

การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดสำหรับกระบวนการตรวจสอบ  
คุณภาพทางราบของภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตแบบออร์โธ

DEVELOPMENT OF POINT MATCHING ALGORITHM FOR  
PLANIMETRIC ACCURACY ASSESSMENT OF ORTHORECTIFIED  
THAICHOTE IMAGERY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DEVELOPMENT OF POINT MATCHING ALGORITHM FOR  
PLANIMETRIC ACCURACY ASSESSMENT OF ORTHORECTIFIED  
THAICHOTE IMAGERY



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

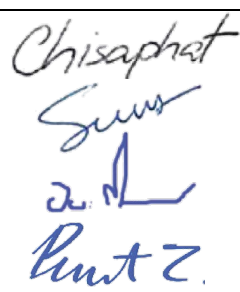
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพทางราบ  
ของภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตแบบออร์โธ  
DEVELOPMENT OF POINT MATCHING ALGORITHM FOR PLANIMETRIC  
ACCURACY ASSESSMENT OF ORTHORECTIFIED THAICHOTE IMAGERY

นักศึกษา นางสาวชวิตา สอนสกุล รหัสนักศึกษา 60010215

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชิสัพพัชร์ สุปัญญาโชติสกุล

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.ชิสัพพัชร์ สุปัญญาโชติสกุล	
ดร.นพดล สุกแสงปัญญา	
อ.อุบะ ศิริแก้ว	
ดร. พิณช วนชัยโชคศิริกุล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศิริธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31/05/64

# การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดสำหรับกระบวนการตรวจสอบ

## คุณภาพทางราบของภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตแบบออร์โธ

นางสาวชวีศา สอนสกุล รหัสนักศึกษ 60010215

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชิสัพพัชร์ สุปัญญาโชติสกุล

ปีการศึกษา 2563

### บทคัดย่อ

กระบวนการตรวจสอบคุณภาพทางราบบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพ โดยการนำค่าพิกัดระหว่างคู่จุดบนภาพที่ต้องการตรวจสอบและบนภาพอ้างอิงมาเปรียบเทียบในเชิงสถิติ เพื่อวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพ ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพได้ โดยวิธีการที่ใช้ในการจับคู่จุดมักจะใช้เจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ดำเนินงาน ซึ่งต้องใช้ประสบการณ์และระยะเวลาการดำเนินงานสูง เพราะฉะนั้น การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดให้มีความใกล้เคียงกับการทำงานของมนุษย์จึงเป็นทางเลือกที่ช่วยให้กระบวนการจับคู่จุดสามารถเพิ่มความเร็วขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด ทั้งนี้เพื่อลดการทำงานของมนุษย์และลดระยะเวลาดำเนินงาน พร้อมทั้งศึกษาพฤติกรรมของตัวแปรสำคัญต่าง ๆ ที่ส่งผลต่ออัลกอริทึมการจับคู่จุด โดยการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดในการศึกษานี้ ภาพที่ต้องการตรวจสอบที่เป็นข้อมูลนำเข้าของอัลกอริทึมการจับคู่จุด คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตแบบออร์โธ โดยแนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด ได้พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดแบบ Area-based Matching ในศาสตร์ของ Computer Vision รวมทั้งได้มีการศึกษาวิธีการและตัวแปรภายในอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการทำงานของการทำงานของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึม แล้วนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์คัดเลือกวิธีการและชุดตัวแปรที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมาใช้งานภายในอัลกอริทึมการจับคู่จุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีการ Area-based Matching พร้อมกับชุดตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตแบบออร์โธสามารถให้ความถูกต้องในการจับคู่จุดอยู่ที่ 50%

**คำสำคัญ:** กระบวนการจับคู่จุด, การตรวจสอบคุณภาพทางราบ, ภาพออร์โธ, ภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# Development of point matching algorithm for planimetric accuracy assessment of orthorectified Thaichote imagery

Ms. Chavisa Sornsakul Student ID. 60010215

Advisor: Dr. Chisaphat Supunyachotsakul

Academic Year 2020

## ABSTRACT

Planimetric accuracy assessment is a process for checking the positional accuracy of a geo-referenced image by statistically comparing geospatial coordinates of conjugate points in the target image and a reference image which can indicate the quality of the geo-referenced image. In general, point matching is a time-consuming process performed by an experienced personnel. Therefore, the development of an automatic point matching algorithm that could closely resembles human operations would be an alternative that helps speed up the point matching process and reduce human-dependency. Consequently, the objective of this study is to develop a point matching algorithm to reduce manual works as well as the time of operation. In addition, studying hyperparameters that affect point matching algorithm performance is another purpose. In this study, the geo-referenced image on which the planimetric accuracy assessment will be performed, so-called target image, is an orthoimagery from Thaichote satellite and the reference imagery is an aerial orthoimagery. Area-based matching techniques are studied and are analyzed for the point matching algorithm development. In addition, parameters in the area-based matching techniques that could affect the matching results are studied to determine the most appropriate set of parameters for Thaichot satellite orthoimagery. The result of the research was that the Area-based matching algorithm along with a suitable hyperparameter set for orthorectified satellite imagery from Thaichote satellite can provide a point matching accuracy at 50%

**KEYWORDS:** Point Matching Method, Planimetric accuracy assessment, Orthoimages,

Thaichote satellite imagery และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชิสัพพัชร์ สุปัญญาโชติสกุล และ ดร.นพดล สุขแสงปัญญา อาจารย์ประจำสาขาวิชา ภูมิสารสนเทศ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขข้อบกพร่อง คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ จนสำเร็จได้ด้วยดี ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธาจนตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ได้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ชวิศา สอนสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน.....	2
1.4 สมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial data).....	5
2.1.2 ระบบพิกัด.....	9
2.1.3 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชด (THEOS).....	11
2.1.4 ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ.....	20
2.1.5 ผลิตภัณฑ์ภาพแบบออร์โธ (Orthorectified Imagery).....	21
2.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ.....	24
2.1.7 การประมวลผลการจับคู่ภาพ (Image matching).....	26
2.1.8 การพัฒนาเกี่ยวกับอัลกอริทึมการจับคู่ภาพในปัจจุบัน.....	28
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการหาคู่จุด.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีเหตุแห่งเหตุและเหตุอันจำเป็นอันถึงเจ้าของเอกสารทุกทั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 กระบวนการและขั้นตอนการดำเนินงาน (METHODOLOGY) .....	44
3.2.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมการจับคู่.....	44
3.2.2 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่.....	44
3.2.3 ศึกษาและออกแบบโครงสร้างการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด .....	44
3.2.4 พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด .....	45
3.2.5 ตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการจับคู่จุด.....	45
3.2.6 ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึม.....	46
3.2.7 เลือกค่าตัวแปรที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด .....	46
3.2.8 ทดสอบอัลกอริทึมการจับคู่จุด .....	46
3.2.9 เขียนรายงาน .....	46
3.3 การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการหาคู่จุด.....	47
3.3.1 สถาปัตยกรรมของอัลกอริทึม (Algorithm architecture).....	47
3.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาคู่จุด (Algorithm validation).....	57
บทที่ 4 ผลลัพธ์การใช้งานอัลกอริทึมการหาคู่จุดและการวิเคราะห์ตัวแปร.....	58
4.1 ผลลัพธ์จากการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาคู่จุด.....	58
4.2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ตัวแปร.....	60
4.2.1 ผลลัพธ์จากตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด (Characteristic of points).....	60
4.2.2 ผลลัพธ์จากตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย (Similarity Formulars) .....	61
4.2.3 ผลลัพธ์จากตัวแปรขนาดของ Subsetting Image.....	62
4.2.4 ผลลัพธ์จากตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel .....	64
4.3 ผลลัพธ์การใช้งานอัลกอริทึมการหาคู่จุด.....	65
4.4 อภิปรายผลการวิจัย .....	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	71
เอกสารอ้างอิง .....	74
ภาคผนวก .....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงตารางแผนการทำงาน.....	4
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะดาวเทียมไทยโชต.....	12
ตารางที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์บันทึกข้อมูลของดาวเทียมไทยโชต.....	14
ตารางที่ 2.3 แสดงการถ่ายภาพจากดาวเทียมไทยโชต.....	15
ตารางที่ 2.4 แสดงผลิตภัณฑ์ข้อมูลดาวเทียมไทยโชต.....	17
ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์ข้อมูลดาวเทียมไทยโชต.....	18
ตารางที่ 2.6 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากค่าความเทา.....	33
ตารางที่ 2.7 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะต่าง ๆ.....	34
ตารางที่ 2.8 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์แบบค่าความถี่ของขอบเขต.....	35
ตารางที่ 2.9 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจาก NEURAL NETWORK.....	36
ตารางที่ 2.10 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากการจดจำแบบอาศัยความหมาย.....	38
ตารางที่ 3.1 LIBRARIES ที่ใช้ในงานวิจัย.....	43
ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาคู่จุด.....	59
ตารางที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด (CHARACTERISTIC OF POINTS).....	60
ตารางที่ 4.3 ค่า $RMSE_r$ และค่า $ACCURACY_H$ จากตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย.....	66
ตารางที่ 4.4 ค่า $RMSE_r$ และค่า $ACCURACY_H$ จากตัวแปรขนาดของ SUBSETTING IMAGE.....	67
ตารางที่ 4.5 ค่า $RMSE_r$ และค่า $ACCURACY_H$ จากตัวแปรของหน้าต่าง KERNEL.....	67
ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง $\Delta R$ เท่ากับ 2 PIXELS และ 3 PIXELS.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบของข้อมูลประเภทจุด (POINT) ซึ่งแสดงโดยเครื่องหมายบวก (+).....	5
รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบของข้อมูลประเภทเส้น (LINE) ทั้งสีแดงและสีเหลืองบนภาพตัวอย่าง .....	6
รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบของข้อมูลประเภทพื้นที่ (POLYGON).....	6
รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล VECTOR และข้อมูล RASTER จาก [9].....	8
รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้อมูลดาวเทียมไทยโชด.....	17
รูปที่ 2.6 แสดงภาพรวมกระบวนการปรับแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ [10] .....	22
รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการปรับแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ .....	22
รูปที่ 2.8 แสดงเกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ ( $RMSE_r$ , $ACCURACY_H$ ) ของมาตรฐาน ASPRS นำมาจาก [5] .....	25
รูปที่ 2.9 แสดงความหมายของตัวแปรที่ใช้คำนวณ DEGREE OF MATCHING ในภาพที่มีจำนวน PIXELS เท่ากับ.....	27
รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการทำงานการจับคู่ภาพ.....	29
รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากค่าความเทา .....	32
รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะต่าง ๆ .....	34
รูปที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์แบบค่าความถี่ของขอบเขต.....	35
รูปที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจาก NEURAL NETWORK.....	36
รูปที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ โดยมีพื้นฐานมาจากการจดจำแบบอาศัยความหมาย .....	38
รูปที่ 3.1 แสดงสถาปัตยกรรมหลักของอัลกอริทึม.....	47
รูปที่ 3.2 แสดงสถาปัตยกรรมของการเตรียมภาพ.....	48
รูปที่ 3.3 ภาพบนแสดงตำแหน่งจุดบนระบบพิกัดแบบ UTM ภาพล่างแสดง ตำแหน่งพิกัดบนระบบ PIXEL.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.4 แสดงผลลัพธ์ในการตัดภาพขนาดเล็ก (SUBSETTING IMAGE) .....	50
รูปที่ 3.5 แสดงแผนการทำงานของ การตัดแยกลักษณะเฉพาะและการจับคู่จุด .....	51
รูปที่ 3.6 ด้านซ้ายแสดงตัวอย่างภาพย่อยในภาพอ้างอิง (TEMPLATE) ด้านขวา แสดงตัวอย่างภาพย่อยในภาพเป้าหมาย (KERNEL) .....	51
รูปที่ 3.7 แสดงการเคลื่อนของหน้าต่าง KERNEL (KERNEL RUNNING).....	52
รูปที่ 3.8 ภาพขวา แสดงการระบุตำแหน่งที่มีค่าค่าดัชนีความคล้ายสูงสุดจาก สมการ CROSS CORRELATION โดยใช้กากบาทสีเหลือง .....	53
รูปที่ 3.9 แสดงแผนการทำงานของ การตรวจสอบโดยคน .....	54
รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างคู่จุดจากคน และ คู่จุดจากอัลกอริทึม .....	55
รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการตัดแยกผลการจับคู่จุดของอัลกอริทึมโดย การระบุขอบเขตของ $\Delta R$ .....	56
รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาคู่จุด (ALGORITHM VALIDATION) .....	57
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึมที่ สมการหาค่าความคล้าย ต่างกัน 7 สมการ .....	62
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึมที่ ขนาด SUBSETTING IMAGE ต่างกัน 4 ขนาด .....	63
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึมที่ ขนาด KERNEL ต่างกัน 4 ขนาด .....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

กระบวนการตรวจสอบคุณภาพทางราบบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพ โดยการนำค่าพิกัดระหว่างคู่จุดบนภาพที่ต้องการตรวจสอบและบนภาพอ้างอิงมาเปรียบเทียบในเชิงสถิติ เพื่อวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพ ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพหนึ่ง ๆ ได้ โดยกระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญต่อกระบวนการปรับแก้ภาพแบบออร์โธ เพราะ เป็นขั้นตอนที่จะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบภาพออร์โธใหม่ที่จะถูกทำการปรับแก้ข้อมูลภาพ

กระบวนการจับคู่จุด (Points Matching Process) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่อยู่ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพทางราบบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยเป็นขั้นตอนในการจับคู่จุดเดียวกันบนภาพอ้างอิงและภาพที่ต้องการตรวจสอบ แต่เดิมการกระทำดังกล่าวจะใช้มนุษย์ในการจับคู่จุด เพราะ ตามมนุษย์มีความสามารถในการคิดแยกสิ่งต่างๆ ได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในการจับคู่จุดนั้นจะต้องทำหลายครั้ง เพราะจะต้องตรวจสอบภาพออร์โธใหม่ทุกครั้งที่มีการปรับแก้ข้อมูลภาพ ประกอบกับความต้องการในการใช้ภาพออร์โธในปัจจุบันสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้มีการผลิตภาพออร์โธในปริมาณมหาศาล ซึ่งหมายความว่ากระบวนการจับคู่จุดนี้จะถูกทำซ้ำอีกนับครั้งไม่ถ้วน ดังนั้นการใช้มนุษย์ทำกระบวนการดังกล่าวจึงเกิดความล่าช้า นอกจากนี้ความผิดพลาดของมนุษย์ (Human Error) ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการจับคู่จุดลดลง

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีความตั้งใจที่จะพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด เพื่อลดการทำงานของมนุษย์ในกระบวนการดังกล่าว อีกทั้งยังเพิ่มความเร็วในกระบวนการจับคู่จุดให้มากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการภาพออร์โธที่เพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดในการประเมินความถูกต้องของภาพในกระบวนการการทำภาพออร์โธ (Orthorectification)
2. เพื่อศึกษาผลการทำงานของตัวแปรในอัลกอริทึมการจับคู่จุด

## 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

- การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดโดยใช้ภาพอ้างอิง คือ ภาพถ่ายทางอากาศจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เท่านั้น
- การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดโดยใช้ภาพเป้าหมาย คือ ภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมไทยโชตเท่านั้น
- การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดโดยใช้ข้อมูลจุดระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบยูทีเอ็ม (UTM Coordination) เท่านั้น
- ข้อมูลภาพที่ใช้งานในอัลกอริทึมเป็นข้อมูลภาพประเภท GeoTIFF เท่านั้น และข้อมูลจุดที่ใช้งานในอัลกอริทึมเป็นข้อมูลประเภท Shapefile เท่านั้น
- การพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด เป็นการพัฒนาที่อยู่บนพื้นฐานของอัลกอริทึมการจับคู่ภาพแบบ Area-based Matching เท่านั้น
- ผลลัพธ์จากอัลกอริทึมการจับคู่จุดเป็นข้อมูลประเภท Text (.txt) โดยอัลกอริทึมการจับคู่จุดจะรายงานข้อมูลจุดบนภาพเป้าหมายในระบบพิกัดยูทีเอ็ม, รายงานผลการจับคู่จุดและผิดของคู่จุดหนึ่งๆ และรายงานผลค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร) เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.4 สมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัย

- ในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดหนึ่งๆ การกำหนดขอบเขตของการหาจุดนั้นจากภาพอ้างอิงบนภาพเป้าหมาย (Subsetting Image) จะทำให้การจับคู่จุดของอัลกอริทึมถูกต้องและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น
- ในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่ การเลือกประเภทของจุดที่ใช้ในตรวจสอบอัลกอริทึมนั้นประเภทจุดที่มีลักษณะเฉพาะชัดเจนจะทำให้อัลกอริทึมหาจุดแบบภาพเป้าหมายได้ถูกต้องมากกว่าจุดที่มีลักษณะเฉพาะไม่ชัดเจน
- ในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดแบบ Area-based Matching การเปลี่ยนแปลงสมการที่ใช้ในการหาค่าความคล้ายหนึ่งๆ จะส่งผลประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมการจับคู่จุด
- ในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดแบบ Area-based Matching การเปลี่ยนแปลงของขนาด Subsetting Image จะส่งผลประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมการจับคู่จุด
- ในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดแบบ Area-based Matching การเปลี่ยนแปลงของขนาดหน้าต่าง Kernel จะส่งผลประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมการจับคู่จุด

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ในการทำงานวิจัยได้วางแผนการปฏิบัติงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานซึ่งแสดงหัวข้อการดำเนินงานของงานวิจัยและระยะเวลาในการดำเนินงานของงานแต่ละส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.1 แสดงตารางแผนการทำงาน

ลำดับที่	รายละเอียด	ภาคการเรียนที่ 1						ภาคการเรียนที่ 2				
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมการจับคู่จุด	/	/									
2	ศึกษาโปรแกรมที่ใช้พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด	/	/									
3	ออกแบบโครงสร้างการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด		/									
4	พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด			/	/	/	/	/	/	/		
5	ตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการจับคู่จุด			/	/	/	/	/	/	/		
6	ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมการจับคู่จุด			/	/	/	/	/	/	/		
7	เลือกค่าตัวแปรที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาอัลกอริทึม								/	/	/	
8	ทดสอบอัลกอริทึมการจับคู่จุด									/	/	/
9	เขียนรายงาน										/	/

## บทที่ 2 ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial data)

ข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูลต่าง ๆ บนพื้นโลก ซึ่งข้อมูลประเภทนี้สามารถแสดงสัญลักษณ์ได้ 3 รูปแบบ คือ จุด (Point) จะใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของตำแหน่งที่ตั้ง ได้แก่ ที่ตั้งโรงเรียนในสังกัด กทม., ที่ตั้งศูนย์บริการสาธารณสุข, ที่ตั้งสำนักงานเขต เป็นต้น, เส้น (Line) จะใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของเส้น เช่น ถนน, แม่น้ำ, ทางด่วน เป็นต้น และพื้นที่ (Area or Polygon) จะใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของพื้นที่ เช่น พื้นที่ขอบเขตการปกครอง, พื้นที่อาคาร เป็นต้น

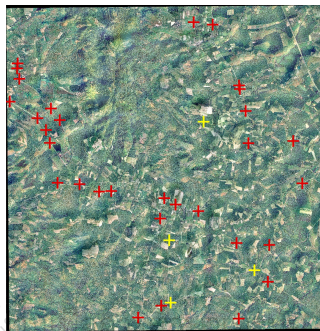
ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ Vector และ Raster

##### 2.1.1.1 ข้อมูลแสดงทิศทาง (Vector Data)

ข้อมูลแสดงทิศทาง คือ ข้อมูลที่แสดงด้วย จุด เส้น หรือพื้นที่ ที่ประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X , Y) และ/หรือ แนวตั้ง (Z) หรือ Cartesian Coordinate System

- รูปแบบของจุด (Point Features)

รูปแบบของจุดเป็นตำแหน่งพิกัดที่ไม่มีขนาดและทิศทาง จะใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของตำแหน่งใด ๆ เช่น ที่ตั้งของโรงพยาบาลในสังกัด กทม. เป็นต้น



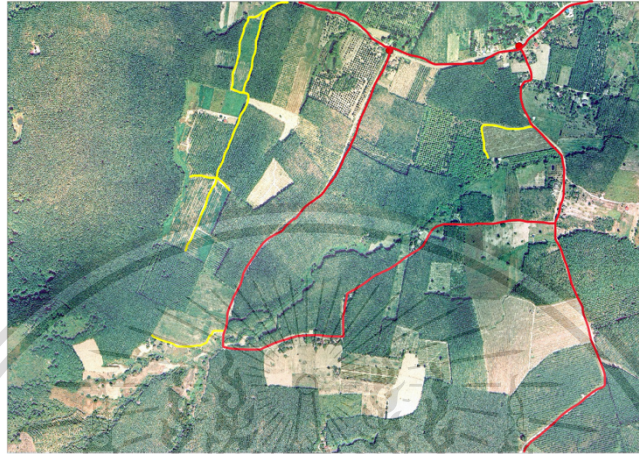
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบของข้อมูลประเภทจุด (Point) ซึ่งแสดงโดยเครื่องหมายบวก (+)  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- รูปแบบของเส้น (Linear Features)

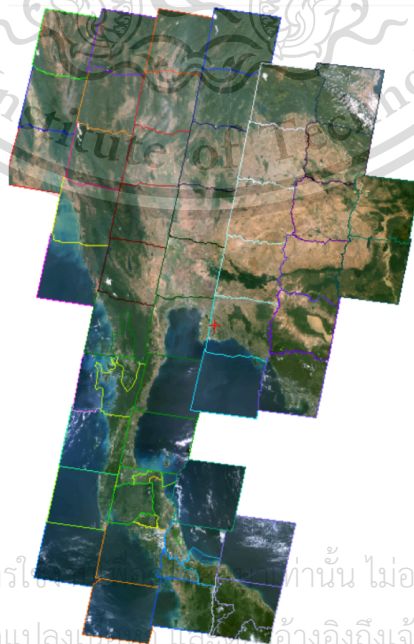
รูปแบบของเส้นมีระยะและทิศทางระหว่างจุดเริ่มต้น ไปยังจุดแนวทาง (Vector) และจุดสิ้นสุด ประกอบไปด้วยลักษณะของเส้นตรง เส้นหักมุม และเส้นโค้ง เช่น ถนน ทางด่วน คลอง เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบของข้อมูลประเภทเส้น (Line) ทั้งสีแดงและสีเหลืองบนภาพถ่ายตัวอย่าง

- รูปแบบของพื้นที่ (Polygon Features)

รูปแบบของพื้นที่มีระยะและทิศทางระหว่างจุดเริ่มต้น จุดแนวทาง (Vector) และจุดสิ้นสุด ที่ประกอบกันเป็นรูปหลายเหลี่ยมมีขนาดพื้นที่ (Area) และเส้นรอบรูป (Perimeter)



รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบของข้อมูลประเภทพื้นที่ (Polygon)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่อย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- จุดเด่นของข้อมูลแสดงทิศทาง (Vector Data)
  - 1) แสดงโครงสร้างข้อมูลเชิงปรากฏการณ์ได้ดี ยังเหมาะสำหรับใช้แทนลักษณะของพื้นที่ซึ่งมีขอบเขตคดโค้งทำให้สามารถแบ่งขอบเขตของพื้นที่ได้อย่างชัดเจน
  - 2) โครงสร้างข้อมูลน้อย ไฟล์ข้อมูลมีขนาดเล็กจึงใช้พื้นที่สำหรับการจัดเก็บน้อย
  - 3) ความเชื่อมโยงทางเทคโนโลยีเป็นการเชื่อมโยงแบบเครือข่าย
  - 4) มีความถูกต้องในเชิงกราฟิก ซึ่งสามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลได้อย่างมีความแม่นยำเชิงตำแหน่ง
- จุดด้อยของข้อมูลแสดงทิศทาง (Vector Data)
  - 1) โครงสร้างข้อมูลซับซ้อน
  - 2) การรวมแผนที่แบบเวกเตอร์หลาย ๆ แผนที่หรือรวมแผนที่ Vector กับ Raster ด้วยวิธีวางซ้อนมีความยุ่งยากมาก
  - 3) การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ยาก เพราะแต่ละหน่วยของแผนที่ที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน
  - 4) การแสดงและการเขียนเป็นแผนที่เสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะเมื่อต้องการแสดงสีและสัญลักษณ์ที่มีคุณภาพสูง
  - 5) เทคโนโลยีชนิดนี้มีราคาแพง โดยเฉพาะถ้าต้องใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีความซับซ้อน
  - 6) การวิเคราะห์พื้นที่และการกรอกรายละเอียดภายในรูปหลายเหลี่ยมเป็นไปได้ยาก

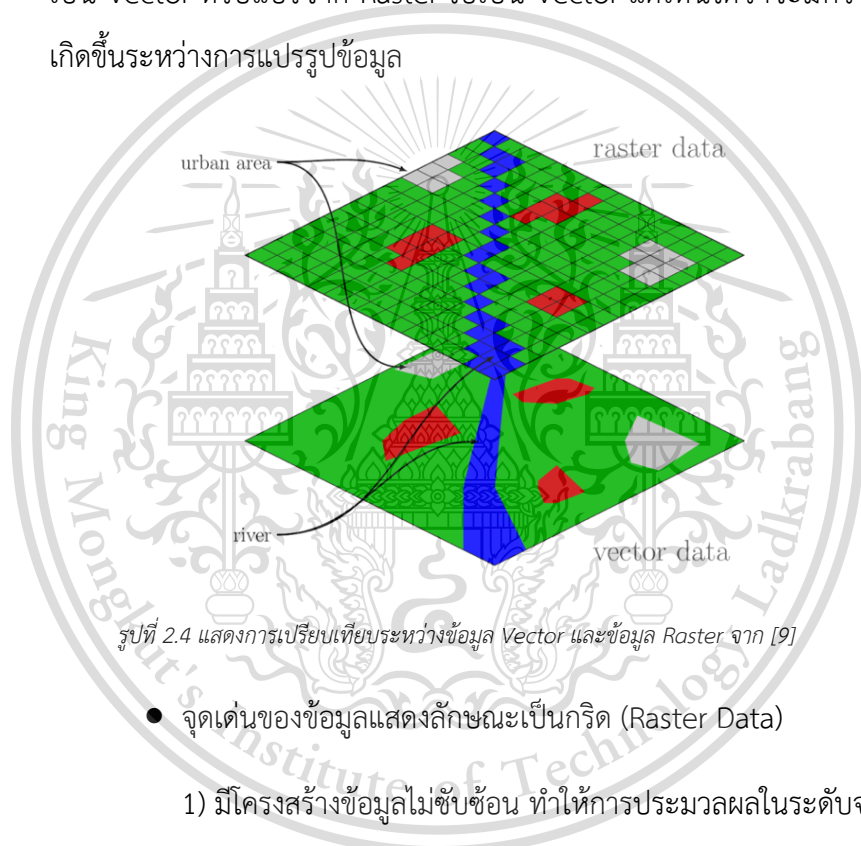
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.1.2 ข้อมูลแสดงลักษณะเป็นกริด (Raster Data)

ข้อมูลแสดงลักษณะเป็นกริด คือ ข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นช่องเหลี่ยม เรียกว่า จุดภาพ หรือ Grid cell เรียงต่อเนื่องกันในแนวราบและแนวตั้ง ในแต่ละจุดภาพสามารถเก็บค่าได้ 1 ค่า ความสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ ณ จุดพิกัดที่ประกอบขึ้นเป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งชุดนั้น ค่าที่เก็บในแต่ละจุดภาพสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ หรือรหัสที่ใช้อ้างอิงถึงข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลก็ได้ Raster Data อาจแปรรูปมาจากข้อมูล Vector หรือแปรจาก Raster ไปเป็น Vector หรือแปรจาก Raster ไปเป็น Vector แต่เห็นได้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปข้อมูล



รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล Vector และข้อมูล Raster จาก [9]

- จุดเด่นของข้อมูลแสดงลักษณะเป็นกริด (Raster Data)
  - 1) มีโครงสร้างข้อมูลไม่ซับซ้อน ทำให้การประมวลผลในระดับจุดภาพสะดวก
  - 2) การวางซ้อนและการรวมข้อมูลแผนที่กับข้อมูลที่ได้รับจากระยะไกลทำได้ง่าย
  - 3) การวิเคราะห์ทางพื้นที่ในแบบต่าง ๆ ทำได้ง่าย
  - 4) การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ง่าย เพราะหน่วยพื้นที่แต่ละ

หน่วยมีรูปร่างและขนาดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ 5) เทคโนโลยีมีราคาถูกลงและกำลังมีการพัฒนาอย่างจริงจัง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- จุดด้อยของข้อมูลแสดงลักษณะเป็นกริด (Raster Data)

- 1) ข้อมูลกราฟิกมีขนาดใหญ่ ไฟล์มีขนาดใหญ่จึงใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมากและการใช้ช่องกริดใหญ่เพื่อลดปริมาณข้อมูลทำให้สูญเสียโครงสร้างข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์และเป็นการสูญเสียข้อสนเทศอย่างมาก
- 2) ไม่เหมาะสมในการแทนข้อมูลที่เป็นเส้นโค้ง หรือแทนตำแหน่งของจุด เพราะต้องใช้ 1 จุดภาพสำหรับตำแหน่ง 1 ตำแหน่ง
- 3) แผนที่ Raster ที่หายาจะไม่สวยเท่าแผนที่ซึ่งเขียนด้วยเส้น
- 4) การสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงทำได้ยาก
- 5) การแปลงเส้นโครงแผนที่ต้องใช้เวลามาก และต้องใช้ขั้นตอน วิธีการหรือ

ฮาร์ดแวร์พิเศษ

## 2.1.2 ระบบพิกัด

เนื่องจากโลกเป็นทรงกลมเมื่อมีการกำหนดตำแหน่งต่างๆ บนโลก จึงต้องถ่ายทอดตำแหน่งจากพื้นที่จริงลงมาสู่แผนที่ด้วยระบบพิกัด โดยระบบพิกัดแผนที่ คือ การอ้างอิงตำแหน่งของโลกที่ถ่ายทอดลงมาสู่แผนที่ซึ่งมีลักษณะแบนราบ โดยกำหนดให้มีจุดกำเนิดของพิกัดอยู่บนผิวโลก และมีลักษณะเป็นระบบพิกัดฉาก อันเกิดจากการตัดกันของแกนสมมติ ตั้งแต่ 2 แกนขึ้นไป ระบบพิกัดแผนที่ที่อยู่ด้วยกันสองชนิด คือ ระบบพิกัด 2 มิติ และระบบพิกัด 3 มิติ ซึ่งพิกัดเหล่านี้ได้อ้างอิงกับตำแหน่งบนโลกด้วยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์

### 2.1.2.1 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM coordinate systems)

ระบบพิกัดยูทีเอ็ม เป็นระบบที่ปรับมาจากระบบเส้นโครงแผนที่แบบทรานส์เวิร์สเมอร์เคเตอร์ เพื่อเป็นการรักษารูปร่างโดยใช้ทรงกระบอกตัดลูกโลกระหว่างละติจูด 84 องศาเหนือ ถึง 80 องศาใต้ โดยมีรัศมีทรงกระบอกสั้นกว่ารัศมีของลูกโลก ผิวทรงกระบอกจะผ่านเข้าไปตามแนวเมริเดียนของโซน 2 แนว คือ ตัดเข้ากับตัดออกเรียกลักษณะนี้ว่าเส้นตัด (Secant) ทำให้ความถูกต้องมีมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณสองข้างเมริเดียนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีเมล: [info@kmutt.ac.th](mailto:info@kmutt.ac.th) และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสาร

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พื้นที่ของโลกระหว่างละติจูด 80 องศาใต้ ถึงละติจูด 84 องศาเหนือ ถูกแบ่งออกเป็นเขต (Zone) เขตละ 6 องศา รวมเป็น 60 เขต (Zone) ตามแนวลองจิจูดโดยมีหมายเลขกำกับโซนตั้งแต่ 1 ถึง 60 ตามลำดับ โดยโซนที่ 1 อยู่ระหว่างลองจิจูด 180 องศาตะวันตก ถึง 174 องศาตะวันตก โซนที่ 2 ก็อยู่ถัดไปทางด้านตะวันออกตามลำดับจนถึงโซนที่ 60 ซึ่งอยู่ระหว่างลองจิจูด 174 องศาตะวันออก ถึง 180 องศาตะวันออก และประชิดกับโซนที่ 1 ในแต่ละโซนจะมีเมริเดียนกลาง (Central meridian) เป็นของตนเอง ตัวอย่าง เช่น โซนที่ 1 ลองจิจูด 180 ถึง 174 องศาตะวันตก มีลองจิจูด 177 องศาตะวันตก เป็นเมริเดียนกลาง ซึ่งจะมีแบบนี้จนครบทุกโซน

พื้นที่ในแต่ละโซนถูกแบ่งย่อยให้เป็นขอบเขตสี่เหลี่ยม โดยแนวเส้นขนานละติจูดช่วงละ 8 องศา เริ่มจากเส้นขนานละติจูด 80 องศาใต้ แบ่งทีละ 8 องศา ผ่านเส้นระนาบศูนย์สูตรไปจนถึงเส้นขนานละติจูด 72 องศาเหนือ และจากเส้นขนานละติจูด 72-84 องศาเหนือ แบ่งออกเป็นช่วงละ 12 องศา รวมทั้งหมดแบ่งได้ 20 ช่องพื้นที่สี่เหลี่ยมเหล่านี้เรียกว่า เขตกริด (Grid zone) ซึ่งมีทั้งหมด 1,200 โซน การแบ่งวิธีนี้ทำให้เกิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเขตกริดขนาด 6 องศา x 8 องศา ยกเว้นช่วงระหว่างเส้นขนานละติจูด 72-84 องศาเหนือ มีขนาดเขตกริดเท่ากับ 6 องศา x 12 องศา เมื่อแบ่งเสร็จแล้วได้กำหนดอักษรโรมันกำกับไว้ตั้งแต่ C ถึง X (ยกเว้น I กับ O) โดยเริ่มกำหนดอักษร C ตั้งแต่โซนของละติจูด 80 องศาใต้

การแบ่งตารางเขตกริดเหล่านี้ จะมีเลขอักษรประจำโซนของกริด (UTM Grid zone destination) โดยการอ่านหมายเลขไปทางขวาแล้วอ่านขึ้น เช่น “47 Q” หมายถึงเลขกำกับโซนในแนวตั้งที่ 47 และอักษรกำกับโซนในแนวนอนที่ Q สำหรับอักษร A, B และ Y, Z ใช้สำหรับกำกับในยูนิเวอร์ซัลโพลาร์สเตอริโอกราฟิก (Universal Polar Stereographic : UPS) บริเวณขั้วโลกทั้งสองข้าง

ตามระบบพิกัดยูทีเอ็มใช้หน่วยระยะทางเป็นเมตร โดยในแต่ละโซนเส้นเมริเดียนกลางตัดกับเส้นระนาบศูนย์สูตรเป็นมุมฉาก ณ จุดตัดนี้เรียกว่า จุดกำเนิดโซน ของระบบพิกัดยูทีเอ็ม ทิศทางที่ขนานกับแนวเมริเดียนกลาง และชี้ขึ้นไปทางเหนือ เรียกว่า ทิศเหนือ กริดมีการกำหนดค่าพิกัดตะวันออกให้เส้นเมริเดียนกลางเป็น 500,000 เมตร (Easting 500,000 m.) ห่างจากจุดกำเนิดสมมติ (False origin) และกำหนดให้พิกัดเหนือสำหรับเส้นระนาบศูนย์สูตรไว้เป็น 2 กรณีสําหรับซีกโลกเหนือให้มีค่าเป็น 0 เมตร (Northing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ โดยผู้เผยแพร่เห็นเป็นชอบที่จะเอื้ออำนวยในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติที่แถลงนโยบาย และต้องขังขังเงาเงาของเอกสารที่พิมพ์ขึ้นมาเป็นใช้  
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

0 m.) ห่างจากเส้นระนาบศูนย์สูตร ส่วนบริเวณใต้เส้นระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็น 10,000,000 เมตร (Northing 10,000,000 m.) ห่างจากจุดกำเนิดสมมติ ดังนั้นจุดศูนย์กำเนิดโซนของระบบพิกัดยูทีเอ็ม จึงมีค่าพิกัดเป็น E 500,000 m ; N 0 m สำหรับการปฏิบัติงานในซีกโลกเหนือและ E 500,000 m.; N 10,000,000 m. สำหรับซีกโลกใต้ นอกจากนี้ขอบเขตการใช้ค่าพิกัดยูทีเอ็มสามารถเหลื่อมเข้าไปในโซนข้างเคียงได้เป็นพื้นที่กว้าง 40 กิโลเมตร เพื่อความสะดวกในการใช้งานบริเวณขอบโซน

### 2.1.3 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (THEOS)

#### 2.1.3.1 รายละเอียดดาวเทียม

ดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) หรือ ดาวเทียมธีออส (THEOS) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของไทย โดยดาวเทียมไทยโชต ถูกออกแบบให้เป็นดาวเทียมขนาดเล็ก มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 5 ปี ทำงานโดยอาศัยแหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์ สามารถบันทึกภาพได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพแบบออปติคัล (Optical Imagery) ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลภาพ ในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น (Visible band) จนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงคลื่นของดาวเทียมธีออสกับดาวเทียมอื่นๆ พบว่า 3 ช่วงคลื่นของดาวเทียมธีออส มีความคล้ายคลึงกับช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT ยกเว้นช่วงคลื่น สีน้ำเงิน ที่มีเพิ่มมากกว่าของดาวเทียม SPOT และมีความคล้ายคลึงกับช่วงคลื่นของดาวเทียม Landsat ระบบ TM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.3.2 คุณสมบัติดาวเทียม

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติดาวเทียมไทยโชต

น้ำหนัก	715 กิโลกรัม
ขนาด	2.1 เมตร x 2.1 เมตร (Sun Synchronous)
แผงรับแสงอาทิตย์	840 วัตต์
เชื้อเพลิงและความจุของถังเชื้อเพลิง (Hydrazine)	80 กก.
วงโคจรแบบ	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun Synchronous)
ความสูงของวงโคจร	822 กิโลเมตร จากพื้นโลก
ความเอียงของแนวการโคจร	98.7 องศา
จำนวนวงโคจรต่อวัน	14+5/26 วงโคจรต่อวัน
เวลาท้องถิ่นที่โคจรผ่าน	10:00 น
ระยะเวลาโคจรรอบโลก 1 รอบ	101.4 นาที
การโคจรกลับมาแนวเดิม	ทุก 26 วัน (369 วงโคจร)
ความเร็วเมื่อเทียบกับพื้นโลก	6.6 กม./วินาที
ความจุของอุปกรณ์เก็บข้อมูล	40 Gbit solid-state memory
การประมวลผลข้อมูลบนดาวเทียม	อัตราส่วนของการบีบอัดข้อมูล <ul style="list-style-type: none"> <li>● 2.80 or 3.75 for PAN</li> <li>● 2.95 or 3.75 for MS</li> </ul>
อัตราการส่งข้อมูลภาพ (Image Telemetry)	120 Mbit/s (X band)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ช่องว่างระหว่างแนวโคจร (ที่เส้นศูนย์สูตร)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 108 กิโลเมตร ระหว่างแนวการโคจร 2 แนวที่ไกลที่สุดที่ดาวเทียมผ่าน</li> <li>● 2800 กิโลเมตร ระหว่างแนวโคจร 2 วงที่ต่อเนื่องกัน</li> </ul>
ขอบเขตการบันทึกข้อมูล	ทั่วทั้งโลก
ขอบเขตการรับสัญญาณ	รัศมีมากกว่า 2000 กิโลเมตร จากสถานีรับภาคพื้นดิน (ที่มุมเงย 5 องศา)
เวลาในการโคจรมาถึงเป้าหมาย	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2 วัน เมื่อดาวเทียมเอียงถึง 50 องศา</li> <li>● 5 วัน เมื่อดาวเทียมเอียงถึง 30 องศา</li> </ul>
อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Panchromatic (ช่วงคลื่นเดียว): รายละเอียดภาพ 2 เมตร ความกว้างแนวภาพ 22 กิโลเมตร</li> <li>● Multispectral (หลายช่วงคลื่น): รายละเอียดภาพ 15 เมตร ความกว้างแนวภาพ 90 กิโลเมตร</li> </ul>
อายุการใช้งาน	อย่างน้อย 5 ปี

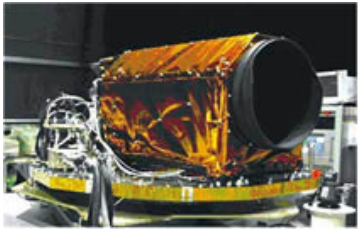

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

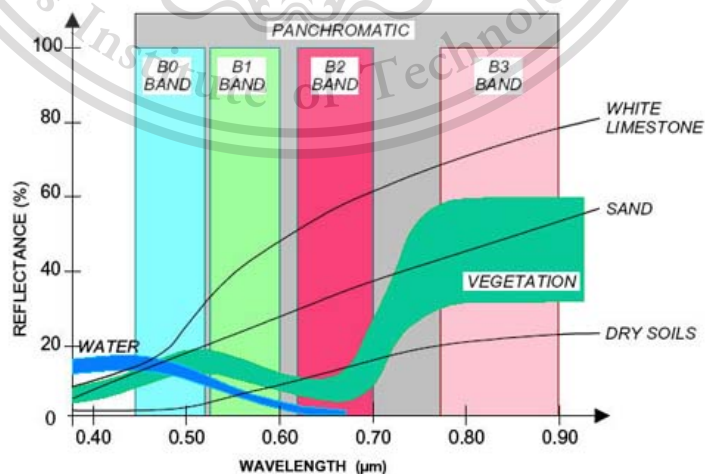
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.3.3 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ตารางที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์บันทึกข้อมูลของดาวเทียมไทยโชต

อุปกรณ์บันทึกข้อมูล		
	Panchromatic (ช่วงคลื่นเดียว)	Multispectral(หลายช่วงคลื่น)
ช่วงคลื่น	P: 0.45 - 0.90 ไมครอน	B0 (น้ำเงิน): 0.45 - 0.52 ไมครอน B1 (เขียว): 0.53 - 0.60 ไมครอน B2 (แดง): 0.62 - 0.69 ไมครอน B3 (ใกล้อินฟราเรด): 0.77 - 0.90 ไมครอน
รายละเอียดภาพ	2 เมตร	15 เมตร
ความกว้างแนวภาพ	22 กิโลเมตร (ในแนวตั้ง)	90 กิโลเมตร (ในแนวตั้ง)
จำนวน pixel ต่อแถว	12,000 pixels	6,000 pixels
ความกว้างของแนวที่สามารถบันทึกภาพ	1,000 กิโลเมตร (มุมเอียง $\pm 30$ องศา)	1,100 กิโลเมตร (มุมเอียง $\pm 30$ องศา)



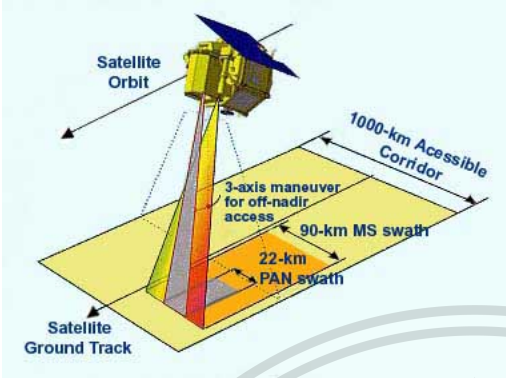
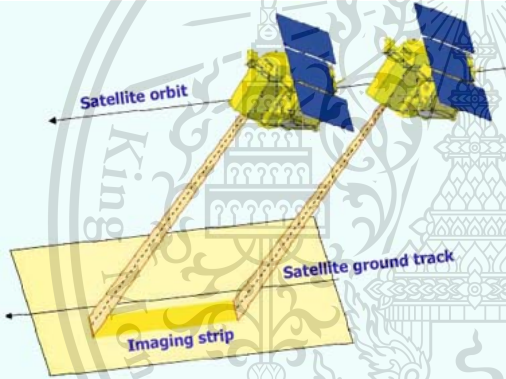
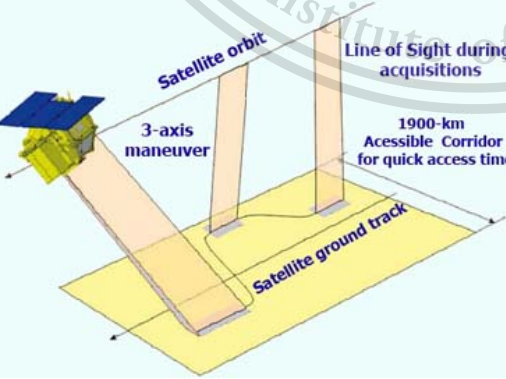
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.3.4 การถ่ายภาพจากดาวเทียมไทยโชต

ตารางที่ 2.3 แสดงการถ่ายภาพจากดาวเทียมไทยโชต

	<p><b>การถ่ายภาพในแนวดิ่ง (Nadir)</b></p> <p>ดาวเทียมธีออสถ่ายภาพในแนวดิ่ง (Nadir) หรือภายในมุมเอียงไม่เกิน 11 องศา (Near Nadir) ตามแนวการโคจร มีขนาดความกว้างของแนวถ่ายภาพ 22 กิโลเมตร สำหรับกล้อง Panchromatic และ 90 กิโลเมตร สำหรับกล้อง Multispectral</p>
	<p><b>การถ่ายภาพต่อเนื่องเป็นแนวยาว (Strip Imaging)</b></p> <p>ดาวเทียมธีออสสามารถถ่ายภาพเป็นแนวยาวต่อเนื่องได้สูงสุดถึง 4,000 กิโลเมตร</p>
	<p><b>ความสามารถในการถ่ายภาพซ้ำในพื้นที่เดิม</b></p> <p>ดาวเทียมธีออสสามารถปรับเอียงมุมกล้องโดยการเอียงมุมกล้องโดยการเอียงดาวเทียมไปทางซ้ายหรือขวา หรือเพิ่มความกว้างของพื้นที่ที่ถ่ายภาพ เป็นการเพิ่มความถี่ในการถ่ายภาพพื้นที่เป้าหมายได้บ่อยครั้งขึ้น</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

