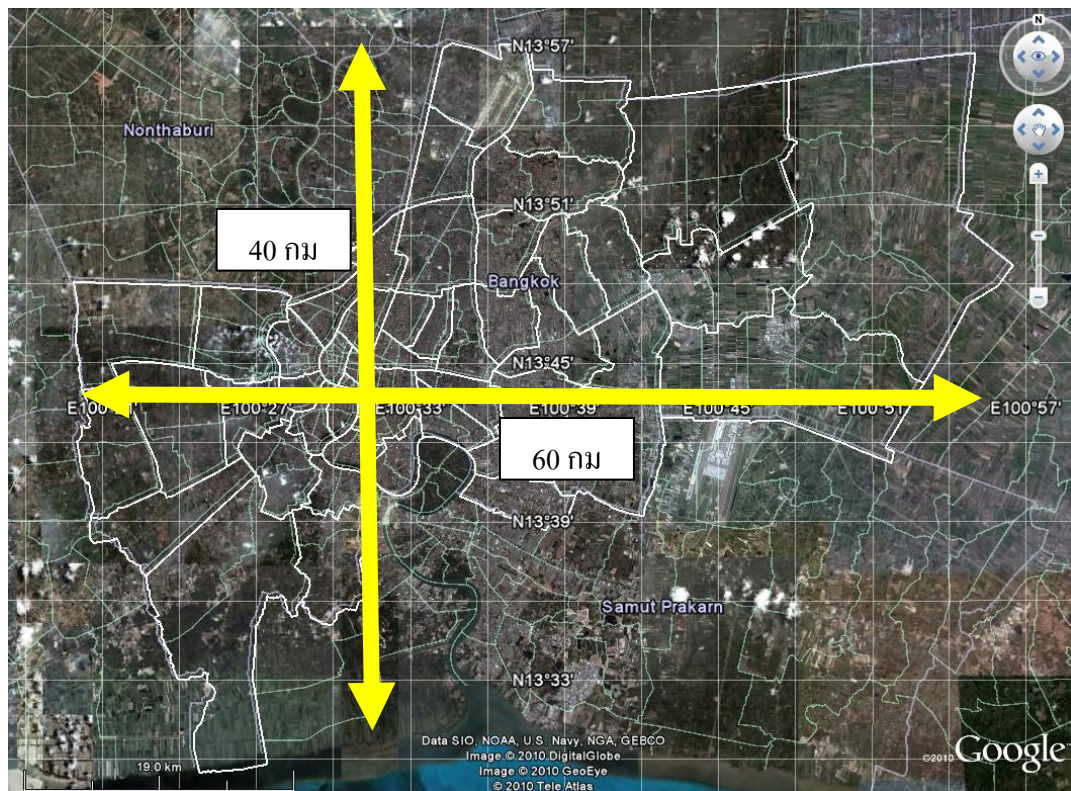


รูปที่ 3-41 ความละเอียดจุดภาพบนพื้นดินและความสูงบิน (บน) และความกว้างการกวาดภาพ (ล่าง)

3.4.3 ตัวอย่างการวางแผนการบิน

ตัวอย่างการบินบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลครอบคลุมพื้นที่ “กรุงเทพมหานคร” โดยสมมุติให้พื้นที่มีขอบเขตจากตะวันออกไปตะวันตกยาว 60 กิโลเมตร และขอบเขตทิศเหนือจรด

ทิศใต้ยาว 40 กิโลเมตร การบินให้บินถ่ายภาพตามยาวที่จะช่วยให้การเลี้ยวกลับเครื่องบินระหว่างแนวลบน้อยที่สุดจะได้เป็นการประหยัดเวลา



รูปที่ 3-42 พื้นที่การบินถ่ายภาพ “กรุงเทพมหานคร”

การบินกำหนดให้ใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลชนิดเฟรม Intergraph DMC การบินให้บินที่ความเร็ว 160 น็อตkts การบินวกกลับใช้เวลา 5 นาทีการบินที่ภาพปัจจัยสำคัญที่สุดคือการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศที่ความละเอียดจุดภาพต่างๆตามความต้องการ ในที่จะแสดงให้ถึงภารกิจที่ต้องถ่ายภาพทางอากาศที่ความละเอียดจุดภาพ 30 ซม. และ 10 ซม. ความละเอียดจุดภาพ 30 ซม. อาจเหมาะสำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ทั่วไป ส่วนความละเอียดจุดภาพ 10 ซม. เหมาะภารกิจพิเศษในเมืองที่ต้องการความละเอียดสูง

รายละเอียดการคำนวณ เป็นไปตามเรขาคณิตเช่นเดียวกับการบินด้วยภาพถ่ายทางอากาศด้วยฟิล์ม รายละเอียดสำหรับผู้่านที่สนใจหาดูได้จากหนังสือ การสำรวจจริงวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry) บริษัท aerial-survey-base พัฒนาโปรแกรม "วางแผนการบินถ่ายภาพทางอากาศ (Photogrammetric Flight Planning)" ให้ใช้ฟรี เมื่อติดตั้งแล้วจะเป็นไดอะล็อกดิงภาพ ผลลัพธ์ที่ได้มีทั้ง ประมาณการภาพ เวลาที่ใช้ ความละเอียดถูกต้องอีกด้วย

Digital Camera
required GSD: 20 cm
equivalent to 1:7.5 inch or 1:7.6

Camera: DMC-II_140
Camera Information for DMC-II_140
Sensor: 12096 * 11200, f= 92mm, Pixelsize = 7.2 μ m
total Megapixel: 135
Type: Mapping Grade CCD, full resolution

Altitude of flight: 8385 ft/AGL or 2556 m/AGL
Collection/Camera scale @ CCD = 1:27778 or 1" = 2315'
GSD= 20 cm = .7 ft = 7.9 in
camera cycle @ 160 kts GS= 10.4 sec.

Traditional camera + Scan
Film scan: 15 μ m = 1693 dpi
Photo scale: 1: 25000 in inch 1: 2083
Film GSD = 37.28 cm - 14.7 in - 1.2 ft
Altitude (15cm): 12500 ft = 3810 m/AGL
Altitude (30cm): 25000 ft = 7620 m/AGL

Calculation
Covered Area:
cross Track/Swath [m]: 2419
along Track [m]: 2240
Long. Overlap [%]: 60
Sidelap [%]: 30
Airbase [m]: 896
Altitude [ft]: 8384 ft AGL = 2555 meter
Run spacing [m]: 1693
camera cycle @ 160 kts GS= 10.4 sec.
FMC/CTDI @ 1/100sec = 31 μ m = 4.3 Pixel
GS warning: no
Orthophoto Pixelsize/GSD: 80 cm (recommended)
True GSD = 16.4 cm (effective GSD)
Photos per line km: 1.12 — per NM: 2.07

Area size per Image:
542 5.419 2.092 1339
Hectar sq km sq miles acres

Area size per Neat Model:
152 1.517 .586 375
Hectar sq km sq miles acres

Proposal Section
Area Dimensions [km]:
25 km x 50 km = 1250 sq km
Distance: 100 km (one way)
Flight Lines = 15
Photos = 867
Line km = 750 (40SNM)
Estimated Minimum Times:
Ferry to site = 20 min. (one Way)
Climb = 11 min. (climb)
Survey Turns = 75 min.
Time on Line = 152 min.
TOTAL TIME = 289 min., 4.8 hours
Calculation based on GS 160kts, RoC/RoD=75ft
5 min turns, 60 / 30% Overlap, GSD=20cm
Area Dimensions= 25x50km (625sqkm)
Distance to Area= 100km (54NM)
Camera: DMC-II_140
Photo Scale equal 1:10059 scan @20um
Photo Scale equal 1:16085 scan @12.5um

© 2010, aerial-survey-base What is GSD? Suggestions + contact: Email Help 6/16/2010 9:22:14 AM, FUJITSU@PHISANULIFEBOOK-IP: 161.200.86.171

รูปที่ 3-43 แสดงซอฟต์แวร์ GSD Calculator

เมื่อป้อนค่าความละเอียดจุดภาพที่ต้องการ 30 ซม หรือ 10 ซม และเลือกชนิดกล้องให้เป็น Intergraph DMC_I จากนั้นกดปุ่ม Calculation จะปรากฏผลเปรียบเทียบกันในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-15 ประมาณการผลการบันทึกภาพด้วยกล้อง DMC ด้วยความละเอียดจุดภาพ 30 ซม และ 10 ซม