	<p>การเพิ่มความถี่ในการถ่ายภาพซ้ำที่เพิ่มขึ้นกับมุมเอียงของดาวเทียมและตำแหน่งภูมิศาสตร์ตามแนวเส้นละติจูดของพื้นที่นั้น ๆ มุมเอียงของกล้องที่สามารถบันทึกได้ภาพที่มีคุณภาพดีในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 30 องศา อย่างไรก็ตามกรณีเร่งด่วนดาวเทียมธีออสสามารถปรับมุมเอียงได้ถึง 50 องศา ซึ่งจะเพิ่มความถี่ในการถ่ายภาพซ้ำที่เดิม เช่น ประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรสามารถถ่ายภาพได้ซ้ำที่เดิมเฉลี่ยทุก 3 วัน สำหรับมุมเอียงไม่เกิน 30 องศา แต่ถ้าปรับมุมเอียงถึง 50 องศา ความถี่ในการถ่ายภาพซ้ำที่เดิมเพิ่มขึ้นเป็นทุก 2 วัน</p>
	<p><b>การถ่ายภาพสเตอริโอ (Stereo Imaging)</b></p> <p>ดาวเทียมธีออสสามารถถ่ายภาพสเตอริโอได้ 2 วิธี</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. การถ่ายภาพในแนวโคจรเดียวกัน (Along track stereo imaging)</li> <li>2. การถ่ายภาพพื้นที่เดียวกันจากสองแนวโคจร (Across track stereo imaging)</li> </ol>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.3.5 ผลลัพธ์ข้อมูลดาวเทียมไทยโชต

ผลลัพธ์ข้อมูลจากดาวเทียม Thaichote นั้นมีให้เลือกหลายแบบ โดยแต่ละแบบจะใช้งานผสมช่วงคลื่นที่ต่างกัน ทำให้รายละเอียดคุณภาพของผลลัพธ์แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.4 แสดงผลลัพธ์ข้อมูลดาวเทียมไทยโชต

ชนิดของผลลัพธ์	ขาว-ดำ	น้ำเงิน	เขียว	แดง	ใกล้เคียงพราเรต	รายละเอียดภาพ
แบบช่วงคลื่นเดี่ยว (PAN)	X	-	-	-	-	2 เมตร
ภาพสีเชิงคลื่น (MS)	-	X	X	X	X	15 เมตร
Pan-Sharpned	X	X	X	X	X	2 เมตร



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ข้อมูลดาวเทียมไทยโชต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์ข้อมูลดาวเทียมไทยโชต

ผลิตภัณฑ์ภาพสีเชิงคลื่น (Multispectral Products)	ผลิตภัณฑ์แบบช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic Products)	ผลิตภัณฑ์ Pan-Sharpend (Pan-Sharpened Products)
<ul style="list-style-type: none"> <li>ให้รายละเอียดภาพขนาด 15 เมตร (ที่การบันทึกภาพแบบแนวตั้ง)</li> <li>ข้อมูล 8 บิตต่อจุดภาพ</li> <li>หนึ่งแฟ้มข้อมูลของภาพผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วยข้อมูลทั้ง 4 ช่วงคลื่น</li> <li>ภาพที่ได้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาด 90 x 90 กม.<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ให้รายละเอียดภาพขนาด 2 เมตร (ที่การบันทึกภาพแนวตั้ง)</li> <li>ข้อมูล 8 บิตต่อจุดภาพ</li> <li>ภาพที่ได้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22 x 22 กม.<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>รวมข้อมูลที่ตามองเห็นจาก 4 ช่วงคลื่น (น้ำเงิน เขียว แดง อินฟราเรดใกล้) เข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ของช่วงคลื่นขาว -ดำ</li> <li>มีให้เลือกได้เฉพาะผลิตภัณฑ์ในระดับ 2A เท่านั้น</li> <li>ภาพที่ได้เป็นภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22 x 22 กม.<sup>2</sup></li> </ul>

### 2.1.3.6 ระดับการผลิต

ผลิตภัณฑ์ข้อมูลจากดาวเทียมไทยโชตมีการปรับแก้ 2 ระดับ ได้แก่

1) ระดับการปรับแก้โดยระบบ (1A): ภาพระดับ 1A นั้นจะได้รับการปรับแก้เชิงคลื่น ปรับระดับการตอบสนองสัมพัทธ์ของตัวตรวจจับ (Detector equalization) และกำจัดความผิดพลาดเชิงคลื่น ช่วงคลื่น PAN และช่วงคลื่นสีแดงของระบบ MS ซึ่งเรียกว่า “ช่วงคลื่นอ้างอิง” จะไม่ได้รับการปรับแก้เชิงเรขาคณิต ส่วนช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่นที่เหลือจะได้รับการขยับ (Shifted) เพื่อทดแทนการเยื้องกันของข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่น

2) ระดับการปรับแก้เชิงภูมิศาสตร์ (2A): ภาพระดับ 2A จะได้รับการปรับแก้เชิงคลื่นเหมือนกับระดับ 1 A นอกจากนี้ยังได้รับการแก้ไขความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตของแต่ละช่วงคลื่น (Registered) และการปรับแก้ความบิดเบือนเชิงภูมิศาสตร์ (Geocoded) นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งได้รับการจัดข้อมูลใหม่บนระบบพิกัดเชิงแผนที่ (Cartographic grid) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.3.7 ชนิดของพื้นที่ภาพ

#### 1) แนวยาว (Single Strip)

- ชนิดของผลิตภัณฑ์: PAN (กว้าง 22 มม.) หรือ MS (กว้าง 90 มม.) หรือ PAN Sharpened (กว้าง 22 มม.)
- ผู้ใช้ระบุจุดศูนย์กลาง (ละติจูด/ลองจิจูด) และความยาว (กม.) ของภาพ
- ขนาดของภาพต้องไม่น้อยกว่า 1 ภาพ  
(PAN หรือ PAN Sharpened: 22 X 22 มม. MS: 90 X 90 มม.)

#### 2) แนวยาว: สเตอริโอ หน้า/หลัง (Single Strip: Stereo Forward/After)

- ชนิดของผลิตภัณฑ์: PAN (กว้าง 22 มม.) หรือ MS (กว้าง 90 มม.)
- ผู้ใช้ระบุจุดศูนย์กลาง (ละติจูด/ลองจิจูด) และความยาว (กม.) ของภาพ
- ขนาดของภาพต้องไม่น้อยกว่า 1 ภาพ  
(PAN หรือ PAN Sharpened: 22 X 22 มม. MS: 90 X 90 มม.)

#### 3) แนวยาวแบบสเตอริโอ ขวา/ซ้าย (Single Strip: Stereo Right/Left)

- ชนิดของผลิตภัณฑ์: PAN (กว้าง 22 มม.) หรือ MS (กว้าง 90 มม.)
- ผู้ใช้ระบุจุดศูนย์กลาง (ละติจูด/ลองจิจูด) และความยาว (กม.) ของภาพ
- ขนาดของภาพต้องไม่น้อยกว่า 1 ภาพ  
(PAN หรือ PAN Sharpened: 22 X 22 มม. MS: 90 X 90 มม.)

#### 4) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle)

- ชนิดของผลิตภัณฑ์: PAN หรือ MS หรือ PAN Sharpened
- ผู้ใช้ระบุพิกัดของมุมบนซ้ายและมุมล่างขวา (องศา) เป็นอย่างน้อย
- ขนาดของภาพต้องไม่น้อยกว่า 1 ภาพ

(PAN หรือ PAN Sharpened: 22 X 22 มม. MS: 90 X 90 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 5) รูปหลายเหลี่ยม (Polygon)

- ชนิดของผลิตภัณฑ์: PAN หรือ MS หรือ PAN Sharpened
- ผู้ใช้ระบุพิกัดทั้งหมดของพื้นที่ (ไม่เกิน 20 จุด) ตามลำดับทวนเข็มนาฬิกา
- ขนาดของภาพต้องไม่น้อยกว่า 1 ภาพ  
(PAN หรือ PAN Sharpened: 22 X 22 กม. MS: 90 X 90 กม.)

### 2.1.4 ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีมาตราส่วน 1 : 25,000 ได้จากการบินถ่ายรูปร่างทางอากาศ ด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศแบบเมตริก (Zeiss RMK 15 / 23 Wide-angle ) ความยาวโฟกัส ประมาณ 152 มิลลิเมตร ใช้ฟิล์มถ่ายภาพทางอากาศสีชนิดที่ตอบสนองต่อสีธรรมชาติ ขนาด 230 x 230 มิลลิเมตร (9x9 นิ้ว) มีระยะสูงบินประมาณ 3,800 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง โดยติดตั้งอุปกรณ์เครื่องรังวัดพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส เพื่อรังวัดพิกัดจุดเปิดถ่ายรูป (Exposure point) ภาพถ่ายทางอากาศ 1 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ ประมาณ 5.75x5.75 ตารางกิโลเมตร มีขนาดส่วนซ้อนภาพ (overlap) 60% ส่วนเกย (side lap) 30% ทำการกราดภาพ (Scan) ด้วยเครื่องสแกนเนอร์ที่มีความละเอียดและความถูกต้องสูง (Precise Photogrammetric Scanner) จากแผ่นฟิล์มภาพถ่ายต้นฉบับ (Negative Film)

#### 2.1.4.1 คุณสมบัติเฉพาะของภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข

สแกนจากฟิล์มต้นฉบับ (Negative film) ขนาด 23x23 เซนติเมตร ใช้ Photogrammetric Scanner ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของจุดภาพ มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 ไมครอนขนาดความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน ไฟล์ภาพมีขนาด 850 MB จัดเก็บภาพถ่ายเชิงเลขตามมาตรฐาน Geo TIFF มีจำนวน 73,071 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 98% ของประเทศภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขที่ให้บริการทุก ภาพ ผ่านการลงลายน้ำ (Water mark) สำหรับตรวจสอบและติดตาม เพื่อการรักษาความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูล ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข มาตรฐาน 1:25,000

1. สแกนจากฟิล์มต้นฉบับ (Negative film: 23 x 23 ซม.)
2. ใช้ Photogrammetric Scanner ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งของจุดภาพสูง (Error > 5 micron)
3. ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน (0.375 เมตร)
4. จัดเก็บภาพถ่ายเชิงเลขตามมาตรฐาน GeoTIFF

## 2.1.5 ผลิตภัณฑ์ภาพแบบออร์โธ (Orthorectified Imagery)

### 2.1.5.1 ความรู้โดยทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ภาพแบบออร์โธ

ภาพออร์โธเป็นภาพถ่ายที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ความถูกต้องทางเรขาคณิตตามวิธีการทางโฟโตแกรมเมตรี ทำให้เป็นข้อมูลที่สามารถตรวจสอบระยะทางที่แท้จริงได้ เนื่องจากลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียมโดยทั่วไปจะมีความผิดเพี้ยนทางตำแหน่งอันเนื่องมาจากการเอียงของกล้องบันทึกภาพ (Tilt displacement) และการเปลี่ยนตำแหน่งเนื่องจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ (relief displacement) ภาพออร์โธ เน้นการปรับแก้การเปลี่ยนตำแหน่ง โดยใช้ข้อมูลความสูงต่ำของประเทศในการปรับแก้ ซึ่งภาพที่ผ่านการแก้ก็มีความถูกต้องทางแนวราบ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะแผนที่ภาพถ่ายได้เป็นอย่างดี

### 2.1.5.2 ประโยชน์ของผลงาน

ภาพถ่ายดาวเทียมแบบออร์โธ เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของการปรับปรุงความทันสมัยของแผนที่ฐานและการ พัฒนาผลิตภัณฑ์พร้อมใช้แบบอื่นๆ ได้แก่ แผนที่ตัวเมือง แผนที่ท่องเที่ยว แผนที่วัฒนธรรม เป็นต้น เนื่องจากภาพถ่ายแบบออร์โธเป็นภาพถ่ายที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งด้วยวิธีการปรับแก้ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ทำให้สมรรถนะตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งและระยะที่แท้จริงได้

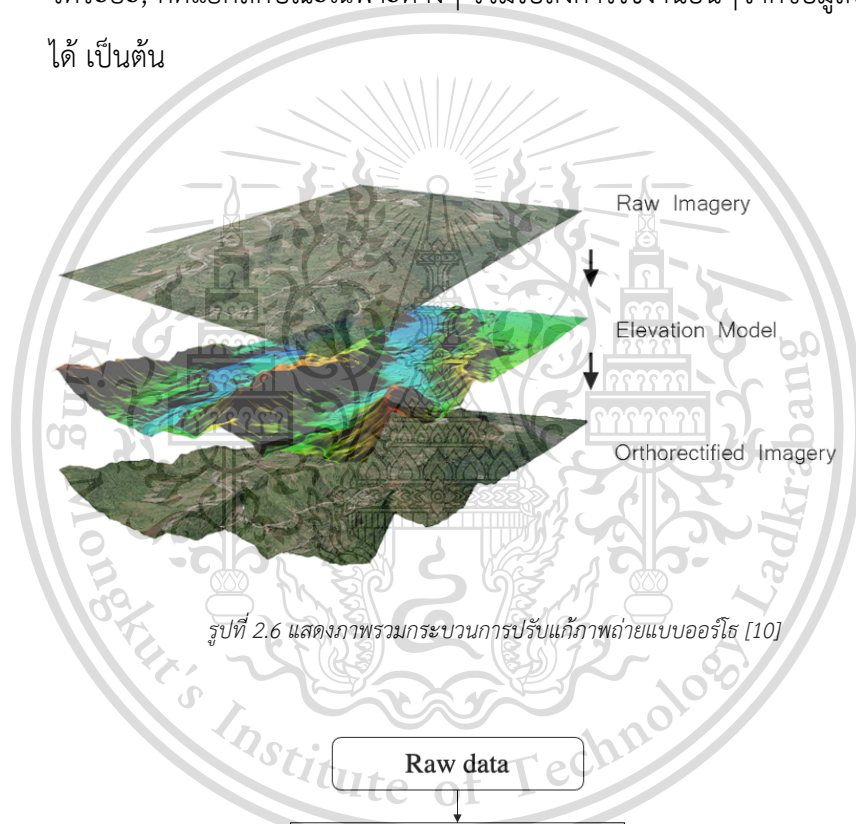
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

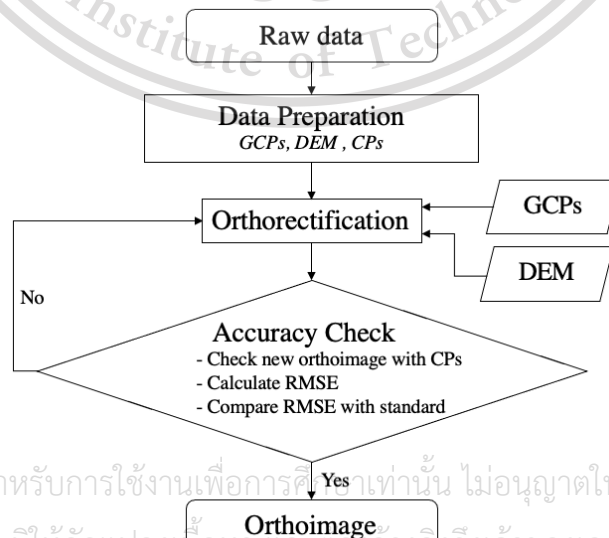
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.5.3 กระบวนการผลิตภาพแบบออร์โธ

การบิดของภาพถ่าย มักเกิดขึ้นระหว่างการบันทึกภาพ ซึ่งทำให้ภาพที่ได้นั้นเกิดเป็นสเกลภาพที่ไม่สม่ำเสมอ โดยการบิดของภาพที่มากเกินไปทำให้ภาพถ่ายถูกเปลี่ยนแปลงซึ่งหมายความว่าจุดควบคุมบนพื้นดินนั้นไม่สามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนจากการบิดดังกล่าวได้ ดังนั้นกระบวนการปรับแก้ภาพโดยใช้ภาพถ่ายเชิงภูมิประเทศจึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับแก้ pixel ภาพที่ถูกซ้อนทับไปให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยหลังจากที่ภาพผ่านกระบวนการปรับแก้แบบออร์โธแล้ว จะทำให้ภาพถ่ายดังกล่าวสามารถใช้ในการวัดระยะ, คัดแยกลักษณะเฉพาะต่างๆ รวมไปถึงการใช้งานอื่นๆจากข้อมูลประเภทวัดระยะได้ เป็นต้น



รูปที่ 2.6 แสดงภาพรวมกระบวนการปรับแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ [10]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการปรับแก้ภาพแบบออร์โธ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการปรับแก้ภาพแบบออร์โธ มีขั้นตอนดังนี้

- นำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการปรับแก้ (Raw Data)
- จัดเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับภาพที่ต้องการปรับแก้ ซึ่งได้แก่ข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) เพื่อใช้ในการปรับแก้ในแนวราบ ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (digital elevation model: DEM) เพื่อใช้ในการปรับแก้ในแนวดิ่ง และจุดตรวจสอบ (Check Points: CPs) เพื่อใช้ในการตรวจสอบภาพที่ทำการปรับแก้
- ปรับแก้ภาพแบบออร์โธ โดยใช้ข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน และข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข
- ตรวจสอบความถูกต้องของภาพถ่ายที่ผ่านการปรับแก้แบบออร์โธ โดยใช้ข้อมูลจุดตรวจสอบ แล้วหาจุดตรวจสอบบนภาพอ้างอิง (ภาพที่มีถูกต้องอยู่แล้ว) กับภาพที่เพิ่งทำการปรับแก้แบบออร์โธ หลังจากนั้นคำนวณหาค่า RMSE, เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ

การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ จะหาค่าพิกัดของคู่จุดระหว่างจุดบนภาพอ้างอิง และจุดบนภาพที่ต้องการตรวจสอบ หรือ ภาพที่เพิ่งทำการปรับแก้แบบออร์โธ เพื่อคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง โดยใช้สมการดังนี้ [5][12]

$$\Delta X = X_{\text{Tar}} - X_{\text{Ref}} \quad (1)$$

$$\Delta Y = Y_{\text{Tar}} - Y_{\text{Ref}} \quad (2)$$

$$\Delta r_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (3)$$

โดย  $X_{\text{Tar}}$  = ค่าพิกัด Easting ของจุดตรวจสอบบนภาพที่ตรวจสอบ (เมตร)

$X_{\text{Ref}}$  = ค่าพิกัด Easting ของจุดตรวจสอบบนภาพอ้างอิง (เมตร)

$Y_{\text{Tar}}$  = ค่าพิกัด Northing ของจุดตรวจสอบบนภาพที่ตรวจสอบ (เมตร)

$Y_{\text{Ref}}$  = ค่าพิกัด Northing ของจุดตรวจสอบบนภาพที่ตรวจสอบ (เมตร)

$\Delta X$  = ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งตามแนวแกน Easting (เมตร)

$\Delta Y$  = ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งตามแนวแกน Northing (เมตร)

$\Delta r_i$  = ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบ (Coordinate discrepancy) ของคู่จุดที่  $i$  (เมตร)

หลังจากที่คำนวณหาค่า  $\Delta r_i$  แล้ว จะนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่า  $RMSE_r$  และ  $Accuracy_H$  โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$RMSE_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta r_i)^2} \quad (4)$$

$$Accuracy_H = 1.7308 \times RMSE_r \quad (5)$$

โดย  $n$  = จำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมดบนภาพที่กำลังตรวจสอบ

$RMSE_r$  = ค่า Root Mean Square Error ทางราบ (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $Accuracy_H$  = ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ ที่ค่าความเชื่อมั่น 95%  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
(เมตร)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยค่า  $RMSE_r$  และ  $Accuracy_H$  เป็นค่าที่ถูกใช้ในการตรวจสอบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในมาตรฐานต่าง ๆ เช่น เกณฑ์มาตรฐาน ASPRS เป็นต้น ทั้งนี้ ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ใช้เกณฑ์มาตรฐาน ASPRS จะขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดจุดภาพ หรือ GSD ด้วย

TABLE B.6 HORIZONTAL ACCURACY/QUALITY EXAMPLES FOR HIGH ACCURACY DIGITAL PLANIMETRIC DATA

ASPRS 2014				Equivalent to map scale in		
Horizontal Accuracy Class $RMSE_r$ and $RMSE_H$ (cm)	$RMSE_r$ (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	Equivalent to map scale in NNAS
0.63	0.9	1.5	0.31 to 0.63	1:25	1:12.5	1:16
1.25	1.8	3.1	0.63 to 1.25	1:50	1:25	1:32
2.5	3.5	6.1	1.25 to 2.5	1:100	1:50	1:63
5.0	7.1	12.2	2.5 to 5.0	1:200	1:100	1:127
7.5	10.6	18.4	3.8 to 7.5	1:300	1:150	1:190
10.0	14.1	24.5	5.0 to 10.0	1:400	1:200	1:253
12.5	17.7	30.6	6.3 to 12.5	1:500	1:250	1:317
15.0	21.2	36.7	7.5 to 15.0	1:600	1:300	1:380
17.5	24.7	42.8	8.8 to 17.5	1:700	1:350	1:444
20.0	28.3	49.0	10.0 to 20.0	1:800	1:400	1:507
22.5	31.8	55.1	11.3 to 22.5	1:900	1:450	1:570
25.0	35.4	61.2	12.5 to 25.0	1:1000	1:500	1:634
27.5	38.9	67.3	13.8 to 27.5	1:1100	1:550	1:697
30.0	42.4	73.4	15.0 to 30.0	1:1200	1:600	1:760
45.0	63.6	110.1	22.5 to 45.0	1:1800	1:900	1:1,141
60.0	84.9	146.9	30.0 to 60.0	1:2400	1:1200	1:1,521
75.0	106.1	183.6	37.5 to 75.0	1:3000	1:1500	1:1,901
100.0	141.4	244.8	50.0 to 100.0	1:4000	1:2000	1:2,535
150.0	212.1	367.2	75.0 to 150.0	1:6000	1:3000	1:3,802
200.0	282.8	489.5	100.0 to 200.0	1:8000	1:4000	1:5,069
250.0	353.6	611.9	125.0 to 250.0	1:10,000	1:5000	1:6,337
300.0	424.3	734.3	150.0 to 300.0	1:12,000	1:6000	1:7,604
500.0	707.1	1223.9	250.0 to 500.0	1:20,000	1:10,000	1:21,122
1000.0	1414.2	2447.7	500.0 to 1000.0	1:40,000	1:20,000	1:42,244

รูปที่ 2.8 แสดงเกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ ( $RMSE_r$ ,  $Accuracy_H$ ) ของมาตรฐาน ASPRS นำมาจาก [5]

### 2.1.6.1 รูปแบบการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

- ความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Accuracy)

การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ เป็นการวัดว่าจุดหนึ่งๆ หรือ วัตถุหนึ่ง ๆ อยู่ในตำแหน่งที่มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยจุดนั้น ๆ จะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีความถูกต้องมากกว่า โดยจะมีค่าเป็นบวกหรือลบ ในหน่วยของระยะทาง เช่น เมตร, ฟุต, หรือนิ้ว

- ความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Accuracy)

การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ เป็นการวัดว่าจุดหนึ่งๆ หรือ วัตถุหนึ่ง ๆ อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องเพียงใดบนแผนที่ เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่แท้จริงของจุดเหล่านั้นบนพื้นดิน (Ground Control Points:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ GCPs) โดยใช้เฟรมภาพอ้างอิงจากระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบยูทีเอ็ม (UTM การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมี Coordination) เป็นต้น จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.1.7 การประมวลผลการจับคู่ภาพ (Image matching)

การประมวลผลการจับคู่ภาพ เป็นกระบวนการคำนวณหาค่า Similarity Index หรือ Degree of Matching คือ การคำนวณหาดัชนีความเหมือนของ Feature บนส่วนของภาพ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อค้นหาส่วนของภาพที่มี Feature เหมือนกับ Feature ใน Template จากภาพอ้างอิงมากที่สุด (หาตำแหน่งของคู่จุดตรวจสอบบนภาพ Target เทียบกับจุดบนภาพอ้างอิง) กล่าวคือ หาตำแหน่งที่มีค่า Similarity Index สูงสุดนั่นเอง

การคำนวณหาค่า Similarity Index นี้ มีหลากหลายวิธี โดยตัวอย่างวิธีการที่เป็นที่นิยม และมีประสิทธิภาพ ดังเช่น

### วิธี Cross Correlation coefficient ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{\sigma_{\text{Ref-Tar}}}{\sigma_{\text{Ref}} \sigma_{\text{Tar}}} \quad (6)$$

โดย

$$\sigma_{\text{Ref-Tar}} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \{g_{\text{Ref}}(x_i, y_j) - \bar{g}_{\text{Ref}}\} \{g_{\text{Tar}}(x_i, y_j) - \bar{g}_{\text{Tar}}\}}{NM-1} \quad (7)$$

$$\sigma_{\text{Ref}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (g_{\text{Ref}}(x_i, y_j) - \bar{g}_{\text{Ref}})^2}{NM-1}} \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{Tar}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_{\text{Tar}}(x_i, y_j) - \bar{g}_{\text{Tar}})^2}{NM-1}} \quad (9)$$

$$\bar{g}_{\text{Ref}} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{Ref}}(x_i, y_j)}{NM} \quad (10)$$

$$\bar{g}_{\text{Tar}} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{Tar}}(x_i, y_j)}{N \times M} \quad (11)$$

โดย  $g_{\text{Ref}}(x_i, y_j)$  คือ ค่า DN ของ Pixel ณ ตำแหน่ง  $(x_i, y_j)$  บนภาพอ้างอิง

$g_{\text{Tar}}(x_i, y_j)$  คือ ค่า DN ของ Pixel ณ ตำแหน่ง  $(x_i, y_j)$  บนภาพ Target

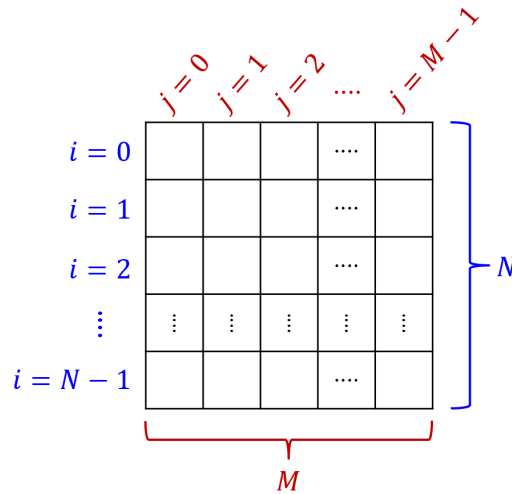
$i, j$  คือ ตำแหน่ง Row และตำแหน่ง Column บนภาพ ตามลำดับ

$N, M$  คือ จำนวน Row และจำนวน Column ในภาพ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.9 แสดงความหมายของตัวแปรที่ใช้คำนวณ Degree of matching ในภาพที่มีจำนวน Pixels เท่ากับ

*N* rows และ *M* columns

นอกจากนี้ยังมี OpenCV Library ใน Python ที่สามารถประมวลผลการจับคู่ภาพได้จากสมการที่ หลากหลาย ดังนี้ [8]

### วิธี Correlation Coefficient Matching

$$R(x, y) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (g_{\text{ref}}'(i, j) \times g_{\text{tar}}'(x + i, y + j))$$

โดย  $g_{\text{ref}}'(i, j) = g_{\text{ref}}(i, j) - \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{ref}}(i, j)}{wh}$

$$g_{\text{tar}}'(x + i, y + j) = g_{\text{tar}}(x + i, y + j) - \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{tar}}(x + i, y + j)}{wh}$$

### วิธี Normalized Correlation Coefficient Matching

$$R(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (g_{\text{ref}}'(i, j) \times g_{\text{tar}}'(x + i, y + j))}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{ref}}'(i, j)^2 \times \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{tar}}'(x + i, y + j)^2}}$$

### วิธี Cross-Correlation Coefficient Matching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น (g<sub>ref</sub>(i, j) × g<sub>tar</sub>(x + i, y + j)) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### วิธี Normalized Cross-Correlation Coefficient Matching

$$R(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (g_{\text{ref}}(i, j) \times g_{\text{tar}}(x + i, y + j))}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{ref}}(i, j)^2 \times \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{tar}}(x + i, y + j)^2}}$$

### วิธี Squared difference Matching

$$R(x, y) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (g_{\text{ref}}(i, j) - g_{\text{tar}}(x + i, y + j))^2$$

### วิธี Normalized squared difference Matching

$$R(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (g_{\text{ref}}(i, j) - g_{\text{tar}}(x + i, y + j))^2}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} g_{\text{ref}}(i, j)^2 \times \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(x + i, y + j)^2}}$$

## 2.1.8 การพัฒนาเกี่ยวกับอัลกอริทึมการจับคู่ภาพในปัจจุบัน

ในปัจจุบันการศึกษอัลกอริทึมประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบหลักดังนี้ การวัดค่าความคล้าย (Similarity measurement), ช่องว่างของลักษณะเฉพาะ (Feature space), ช่องว่างการค้นหา (Search space) และ กลยุทธ์ในการค้นหา (Search strategy) โดยดัชนีที่ใช้ในการประเมินอัลกอริทึม ประกอบไปด้วย 4 ดัชนี ได้แก่ ความถูกต้องในการจับคู่ (Matching accuracy), ประสิทธิภาพในการจับคู่ภาพ (Matching efficiency), ความสามารถในการจัดการสิ่งรบกวนภาพ (Robustness) และ ความหลากหลายในการใช้งานอัลกอริทึม (Universality) โดยความรู้เบื้องต้นของอัลกอริทึมในการจับคู่ภาพมักมีพื้นฐานมาจากค่าความเทา (gray value), ลักษณะเฉพาะ (feature), การวิเคราะห์ความถี่ของขอบเขต (Domain analysis), Neural Network และ การจดจำแบบอาศัยความหมาย (Semantic recognition) และการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของภาพ และความสำเร็จของงานวิจัยล่าสุด สุดท้ายคือแนวโน้มของการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่ภาพที่ถูกพูดถึงและถกเถียงในปัจจุบัน

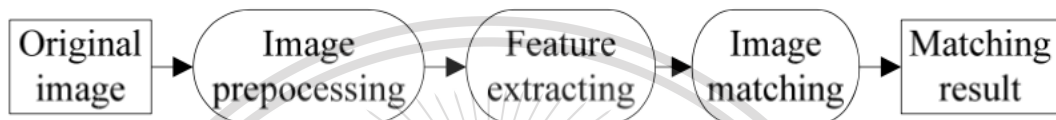
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.8.1 องค์ประกอบในการทำกระบวนการจับคู่ภาพและอัลกอริทึมที่ใช้ในกระบวนการจับคู่ภาพ

องค์ประกอบในการทำกระบวนการจับคู่ภาพประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ กระบวนการเตรียมภาพ, กระบวนการคัดแยกข้อมูลการจับคู่ภาพจากภาพเดิม โดยคัดแยกจากกระบวนการเตรียมภาพ, กระบวนการจับคู่ภาพ และ กระบวนการแสดงผล



รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการทำงานการจับคู่ภาพ

ในการอัลกอริทึมที่ใช้ในกระบวนการจับคู่ภาพ ประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบ ดังนี้

- การวัดค่าความคล้าย (Similarity measurement)

ใช้ในการวัดความคล้ายกันของภาพเดิมกับภาพใหม่ โดยมีจะใช้ระยะทาง (Distance) หรือฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Correlation) โดยฟังก์ชันระยะทางที่ถูกใช้เป็นหลัก ประกอบไปด้วย ค่าความต่างสมบูรณ์ (Absolute difference: AD), ค่าความต่างกำลังสอง (Square difference: SD), ค่าเฉลี่ยความต่างสมบูรณ์ (Mean absolute difference: MAD) และ ค่าเฉลี่ยความต่างกำลังสอง (Mean square difference: MSD) และฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่ถูกใช้เป็นหลัก ประกอบไปด้วย ฟังก์ชันความแปรปรวนร่วม (covariance function) และ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ปกติแบบไขว้ (Normalized cross-correlation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- **ช่องว่างของลักษณะเฉพาะ (Feature space)**

ช่องว่างของลักษณะเฉพาะ (Feature space) ประกอบไปด้วยค่าความเทา (Grayscale values), มุมภาพ (Image edges), พื้นผิว (Textures) และรูปร่าง (Shapes) โดยการเลือกลักษณะเฉพาะอย่างสมเหตุสมผลจะช่วยให้การค้นหาช่องว่าง (Search space) แคบลง รวมทั้งการกำจัดสิ่งรบกวนภาพและตัวแปรอื่นที่ไม่จำเป็น และการพัฒนาการประยุกต์อัลกอริทึมให้สามารถใช้ได้ในบริบทอื่น ๆ โดยการจับคู่ภาพใช้กับทั้งกับลักษณะเฉพาะแบบเฉพาะที่ (Local features) และลักษณะเฉพาะแบบทั่วไป (Global features)

- **ช่องว่างการค้นหา (Search space)**

ช่องว่างการค้นหา (Search space) กลุ่มของตัวแปรของการจับคู่ภาพ เช่น ประเภทของการบิดของภาพเป็นส่วนกำหนดส่วนประกอบและขนาดของช่องว่างการค้นหา โดยขนาดของช่องว่างการค้นหานี้เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการจับคู่ภาพ

- **กลยุทธ์ในการค้นหา (Search strategy)**

กลยุทธ์ในการค้นหา (Search strategy) การใช้วิธีการหาที่เหมาะสมเพื่อการประมาณการที่ดีที่สุดในการเปลี่ยนของตัวแปรต่าง ๆ เช่น การแปลผลภาพและการบิดหมุนในช่องว่างการค้นหา (Search space) ที่ทำให้เกิดค่าสูงสุดของความคล้ายระหว่างภาพก่อนและหลังการปรับแต่ง โดยกลยุทธ์ในการค้นหาที่เหมาะสมจะทำให้การจับคู่ภาพมีถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูง

โดยทั่วไปแล้วกลยุทธ์ในการค้นหาที่ถูกใช้ ประกอบไปด้วย การหาแบบละเอียด (Exhaustive search), การหาแบบชั้นพีระมิด (Pyramid layered search), การหาแบบทิศทางความเร่งของ Powell (Powel direction acceleration method), การเขียนโปรแกรมแบบพลวัต (Dynamic programming method), อัลกอริทึมแบบจำลองแบบ

การหลอม (Simulated annealing algorithm), อัลกอริทึมอนุภาคแบบกลุ่ม (Particle swarm algorithm), อัลกอริทึมแบบพันธุกรรม (Genetic algorithm) และ Neural Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.8.2 ดัชนีที่ใช้ในการประเมิน

ในการศึกษาผลการทำงานของอัลกอริทึมการจับคู่ภาพ โดยปกติแล้วมักใช้ดัชนีซึ่งประกอบไปด้วย ความถูกต้องในการจับคู่ (Matching accuracy), ประสิทธิภาพในการจับคู่ภาพ (Matching efficiency), ความสามารถในการจัดการสิ่งรบกวนภาพ (Robustness) และ ความหลากหลายในการใช้งานอัลกอริทึม (Universality)

- **ความถูกต้องในการจับคู่ (Matching accuracy)**

ความถูกต้องในการจับคู่ (Matching accuracy) โดยจะถูกกำหนดจากค่าความผิดพลาด (Error) ระหว่างตำแหน่งที่ทำการจับคู่ในภาพเป้าหมายกับตำแหน่งจริงของภาพอ้างอิง โดยกลยุทธ์ในการค้นหา (Search strategy) คือ ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการจับคู่

- **ประสิทธิภาพในการจับคู่ (Matching efficiency)**

ประสิทธิภาพในการจับคู่ (Matching efficiency) โดยถูกกำหนดจากช่องว่างในการค้นหา (Search space) และความซับซ้อนของอัลกอริทึม

- **ความสามารถในการจัดการสิ่งรบกวนภาพ (Robustness)**

ความสามารถในการจัดการสิ่งรบกวนภาพ (Robustness) เป็นคุณสมบัติที่สะท้อนการจัดการกับสิ่งรบกวนภาพ และกำจัดการรบกวนของอัลกอริทึมการจับคู่ โดยทั่วไปคือ ความแม่นยำของอัลกอริทึมการจับคู่จะถูกลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญกับสิ่งรบกวนภาพ หรือ การรบกวนอื่น

- **ความหลากหลายในการใช้งานอัลกอริทึม (Universality)**

ความหลากหลายในการใช้งานอัลกอริทึม (Universality) อัลกอริทึมที่ได้ถูกออกแบบมานั้น ถูกออกแบบมาเพื่อจับคู่ในสิ่งที่กำหนดไว้แล้วเท่านั้น (Particular object) ดังนั้น ความรู้ที่ดีที่สุดในขณะที่ยังไม่มีอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ที่เป็นแบบทั่วไป กล่าวคือยังไม่สามารถประยุกต์ได้ในทุกกรณีภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

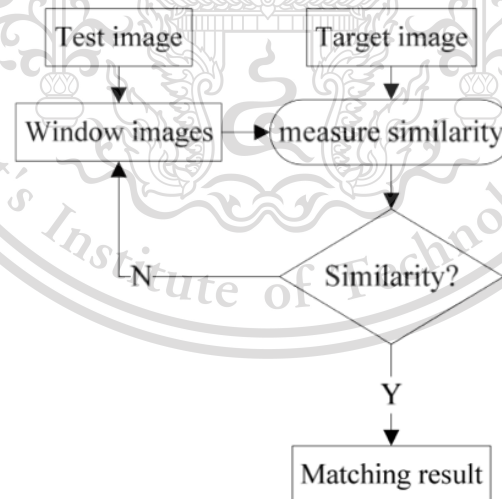
### 2.1.8.3 อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพ

กล่าวถึงอัลกอริทึมการจับคู่ภาพในปัจจุบัน จากความรู้พื้นฐาน อัลกอริทึมเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ ดังนี้ อัลกอริทึมในการจับคู่ภาพมักมีพื้นฐานมาจากค่าความเทา (gray value) หรือ Area-based , อัลกอริทึมในการจับคู่ภาพมักมีพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะ (feature), อัลกอริทึมในการจับคู่ภาพมักมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์ความถี่ของขอบเขต (Domain analysis), อัลกอริทึมในการจับคู่ภาพมักมีพื้นฐานมาจาก Neural Network และ อัลกอริทึมในการจับคู่ภาพมักมีพื้นฐานมาจากการจดจำแบบอาศัยความหมาย (Semantic recognition)

- อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากค่าความเทา

หรือ Area-based

(Image matching algorithm based on the gray value, Area-based Matching Algorithm)



รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากค่าความเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.6 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากค่าความเทา

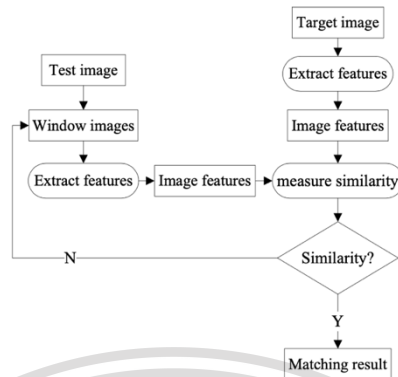
<p>ความรู้เบื้องต้น</p>	<p>เปรียบเทียบเมทริกซ์ค่าความเทา (Grayscale matrix) ในภาพเป้าหมายกับเมทริกซ์ค่าความเทาทั้งหมดที่เป็นไปได้กับภาพเดิม แล้วใช้กระบวนการการวัดความคล้ายเพื่อที่จะหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและจับคู่ตรงกันกับผลลัพธ์มากที่สุด</p>
<p>ลักษณะเฉพาะของอัลกอริทึม</p>	<p>ง่าย โดยอัลกอริทึมนี้ทำงานกับเมทริกซ์ค่าความเทา แต่ไม่ได้ทำกระบวนการระบุลักษณะเฉพาะของภาพ</p> <p>ข้อเสียคือ คำนวณเยอะและประสิทธิภาพกระบวนการจับคู่ต่ำ ดังนั้นจึงมีผลกับการทำงานแบบ (Real-time) มากไปกว่านั้นคือ อัลกอริทึมนี้ขึ้นกับค่าความเทา และมักมีปัญหา เมื่อบริบทของภาพเปลี่ยนแปลง เช่น มีความไวสูงต่อสิ่งรบกวนภาพหรือแสงที่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้แก้ปัญหาในภาพที่เกิดการบิดและสเกลภาพที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย</p>
<p>การพัฒนาล่าสุด</p>	<p>ความถูกต้องของอัลกอริทึมประเภทนี้มีความถูกต้องสูง แต่ประสิทธิภาพต่ำ ปัจจุบันงานวิจัยที่สำเร็จนั้น นำอัลกอริทึมประเภทนี้ไปรวมกับอัลกอริทึมอื่นเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการจับคู่ภาพ</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะต่าง ๆ  
(Image matching algorithm based on the feature)



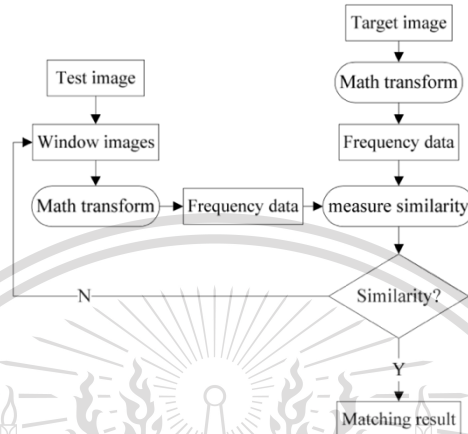
รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะต่าง ๆ

ตารางที่ 2.7 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะต่าง ๆ

<p>ความรู้เบื้องต้น</p>	<p>อัลกอริทึมประเภทนี้จะมองหาภาพที่ให้ค่าความเหมือนสูงในด้านของลักษณะเฉพาะต่าง ๆ</p> <p>ขั้นตอนที่ 1 คือ คัดแยกลักษณะต่าง ๆ ในภาพ เช่น จุดมุม, จุดสะท้อน, จุดขอบ, เส้นตรง, พื้นผิว และโมเมนต์ต่าง ๆ</p> <p>ขั้นตอนที่ 2 อธิบายลักษณะดังกล่าวจากกลุ่มของตัวแปรที่ตั้งไว้ (set of parameters)</p> <p>ขั้นตอนที่ 3 จับคู่ภาพเป้าหมายกับกลุ่มของตัวแปรที่ตั้งไว้</p>
<p>ลักษณะเฉพาะของอัลกอริทึม</p>	<p>อัลกอริทึมนี้ถูกใช้มากในงานของการจับคู่ภาพ เพื่อที่จะลดการค้นหา อัลกอริทึมจะทำการคัดแยกเฉพาะลักษณะเฉพาะเท่านั้น ไม่ใช่ทุกพิกเซล อัลกอริทึมนี้มีความซับซ้อนต่ำและประสิทธิภาพในการจับคู่สูงแต่ความถูกต้องของการจับคู่ขึ้นอยู่กับจุดลักษณะเฉพาะนั้น ถ้าจุดดังกล่าวเกิดการผิดพลาดหรือหายไป ความถูกต้องของกระบวนการจับคู่จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด</p>
<p>การพัฒนาล่าสุด</p>	<p>ในปัจจุบัน อัลกอริทึมประเภทนี้ได้ถูกพัฒนาในชื่อของ SIFT (Scale-invariant feature transform) หรือ การใช้งานในลักษณะของตัวช่วย</p>

- อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์แบบค่าความถี่ของขอบเขต

(Image matching algorithm based on the frequency domain analysis)



รูปที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์แบบค่าความถี่ของขอบเขต

ตารางที่ 2.8 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์แบบค่าความถี่ของขอบเขต

<p>ความรู้เบื้องต้น</p>	<p>อัลกอริทึมประเภทนี้จะแปลงภาพเดิมและภาพเป้าหมายจากขอบเขตเชิงพื้นที่ไปสู่ขอบเขตเชิงความถี่ด้วยการแปลงทางคณิตศาสตร์ และใช้การวัดความคล้ายในการกำหนดระดับการจับคู่ระหว่างสองภาพ โดยอัลกอริทึมแบบนี้ประกอบไปด้วยพื้นฐานของการแปลงแบบ Fourier การแปลงแบบคาร์เบอร์และ การแปลงแบบเวฟเล็ต</p>
<p>ลักษณะเฉพาะของอัลกอริทึม</p>	<p>อัลกอริทึมประเภทนี้มีความเกี่ยวข้องกับค่าความเทา การตัดแยก Shape peak และความแม่นยำในการจับคู่สูง ขณะเดียวกันมีความสามารถในการจัดการสิ่งรบกวนเกี่ยวกับการบิดภาพและการแปลงสเกล แต่อัลกอริทึมประเภทนี้สิ่งสำคัญคือจำเป็นต้องแปลงค่าเชิงพื้นที่ไปเป็นค่าเชิงความถี่ ดังนั้นประสิทธิภาพของการจับคู่ไม่เป็นที่น่าพอใจ</p>

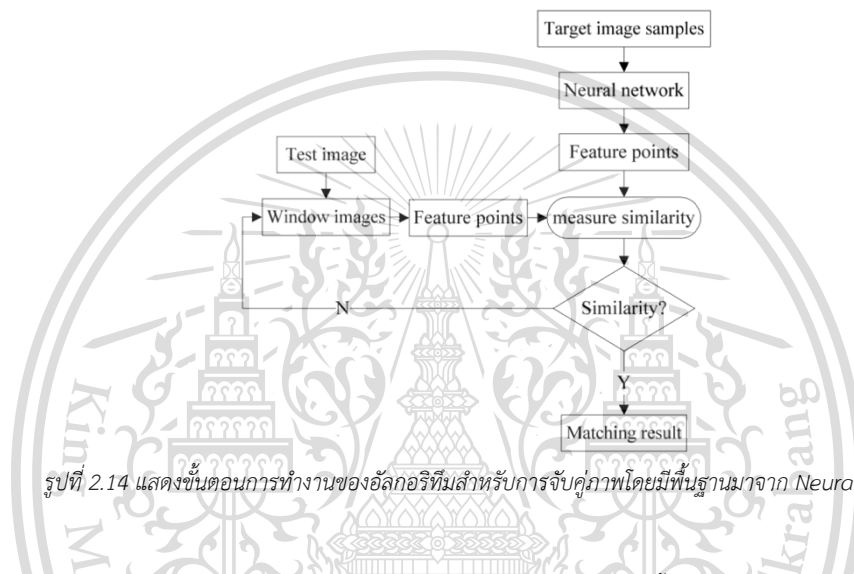
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาล่าสุด	อัลกอริทึมประเภทนี้มักถูกใช้ควบคู่กับแบบลักษณะเฉพาะ ประสิทธิภาพของการจับคู่สามารถพัฒนาได้ภายใต้ได้ตรรกะของความมั่นใจในความแม่นยำในการจับคู่ภาพ
----------------	--

- อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจาก Neural network (Image matching algorithm based on the neural network)



รูปที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจาก Neural network

ตารางที่ 2.9 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจาก Neural network