รายละเอียด	GSD 30 เซนติเมตร	GSD 10 เซนติเมตร
พารามิเตอร์การบิน	60 / 30% Overlap, GSD=10cm Cross Track/Swath = 4,147 m Along Track = 2,304 m Airbase = 921 m Altitude = 3,000 m Camera cycle@160 kts GS=10.7 sec.	60 / 30% Overlap, GSD=10cm Cross Track/Swath = 1,382 m Along Track = 768 m Airbase = 307 m Altitude = 967 m Camera cycle@160 kts GS=3.6 sec.
จำนวนเที่ยวบิน จำนวนรูป เส้นทางบิน	Flight Lines = 14 Photos = 940 Line km = 840 (454NM)	Flight Lines = 41 Photos = 8095 Line km = 2460 (1328NM)
ประมาณการเวลา Estimated Minimum Times:	Ferry to site = 4 min. (one Way) Climb = 13 min. (climb) Survey Turns = 70 min. Time on Line = 170 min. TOTAL TIME = 274 min., 4.6 hours Missions: 1 @ 5 hours Endurance	Ferry to site = 4 min. (one Way) Climb = 4 min. (climb) Survey Turns = 205 min. Time on Line = 498 min. TOTAL TIME = 719 min., 12 hours Missions: 2.4 @ 5 hours Endurance
ประมาณการเทียบสเกลกับภาพถ่ายทางอากาศชนิดฟิล์มนำสแกน	Area Dimensions= 40x60km (1600sqkm) Distance to Area= 20km (11NM) Camera: DMC-I Photo Scale equal 1:15087 scan @20µm Photo Scale equal 1:24128 scan @12.5µm	Area Dimensions= 40x60km (1600sqkm) Distance to Area= 20km (11NM) Camera: DMC-I Photo Scale equal 1:5029 scan @20µm Photo Scale equal 1:8042 scan @12.5µm

รายละเอียด	GSD 30 เซนติเมตร	GSD 10 เซนติเมตร
ประมาณการ ความละเอียด ถูกต้องของ ผลิตผลที่ได้ Estimate Accuracy	<p>Good to make 1:6,000-1:9,000 map</p> <p>Ortho at GSD 120 cm</p> <p>Horizontal accuracy = 10 cm</p> <p>Vertical accuracy = 32.5 m</p> <p>Mapping Accuracy = 120 cm</p> <p>IMU Geo-referencing = 33 cm</p> <p>Block AT geo-referencing = 18 cm</p> <p>Max x,y,z control point residual = 36 cm</p>	<p>Good to make 1:2,000-1:3,000 map</p> <p>Ortho at GSD 40 cm</p> <p>Horizontal accuracy = 3.3 cm</p> <p>Vertical accuracy = 10.8 m</p> <p>Mapping Accuracy = 40 cm</p> <p>IMU Geo-referencing = 11 cm</p> <p>Block AT geo-referencing = 6 cm</p> <p>Max x,y,z control point residual = 12 cm</p>

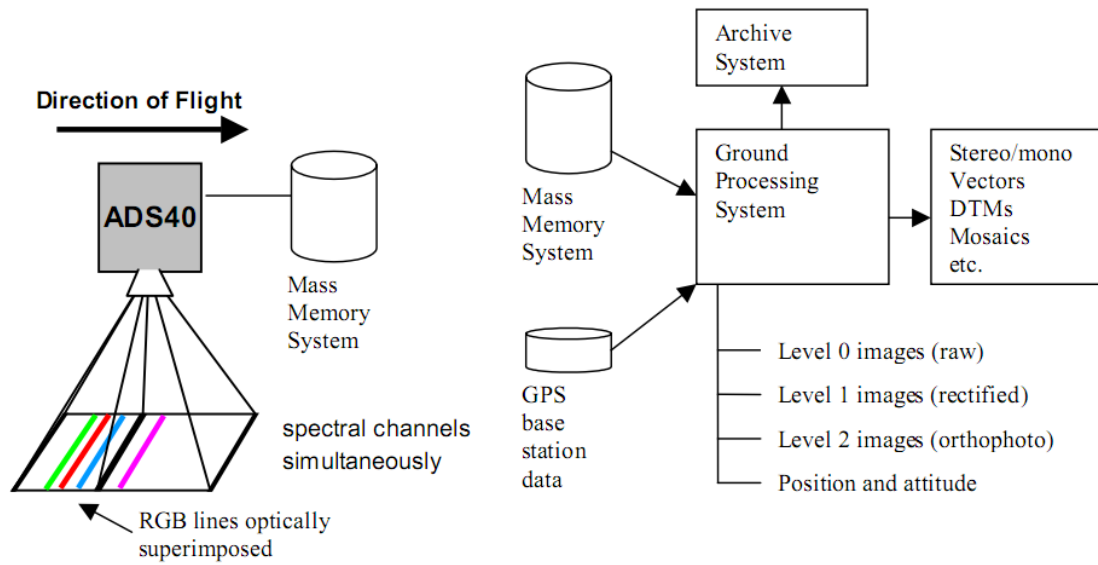
3.4.4 การประมวลผลข้อมูลจากการบินถ่ายภาพ

เมื่อได้ภาพมาแล้วจะเป็นการประมวลผล หากระบบผลิตเป็นภาพชนิดเฟรม เช่น Intergraph DMC ข้อมูลภาพสามารถนำมาประมวลด้วยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเดิมได้ทันที โดยสรุปขั้นตอนโดยรวมแสดงในภาพต่อไปนี้



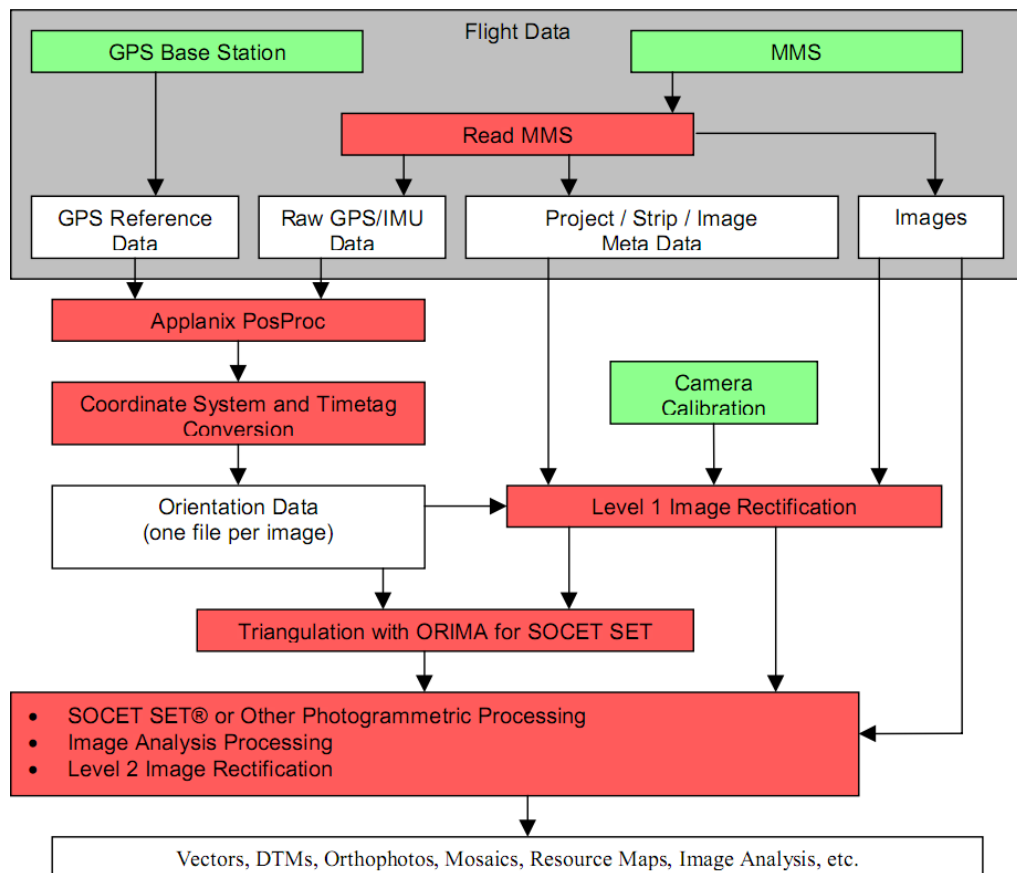
รูปที่ 3-44 แสดงการไหลของข้อมูลในการทำแผนที่ด้วยการใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล

ในภาพแสดงองค์ประกอบประมวลตัวอย่างกล้องชนิดกวาดภาพ เช่น Leica ADS ความแตกต่างที่สำคัญคือต้องมีการประมวลหาวิถีระบบกล้อง (trajectory) เสียก่อน เพื่อใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์การวางภาพภายนอก (EOP)



รูปที่ 3-45 องค์ประกอบการประมวลผลข้อมูลสำหรับกล้อง ADS40 (Sandau et al. 2000)

ในการประมวลผลข้อมูลจะมีขั้นตอนสรุปของการปฏิบัติงานดังภาพ จะเห็นได้ว่าสำหรับกล้องชนิดกวาดภาพพหุขั้วมุมอาจแสดงได้ในภาพต่อไปนี้



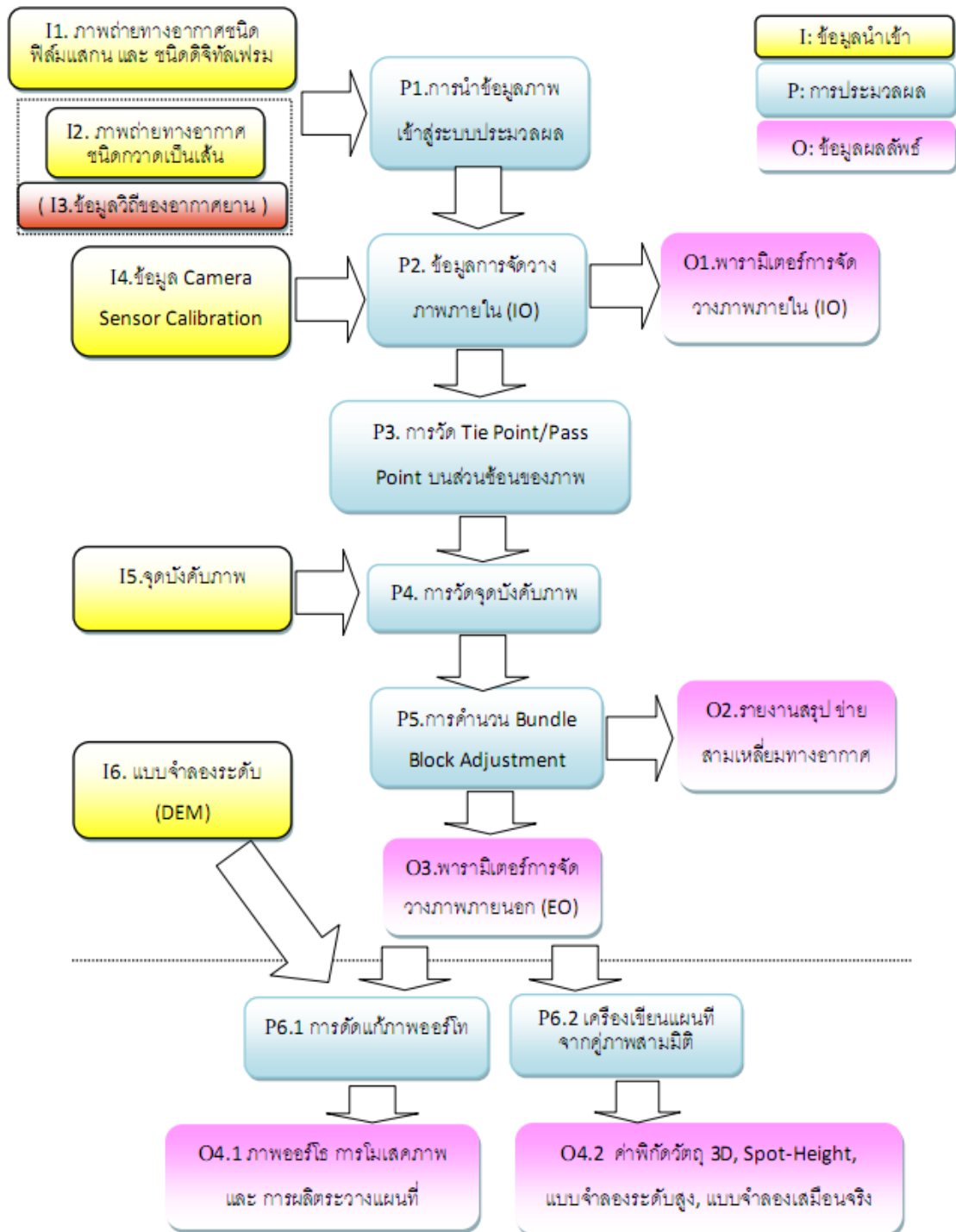
รูปที่ 3-46 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลจากการบินบันทึกภาพจนได้แผนที่ผลลัพธ์ (Tempelmann et.al. 2000)

โดยสรุปการทำแผนที่และภูมิสารสนเทศโดยใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศชนิดดิจิทัล จะช่วยให้เกิดความสะดวกและรวดเร็ว

กรมแผนที่ทหาร ภายใต้โครงการจัดหากล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข (พศ.2551-2553) มีการจัดหาระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลชนิด large-format และเหมาะกับการทำแผนที่ (mapping-grade) ได้กล่าวถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถตรวจสอบคุณภาพได้ขณะบินถ่ายภาพ
- แยกแยะรายละเอียดและปรับแต่งความคมชัดพื้นที่เป็นเงาหรือมีแสงน้อย
- เพิ่มระยะเวลาบินบันทึกภาพ ทำให้มีชั่วโมงบินและมีฤดูกาลถ่ายภาพมากขึ้น

- บันทึกภาพในภาวะไม่เอื้ออำนวยต่อการบันทึกภาพบนฟิล์ม เช่น หมอก หมอกแดด
- ลดขั้นตอนและวัสดุในการ สำเนาฟิล์ม ล้างฟิล์ม และสแกนภาพ
- การควบคุมคุณภาพจากบนเครื่องบินและในห้องปฏิบัติการบนพื้นดินเป็นเนื้อเดียวกัน
เมื่อได้ข้อมูลภาพจากระบบกล้องแล้ว ในภาพต่อไปนี้แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพทาง
อากาศ จนกระทั่งได้แผนที่ภาพ ค่าพิกัดจุดใดๆในสามมิติ แบบจำลองระดับ










รูปที่ 3-47 ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

3.4.5 ประเมินการเวลา

เนื่องจากการใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศความละเอียดถูกต้องของการรังวัดบนภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลถ่ายภาพทางอากาศ ความเร็วและความจุสต่อเรจของคอมพิวเตอร์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด

ในตารางต่อไปนี้แสดงประมาณในการทำงานของกล้อง Leica ADS สำหรับข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ 1200 ตร.กม. บินบันทึกภาพที่ความละเอียดจุดภาพ 15 เซนติเมตร เวลาที่ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ทำงานทั้ง 6.7 ชั่วโมง และเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานใช้ 1.6 ชั่วโมง รวมเวลาทั้งสิ้น 8.3 ชั่วโมง รายละเอียดปรากฏในตารางถัดไป

ตารางที่ 3-16 ประมาณการเวลาในการประมวลผลข้อมูลจากกล้อง Leica ADS (ที่มา

	Flight	<u>1,200 km², 15cm GSD</u> 12 lines, each 80 km, 3 Pan and 8 MS Approximately <u>7 h flight</u> at 130 knots	Total time		User action time
			WS with 6 server cluster		
	Download	400 GB ADS data format		4 h	0.5 h
	Geo-referencing	Trajectory calculation geo-referencing of L0 images		0.5 h 0.1 h	0.5 h 0.1 h
	Aerial triangulation	Automatic Point Measurement Bundle Adjustment		0.1 h 0.3 h	0.1 h 0.3 h
	Ortho photo	RGB or FCIR 1,200 km ²		1.7 h	0.1 h
				6.7 h	1.6 h
	Feature extraction	Due to image strips slightly faster than in traditional workflow			
	Fly-through	Similar to traditional workflow			

- when it has to be **right** 

3.5 การรังวัดพิกัดภาพบนภาพได้จากกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล

ค่าพิกัดภาพของวัตถุใดๆที่ปรากฏจากภาพที่บันทึกได้ จะเรียกว่า พิกัดภาพ (Photo Coordinate) ค่าพิกัดภาพนี้มีความสัมพันธ์กับทางเดินของลำแสงที่ตกกระทบวัตถุสะท้อนกลับมาผ่านจุดรวมแสงของเลนส์ทะลุไปปรากฏบนระนาบรับภาพ ซึ่งเราสามารถแสดงความสัมพันธ์นี้ด้วยสมการสภาวะร่วมเส้น (colinearity equation) สำหรับกล้องถ่ายภาพทางอากาศชนิดดิจิทัลจะสามารถคำนวณพิกัดภาพจากพิกัดของอิมเมจ (image coordinate) ได้ดังต่อไปนี้