ความรู้เบื้องต้น	<p>อัลกอริทึมพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะต่าง ๆ แบบเก่าไม่สามารถใช้ในการจับคู่ที่มีความแม่นยำสูงได้จึงประยุกต์ Neural Network ที่สามารถประมาณการฟังก์ชันที่ไม่เป็นเส้นตรงกับความแม่นยำแบบสุ่มได้ อัลกอริทึมแบบนี้เลือกตัวอย่างเพื่อที่จะฝึก Neural Network แล้วทำการจับคู่จุดลักษณะเฉพาะ ดังนั้นอัลกอริทึมเช่นนี้จึงสามารถพัฒนาความแม่นยำในการจับคู่ได้</p> <p><b>ขั้นตอนที่ 1</b> การเตรียมภาพ (Preprocess image) กระบวนการทำงานประกอบไปด้วยการทำภาพให้มีพื้นฐานเป็นค่าความเทา (Grayscale) แล้วทำการบิดภาพและทำการคัดแยกลักษณะเฉพาะต่าง ๆ</p>
------------------	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

	<p><b>ขั้นตอนที่ 2</b> การออกแบบโครงสร้าง Neural Network ที่เหมาะสม</p> <p><b>ขั้นตอนที่ 3</b> เลือกตัวอย่างที่จะนำมาฝึก แล้วฝึก Neural Network</p> <p><b>ขั้นตอนที่ 4</b> จับคู่ภาพด้วย Neural Network ที่ผ่านการฝึกมา</p>
ลักษณะเฉพาะของอัลกอริทึม	<p>Neural Network มีความสามารถในด้านความทั่วไป (สามารถใช้ได้ในหลายๆกรณี), การเชื่อมโยงกันแบบไม่เป็นฟังก์ชันเส้นตรง, ความสามารถในการปรับตัว, การจัดการตัวเอง และระดับในการทำงานแบบคู่ขนาน ความถูกต้องในการจับคู่ของจัดลักษณะเฉพาะ (Feature points) ในภาพนั้นสูงจากการใช้ Neural Network แต่ความเร็วในการทำนายของ Neural Network นั้นช้า และผิดพลาดได้ง่ายจากค่า Local minimum มากไปกว่านั้นคือการทำที่จำเป็นต้องจำแนกลักษณะเฉพาะในภาพ โดยปกติแล้วในภาพจะมีข้อมูลที่ไม่ทราบค่ามากมาย ดังนั้นความยากในการคัดแยกลักษณะเฉพาะก็จะเพิ่มมากขึ้นและนำไปสู่ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของ Neural Network ถูกลดลงไป</p>
การพัฒนาล่าสุด	<p>ในการแก้ปัญหาที่ว่าฟังก์ชันนั้นจะผิดพลาดได้ง่ายจากการเลือกค่า Local minimum หลังจากที่ได้ดำเนินการอัลกอริทึมไปแล้ว</p>

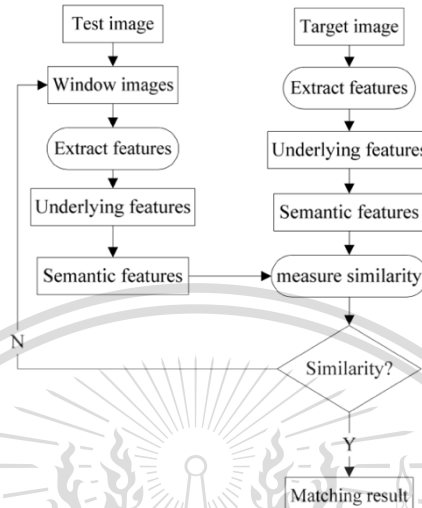
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากการจดจำแบบอาศัยความหมาย

(Image matching algorithm based on the semantic recognition)



รูปที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากการจดจำแบบอาศัยความหมาย

ตารางที่ 2.10 แสดงความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากการจดจำแบบอาศัยความหมาย

<p>ความรู้เบื้องต้น</p>	<p>อัลกอริทึมประเภทนี้ใช้ข้อมูลเชิงตรรกะในการจับคู่ภาพ เริ่มต้นจากลักษณะเฉพาะที่เห็นได้ชัดและมีนัยยะสำคัญถูกคัดแยกออกมา เช่น สี, เส้น, และค่าเส้นขอบวัตถุของภาพ ต่อมาค่าเชิงตรรกะระดับสูง จะถูกเข้ามาครอบลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะนั้น ๆ เกิดเป็นข้อมูลความหมาย (Semantic feature) แล้วสุดท้ายข้อมูลความหมายนี้ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจความคล้ายของภาพเพื่อระบุภาพเป้าหมาย และเข้าใจการจับคู่ภาพ</p>
<p>ลักษณะเฉพาะของอัลกอริทึม</p>	<p>ข้อมูลความหมาย แสดงถึงความเข้าใจในเนื้อหาของภาพ ซึ่งอัลกอริทึมประเภทนี้มีความใกล้เคียงกับการตระหนักรู้ของประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์ในการให้ความหมายของภาพ ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการที่จะเข้าใจความฉลาดในการจับคู่ภาพ อัลกอริทึมเชื่อมต่อกับข้อมูลของภาพด้วยความหมายแบบนามธรรมของตัวเอง เป้าหมายของการศึกษาคือเพื่อที่จะสร้างอัลกอริทึมเชิงตรรกะที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use

	<p>แต่ปัญหาหลักที่ต้องแก้ไข คือ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ทำอย่างไรให้ได้มาซึ่งข้อมูลความหมายเชิงลึก (High-level semantic features) จากกระบวนการการแยกภาพที่มีพื้นฐานจากการมองเห็น (Underlying visual feature)</li> <li>2) ข้อมูลของภาพมีขนาดใหญ่ และข้อมูลความหมายก็ซับซ้อน</li> <li>3) วิธีการที่จะคัดแยกข้อมูลความหมายอย่างถูกต้องและทำให้มันเข้าใจความหมายของภาพนั้นอย่างถาวร</li> </ol>
การพัฒนาล่าสุด	<p>ความรู้ในอัลกอริทึมแบบนี้คือการใช้กระบวนการการแยกภาพที่มีพื้นฐานจากการมองเห็นเท่านั้น ซึ่งปัจจุบันถือว่าเป็นหัวข้อที่ถูกพูดถึงเป็นอย่างมากในด้านการจับคู่ภาพ</p>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้เขียนสรุปงานวิจัยของแต่ละคนไว้ ดังนี้

Yi, B., et al. (2013) ได้ทำการศึกษาวิธีการเร่งอัลกอริทึมการจับคู่ภาพแบบ NCC (A fast matching algorithm with feature points based on NCC) โดยเริ่มจากใช้ Harris Operation เข้ามาช่วยหา feature แล้วดูทิศทางหลักของ feature points เหล่านั้น หลังจากนั้นนำ HOG เข้ามาจับเพื่อคัดกรองจุดที่ไม่เข้ากับทิศทางหลักให้ออกไป เพื่อลดการคำนวณ อีกทั้งยังมีการนำเมทริกซ์จับคู่เข้ามาช่วยโดยการคำนวณสัมประสิทธิ์ค่าความสัมพันธ์ เก็บไว้ในเมทริกซ์จับคู่ เพื่อลดกระบวนการหาจุดซ้ำ ๆ ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำให้การทำงานไวขึ้น แต่ข้อจำกัดคือใช้ในภาพที่มีการบิดน้อย

Zhao, X., et al. (2006) ได้ทำการศึกษากระบวนการจับคู่ภาพโดยทำการพัฒนา NCC ขึ้นมาเพื่อใช้กับภาพที่มีการบิดมาก ซึ่งวิธีการทำคือ คัดแยกจุดที่มีลักษณะเฉพาะ (Feature points) ออกมาทั้ง 2 ภาพ แล้วทำการหาสเกลของลักษณะเฉพาะ (Feature scale) เพื่อกำหนดหน้าต่างของฟังก์ชันความสัมพันธ์ปกติแบบไขว้ (Cross correlation) แล้วใช้ฮิสโตแกรม (Histogram based) ในการช่วยหาทิศทางหลัก (Dominant direction) หลังจากที่เราได้ขนาดของหน้าต่างของฟังก์ชันความสัมพันธ์ปกติแบบไขว้ (Cross correlation) ของภาพอ้างอิงและภาพเป้าหมาย แล้วภาพเหล่านั้นจะถูกหมุนด้วยมุมหรือทิศทางหลักของภาพตามที่ได้จากฮิสโตแกรม หลังจากนั้นทำการวัดค่าความคล้ายเพื่อจับคู่ภาพ แล้วใช้เรขาคณิตอีพิโพลาร์ (Epipolar geometry) เข้ามาช่วยในการกำจัดภาพที่จับคู่ผิด โดยใช้การประมาณของ RANSAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการหาจุด

### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

#### 3.1.1 Matlab

Matlab เป็นโปรแกรมสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข และ Visualization ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยโปรแกรม “Matlab” ย่อมาจากคำเต็มว่า MATrix LABoratory โดยโปรแกรม Matlab อยู่บนพื้นฐานของการคำนวณทางเมตริกซ์ (Matrix Manipulation and Computation) เป็นหลัก นอกจากนี้ยังสามารถทำงานแบบโต้ตอบ (interactive) ซึ่งคล้ายกับ ภาษา Basic ในโปรแกรม QBasic และแบบ compiled mode คล้ายกับภาษา C และ Pascal และยังสามารถใช้ Matlab เป็นเสมือนเครื่องคิดเลข เพื่อทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ทันที

##### 3.1.1.1 ลักษณะสำคัญของโปรแกรม

- Matlab เป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลข และรูปภาพ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสามารถ ทำการเขียนกราฟทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ได้อย่างง่ายดาย และมีประสิทธิภาพ
- สามารถควบคุมการทำงานของ Matlab ด้วยชุดคำสั่ง (command line) และยังสามารถรวบรวมชุดคำสั่ง เป็นโปรแกรม (script file) ได้ด้วย
- ลักษณะการเขียนโปรแกรมใน Matlab จะใกล้เคียงการเขียนสมการคณิตศาสตร์ที่คุ้นเคยจึงง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาชั้นสูง เช่น ภาษา C, Pascal, Fortran และอื่น ๆ
- Matlab มีฟังก์ชันสำเร็จรูป (built-in function) เพื่อทำงานเฉพาะทางมากมาย นอกจากนี้ยังสามารถเขียนฟังก์ชันขึ้นมาใหม่โดยใช้ประโยชน์จากฟังก์ชันที่มีอยู่เดิมได้เพื่อให้เหมาะสมกับงานของผู้ใช้แต่ละกลุ่ม ในกรณีของการใช้งานเฉพาะทางขั้นสูง เช่น งานด้าน Control, Image Processing, Artificial Neural Network หรืออื่น ๆ นอกจากนี้ Matlab ยังมี toolbox หรือชุด function พิเศษ เพื่อทำงานเฉพาะทางนั้น ๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หรือชุด function พิเศษ เพื่อทำงานเฉพาะทางนั้น ๆ ด้วย  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.1.2 ชุดคำสั่งพิเศษ (Toolboxes) ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

- ชุดคำสั่งเกี่ยวกับการทำแผนที่ (Mapping Toolbox)

ชุดคำสั่งเกี่ยวกับการทำแผนที่ช่วยจัดหาอัลกอริทึมและฟังก์ชันสำหรับการเปลี่ยนข้อมูลทางภูมิศาสตร์และแสดงผลภาพแผนที่ที่สามารถเห็นข้อมูลในบริบทของภูมิศาสตร์ และสามารถเปลี่ยนข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายมาเป็นข้อมูลในระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่เหมาะสม

นอกจากนี้ชุดคำสั่งเกี่ยวกับการทำแผนที่ช่วยในการเติมเต็มการทำงานสำหรับการจัดการข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สามารถนำเข้าข้อมูลแสดงทิศทาง (Vector) และข้อมูลลักษณะเป็นกริด (Raster) จากไฟล์หลากหลายรูปแบบและเซิร์ฟเวอร์ของแผนที่ได้ โดยชุดคำสั่งนี้ช่วยให้สามารถจัดการกับข้อมูลได้โดยการตัดแต่ง การแก้ไข การสร้างตัวอย่างใหม่ การเปลี่ยนระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ และเทคนิคอื่นๆมากมาย โดยข้อมูลสามารถรวมเข้ากับข้อมูลชั้นแผนที่จากหลากหลายแหล่งข้อมูลในการแสดงผลภาพแผนที่ 1 ภาพ นอกจากนี้ยังสามารถส่งออกข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ เช่น shapefile, GeoTIFF, and KML

- ชุดคำสั่งเกี่ยวกับการจัดการภาพ (Image Processing Toolbox)

ชุดคำสั่งเกี่ยวกับการจัดการภาพช่วยจัดหาเซตอัลกอริทึมมาตรฐานอ้างอิงแบบครอบคลุมการใช้งาน และการทำงานของแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการภาพวิเคราะห์ การมองเห็นภาพ และการพัฒนาอัลกอริทึม โดยสามารถแสดงการแบ่งส่วนภาพ การเพิ่มประสิทธิภาพของภาพ การลดสิ่งรบกวน การเปลี่ยนรูปแบบแบบ 3 มิติ การขึ้นทะเบียนภาพ และการจัดการภาพแบบ 3 มิติ

โดยอัลกอริทึมสามารถเพิ่มความเร็วในการทำงานได้โดยให้อัลกอริทึมทำงานในเครื่องประมวลผลแบบ multicores และ GPUs ชุดคำสั่งพิเศษหลายชุดสามารถใช้งานได้ใน C/C++ สำหรับการสร้างต้นแบบเดสก์ท็อป และฝังการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับพัฒนาระบบการมองเห็นภาพเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.




Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.2 Python

Python เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการ (OS) กล่าวคือ สามารถนำไปใช้บน OS ใดก็ได้ (Cross-platform) นอกจากนี้ Python ภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับสูง (High-level programming language) ดังนั้นจึงมีความใกล้เคียงภาษามนุษย์ (Natural language) มากกว่าภาษาของคอมพิวเตอร์ (Machine language) และยังมี Libraries มากมายที่ถูกพัฒนาและมีให้เลือกใช้งาน ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาอัลกอริทึม

#### 3.1.2.1 Libraries ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 Libraries ที่ใช้ในการงานวิจัย

Libraries	สาเหตุที่ใช้
	<b>GDAL:</b> เป็นเครื่องมือหลักในการบริหารจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งรวมถึงข้อมูล Vector และ Raster
	<b>OpenCV:</b> เป็นเครื่องมือทางด้าน Computer Vision ที่ได้รับการยอมรับและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยในการพัฒนาระบบในโครงการนี้ จะนำ OpenCV มาช่วยทางด้านกระบวนการ Image Processing ของข้อมูลภาพ
	<b>Numpy:</b> เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์ข้อมูลประเภท Matrix และ Array อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อมูลประเภทนี้เป็นลักษณะของข้อมูล Raster

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.2 กระบวนการและขั้นตอนการดำเนินงาน (Methodology)

กระบวนการและขั้นตอนการดำเนินงานจากตารางที่ 1.1 แสดงตารางแผนการทำงาน มีกรอบแนวคิดในการพัฒนา ดังนี้

### 3.2.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมการจับคู่

ในการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกับอัลกอริทึมการจับคู่ภาพ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาอัลกอริทึมเกี่ยวกับการจับคู่ภาพแบบต่าง ๆ โดยสนใจที่การพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแบบ Area-based Matching Algorithm เป็นหลักเนื่องจากเป็นการเริ่มต้นการพัฒนาอัลกอริทึมจับคู่ภาพจึงเลือกการพัฒนาที่ง่ายที่สุดและเพื่อให้เข้าใจกระบวนการจับคู่เบื้องต้นอย่างถ่องแท้ก่อนที่จะประยุกต์วิธีการอื่นเข้ามาในอัลกอริทึม เพื่อให้ทำให้อัลกอริทึมมีความถูกต้องและประสิทธิภาพสูงขึ้น

### 3.2.2 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่

ในการศึกษาโปรแกรมที่ใช้พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่ภาพ เริ่มต้นได้เลือกศึกษาโปรแกรม Matlab เพื่อทดสอบแนวความคิดในการพัฒนาอัลกอริทึม (Idea Test) เนื่องจากโปรแกรมหาดังกล่าวมีพื้นฐานอยู่บนการทำงานของระบบเมทริกซ์ ดังนั้นในการทำงานกับภาพ และขั้นตอนของการแสดงผลภาพ รวมไปถึงการตรวจสอบอัลกอริทึมอย่างง่ายจึงทำได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีเครื่องมือ (Toolboxes) ที่เกี่ยวกับภาพมากมาย เช่น Mapping Toolbox, Image Processing Toolbox เป็นต้น ต่อมาจึงได้ศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมบนภาษา Python เพื่อทดสอบกับชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียมขนาดเต็มผืนภาพ (Full Scene Size)

### 3.2.3 ศึกษาและออกแบบโครงสร้างการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด

ในการศึกษาและออกแบบโครงสร้างการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่ภาพ ได้ทำการเลือกอัลกอริทึมที่มีพื้นฐานมาจากวิธีการ Area-based Matching Algorithm อีกทั้งยังมีการนำความรู้เกี่ยวกับระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM Coordination) เข้ามาช่วยระบุตำแหน่งของจุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาจุดในภาพเป้าหมายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2.4 พัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด

ในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดนั้น มีพื้นฐานมาจากวิธีการ Area-based Matching Algorithm เป็นหลัก อีกทั้งยังมีการนำพิกัดค่ายูทีเอ็ม (UTM Coordination) เข้ามาใช้เพื่อเป็นการระบุตำแหน่งของจุดคร่าวๆ ก่อนที่จะขยายขอบเขตจากพิกัดดังกล่าวออกไปเป็นระยะหนึ่ง (Subsetting Image) เพื่อกำหนดขอบเขตและเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคู่จุด โดยมีวิธีการดังนี้

- นำเข้าตัวแปรนำเข้า ซึ่งได้แก่ รูปภาพแบบ Geo-referencing และค่าพิกัดยูทีเอ็ม (UTM Coordination) ของจุดที่ต้องการตรวจสอบ
- เปลี่ยนระบบพิกัดยูทีเอ็มเป็นตำแหน่งของ pixel ในภาพแล้วทำการขยายขอบเขตการค้นหาจุด แล้วตัดรูปดังกล่าว (Subsetting Image)
- คำนวณหาค่าความเหมือนของ feature ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่าจุดทั้ง 2 จุดมีความคล้ายกันมากน้อยเพียงใด โดยเปรียบเทียบระหว่าง Template จากภาพอ้างอิง และ Kernel Window จากภาพเป้าหมายที่วิ่งอยู่บน Subsetting Image
- ระบุคู่จุดบนภาพเป้าหมาย จากการหาตำแหน่งจุดที่ให้ค่าความเหมือนของ feature ต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดขึ้นอยู่กับสมการหาค่าความเหมือนที่ใช้
- ตรวจสอบความถูกต้องด้วยการใช้คนตรวจสอบ (Manual Work) แล้วระบุว่าอัลกอริทึมสามารถทำงานได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด

### 3.2.5 ตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการจับคู่จุด

ในการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการจับคู่จุด ได้ทำการรับค่าตัวแปรนำเข้าแบบรูปภาพให้เป็นภาพเดียวกัน คือ ภาพอ้างอิง และ ภาพเป้าหมายเป็นภาพเดียวกัน ดังนั้น การทำงานของอัลกอริทึมจะต้องแสดงผล 3 อย่าง เพื่อยืนยันว่าอัลกอริทึมมีความถูกต้อง 100 % ได้แก่

- ค่าความเหมือนของ feature เท่ากับ 1.00 เสมอ ในกรณีของวิธีแบบ Normalization และ เท่ากับ 0.00 เสมอ ในกรณีของวิธี Square Difference Normalization
- ตำแหน่งของค่าตัวแปรดังกล่าว จะต้องเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่รับเข้า หรือ ค่าความผิดพลาด (Error) เท่ากับ 0

- การจับคู่จุดของอัลกอริทึมจะต้องถูกต้องในทุกคู่จุด (100% Matching Correction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือแจกจ่ายให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2.6 ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึม

ในการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมนั้น เป็นการศึกษาผลของอัลกอริทึมจากการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ภายในอัลกอริทึม ได้แก่ ลักษณะเฉพาะของจุด, ขนาดของ Kernel Size, ขนาดของ Subsetting Image และสมการที่ใช้หาค่าความเหมือน

### 3.2.7 เลือกค่าตัวแปรที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุด

ในขั้นตอนการเลือกค่าตัวแปรที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดนั้น เลือกจากการศึกษาผลการทำงานของแต่ละตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุดและตัวแปรลักษณะเฉพาะของภาพ แล้วเลือกค่าที่แสดงผลที่ดีที่สุดมาใช้ในอัลกอริทึมการจับคู่จุด เพื่อตั้งค่าเหล่านี้เป็นค่าเริ่มต้น (Default) ของอัลกอริทึมแล้วทำการพัฒนาอัลกอริทึม (Developed Algorithm) ต่อไป

### 3.2.8 ทดสอบอัลกอริทึมการจับคู่จุด

ในขั้นตอนการทดสอบอัลกอริทึมการจับคู่จุดที่ได้พัฒนาขึ้นมา นั้น ทำได้โดยการตั้งค่าเริ่มต้นที่สำคัญต่าง ๆ ไว้แล้ว ก่อนที่จะทดสอบด้วยการใส่ตัวแปรรับเข้า ซึ่งได้แก่ รูปภาพแบบ Geo-referencing และค่าพิกัดยูทีเอ็ม (UTM Coordination) หลังจากทีอัลกอริทึมทำงานสำเร็จก็จะตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมด้วยการใช้คนตรวจสอบว่า จุดที่อัลกอริทึมได้จับคู่ให้มานั้น มีความถูกต้องหรือไม่

### 3.2.9 เขียนรายงาน

ในขั้นตอนการเขียนรายงาน เป็นการเขียนรายงานผลลัพธ์ของการทำงานของอัลกอริทึมการจับคู่จุด และ ผลลัพธ์ของตัวแปรที่ศึกษาในอัลกอริทึมการจับคู่จุด

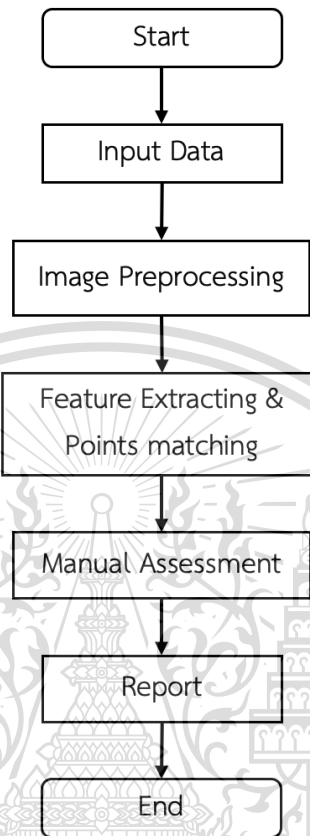
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการหาจุดจุด

#### 3.3.1 สถาปัตยกรรมของอัลกอริทึม (Algorithm architecture)



รูปที่ 3.1 แสดงสถาปัตยกรรมหลักของอัลกอริทึม

##### 3.3.1.1 การรับข้อมูล (Input data)

ในขั้นตอนเริ่มต้นของอัลกอริทึม คือ ขั้นตอนของการรับข้อมูล โดยข้อมูลดังกล่าว ได้แก่ ข้อมูลภาพและข้อมูลจุด ซึ่งข้อมูลภาพได้แก่ ภาพอ้างอิงและภาพเป้าหมายที่เป็นภาพที่มีค่าความละเอียดจุด (Ground Sample Distance: GSD) เท่ากัน และประเภทไฟล์ภาพเป็นแบบ GeoTIFF (Geo-referencing Image) ซึ่งเป็นข้อมูลภาพที่มีระบบพิกัดอยู่ในข้อมูลภาพและใช้คำสั่งใน GDAL Library ในการเก็บค่า metadata ของภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลจุด ได้แก่ ข้อมูลจุดระบบพิกัดแบบยูทีเอ็ม (UTM Coordination) ประเภทไฟล์ภาพเป็นแบบ Shapefile โดยข้อมูลนำเข้าเหล่านั้นจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของ Array จาก Numpy Library