ในตัวอย่างนี้เป็นอิมเมจจากกล้องถ่ายภาพ Applanix DSS-439 เป็นกล้องถ่ายภาพดิจิทัลชนิดความละเอียดปานกลาง (medium-resolution digital aerial camera) กล้อง DSS-439 ออกแบบมาเพื่อใช้ในการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศ โดยเฉพาะ ระบบกล้องถ่ายภาพ Applanix DSS-439



รูป 3-48 กล้อง Applanix DSS-429

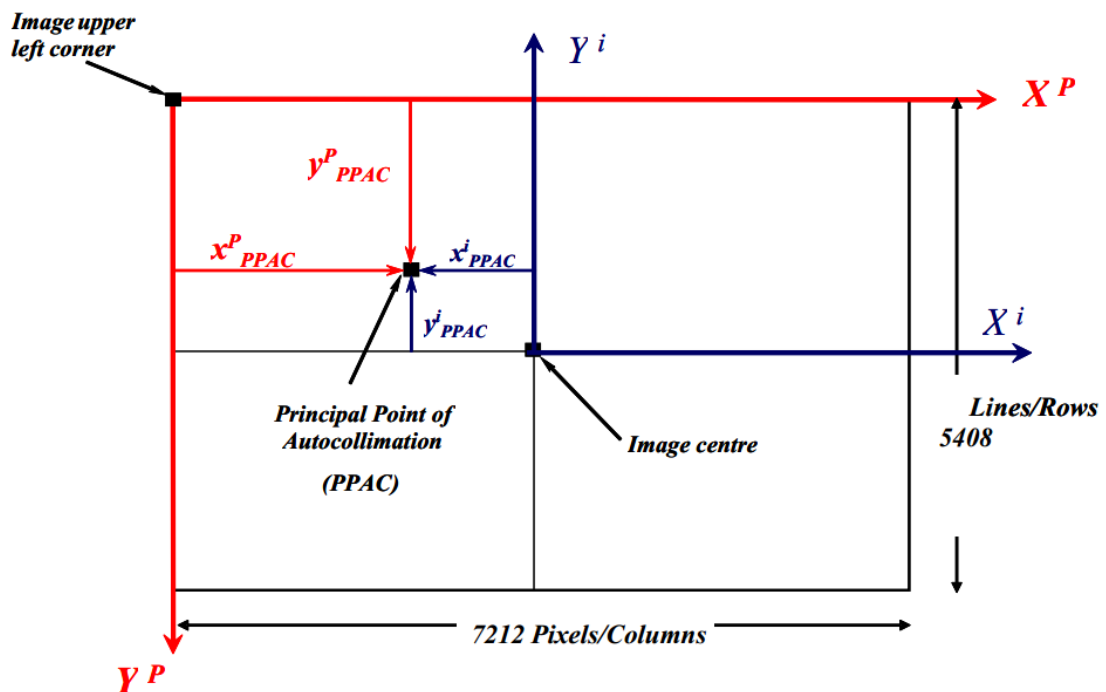
ตัวอย่างกล้อง Applanix DSS-439 หมายเลข SN-1002 ที่จะใช้ในตัวอย่างต่อไป กล้องมีคุณลักษณะที่สำคัญตามเอกสารใบวัดสอบ ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-17 พารามิเตอร์วัดสอบแล้วของกล้อง Applanix DSS-439 หมายเลข SN-1002

Parameter	Value	Accuracy
f (mm)	59.840	0.009 mm
x_{PPAC}^p (pixels) ⁺	3616.46	0.4 pixels
y_{PPAC}^p (pixels) ⁺	2723.55	0.4 pixels
x_{PPAC}^i (mm) ⁺⁺	0.071	0.0036 mm
y_{PPAC}^i (mm) ⁺⁺	-0.133	0.0036 mm

- ⁺ x_{PPAC}^p and y_{PPAC}^p are the offsets of the principal point of Autocollimation measured from image upper left corner, (image size 7212 pixels x 5408 lines) see Figure 1
- ⁺⁺ x_{PPAC}^i and y_{PPAC}^i are measured from image centre (pixel size = 6.8 microns) see Figure 1

โดยที่ระบบพิกัดภาพมีความสัมพันธ์กับระบบพิกัดอิมเมจบนระนาบรับภาพ
แสดงในภาพต่อไปนี้



Remarks

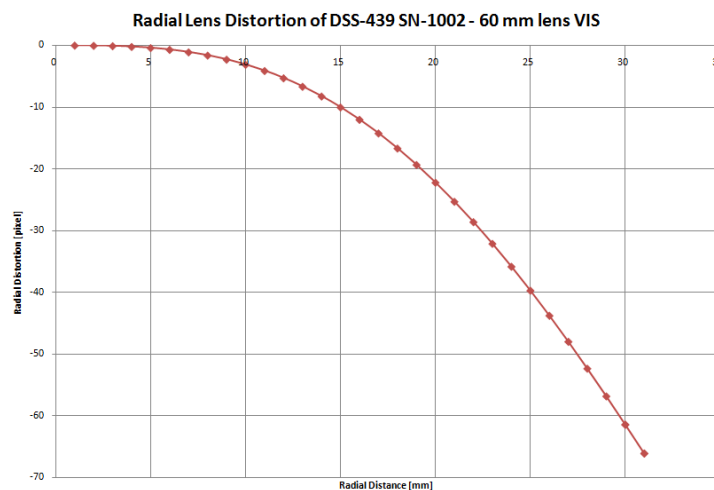
- X^i and Y^i : Image Coordinate Frame– **Right Handed System**
- X^p and Y^p : Pixel/Monitor Coordinate Frame– **Left Handed System**

รูป 3-49 ระบบพิกัดภาพและระบบพิกัดอิมเมจของกล้อง Applanix DSS-429

บ่อยครั้งกล้องถ่ายภาพดิจิทัลชนิดความละเอียดปานกลาง มักจะใช้เลนส์มี
คุณภาพแต่เลนส์จะยังมีความผิดเพี้ยน (lense distortion) ปรากฏอยู่ โดยที่ความ

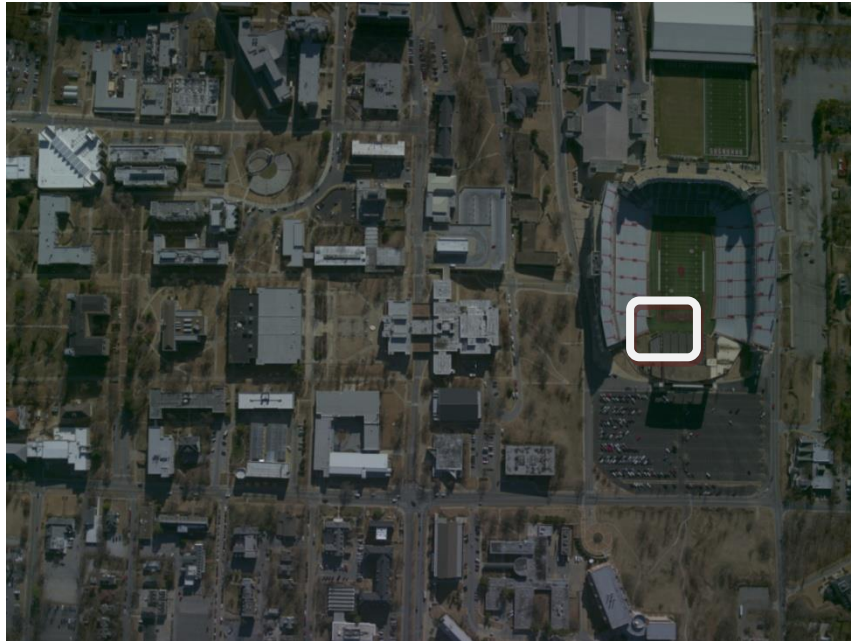
ผิดเพี้ยนของเลนส์จะมีการวัดสอบ (calibration) มีดังปรากฏในเอกสารการวัดสอบเทียบ ดังนั้นค่าพิกัดจุดรังวัดใดๆที่สนใจ จะต้องทำการคำนวณปรับแก้ค่าความผิดเพี้ยนของเลนส์เสียก่อน

ความผิดเพี้ยนของเลนส์ในแนวรัศมีจะมีบทบาทมากที่สุด ในเอกสารการวัดสอบจะให้ไว้ในรูปของตารางที่แสดงความผิดเพี้ยนของเลนส์ทุกๆระยะ 1 มิลลิเมตร หรือมีการจำลองแบบด้วยโพลีโนเมียลดีกรี 2 โดยที่สัมประสิทธิ์จะใช้สัญลักษณ์เป็น k_1 , k_2 และ k_3 สำหรับกล้อง DSS-439 หมายเลข SN-1002 ประกอบเข้ากับชุดเลนส์ 60 mm VIS เมื่อนำค่าความผิดเพี้ยนของเลนส์ จะแสดงให้เห็นในรูปแบบกราฟดังภาพ



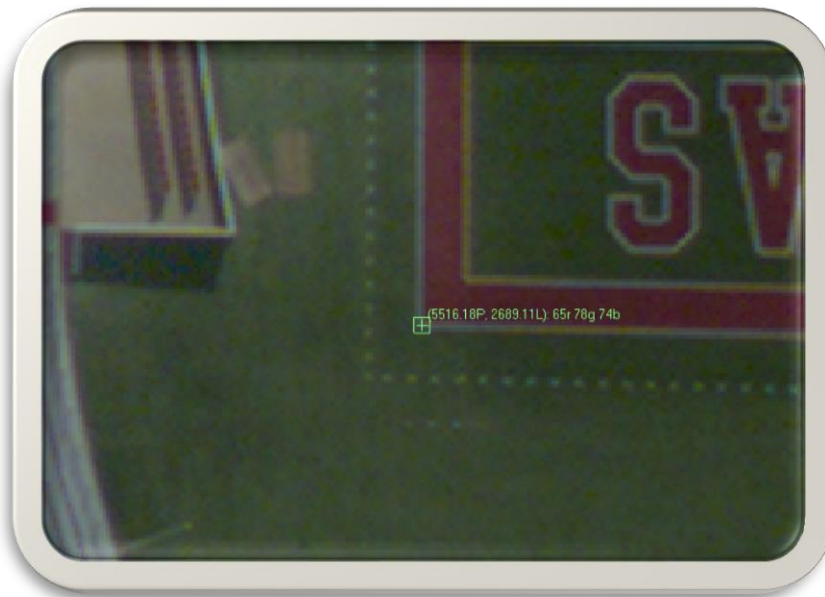
รูป 3-50 ความผิดเพี้ยนของเลนส์ในแนวรัศมีของเลนส์จากกล้อง DSS-439 SN-1002

หากมีจุดใดบนภาพที่ปรากฏเด่นชัดและผู้ใช้ต้องการรังวัดค่าพิกัด ตัวอย่างเช่น ค่าพิกัดมุมซ้ายล่างของภาพถ่ายทางอากาศจากกล้อง DSS-439 หมายเลข SN-1002 ของสนามฟุตบอล ณ ตำแหน่งดังรูป



รูป 3-51 ตัวอย่างภาพหมายเลข 00369165.tif จากกล้อง DSS-439

หากขยายบริเวณที่สนใจจะเห็นรายละเอียดและผลการรังวัดค่าพิกัดอิมเมจ แสดงดังภาพ



รูป 3-52 ค่าพิกัดของมุมของสนามฟุตบอล

ในการคำนวณค่าพิกัดภาพ (photo coordinate) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณพิกัดวัตถุ (Object Coordinate) ต่อไป การคำนวณมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) คำนวณตำแหน่งของจุดรังวัดอ้างอิงจาก principle point of Autocolimation (PPAC)

ค่าพิกัดของจุดดังกล่าว

$$\begin{aligned} i &= 5,516.18 && \text{จุดภาพ} && \text{ค่าพิกัดทางสดมภ์} \\ j &= 2,689.11 && \text{จุดภาพ} && \text{ค่าพิกัดทางแถว} \\ i' &= i - X_{PPAC}^P && && \text{ค่าพิกัดทางสดมภ์ อ้างอิง} \end{aligned}$$

จาก PPAC หน่วยเป็นจุดภาพ

$$j' = j - Y_{PPAC}^P \quad \text{ค่าพิกัดทางแถว อ้างอิงจาก}$$

PPAC หน่วยเป็นจุดภาพ

จากเอกสาร calibration document พบว่า

ขนาดจุดภาพ $p = 6.8 \text{ micron}$

ดังนั้นคำนวณค่าพิกัดภาพอ้างอิงจาก PPAC ได้

$$\begin{aligned} i' &= p * (i - X_{PPAC}^P) && \text{ค่าพิกัดทางสดมภ์ หน่วยเป็น มม.} \\ j' &= p * (j - Y_{PPAC}^P) && \text{ค่าพิกัดทางแถว หน่วยเป็น มม.} \end{aligned}$$

แทนค่าจะได้ค่าพิกัดจุดรังวัด อ้างอิงจากจุด PPAC

$$i' = \frac{6.8}{1,000} * (5,516.18 - 3,616.46)$$

$$i' = 12.9181 \text{ มม.} \quad \text{ค่าพิกัดทางสตมภ์ หน่วย มม.}$$

$$j' = \frac{6.8}{1,000} * (2,689.11 - 2,723.55)$$

$$j' = -0.2342 \text{ มม.} \quad \text{ค่าพิกัดทางแถว หน่วย มม.}$$

2) คำนวณค่าความผิดเพี้ยนของเลนส์ ณ ตำแหน่งจุดรังวัด

ตำแหน่งของจุดรังวัดห่างจาก PPAC เป็นระยะทาง radial distance

$$r' = \sqrt{i'^2 + j'^2}$$

$$r' = \sqrt{12.9181^2 + (-0.2342)^2} \text{ มม.}$$

$$r' = 12.9202 \text{ มม.}$$

ตำแหน่งของจุดรังวัดทำมุมกับแกน X^i หรือ X^P คิดเป็นมุม θ

$$\theta = \arctan\left(\frac{j'}{i'}\right)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{(-0.2342)}{12.9181}\right)$$

$$\theta = -0.018 \ 127 \ 6152 \text{ rad หรือ}$$

$$-1.038 \ 635 \ 843 \ 6^\circ$$

ตารางที่ 3-18 บางส่วนของตารางความผิดเพี้ยนของเลนส์ของกล้อง Applanix DSS-439 หมายเลข SN-1002

Radial Distance (mm)	Radial Distortion (Pixel)	Radial Distortion (microns)
10.00	-3.11	-21.158
11.00	-4.11	-27.941
12.00	-5.29	-35.963
13.00	-6.66	-45.295
14.00	-8.24	-55.999
15.00	-10.02	-68.124

ประมาณค่า radial distortion ที่ตำแหน่ง radial distance 12 ถึง 13 มิลลิเมตร สำหรับ

$$r' = 12.9202 \text{ มม.}$$

จากการประมาณ

$$\Delta r = -35.963 + \frac{(r' - 12.00)}{(13.00 - 12.00)} * ((-45.295) - (-35.963)) \quad \text{ไมครอน}$$

$$\Delta r = -35.963 + \frac{(12.9202 - 12.00)}{(13.00 - 12.00)} * ((-45.295) - (-35.963)) \quad \text{ไมครอน}$$

$$\Delta r = -44.5503 \text{ ไมครอน}$$

ตำแหน่งของจุดรังวัดห่างจาก PPAC เป็นระยะทาง undistorted radial distance

$$r = r' - \Delta r$$

$$r = 12.9202 - \frac{(-44.5503)}{1,000} \text{ มม.}$$

$$r = 12.9648 \text{ มม.}$$

3) ค่าพิกัดภาพ (Photo Coordinate) ของจุดรังวัด (x_p, y_p)

ความสัมพันธ์ค่าพิกัดภาพ จากระยะห่างจาก PPAC เป็นระยะทาง r ในทิศทางมุม θ เทียบกับแกน X^i หรือ X^P

$$x_p = r * \cos(\theta)$$

$$y_p = r * \sin(\theta)$$

แทนค่า

$$x_p = 12.9648 * \cos(-0.018\ 127\ 6152)$$

$$y_p = 12.9648 * \sin(-0.018\ 127\ 6152)$$

จะได้ค่าพิกัด

$$x_p = 12.9627 \text{ มม.}$$

$$y_p = -0.2350 \text{ มม.}$$

ดังนั้นค่าพิกัดภาพ (Photo Coordinate) ของจุดรังวัดที่สนใจคือ

$$x_p = 12.963 \text{ มม. และ}$$

$$y_p = -0.235 \text{ มม.}$$

ค่าพิกัดที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณพิกัดวัตถุ (Object Coordinate) ต่อไป
ความละเอียดถูกต้องของการทำแผนที่