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

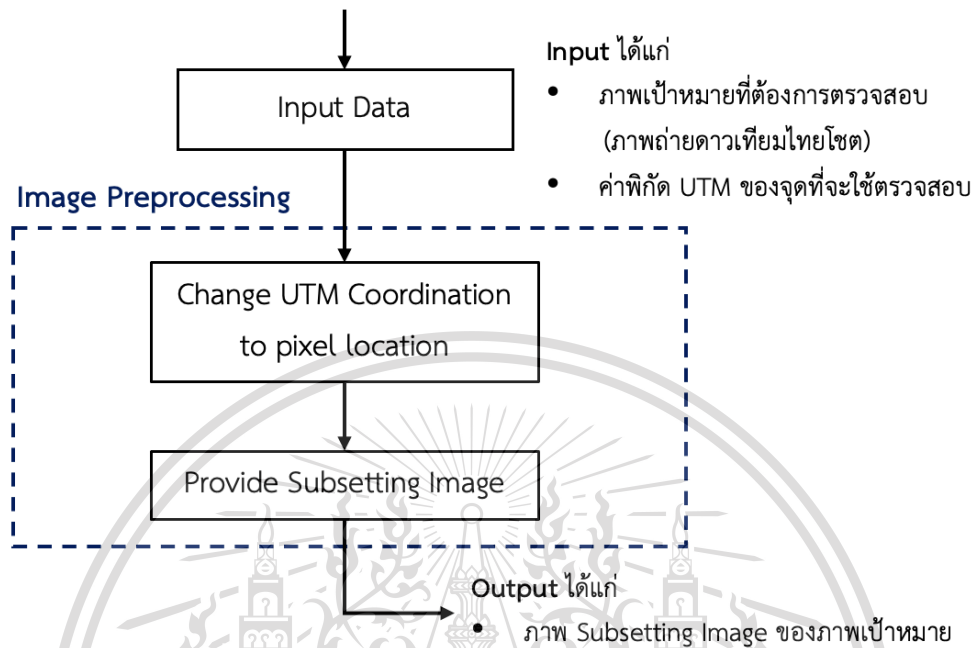
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.1.2 สถาปัตยกรรมของการเตรียมภาพ

(Image Preprocessing Algorithm architecture)



รูปที่ 3.2 แสดงสถาปัตยกรรมของการเตรียมภาพ

- การเปลี่ยนค่าจุดระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM Coordination) เป็นตำแหน่งของ pixel ในภาพ (Change UTM coordination to pixel location)

ในขั้นตอนการเปลี่ยนค่าระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM Coordination) เป็นตำแหน่งของ pixel ในภาพ เริ่มต้นจากการนำค่าพิกัด X ที่ขอบภาพด้านซ้ายและความมาลบกัน แล้วหารด้วยจำนวน column ทั้งหมด จะได้เป็นค่าขนาดหรือระยะทางบนพื้นผิวภูมิประเทศ (GSD) หลังจากนั้นนำค่าจุดระบบพิกัดยูทีเอ็มที่รับเข้ามาลบกับ (X,Y) ที่น้อยที่สุดแล้วหารด้วยค่า GSD จะได้เป็นค่าของความต่างของ row และ column

โดยตำแหน่ง pixel ใน row (ข้อมูลค่าพิกัด Y) หาได้จาก จำนวน row ทั้งหมดลบ ค่าความต่างของ row และ ตำแหน่ง pixel ใน column(ข้อมูลพิกัด X) หาได้จาก ค่าความต่างของ column

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 ภาพบนแสดงตำแหน่งจุดบนระบบพิกัดแบบ UTM ภาพล่างแสดงตำแหน่งพิกัดบนระบบ pixel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

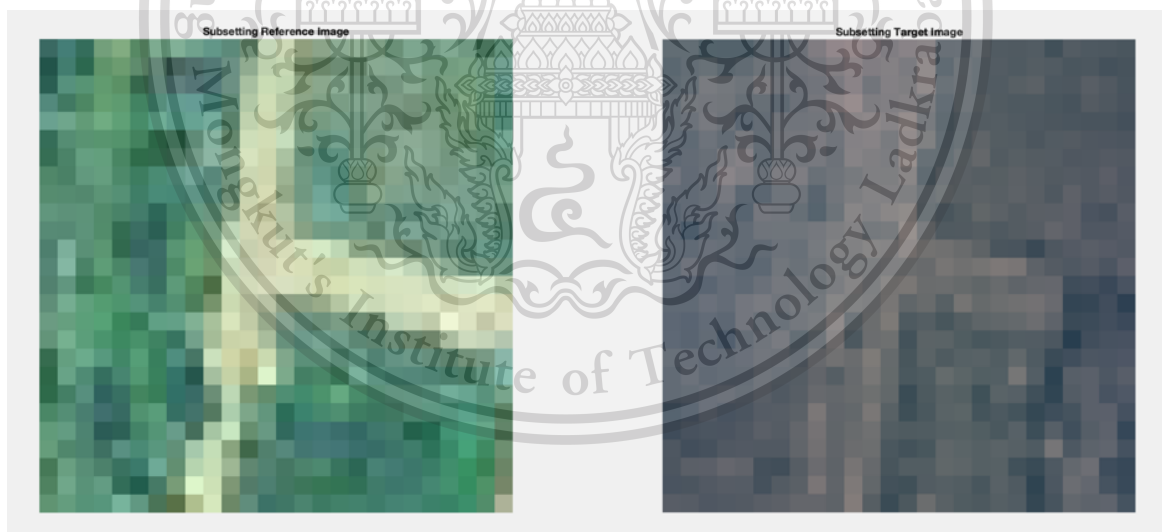
- การตัดภาพขนาดเล็กที่มีความเกี่ยวข้องกันกับจุดระบบพิกัดยูทีเอ็ม (Provide subsetting Image)

แบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรับค่าขนาดของภาพขนาดเล็กที่มีความเกี่ยวข้องกันกับจุดระบบพิกัดยูทีเอ็ม โดยทำการรับค่าตัวเลขเข้ามา เรียกว่า ค่าความต่างชดเชย (Delta offset)

ขั้นตอนที่ 2 การหาค่าจุดมุมของภาพขนาดเล็กที่มีความเกี่ยวข้องกันกับจุดระบบพิกัดยูทีเอ็ม โดยเริ่มต้นจากการนำ ค่าความต่างชดเชย หาค่าด้วยสองเท่าของค่า GSD หลังจากนั้นนำค่าดังกล่าวไปลบกับ ตำแหน่ง pixel ของจุดที่รับค่าเข้ามา

ขั้นตอนที่ 3 การตัดภาพขนาดเล็กที่มีความเกี่ยวข้องกันกับจุดระบบพิกัดยูทีเอ็ม



รูปที่ 3.4 แสดงผลลัพธ์ในการตัดภาพขนาดเล็ก (Subsetting Image)

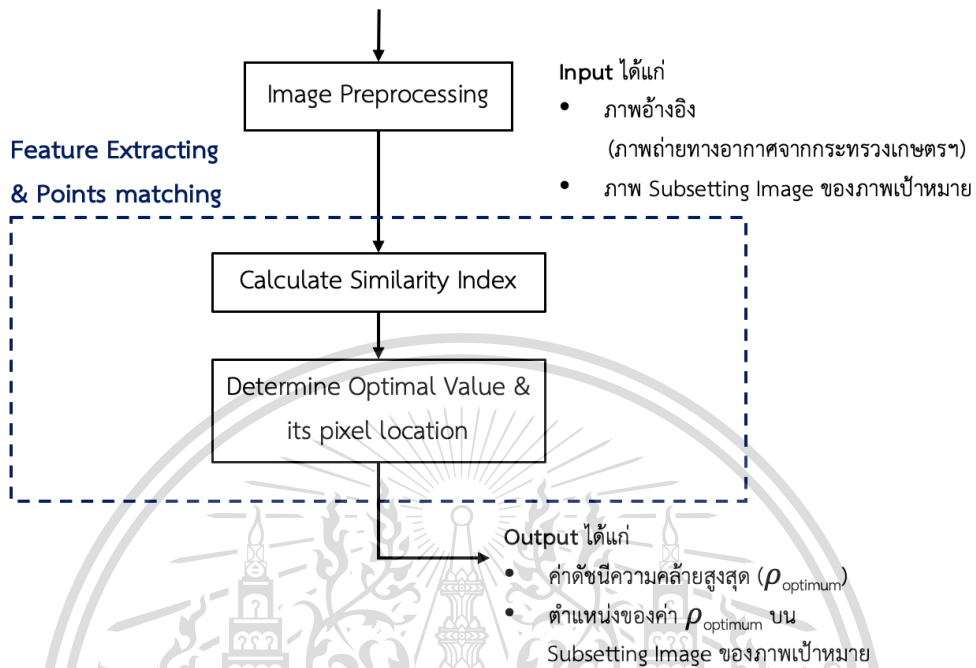
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.1.3 สถาปัตยกรรมของการคัดแยกลักษณะเฉพาะและการจับคู่จุด

(Feature extracting and Points matching Algorithm architecture)

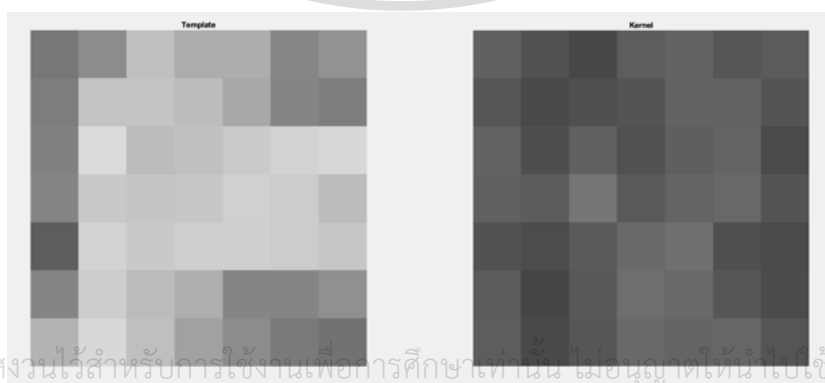


รูปที่ 3.5 แสดงแผนการทำงานของ การคัดแยกลักษณะเฉพาะและการจับคู่จุด

- การหาค่าดัชนีความคล้าย (Calculate Similarity Index)

แบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรับค่าขนาดหน้าต่าง Kernel (Kernel sizes) โดยขนาดหน้าต่าง Kernel นั้นจะนำไปใช้ในการตัดภาพย่อยในภาพเป้าหมาย (Kernel Running) และภาพอ้างอิง (Template)

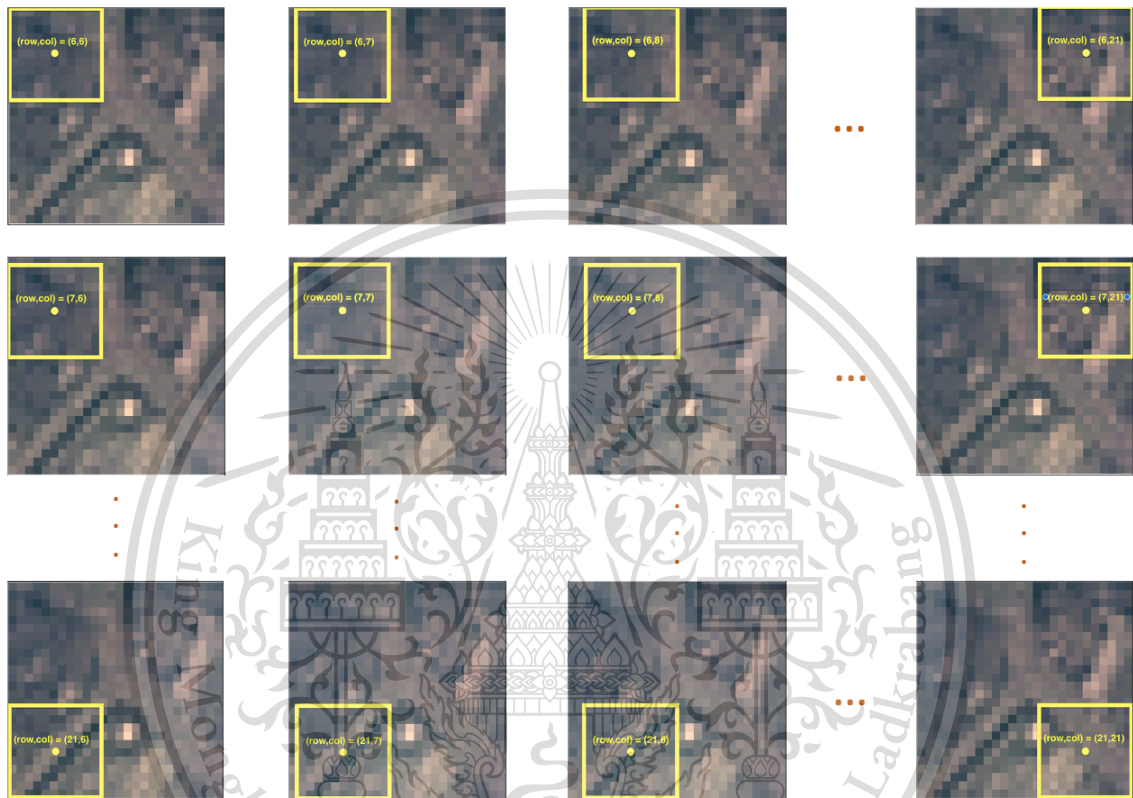


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 3.6 ด้านซ้ายแสดงตัวอย่างภาพย่อยในภาพอ้างอิง (Template) ด้านขวาแสดงตัวอย่างภาพย่อยในภาพเป้าหมาย (Kernel) นำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นตอนที่ 2 การตัดภาพย่อยในภาพเป้าหมาย โดยทำการตัดภาพเป้าหมาย ขนาดเท่ากับขนาดหน้าต่าง Kernel ตลอดทั้งผืนภาพ โดยเริ่มต้นตัดภาพจาก มุมซ้ายบน แล้วขยับ pixel ไปทางขวาแล้วลงไปตัดแถวล่างถัดไปหลังจากตัด ภาพหมดทั้ง column แล้ว



รูปที่ 3.7 แสดงการเคลื่อนของหน้าต่าง Kernel (Kernel Running)

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าดัชนีความคล้าย (Similarity Index) โดยนำภาพทั้ง 2 ภาพที่ถูกตัดมานั้นมาจากภาพอ้างอิง (Template) และภาพเป้าหมาย (Kernel Running) มาหาค่าดัชนีความคล้าย (Similarity Index) โดยคำนวณ จากภาพที่มีขนาดเท่ากัน จากสมการหาค่าความคล้ายแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การระบุตำแหน่งจุดที่มีความตรงกัน

(Determine optimal value & Locate optimal value)

ในการระบุตำแหน่งของจุดในภาพเป้าหมายที่มีความคล้ายหรือตรงกันกับจุดในภาพอ้างอิงมากที่สุด ทำได้จากการหาตำแหน่ง pixel ที่ให้ค่าดัชนีความคล้ายสูงสุด หรือ ต่ำที่สุด ขึ้นอยู่กับสมการหาค่าความคล้ายที่ใช้ หลังจากนั้นแสดงผลลัพธ์ของจุดในภาพเป้าหมายที่ถูกเลือก



รูปที่ 3.8 ภาพขาว แสดงการระบุตำแหน่งที่มีค่าดัชนีความคล้ายสูงสุดจากสมการ Cross Correlation โดยใช้ภาพบาทสีเหลือง

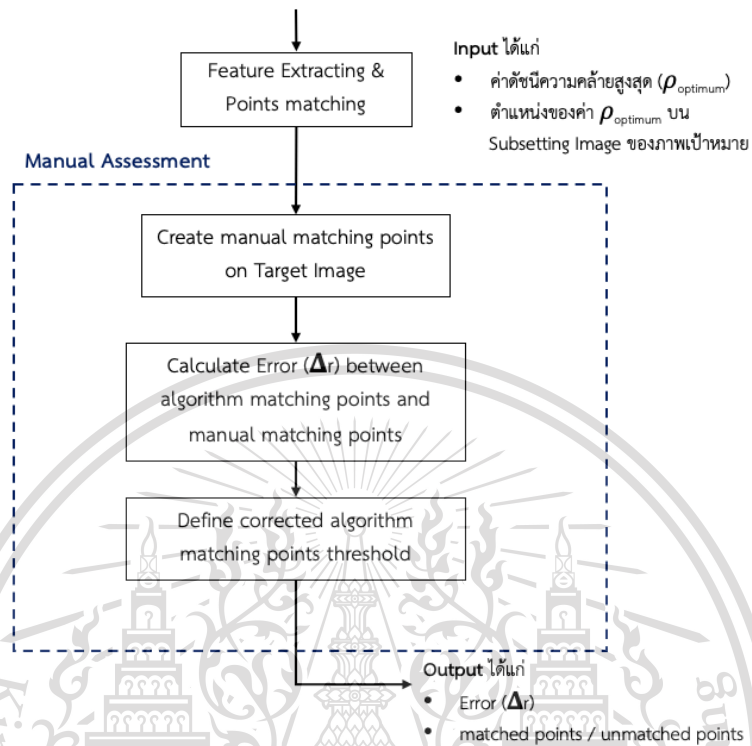
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.1.4 สถาปัตยกรรมของการตรวจสอบโดยมนุษย์

#### (Manual Assessment Algorithm architecture)



รูปที่ 3.9 แสดงแผนการทำงานของ การตรวจสอบโดยคน

ในการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมนั้น ทำได้โดยการใช้คนในการตรวจสอบว่าตำแหน่งที่อัลกอริทึมระบุที่มีความถูกต้องหรือไม่ เพราะว่า สายตามนุษย์มีความสามารถในการระบุ Feature ต่าง ๆ บนภาพได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

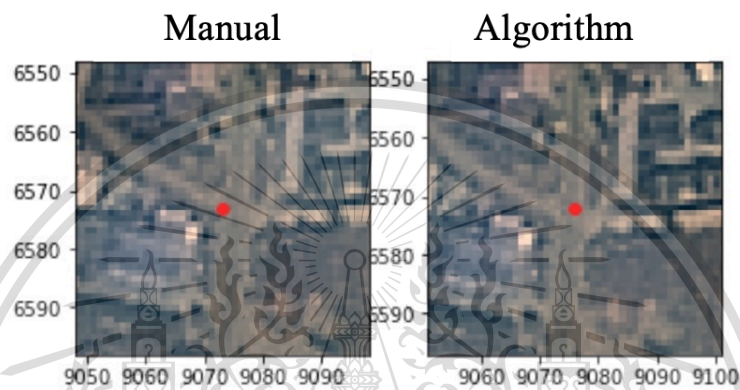
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การสร้างชุดคู่จุดบนภาพเป้าหมายโดยมนุษย์

(Create manual matching points on Target Image)

ในการสร้างชุดคู่จุดบนภาพเป้าหมายโดยมนุษย์ จะใช้ข้อมูลของชุดจุดตรวจสอบเหมือนกับชุดที่เป็นอินพุตของอัลกอริทึม แต่ใช้สายตามนุษย์ในการหาคู่เหล่านั้นบนภาพเป้าหมาย แล้วเก็บค่าจุดเหล่านั้นไว้เป็นชุดข้อมูลสำหรับการประเมินความถูกต้องของอัลกอริทึม



รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างคู่จุดจากคน และ คู่จุดจากอัลกอริทึม

- การคำนวณค่าความผิดพลาดของอัลกอริทึม (Calculate Error ( $\Delta r$ ))

ในการประเมินความถูกต้องของอัลกอริทึมจะทำการคำนวณค่าความผิดพลาดของอัลกอริทึมจากค่า  $\Delta r$  ระหว่างจุดที่อัลกอริทึมเลือก กับ จุดที่ใช้นมนุษย์เลือก

สมการ 
$$\Delta r = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

$$\Delta X = X_{\text{Manual}} - X_{\text{Algorithm}}$$

$$\Delta Y = Y_{\text{Manual}} - Y_{\text{Algorithm}}$$

โดย  $\Delta r$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง (pixel)

$X_{\text{Manual}}$  คือ ตำแหน่ง Pixel แกนนอนจาก Manual Assessment

$X_{\text{Algorithm}}$  คือ ตำแหน่ง Pixel แกนนอนจาก Algorithm

$Y_{\text{Manual}}$  คือ ตำแหน่ง Pixel แกนตั้งจาก Manual Assessment

$Y_{\text{Algorithm}}$  คือ ตำแหน่ง Pixel แกนตั้งจาก Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

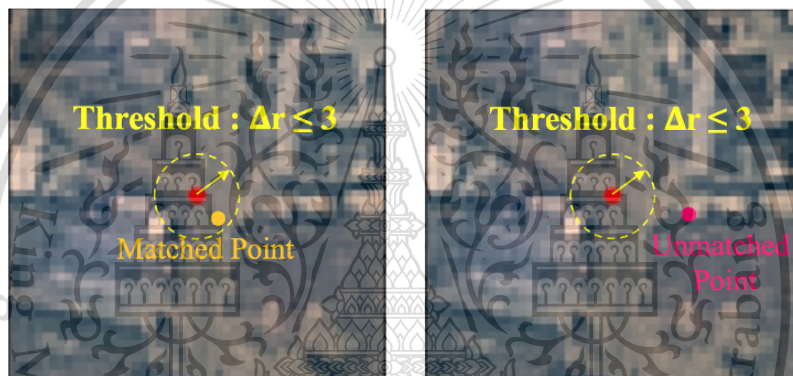
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การกำหนดขอบเขตเพื่อระบุความถูกต้องของการจับคู่จุดของอัลกอริทึม (Define corrected matching points threshold)

ในการตัดแยกว่าจุดใด ๆ ที่อัลกอริทึมเลือกมานั้น ว่าเป็นคู่จุดที่จับคู่ถูกต้องหรือไม่ถูกต้อง จะต้องถูกกำหนดจากค่า  $\Delta r$  ที่ยอมรับได้ โดยในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของจุด เท่ากับ 3 Pixels

ดังนั้น คู่จุดที่มีค่า  $\Delta r$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 pixels จะถูกเก็บค่าว่าเป็นจุดที่จับคู่ถูกต้อง (1) และ คู่จุดที่มีค่า  $\Delta r$  มากกว่า 3 pixels จะถูกเก็บค่าว่าเป็นจุดที่จับคู่ไม่ถูกต้อง (0)



รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการคิดแยกผลการจับคู่จุดของอัลกอริทึมโดยการระบุขอบเขตของ  $\Delta r$

### 3.3.1.5 รายงานผล (Report)

ในส่วนของการรายงานผลของอัลกอริทึมการจับคู่จุด อัลกอริทึมจะคำนวณเปลี่ยนค่าจุดจากค่าตำแหน่ง Pixel ของแต่ละจุดกลับไปสู่ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์แบบยูทีเอ็มแล้ว รายงานผลลัพธ์ในรูปแบบของไฟล์ประเภท Text (.txt) โดยข้อมูลรายงานผลจะประกอบไปด้วย

- ข้อมูลระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบยูทีเอ็มของแต่ละคู่จุด (Matched Points)
- ผลการตรวจสอบการจับคู่จุดของอัลกอริทึม (Result)
- ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของแต่ละคู่จุดในหน่วยเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