3.6 ความละเอียดถูกต้องของการทำแผนที่

ความละเอียดถูกต้องของการรังวัดบนภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลถ่ายภาพทางอากาศ หากเป็นกล้องถ่ายภาพที่มีคุณภาพ มีเสถียรภาพการทำงาน ความคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบได้รับการแก้ไขแล้ว ระบบมีความผิดเพี้ยนน้อย และถือได้ว่าเป็นกล้องสำหรับการทำแผนที่ (mapping-grade camera) กล้องที่เข้าข่ายอาจพิจารณาจากโปรแกรมการประเมินของ US Geological Survey หรือ EuroSDR Performance Test for Digital Aerial Camera System

3.6.1 มาตรฐานความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่ง

มาตรฐานความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งอาจเลือกใช้มาตรฐานที่ได้เป็นที่รู้จักและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น มาตรฐานแห่งชาติสำหรับความละเอียดถูกต้องของข้อมูลปริภูมิ (National Standard for Spatial Data Accuracy: NSSDA) ของหน่วย Federal Geodetic Data Committee : FGDC) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติและวิธีทดสอบความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลแผนที่และภูมิสารสนเทศเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า มาตรฐานนี้พัฒนามาจาก National Map Accuracy Standards of 1947 (U.S. Bureau of the Budget, 1947) or Accuracy Standards for Large-Scale Maps [American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Specifications and Standards Committee, 1990]

การทดสอบจะต้องทดสอบกับจุดทดสอบ 20 จุดเป็นอย่างน้อย จุดเหล่านี้จะจัดกระจายในพื้นที่ทดสอบ เมื่อทดสอบแล้ว จุด 20 จุดจะต้องตกอยู่ในเกณฑ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และอาจยอมให้มี 1 จุดที่ไม่ผ่านการทดสอบได้

NSSDA กำหนดให้ใช้มาตรฐานจาก ASPRS Accuracy Standard for Large-Scale Maps สำหรับทางราบ ปรากฏในตาราง

ตารางที่ 3-19 ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps, Class 1 Horizontal limiting
RMSE (FGDC 1998)

Class 1 Planimetric Accuracy Limiting RMSE (meters)	Map Scale
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.050	1:200
0.125	1:500
0.25	1:1,000
0.50	1:2,000
1.00	1:4,000
1.25	1:5,000
2.50	1:10,000
5.00	1:20,000

สำหรับการประเมินความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง NSSDA กำหนดให้ใช้มาตรฐานจาก ASPRS Accuracy Standard for Large-Scale Maps โดยอ้างอิงกับเส้นชั้นความสูง สำหรับแผนที่ชั้นหนึ่งความคลาดเคลื่อน RMSE กำหนดไม่เกิน 1/3 ของระยะห่างเส้นชั้นความสูง (contour interval) และสำหรับจุดระดับ (spot height) จำกัดไว้ไม่เกิน 1/6 ของระยะห่างเส้นชั้นความสูง

ทั้งนี้ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งตาม NSSDA กำหนดให้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นค่า RMSE จากการประเมินความคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่ได้จะต้องคูณแฟกเตอร์ 1.703 สำหรับทางราบ และแฟกเตอร์ 1.906 สำหรับทางดิ่งตามลำดับ

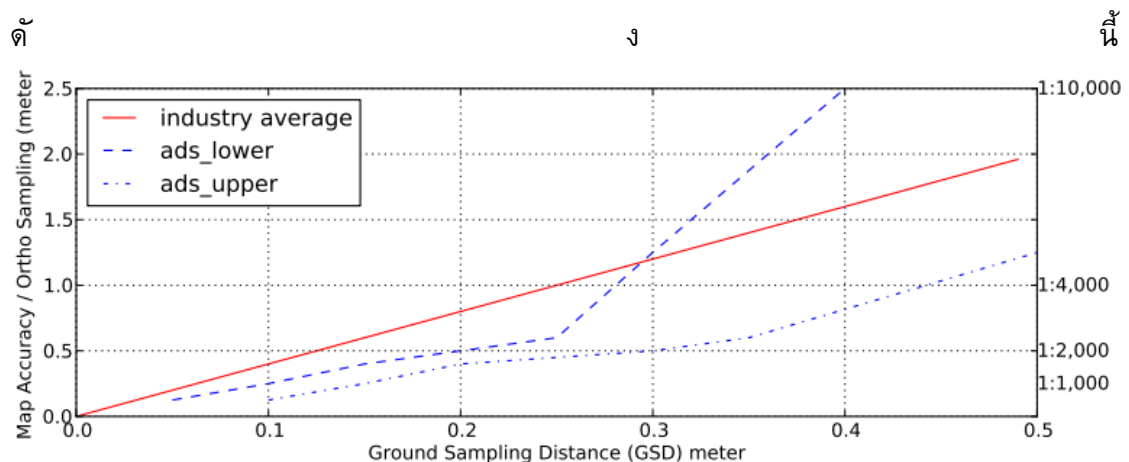
3.6.2 ความละเอียดถูกต้องของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ

ความละเอียดถูกต้องของกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลในการทำแผนที่อาจประเมินจากความละเอียดจุดภาพเป็นสำคัญ (Cramer M. ,2009) ทั้งนี้กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลต้องมีคุณภาพ mapping-grade camera แต่เดิมความละเอียดถูกต้องของแผนที่ที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศขึ้นอยู่กับมาตราส่วนภาพถ่ายสำหรับทางราบ ส่วนทางดิ่งมักใช้

$$\sigma = 0.15\% \cdot H$$

ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยคูณด้วยความสูงบินจากพื้นดินเฉลี่ย ความละเอียดถูกต้องของกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลในการทำแผนที่อาจประเมินจากความละเอียดจุดภาพเป็นสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจาก Fiele-of-View (FOV) ของกล้องดิจิทัลมีความหลากหลายมาก FOV อาจมีค่าเริ่มต้นจาก 34 องศา เช่น ระบบกล้องDIMACS ไปจนถึง 120 องศา เช่น Trimble AICx2 เป็นต้น

ดังนั้นหากพล็อตความสัมพันธ์ของ GSD-mapping accuracy และ map-scale ไว้ดังนี้



รูปที่ 3-53 กราฟแสดงความละเอียดจุดภาพและความละเอียดถูกต้องแผนที่

จากนั้นให้มาพิจารณาขีดความสามารถของระบบกล้องถ่ายภาพทางอากาศโดยเฉลี่ย ซึ่งในกราฟต่อไปนี้ได้ข้อมูลจากสองแหล่งคือ 1) เส้น “industry average” เป็นการให้ความละเอียดถูกต้องตามซอฟต์แวร์ GSD Calculator v.4.5 ซึ่งอาจจะอนุมานว่าเป็นค่ามาตรฐานของที่ปรึกษาด้านกล้องถ่ายภาพทางอากาศของยุโรป 2) เส้น “ADS_upper” และ “ADS_lower” เป็น

ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งที่ผู้พัฒนาและผลิตกล้องชั้นนำ Leica ADS ให้ไว้
ความสัมพันธ์

สำหรับระบบกล้อง ADS80 ดังในตารางที่ 3-20 ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งเมื่อ
ใช้ระบบกล้อง Leica ADS80

ตารางที่ 3-20 ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งเมื่อใช้ระบบกล้อง Leica ADS80

Mapping Accuracies			
Average GSD with ADS80	Map Scale	Map standard	
		x-y accuracy RMSE	contour Interval
5 – 10 cm	1:500	0.125 m	0.25 m
10 – 15 cm	1:1000	0.25 m	0.5 m
15 – 20 cm	1:1500	0.40 m	0.75 m
20 – 30 cm	1:2000	0.50 m	1 m
25 – 35 cm	1:2500	0.60 m	1.25 m
30 – 50 cm	1:5000	1.25 m	2.5 m
40 – 60 cm	1:10000	2.50 m	5 m
50 – 70 cm	1:20000	5.00 m	10 m
50 – 80 cm	1:25000	6.25 m	12.5 m
50 – 100 cm	1:50000	12.5 m	20 m
50 – 100 cm	1:100000	25 m	50 m