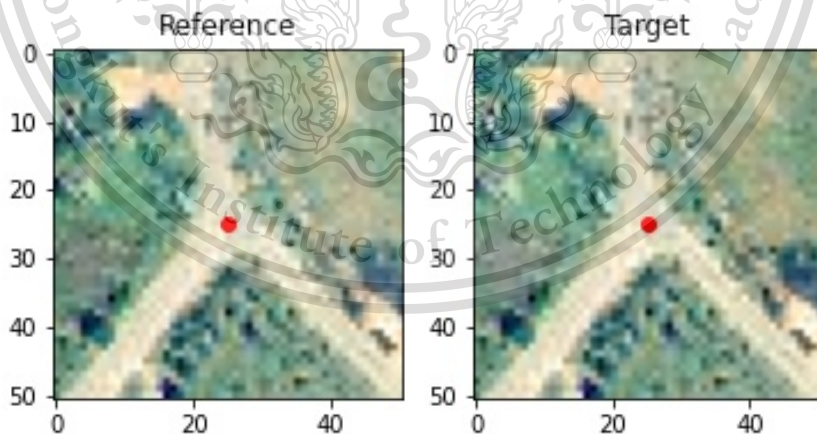
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาคู่จุด (Algorithm validation)

ในการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาคู่จุด ได้ทำใช้ภาพอ้างอิง (Reference Image) ในการเป็นภาพเป้าหมาย (target Image) กล่าวคือ ภาพที่เป็นภาพอ้างอิงและภาพเป้าหมายนั้น คือ ภาพเดียวกัน

ดังนั้น ในขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมจะแสดงผลดังต่อไปนี้ เพื่อยืนยันว่าอัลกอริทึมมีความถูกต้องอย่างแน่นอน

- ค่าดัชนีความคล้าย (Similarity Index) จะต้องได้ค่าต่ำสุด (0.00) หรือสูงสุด (1.00) ในกรณีของสมการที่มีการทำ Normalization หรือขึ้นอยู่กับสมการที่ใช้หาค่าความคล้าย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาพทั้งสองภาพนั้นเป็นจุดเดียวกัน
- ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง ( $\Delta r$ ) มีค่าเป็น 0 กล่าวคือ จุดที่ใช้ในการตรวจสอบและจุดที่อัลกอริทึมหามา จะต้องเป็นจุดเดียวกัน
- ร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึม จะต้องมามีค่าเท่ากับ 100% หมายความว่า ทุกจุดที่ถูกนำเข้าไปตรวจสอบ อัลกอริทึมจะต้องหาคู่จุดบนภาพเป้าหมายถูกต้องทุกจุด



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาคู่จุด (Algorithm Validation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4 ผลลัพธ์การใช้งานอัลกอริทึมการหาจุดและการวิเคราะห์ตัวแปร

### 4.1 ผลลัพธ์จากการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาจุด

จากการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม (Algorithm Validation) โดยทำการตรวจสอบที่ค่าเริ่มต้น (Default) ของอัลกอริทึม ดังนี้

- ตัวแปรขนาดของ Subsetting Images มีค่า  $50 \times 50$  pixel<sup>2</sup>
- ตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel มีค่า  $13 \times 13$  pixel<sup>2</sup>

โดยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมที่ใช้สมการหาความคล้ายที่แตกต่างกัน 7 สมการ เพื่อให้แน่ใจว่าอัลกอริทึมที่มีความถูกต้องในตัวเองแน่นอน โดยสมการที่ใช้ได้แก่ สมการหาความคล้ายจาก OpenCV Library 6 สมการ และสมการ Cross Correlation 1 สมการ ดังนี้

- สมการ Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCoeff)
- สมการ Normalized Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCoeff\_NORMED)
- สมการ Cross-Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCORR)
- สมการ Normalized Cross-Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCORR\_NORMED)
- สมการ Squared difference Matching (cv.TM\_SQDIFF)
- สมการ Normalized squared difference Matching (cv.TM\_SQDIFF\_NORMED)
- สมการ Cross Correlation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการหาจุด

Method		Validated Confirmations		
		Similarity Index	$\Delta r$	%Matching Correction
OpenCV	cv.TM_CCOEFF	18,615.22 - 2,067,855.25	0 - 13.89	96.67
	cv.TM_CCOEFF_NORMED	1	0	100
	cv.TM_CCORR	12,784,731 - 32,049,020	0 - 26.87	40
	cv.TM_CCORR_NORMED	1	0	100
	cv.TM_SQDIFF	0 - 4	0	100
	cv.TM_SQDIFF_NORMED	0	0	100
Cross Correlation		1	0	100

ผลลัพธ์จากการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม พบว่า เมื่อพิจารณาข้อกำหนดเกี่ยวกับการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม แล้วสมการหาความคล้ายที่ให้ความถูกต้องของอัลกอริทึม 100% ได้แก่

- สมการ Normalized Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCOEFF\_NORMED)
- สมการ Normalized Cross-Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCORR\_NORMED)
- สมการ Normalized squared difference Matching (cv.TM\_SQDIFF\_NORMED)
- สมการ Cross Correlation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 4.2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ตัวแปร

### 4.2.1 ผลลัพธ์จากตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด (Characteristic of points)

จากการใช้งานอัลกอริทึมเพื่อศึกษาผลลัพธ์จากตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้น (Default) ของอัลกอริทึมมีค่าดังนี้




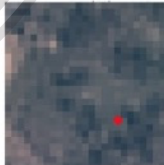








- ตัวแปรขนาดของ Subsetting Images มีค่า 50x50 pixel<sup>2</sup>
- ตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel มีค่า 13x13 pixel<sup>2</sup>
- ตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย ใช้สมการ Cross Correlation

โดยในขั้นตอนการศึกษาตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด ได้ทำการศึกษาจุดทั้งสิ้น 6 จุด และแบ่งประเภทจุดเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- จุดที่มี feature ชัดเจน 3 จุด ได้แก่ จุดบนถนน
- จุดที่มี feature ไม่ชัดเจน 3 จุด ได้แก่ จุดบนพื้น, จุดบริเวณกลางพุ่มไม้

จากการทำงานของอัลกอริทึม เพื่อศึกษาตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด (Characteristic of points) ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด (Characteristic of points)

จุดที่มี feature ชัดเจน		จุดที่มี feature ไม่ชัดเจน	
จุดบนภาพอ้างอิง	จุดบนภาพเป้าหมาย	จุดบนภาพอ้างอิง	จุดบนภาพเป้าหมาย
			
			
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุดจากอัลกอริทึม พบว่า จุดที่มีลักษณะเฉพาะ (feature) ชัดเจน เช่น จุดบนถนน ให้ผลการทำงานของอัลกอริทึมได้ดีกว่า กล่าวคือสามารถหาจุดที่คล้ายกันในภาพเป้าหมายได้ใกล้เคียงกับจุดบนภาพอ้างอิงมากกว่า ขณะที่จุดที่มีลักษณะเฉพาะ (feature) ไม่ชัดเจน เช่น จุดบริเวณกลางพุ่มไม้ หรือ จุดบนพื้น ให้ผลการทำงานของอัลกอริทึมที่ไม่ถูกต้อง และไม่มีนัยยะสำคัญของการจับคู่จุด

#### 4.2.2 ผลลัพธ์จากตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย (Similarity Formulas)

จากการใช้งานอัลกอริทึมเพื่อศึกษาผลลัพธ์จากตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้น (Default) ของอัลกอริทึมมีค่าดังนี้

- ตัวแปรขนาดของ Subsetting Image มีค่า  $50 \times 50 \text{ pixel}^2$
- ตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel มีค่า  $13 \times 13 \text{ pixel}^2$
- ตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุดแบบ feature ชัดเจนจำนวน 30 จุด
- ค่าความละเอียดจุดภาพ (Ground Sample Distance: GSD) ของภาพอ้างอิง เท่ากับภาพเป้าหมาย

โดยในขั้นตอนการศึกษาตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย ได้ทำการศึกษาสมการหาค่าความคล้ายทั้ง 7 สมการ ได้แก่ สมการหาค่าความคล้ายจาก OpenCV Library 6 สมการ และสมการ Cross Correlation 1 สมการ

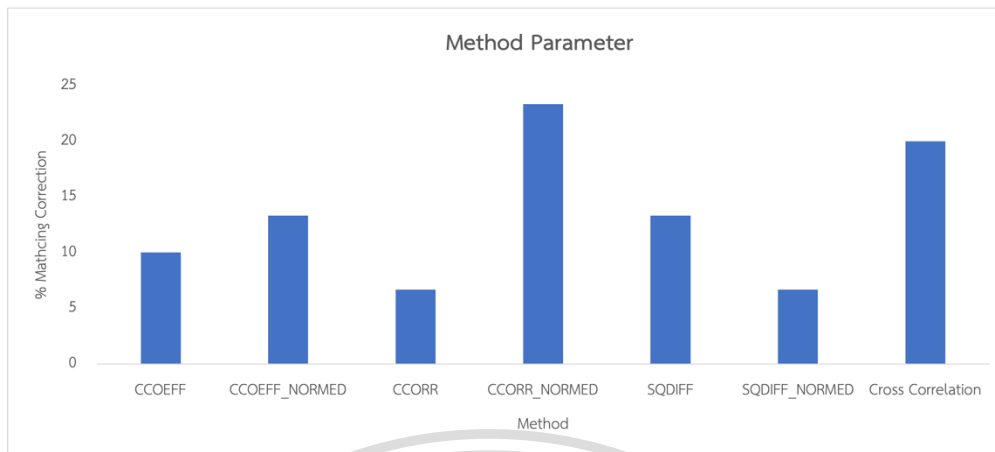
- สมการ Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCoeff)
- สมการ Normalized Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCoeff\_NORMED)
- สมการ Cross-Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCORR)
- สมการ Normalized Cross-Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCORR\_NORMED)
- สมการ Squared difference Matching (cv.TM\_SQDIFF)
- สมการ Normalized squared difference Matching (cv.TM\_SQDIFF\_NORMED)
- สมการ Cross Correlation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิยอนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการทำงานของอัลกอริทึม เพื่อศึกษาตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย ได้ผลลัพธ์ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึมที่สมการหาค่าความคล้าย ต่างกัน 7 สมการ

ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย ที่ขนาดของ Subsetting Image เท่ากับ  $50 \times 50 \text{ pixel}^2$  และ ขนาดหน้าต่าง Kernel เท่ากับ  $13 \times 13 \text{ pixel}^2$  พบว่า สมการที่สามารถจับคู่จุดได้ร้อยละความถูกต้องสูงเป็น 3 อันดับแรก ได้แก่ สมการ Normalized Cross-Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCORR\_NORMED) ร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดอยู่ที่ 23.33%, สมการ Cross Correlation ร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดอยู่ที่ 20% และสมการ Normalized Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCOEFF\_NORMED) ร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดอยู่ที่ 13.33%

#### 4.2.3 ผลลัพธ์จากตัวแปรขนาดของ Subsetting Image

จากการใช้งานอัลกอริทึมเพื่อศึกษาผลลัพธ์จากตัวแปรขนาดของ Subsetting Image โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้น (Default) ของอัลกอริทึมมีค่าดังนี้

- ตัวแปรขนาดของ Kernel Images มีค่า  $13 \times 13 \text{ pixel}^2$
- ตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุดแบบ feature ชัดเจนจำนวน 30 จุด
- ตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย ใช้สมการ Cross Correlation, วิธี Correlation

Coefficient Normalized และ วิธี Cross-Correlation Coefficient Normalized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

● ค่าความละเอียดจุดภาพ (Ground Sampling Distance: GSD) ของภาพอ้างอิงเท่ากับ

ภาพเป้าหมาย

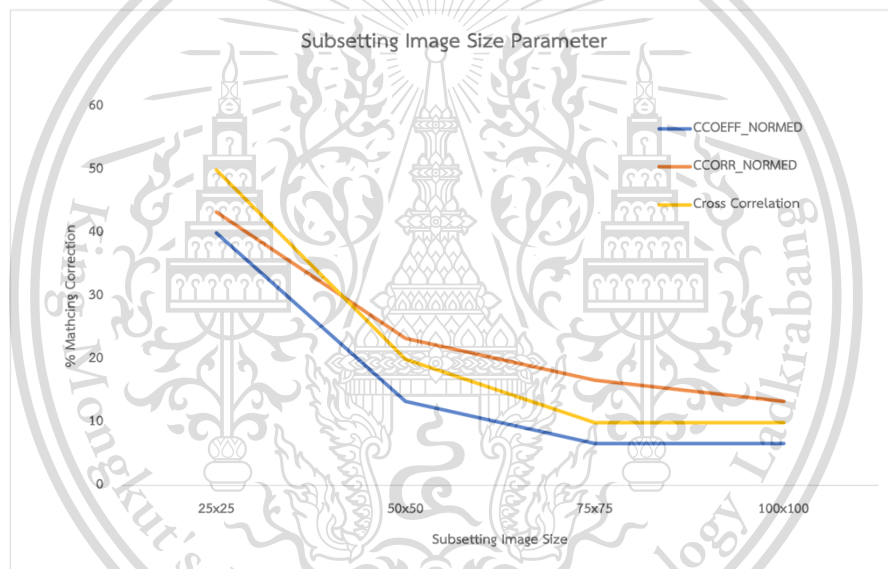
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยในขั้นตอนการศึกษาตัวแปรขนาดของ Subsetting Image ได้ทำการศึกษาขนาดของ Subsetting Image ทั้งสิ้น 4 ขนาด ได้แก่

- Subsetting Image Size ขนาด 25x25 pixel<sup>2</sup>
- Subsetting Image Size ขนาด 50x50 pixel<sup>2</sup>
- Subsetting Image Size ขนาด 75x75 pixel<sup>2</sup>
- Subsetting Image Size ขนาด 100x100 pixel<sup>2</sup>

จากการทำงานของอัลกอริทึม เพื่อศึกษาตัวแปรขนาดของ Subsetting Image ได้ผลลัพธ์ ดังนี้



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึมที่ขนาด Subsetting Image ต่างกัน 4 ขนาด

ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรขนาดของ Subsetting Image ที่ขนาดหน้าต่าง Kernel เท่ากับ 13x13 pixel<sup>2</sup> พบว่า ที่ขนาดของ Subsetting Image เท่ากับ 25x25 pixel<sup>2</sup> อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ 40% - 50%, ที่ขนาดของ Subsetting Image เท่ากับ 50x50 pixel<sup>2</sup> อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ 13% - 23%, ที่ขนาดของ Subsetting Image เท่ากับ 75x75 pixel<sup>2</sup> อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ 6% - 16% และที่ขนาดของ Subsetting Image เท่ากับ 100x100 pixel<sup>2</sup> อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ประมาณ 6% - 13% และจากการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สมการหาค่าความคล้ายแตกต่างกัน 3 สมการนั้นได้ให้ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรขนาดของ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
Subsetting image นี้ไปในการทำงานเดียวกัน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.2.4 ผลลัพธ์จากตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel

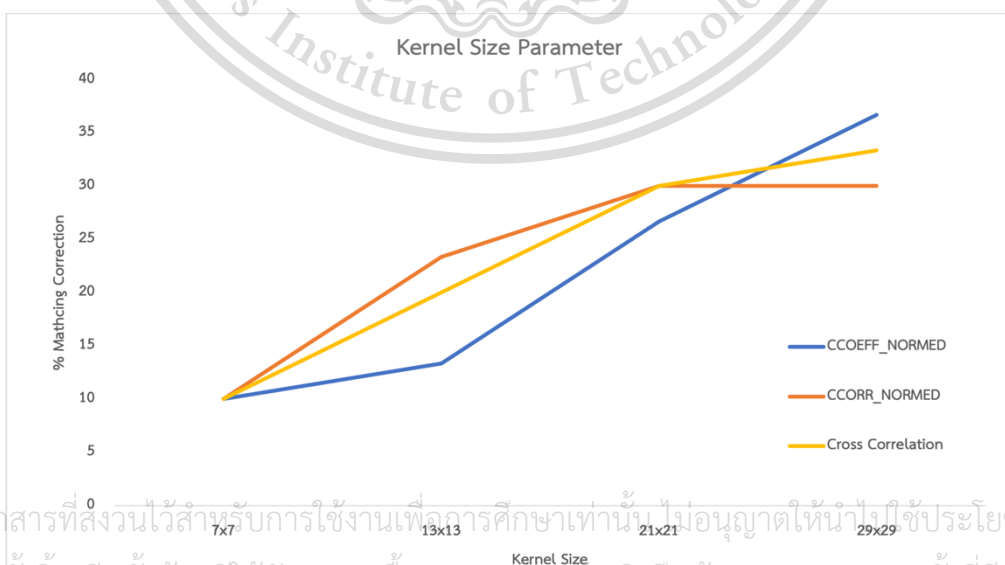
จากการใช้งานอัลกอริทึมเพื่อศึกษาผลลัพธ์จากตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้น (Default) ของอัลกอริทึมมีค่าดังนี้

- ตัวแปรขนาดของ Subsetting Images มีค่า  $50 \times 50$  pixel<sup>2</sup>
- ตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุดแบบ feature ชัดเจนจำนวน 30 จุด
- ตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย ใช้สมการ Cross Correlation, วิธี Correlation Coefficient Normalized และ วิธี Cross-Correlation Coefficient Normalized
- ค่าความละเอียดจุดภาพ (Ground Sampling Distance: GSD) ของภาพอ้างอิงเท่ากับภาพเป้าหมาย

โดยในขั้นตอนการศึกษาตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel ได้ทำการศึกษาขนาดของหน้าต่าง Kernel ทั้งสิ้น 4 ขนาด ได้แก่

- Kernel Size ขนาด  $7 \times 7$  pixel<sup>2</sup>
- Kernel Size ขนาด  $13 \times 13$  pixel<sup>2</sup>
- Kernel Size ขนาด  $21 \times 21$  pixel<sup>2</sup>
- Kernel Size ขนาด  $29 \times 29$  pixel<sup>2</sup>

จากการทำงานของอัลกอริทึม เพื่อศึกษาตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel ได้ผลลัพธ์ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดจากอัลกอริทึมที่ขนาด Kernel ต่างกัน 4 ขนาด

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel ที่ขนาด Subsetting Image เท่ากับ  $50 \times 50 \text{ pixel}^2$  พบว่า ที่ขนาดหน้าต่าง Kernel  $7 \times 7 \text{ pixel}^2$  อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ 10%, ที่ขนาดหน้าต่าง Kernel  $13 \times 13 \text{ pixel}^2$  อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ 13% - 23%, ที่ขนาดหน้าต่าง Kernel  $21 \times 21 \text{ pixel}^2$  อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ 25% - 30% และที่ขนาดหน้าต่าง Kernel  $29 \times 29 \text{ pixel}^2$  อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดถูกอยู่ที่ประมาณ 30% - 36% และจากการใช้สมการหาค่าความคล้ายแตกต่างกัน 3 สมการนั้นได้ให้ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel นี้ไปในทำนองเดียวกัน

#### 4.3 ผลลัพธ์การใช้งานอัลกอริทึมการหาจุด

จากการใช้งานอัลกอริทึมการจับคู่จุด โดยข้อมูลรับเข้า ได้แก่ ข้อมูลภาพและข้อมูลจุด ดังนี้

- ภาพอ้างอิง คือ ภาพภาพถ่ายทางอากาศจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ไฟล์ประเภท GeoTIFF
- ภาพเป้าหมาย คือ ภาพดาวเทียมจากดาวเทียมไทยโชต ไฟล์ประเภท GeoTIFF
- ข้อมูลจุดระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบยูทีเอ็ม (UTM Coordination) ไฟล์ประเภท Shapefile

หลังจากปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อตั้งเป็นค่าเริ่มต้นสำหรับอัลกอริทึมเรียบร้อยแล้ว อัลกอริทึมการจับคู่จุดจะหาจุดของจุดอ้างอิงบนภาพเป้าหมาย แล้วรายงานผลออกมาในรูปแบบของไฟล์แบบ Text (.txt) โดยอัลกอริทึมส่งออกข้อมูลรายงานผล ดังนี้

- ข้อมูลระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบยูทีเอ็มของแต่ละคู่จุด (Matched Points)
- ผลการตรวจสอบการจับคู่จุดของอัลกอริทึม (Result)
- ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของแต่ละคู่จุดในหน่วยเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อทำการศึกษาค่าตัวแปรต่าง ๆ ผ่านการใช้งานอัลกอริทึมการจับคู่จุดแล้วนั้น ได้นำข้อมูลรายงานผลจากอัลกอริทึมของการศึกษาค่าตัวแปรเหล่านี้มาศึกษาค่า  $RMSE_r$  และค่า  $Accuracy_H$  ของแต่ละตัวแปรต่อ โดยได้ทำการศึกษาค่าดังกล่าวจากตัวแปรสมการความคล้าย 3 สมการ ได้แก่ สมการ Normalized Correlation Coefficient Matching (CCOEFF\_NORMED), สมการ Normalized Cross-Correlation Coefficient Matching (CCORR\_NORMED) และสมการ Cross Correlation และจาก 3 สมการนี้ ได้ศึกษาค่าตัวแปรขนาดของ Subsetting Image และ ขนาดของหน้าต่าง Kernel อีกตัวแปรละ 4 ขนาด

โดยเริ่มต้นได้ทำการหาค่า  $RMSE_r$  และค่า  $Accuracy_H$  ระหว่างจุดอ้างอิง (CPs) และคู่จุดที่จุดจากมนุษย์ (Manual Matched Points) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบอัลกอริทึม พบว่าค่า  $RMSE_r$  ของภาพเป้าหมายเท่ากับ 4.807 เมตร และค่า  $Accuracy_H$  เท่ากับ 8.320 เมตร

ต่อมาหาค่า  $RMSE_r$  และค่า  $Accuracy_H$  จากแต่ละตัวแปร โดยนำข้อมูลเฉพาะจุดที่ถูกต้องจากการระบุขอบเขตที่  $\Delta r$  เท่ากับ 3 pixels มาคำนวณค่า  $RMSE_r$  และค่า  $Accuracy_H$  ได้ผล ดังนี้

- ตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย

ตารางที่ 4.3 ค่า  $RMSE_r$  และค่า  $Accuracy_H$  จากตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย

Report	Method Conditions: SI 50x50, K13x13		
	CCOEFF_NORMED	CCORR_NORMED	Cross Correlation
$RMSE_r$ (m)	3.516	4.029	2.953
$Accuracy_H$ (m)	6.086	6.973	5.111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ตัวแปรขนาดของ Subsetting Image (SI)

ตารางที่ 4.4 ค่า  $RMSE_r$  และค่า  $Accuracy_H$  จากตัวแปรขนาดของ Subsetting Image

Methods	$RMSE_r$ (m) [Upper] / $Accuracy_H$ (m) [Lower]			
	SI 25x25	SI 50x50	SI 75x75	SI 100x100
CCOEFF_NORMED	6.570	3.516	3.636	3.636
	11.372	6.086	6.294	6.294
CCORR_NORMED	5.942	4.029	3.969	3.635
	10.285	6.973	6.870	6.292
Cross Correlation	5.111	2.953	2.596	2.596
	8.845	5.111	4.494	4.494

- ตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel (K)

ตารางที่ 4.5 ค่า  $RMSE_r$  และค่า  $Accuracy_H$  จากตัวแปรของหน้าต่าง Kernel

Methods	$RMSE_r$ (m) [Upper] / $Accuracy_H$ (m) [Lower]			
	K 7x7	K 13x13	K 21x21	K 29x29
CCOEFF_NORMED	2.813	3.516	5.548	4.626
	4.870	6.086	9.603	8.007
CCORR_NORMED	2.793	4.029	5.190	4.392
	4.834	6.973	8.983	7.601
Cross Correlation	2.813	2.953	5.325	4.239
	4.870	5.111	9.217	7.337