เมื่อพิจารณาค่าทั้งสองจะเห็นว่าค่าความละเอียดถูกต้องที่ทาง Leica ADS กล่าวอ้างว่า
ค่อนข้างจะดีกว่า ค่ากล่าวอ้างของ “อุตสาหกรรมโดยเฉลี่ย” โดยเฉพาะในระดับความ
ละเอียดจุดภาพละเอียดกว่า 0.30 เมตร ดังแสดงใน

นอกจากความละเอียดถูกต้องที่กล่าวมีข้างต้นคือความละเอียดถูกต้องสูงสุดที่อาจทำได้
จากระบบการถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่ ในกรณีที่มีข้อจำกัดการบันทึกภาพและ
ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยเฉพาะระบบที่เป็นการกวาดภาพและต้องมีการ
พึ่งพา ระบบ GNSS/IMU เป็นอย่างมากในการกำหนดตำแหน่ง ความละเอียดถูกต้องทาง
ตำแหน่งที่ได้จะลดทอนลงไปบ้างขึ้นอยู่กับชนิดของการดำเนินการบินถ่ายภาพ (Mission
Type) ดังปรากฏในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-21 คุณภาพของค่าการจัดวางภาพภายนอกที่ได้จาก Leica ADS 80

Quality of external orientation of Leica ADS80 images depending on mission parameters and based on the application of PPP (Precise ephemeris data)												
Mission Type	Mission Parameters				5 cm GSD		10 cm GSD		15 cm GSD		20 cm GSD	
	GNSS data	GNSS ground ref station	Aero-triangulation	GCPs	relative	absolute (cm)	relative	absolute (cm)	relative	absolute (cm)	relative	absolute (cm)
1			no	no	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100
2	PPP	no	yes	no	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50
3			yes	yes	0.5 pixels	< 5	0.5 pixels	< 10	0.5 pixels	< 15	0.5 pixels	< 20
4	phase differential	yes	no	no	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100	5 pixels	< 100
5			yes	no	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50	1 pixel	< 50
6			yes	yes	0.5 pixels	< 5	0.5 pixels	< 6	0.5 pixels	< 8	0.5 pixels	< 10

หน่วยงาน United State Geological Survey (USGS) และ European Spatial Data Research (EuroSDR) ได้กำลังศึกษาวิจัย กำหนดมาตรฐานในการวัดสอบกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัลทั้งชนิดขนาดใหญ่ (large-format) และขนาดกลาง (medium-format) เพื่อใช้ทำแผนที่ (Stensaas, 2007) EuroSDR กำลังริเริ่มที่จะให้มี Digital Airborne Camera Certification (EuroDAC) (Cramer, 2010) ผลของการวัดสอบสะท้อนกลับทำให้แบบจำลองถูกปรับปรุงและส่งผลทำให้ความละเอียดถูกต้องในการทำแผนที่ในที่สุดสูงขึ้นด้วย

อนึ่งสำหรับกล้องอนาล็อกเดิมการประมาณความละเอียดถูกต้องทางดิ่งอาจใช้สูตรเชิงประจักษ์ $\sigma = 0.15\% \cdot H$ จากงานวิจัยของ EuroSDR พบว่าใช้ไม่ได้สำหรับกล้องดิจิทัล EuroSDR ปรากฏสรุปในตารางต่อไปนี้ (Cramer, 2008, 2009)

ตารางที่ 3-22 ความละเอียดถูกต้องหลังการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมและมีการใช้ self-calibration

ระบบกล้องดิจิทัล	ความละเอียดถูกต้องทางราบ	ความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง	เทียบเป็นความสัมพันธ์กับความสูงบิน
ADS40	1/5 GSD	1/3 GSD	0.04% H
DMC	1/4-1/2 GSD	1/2-1 GSD	0.05% - 0.1% H
UltraCamD	1/4-1/2 GSD	1/2 GSD	0.03% H

3.6.3 การประเมินความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของกล้อง DMC

ในการบินทดสอบกล้อง DMC ภายใต้โครงการปรับปรุงข้อมูลแผนที่ชุด L7018 ปี 2552 ของกรมแผนที่ทหารเป็นการบินที่ด้วยกล้อง DMC ความยาวโฟกัส 120 มิลลิเมตร มาตรฐาน 1:25,000 ความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) 0.3 เมตร มีแนวกบิน 7 แนวกบิน จำนวนภาพ 312 ภาพ (พื้นเอก ศุภฤกษ์ 2553)

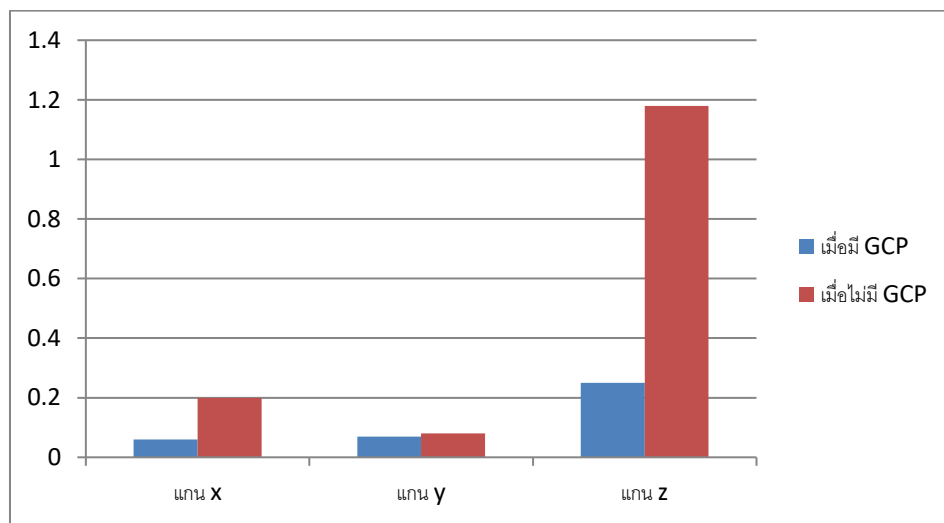
Summary Stats Photo Stats Object Stats Point Stats Exterior Orientation GPS INS Self-Calibration				Summary Stats Photo Stats Object Stats Point Stats Exterior Orientation GPS INS Self-Calibration					
Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa	Key Statistics	Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa	Key Statistics
RMS Control	0.01302	0.01267	0.20366	Sigma: 1.432 um	RMS Control	0.20249	0.08212	1.18177	Sigma: 1.479 um
RMS Check	0.05538	0.08303	0.24591	RMS Image (x, y): 1.188, 1.029 um	RMS Check	0.20249	0.08212	1.18177	RMS Image (x, y): 1.216, 1.089 um
RMS Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Number of Iterations: 9	RMS Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Number of Iterations: 9
Max Ground Residual	0.01782	0.01691	0.28158	Degrees of Freedom: 8376	Max Ground Residual	0.00000	0.00000	0.00000	Degrees of Freedom: 8367
Residual Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Gross Image Blunders: 0	Residual Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Gross Image Blunders: 0
Mean Std Dev Object	0.04896	0.05431	0.10614	Gross Control Blunders: 0	Mean Std Dev Object	0.02068	0.03005	0.06356	Gross Control Blunders: 0
RMS Photo Position	0.02681	0.01144	0.02529	Image Blunders: 0	RMS Photo Position	0.03910	0.01199	0.03258	Image Blunders: 0
RMS Photo Altitude	0.00908	0.00427	0.00543	Solution Status: Solution Successful	RMS Photo Altitude	0.00154	0.00154	0.00275	Solution Status: Solution Successful
Mean Std Dev Photo Position	0.05570	0.06299	0.08703		Mean Std Dev Photo Position	0.02359	0.01440	0.01073	
Mean Std Dev Photo Altitude	0.00120	0.00066	0.00060		Mean Std Dev Photo Altitude	0.00050	0.00063	0.00047	

Summary Stats Photo Stats Object Stats Point Stats Exterior Orientation GPS INS Self-Calibration				Summary Stats Photo Stats Object Stats Point Stats Exterior Orientation GPS INS Self-Calibration					
Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa	Key Statistics	Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa	Key Statistics
RMS Control	0.01302	0.01267	0.20366	Sigma: 1.432 um	RMS Control	0.20249	0.08212	1.18177	Sigma: 1.479 um
RMS Check	0.05538	0.08303	0.24591	RMS Image (x, y): 1.188, 1.029 um	RMS Check	0.20249	0.08212	1.18177	RMS Image (x, y): 1.216, 1.089 um
RMS Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Number of Iterations: 9	RMS Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Number of Iterations: 9
Max Ground Residual	0.01782	0.01691	0.28158	Degrees of Freedom: 8376	Max Ground Residual	0.00000	0.00000	0.00000	Degrees of Freedom: 8367
Residual Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Gross Image Blunders: 0	Residual Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Gross Image Blunders: 0
Mean Std Dev Object	0.04896	0.05431	0.10614	Gross Control Blunders: 0	Mean Std Dev Object	0.02068	0.03005	0.06356	Gross Control Blunders: 0
RMS Photo Position	0.02681	0.01144	0.02529	Image Blunders: 0	RMS Photo Position	0.03910	0.01199	0.03258	Image Blunders: 0
RMS Photo Altitude	0.00908	0.00427	0.00543	Solution Status: Solution Successful	RMS Photo Altitude	0.00154	0.00154	0.00275	Solution Status: Solution Successful
Mean Std Dev Photo Position	0.05570	0.06299	0.08703		Mean Std Dev Photo Position	0.02359	0.01440	0.01073	
Mean Std Dev Photo Altitude	0.00120	0.00066	0.00060		Mean Std Dev Photo Altitude	0.00050	0.00063	0.00047	

Summary Stats Photo Stats Object Stats Point Stats Exterior Orientation GPS INS Self-Calibration				Summary Stats Photo Stats Object Stats Point Stats Exterior Orientation GPS INS Self-Calibration					
Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa	Key Statistics	Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa	Key Statistics
RMS Control	0.01302	0.01267	0.20366	Sigma: 1.432 um	RMS Control	0.20249	0.08212	1.18177	Sigma: 1.479 um
RMS Check	0.05538	0.08303	0.24591	RMS Image (x, y): 1.188, 1.029 um	RMS Check	0.20249	0.08212	1.18177	RMS Image (x, y): 1.216, 1.089 um
RMS Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Number of Iterations: 9	RMS Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Number of Iterations: 9
Max Ground Residual	0.01782	0.01691	0.28158	Degrees of Freedom: 8376	Max Ground Residual	0.00000	0.00000	0.00000	Degrees of Freedom: 8367
Residual Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Gross Image Blunders: 0	Residual Limits	0.50000	0.50000	1.00000	Gross Image Blunders: 0
Mean Std Dev Object	0.04896	0.05431	0.10614	Gross Control Blunders: 0	Mean Std Dev Object	0.02068	0.03005	0.06356	Gross Control Blunders: 0
RMS Photo Position	0.02681	0.01144	0.02529	Image Blunders: 0	RMS Photo Position	0.03910	0.01199	0.03258	Image Blunders: 0
RMS Photo Altitude	0.00908	0.00427	0.00543	Solution Status: Solution Successful	RMS Photo Altitude	0.00154	0.00154	0.00275	Solution Status: Solution Successful
Mean Std Dev Photo Position	0.05570	0.06299	0.08703		Mean Std Dev Photo Position	0.02359	0.01440	0.01073	
Mean Std Dev Photo Altitude	0.00120	0.00066	0.00060		Mean Std Dev Photo Altitude	0.00050	0.00063	0.00047	

รูปที่ 3-54 ปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ชัย เมื่อมี GCP 4 จุด ขวา เมื่อไม่มี GCP

เมื่อนำประมาณการความละเอียดถูกต้องจะเห็นดังภาพ

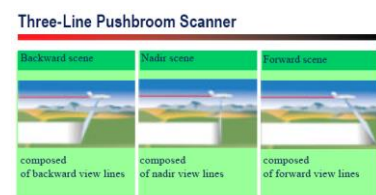


รูปที่ 3-55 เปรียบเทียบความแม่นยำ เมื่อมี GCP 4 จุด และเมื่อไม่มี GCP

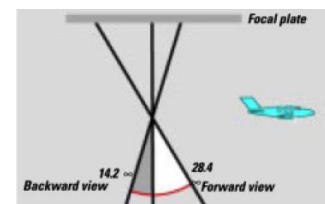
3.7 คำถามท้ายบท

- 1) กล้อง DigiCAM ออกแบบให้เป็น “modular” จงเปรียบเทียบประโยชน์หรือการประยุกต์ใช้ของการติดตั้งประกอบกล้องในรูปแบบ
 - i) Double-DigiCAM ประกอบด้วยกล้อง 39 MP สองกล้องติดตั้งข้าง ๆ กัน กล้องทั้งสองมองลงไปในแนวตั้งทั้งคู่
 - ii) Dual-DigiCAM ประกอบด้วยกล้อง 39 MP สองกล้องติดตั้งข้าง ๆ กันในตำแหน่งขวางแนวนอน กล้องทั้งสองมองลงไปในเอียงจากแนวตั้งเล็กน้อย แนวเอียงเอียงออกไปทิศทางตรงข้ามกัน

- 2) กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล Leica ADS 40 เป็นชนิด three line-scan ทำการบันทึกภาพแบบกวาดชนิด push-broom กล้อง ADS40 พร้อมหัวเซนเซอร์ SH40 มีคุณสมบัติดังนี้



Each scene corresponds to an image in frame photography



- กล้องมี focal plane ที่รับภาพเอียง pointing angle เป็น 14.2° , 0° และ 28.4°
 - CCD ขนาดจุดภาพ 6.5 ไมครอน บันทึกภาพ panchromatic มีจุดภาพเป็น “staggered line-CCD” $2 \times 12,000$ (มี CCD สองแถวแต่บันทึกภาพออกมาแล้วให้ค่า “เฉลี่ย” กันเป็นภาพแถวเดียว)
 - กล้องประกอบเข้ากับชุดเลนส์ความยาวโฟกัสเป็น 62.5 มิลลิเมตร
- จากข้อมูลข้างต้น หากต้องการบินบันทึกภาพเพื่อการรังวัดทำแผนที่ของเกาะภูเก็ตทั้งเกาะ สมมติให้เกาะภูเก็ตที่มีพื้นที่ 25×50 ตารางกิโลเมตร การบินบันทึกภาพให้มี ground sampling distance GSD เป็น 0.25 เมตร ในกรณีนี้ การบินให้บินตามแนวยาวพื้นที่ โดยบันทึกภาพด้วยความเร็ว 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การเลี้ยวกลับลำใช้เวลา 5 นาที ให้ส่วนซ้อนระหว่างแนวนอนเป็น $q'=30\%$ จงตอบคำถามต่อไปนี้

- 1.1 การบินบันทึกภาพจะต้องบินสูงจากพื้นดินเท่าใด
- 1.2 การบินกวาดภาพแต่ละแนวนอนคิดเป็นแถบกว้างการกวาดภาพเป็นเท่าใด (Swath Width)
- 1.3 ระยะห่างระหว่างแนวนอนแต่ละแนว q'
- 1.4 จำนวนแนวนอนที่ต้องบินบันทึกข้อมูล

1.5 เวลาที่ต้องใช้ในการบิน

- 3) กล้อง Large-format ยี่ห้อ Zeiss Jena รุ่น JAS 150s ชนิด push-broom มีฉากรับภาพเป็น line-scan CCD ขนาดจุดภาพละเอียด 9 ไมครอนและกวาดภาพ 12,000 จุดต่อเส้น หากประกอบเข้ากับชุดเลนส์ความยาวโฟกัส $f = 150$ มิลลิเมตร แล้ว กรณีการทำแผนที่ในเมืองเพื่องานวิศวกรรมที่ต้องการจุดภาพละเอียดสูงถึง 25 เซนติเมตร (GSD) จงคำนวณหา

2.1 ขนาดพื้นที่กวาดภาพที่ได้ในแต่ละแนวกบิน (swath width)

2.2 ความสูงบินเหนือภูมิประเทศที่ต้องการทำแผนที่โดยเฉลี่ย

- 4) กล้อง medium-format ยี่ห้อ Applanix รุ่น DSS 322 ประกอบด้วยฉากรับภาพ CCD ขนาด $5,436 \times 4,096$ จุดภาพ แต่ละจุดภาพมีขนาด 9 ไมครอน กล้องประกอบเข้ากับชุดเลนส์ ความยาวโฟกัส $f = 60$ มิลลิเมตร หากต้องการทำแผนที่โดยใช้ภาพออร์โทที่มีความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน 0.5 เมตร ในกรณีนี้

3.1 แต่ละแนวกบินจะมีความกว้างของการกวาดภาพ (swath width) เป็นเท่าใด

3.2 ต้องจะต้องการบินสูงเท่าใดเหนือภูมิประเทศที่ต้องการทำแผนที่โดยเฉลี่ย