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.3, ตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าจากการศึกษาตัวแปรต่างๆ ค่า  $RMSE_r$  มีค่าอยู่ที่ช่วง 2.596 เมตร - 6.570 เมตร และ ค่า  $Accuracy_H$  อยู่ที่ช่วง 4.494 เมตร - 11.372 เมตร โดยจากการศึกษาตัวแปรที่ผ่านมา เงื่อนไขที่ทำให้อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดได้ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ การใช้สมการ Cross Correlation, ตัวแปรขนาดของ Subsetting Image เท่ากับ  $25 \times 25$  และ ตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel เท่ากับ  $13 \times 13$  โดยจากเงื่อนไขนี้ได้ค่า  $RMSE_r$  เท่ากับ 5.111 เมตร และ ค่า  $Accuracy_H$  เท่ากับ 8.845 เมตร

หลังจากนั้นนำเงื่อนไขที่ทำให้อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดได้มากที่สุดมาปรับเปลี่ยนขอบเขตของกระบวนการความถูกต้องของอัลกอริทึมจาก  $\Delta r$  เท่ากับ 3 pixels เป็น  $\Delta r$  เท่ากับ  $\sqrt{2}$  pixels กล่าวคือ ยอมให้เกิดความต่างระหว่างคู่จุดจากอัลกอริทึม และ คู่จุดจากมนุษย์ได้ไม่เกิน 1 pixel เพื่อจำกัดขอบเขตการกระบวนการความถูกต้องของอัลกอริทึมให้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากขึ้น โดยเมื่อปรับเปลี่ยนเงื่อนไขดังกล่าวแล้ว ได้ผลของค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง  $\Delta r$  เท่ากับ  $\sqrt{2}$  pixels และ 3 pixels

Report	$\Delta r$	
	3 pixels	$\sqrt{2}$ pixels
$RMSE_r$ (m)	5.111	3.875
$Accuracy_H$ (m)	8.845	6.708
%Matching Correction	50	13.33

จากตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการรายงานผลค่า  $RMSE_r$ ,  $Accuracy_H$  และ %Matching Correction จาก  $\Delta r$  เท่ากับ 3 pixels และ  $\Delta r$  เท่ากับ  $\sqrt{2}$  pixels โดยที่  $\Delta r$  เท่ากับ 3 pixels ได้ค่า  $RMSE_r$  เท่ากับ 5.111 เมตร,  $Accuracy_H$  เท่ากับ 8.845 เมตรและ %Matching Correction เท่ากับ 50% ในขณะที่  $\Delta r$  เท่ากับ  $\sqrt{2}$  pixels ได้ค่า  $RMSE_r$  เท่ากับ 3.875 เมตร,  $Accuracy_H$  เท่ากับ 6.708 เมตรและ %Matching Correction เท่ากับ 13.33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4 อภิปรายผลการวิจัย

จากการทำวิจัยในหัวข้อ “การพัฒนาระบบอัลกอริทึมเพื่อการหาจุดในการประเมินความถูกต้องของภาพในกระบวนการการทำภาพออร์โธ” โดยการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดแบบ Area-based Matching Algorithm ให้ร้อยละความถูกต้องของการจับคู่จุดบนภาพอ้างอิงคือ ภาพถ่ายทางอากาศของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และภาพเป้าหมายคือ ภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต อยู่ที่ 6% - 50% จากการศึกษาตัวแปรที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้การจับคู่จุดของอัลกอริทึมทั้งกรณีที่ถูกและผิด มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ดังนี้

- ความต่างของคุณภาพของข้อมูลภาพถ่าย โดยจากการศึกษาพบว่า ภาพถ่ายอ้างอิงนั้นมีคุณภาพมากกว่าภาพถ่ายเป้าหมาย กล่าวคือ เป็นภาพที่มีกระบวนการเก็บภาพที่ดีกว่า ทำให้ได้ค่า Digital Number ที่มีคุณภาพและชัดเจนมากกว่า ในขณะที่ภาพถ่ายเป้าหมายเป็นภาพที่มีกระบวนการเก็บภาพจากดาวเทียม ซึ่งทำให้มีค่า Digital Number ที่มีคุณภาพและความชัดเจนต่ำกว่า ดังนั้นเมื่อนำทั้ง 2 ภาพมาหาจุดคู่จุดเดียวกันบนอัลกอริทึมแบบ Area-based matching algorithm ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า Digital Number ของแต่ละ Pixel ของภาพ ส่งผลให้การจับคู่จุดของอัลกอริทึมนั้นแม่นยำน้อยลงจากคุณภาพของภาพที่แตกต่างกัน
- ระยะเวลาในการเก็บภาพ โดยส่งผลกับการทำงานของอัลกอริทึมการจับคู่จุดอย่างมีนัยยะสำคัญ กล่าวคือ ภาพอ้างอิงมักจะเป็นภาพที่มีการถ่ายไว้นานแล้ว ในขณะที่ภาพถ่ายเป้าหมายมักเป็นภาพในปัจจุบัน ส่งผลให้สิ่งปลูกสร้าง หรือ โครงสร้างต่าง ๆ ภายในภาพแตกต่างกันได้จากระยะเวลาที่เปลี่ยนไป ยกตัวอย่างเช่น ในภาพอ้างอิง พื้นที่หนึ่งในอดีตอาจจะเป็นพื้นที่ป่าโล่ง ในขณะที่พื้นที่ดังกล่าวในภาพถ่ายเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพในปัจจุบันได้เกิดการสร้างอาคาร บ้านเรือนไปแล้ว ส่งผลให้อัลกอริทึมประเมินว่าจุดจากพื้นที่ดังกล่าวไม่ใช่จุดเดียวกัน เพราะ อัลกอริทึมแบบ Area-based Matching Algorithm จะประเมินค่าความเหมือนกันของจุดจากค่า Digital Number ของพื้นที่โดยรอบหนึ่ง ๆ ซึ่งหากพื้นที่ดังกล่าวเปลี่ยนโครงสร้างไป เช่น จากพื้นดินเปลี่ยนเป็นอาคาร ค่าการสะท้อนแสงของสิ่งเหล่านั้นก็จะต่างกัน ส่งผลให้ค่า Digital Number ของภาพบริเวณดังกล่าวแตกต่างกันด้วย ดังนั้นอัลกอริทึมก็จะไปหาจุดใหม่ ที่มีค่า Digital Number ในภาพ Subsetting Image นั้น ๆ ที่ใกล้เคียงกับจุดอ้างอิงมากกว่าและจับคู่ออกมาว่าเป็นคู่จุดที่ถูกต้องของคู่จุดดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นอกจากนี้ ในส่วนของการศึกษาค่าขอบเขตการกำหนดความถูกต้องของอัลกอริทึม ( $\Delta r$ ) ที่แตกต่างกันระหว่าง 3 pixels และ  $\sqrt{2}$  pixels นั้น เพื่อคัดกรองจุดที่ถูกต้องจากการทำงานของอัลกอริทึมให้มีความใกล้เคียงกับมนุษย์มากขึ้นด้วยการลดขอบเขตความผิดพลาดที่ยอมรับได้จากอัลกอริทึมให้น้อยลงจาก 3 pixels เหลือ  $\sqrt{2}$  pixels ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ส่งผลให้จุดจากอัลกอริทึมที่ถูกนิยามว่า “จับคู่ได้ถูกต้อง” นั้น ใกล้เคียงกับการจับคู่จุดของมนุษย์มากขึ้น โดยที่  $\Delta r$  เท่ากับ  $\sqrt{2}$  pixels หมายความว่า ยอมให้อัลกอริทึมจับคู่จุดคลาดเคลื่อนได้เพียง 1 pixel หรือ จุดจากอัลกอริทึมอยู่ในรัศมีเท่ากับ  $\sqrt{2}$  pixels จากจุดที่มนุษย์เป็นผู้จับคู่จุดนั้น ๆ ดังนั้น การกำหนดเงื่อนไขนี้จะส่งผลต่อค่า RMSE, โดย  $\Delta r$  ที่น้อยลงจะทำให้ค่า RMSE, จากอัลกอริทึมมีความถูกต้องใกล้เคียงกับการจับคู่จุดจากมนุษย์มากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้ เนื่องจากค่าขอบเขตการกำหนดความถูกต้องของอัลกอริทึมไม่ควรที่จะมากเกินไป เพราะนั่นหมายถึง การยอมรับความผิดพลาดจากการจับคู่จุดจากอัลกอริทึมที่มากขึ้นด้วย ดังนั้นในกรณีที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ การตั้งค่าขอบเขตการกำหนดความถูกต้องของอัลกอริทึมการจับคู่จุด ควรเลือกค่า  $\Delta r$  เท่ากับ  $\sqrt{2}$  pixels มาใช้งานภายในอัลกอริทึม เพราะ ขอบเขตที่น้อยกว่าจะทำให้จุดจากอัลกอริทึมที่ถูกนิยามว่า “จับคู่ได้ถูกต้อง” นั้น มีความใกล้เคียงกับมนุษย์และมีความถูกต้องสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

จากการทำวิจัยในหัวข้อ “การพัฒนากระบวนการจับคู่จุดในการประเมินความถูกต้องของภาพในกระบวนการการทำภาพออร์โธ” โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้ คือ เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดในการประเมินความถูกต้องของภาพในกระบวนการการทำภาพออร์โธ (orthorectification) และเพื่อศึกษาผลการทำงานของตัวแปรในอัลกอริทึมการจับคู่จุด

โดยในการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดในการประเมินความถูกต้องของภาพในกระบวนการการทำภาพออร์โธนั้น ได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมแบบ Area-based matching algorithm ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่เปรียบเทียบความเหมือนกันของภาพจากค่า Digital Number ในแต่ละ pixel ของภาพอ้างอิงและภาพเป้าหมาย นอกจากนี้ยังได้มีการนำแนวคิดเกี่ยวกับระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM (UTM Coordination) เข้ามาประยุกต์โดยการตัดภาพเป้าหมายจากจุดระบบพิกัดภูมิศาสตร์ออกมาด้วยค่าระยะหนึ่งๆ เรียกว่า “Subsetting Image” เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการหาจุดคู่ด้วย

หลังจากที่ได้พัฒนาอัลกอริทึมการหาจุดคู่ในการประเมินความถูกต้องของภาพในกระบวนการทำภาพออร์โธแล้ว การใช้งานอัลกอริทึมเริ่มต้นจากข้อมูลนำเข้าข้อมูลของอัลกอริทึมคือ ภาพอ้างอิง ได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และภาพเป้าหมาย ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมไทยโชต รวมทั้งข้อมูลจุดอ้างอิงระบบพิกัดยูทีเอ็ม เพื่อทำการหาจุดคู่ดังกล่าวบนภาพเป้าหมาย เมื่อนำเข้าข้อมูลแล้วอัลกอริทึมจะจับคู่จุดแล้วรายงานผลเป็นข้อมูลประเภท Text (.txt) ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบยูทีเอ็มของแต่ละคู่จุด (Matched Points), ผลการตรวจสอบการจับคู่จุดของอัลกอริทึม (Result) และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของแต่ละคู่จุดในหน่วยเมตร นำข้อมูลที่อัลกอริทึมรายงานเหล่านี้มาวิเคราะห์ค่า  $RMSE_r$  และ  $Accuracy_H$  ต่อไป

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า  $RMSE_r$  และ  $Accuracy_H$  นั้นจะต้องหาค่าดังกล่าวจากการจับคู่จุดโดยใช้มนุษย์ก่อน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบอัลกอริทึม ซึ่งการจับคู่จุดของมนุษย์นั้นได้ค่า  $RMSE_r$  เท่ากับ 4.807 เมตร และ  $Accuracy_H$  เท่ากับ 8.302 เมตร โดยเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASPRS ที่ภาพความละเอียดจุดของภาพเป้าหมาย (Ground Sample Distance : GSD) คือ ช่วง 1.00

เมตร - 2.00 เมตรจะต้องมีค่า  $RMSE_r$  ไม่เกิน 2.828 เมตร และค่า  $Accuracy_H$  ไม่เกิน 4.895 เมตร จะเห็นว่าจากการจับคู่จุดโดยใช้มนุษย์ ภาพเป้าหมายไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นการวิเคราะห์ค่า  $RMSE_r$  และ  $Accuracy_H$  ของอัลกอริทึมจะต้องไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้วยเช่นกัน โดยเมื่อวิเคราะห์ค่า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

RMSE<sub>r</sub> และ Accuracy<sub>H</sub> ของอัลกอริทึมแล้วพบว่าค่า RMSE<sub>r</sub> ของอัลกอริทึมอยู่ที่ 2.596 เมตร - 6.570 เมตร และค่า Accuracy<sub>H</sub> ของอัลกอริทึมอยู่ที่ 4.494 เมตร - 11.372 เมตร ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับการจับคู่จุดจากมนุษย์ และเมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ เงื่อนไขที่ทำให้อัลกอริทึมจับคู่จุดได้ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ การใช้สมการ Cross Correlation ที่ขนาด Subsetting Image เท่ากับ 25x25, ขนาดหน้าต่าง Kernel เท่ากับ 13x13 และกำหนดขอบเขตการระบุมุมถูกต้องของอัลกอริทึมการจับคู่จุดที่ไม่เกิน  $\sqrt{2}$  pixels ได้ค่า RMSE<sub>r</sub> เท่ากับ 3.875 เมตร และ Accuracy<sub>H</sub> เท่ากับ 6.708 เมตร ซึ่งหมายความว่าภาพเป้าหมายนั้นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASPRS เช่นเดียวกับการจับคู่จุดของมนุษย์

ต่อมาได้ทำการศึกษาผลการทำงานของตัวแปร 4 ตัวแปรในอัลกอริทึมการจับคู่จุด เพื่อศึกษาพฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด, ตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย, ตัวแปรขนาดของ Subsetting image และตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel โดยผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่

- ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรลักษณะเฉพาะของจุด คือ การเลือกจุดที่มีลักษณะเฉพาะที่ชัดเจนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคู่จุดที่ตรงกันของอัลกอริทึมได้
- ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรสมการหาค่าความคล้าย แสดงให้เห็นว่า การหาค่าความคล้ายแบบสมการ Normalized Cross-Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCORR\_NORMED) จาก OpenCV Library สามารถช่วยให้อัลกอริทึมสามารถจับคู่จุดได้ถูกต้องมากที่สุด และรองลงมาเป็นสมการ Cross Correlation และ สมการ Normalized Correlation Coefficient Matching (cv.TM\_CCOEFF\_NORMED) จาก OpenCV Library ตามลำดับ
- ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรขนาดของ Subsetting image ให้เห็นว่า ที่ขนาดหน้าต่าง Kernel หนึ่ง ๆ อัลกอริทึมจะสามารถจับคู่จุดได้ถูกน้อยลง เมื่อขนาดของ Subsetting Image ใหญ่ขึ้น
- ผลลัพธ์จากการศึกษาตัวแปรขนาดของหน้าต่าง Kernel แสดงให้เห็นว่า ที่ขนาด Subsetting Image หนึ่ง ๆ อัลกอริทึมจะสามารถจับคู่จุดได้ถูกเพิ่มมากขึ้น เมื่อขนาดของหน้าต่าง Kernel ใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในส่วนของการพัฒนางานวิจัยในอนาคตนั้น ควรที่จะมีการพัฒนาในส่วนของอัลกอริทึมการจับคู่จุด โดยให้มีการศึกษาและประยุกต์รูปแบบอัลกอริทึมการจับคู่ภาพแบบอื่นเข้ามาในอัลกอริทึมการจับคู่จุด เช่น อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่ภาพโดยมีพื้นฐานมาจากลักษณะเฉพาะต่าง ๆ (Feature-based matching algorithm) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับคู่จุดให้สูงขึ้น มากไปกว่านั้นอาจจะมีนำความรู้ด้าน Machine Learning หรือ Neural Network เข้ามาช่วยให้อัลกอริทึมสามารถเรียนรู้ลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้เพื่อลดระยะเวลาและเพิ่มความแม่นยำในการทำงานของอัลกอริทึมการจับคู่จุด นอกเหนือไปจากการพัฒนาอัลกอริทึมการจับคู่จุดแล้ว ในส่วนของการศึกษาผลการทำงานของอัลกอริทึมควรมีการศึกษาผลลัพธ์ของตัวแปรหนึ่ง ๆ ให้ละเอียดมากขึ้น เพื่อให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมและกำหนดค่าของตัวแปรหนึ่ง ๆ ภายในอัลกอริทึมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในส่วนของการใช้งานอัลกอริทึม ควรมีการพัฒนา Graphic User Interface (GUI) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและใช้งานระบบอัลกอริทึมการจับคู่จุดได้ง่ายยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). ภาพถ่ายดาวเทียมแบบออร์โธ. ค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564, จาก <http://oldweb.most.go.th/main/index.php/flagship/115-gistda/1749-2010-06-07-03-09-18.html>
- [2] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA). ดาวเทียม Thaichote. ค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564, จาก <https://www.gistda.or.th/main/th/node/90>
- [3] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA). (2558). ระบบพิกัดในแผนที่. ค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564, จาก <https://www.gistda.or.th/main/th/node/873>
- [4] สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ กรมพัฒนาที่ดิน. ภาพถ่ายทางอากาศสี่เชิงเลข มาตราส่วน 1:25,000. ค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564, จาก <http://www.lddservice.org/services/datamap1.html>
- [5] American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 2015. **ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data.** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.81, No.3, pp.A1-A26. doi:10.14358/PERS.81.3.A1-A26.
- [6] Briechle, K., Hanebeck, U. (2014). **Template Matching using Fast Normalized Cross Correlation.** Institute of Automatic Control Engineering, Technische Universität München.
- [7] Debella-Gilo, M., Käab, A. (2011). **Sub-pixel precision image matching for measuring surface displacements on mass movements using normalized cross-correlation.** Institute of Geosciences, University of Oslo.
- [8] doxygen. (2021). **Template Matching.** *Open Source Computer Vision.* Retrieved May 8, 2021, from [https://docs.opencv.org/3.4/de/da9/tutorial\\_template\\_matching.html](https://docs.opencv.org/3.4/de/da9/tutorial_template_matching.html)
- [9] eo4geo. **Urban Heat Islands – Basic GIS knowledge vector and raster data.** Retrieved May 7, 2021, from <http://www.eo4geo.eu/training/urban-heat-islands-basic-gis-knowledge-vector-and-raster-data/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตดเบี่ยงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [10] Eric Setyawan, 2019. **Orthorectification in a Nutshell**. Retrieved May 2, 2021, from <https://www.intermap.com/blog/orthorectification-in-a-nutshell>.
- [11] Geographic Information Technology Training Alliance (GITTA), 2003. **Positional Accuracy**. Retrieved May 15, 2021, from <http://www.gitta.info/MetaDataQual/en/multimedia/PositAccuracy.pdf>.
- [12] Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), Federal Geographic Data Committee (FGDC), 1998, FGDC-STD-007.3-1998.
- [13] He, Y., Gan, T., Chen, W., Wang, H. (2012). **Multi-stage image denoising based on correlation coefficient matching and sparse dictionary pruning**. School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China.
- [14] Nakhmani, A., Tannenbaum, A. (2013). **A new distance measure based on generalized Image Normalized Cross-Correlation for robust video tracking and image recognition**. Department of Electrical and Computer Engineering, Boston University.
- [15] Yi, B., Yu, P., He, G.Z., & Chen, J. (2013). **A Fast Matching Algorithm with Feature Points Based on NCC**. Sichuan Agricultural University.
- [16] Zhao, F., Huang, Q., & Gao, W.. (2006). **IMAGE MATCHING BY NORMALIZED CROSS-CORRELATION**. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Peking University.
- [17] Zhang, X. (2018). **New development of the image matching algorithm**. School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



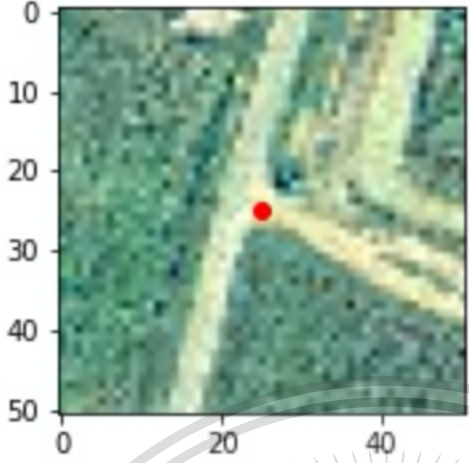
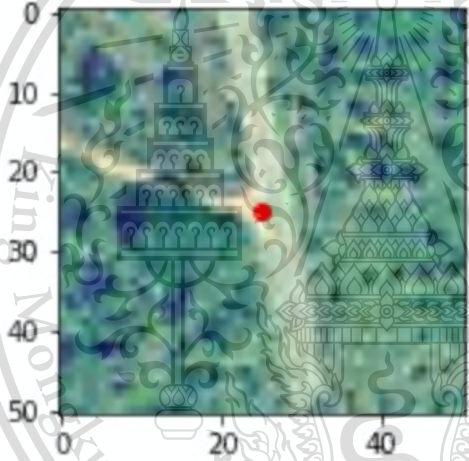
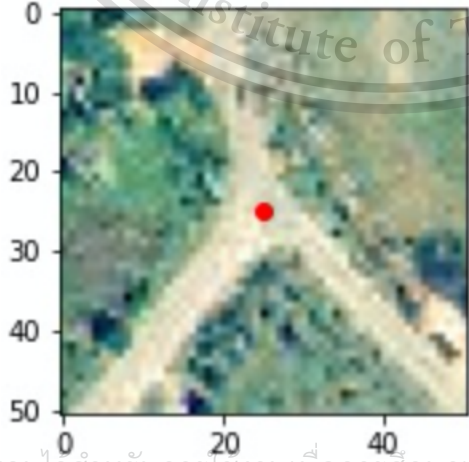
## ภาคผนวก

- ข้อมูลจุด Check Points (CPs) ที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของอัลกอริทึมการจับคู่จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

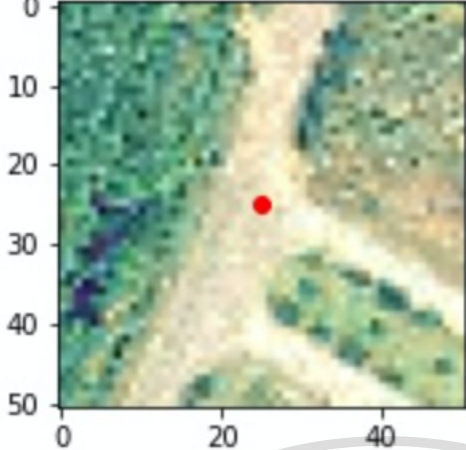
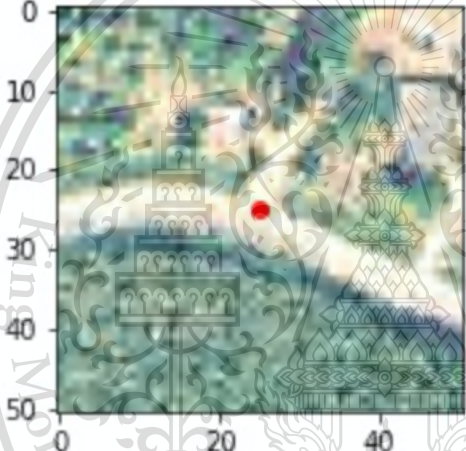
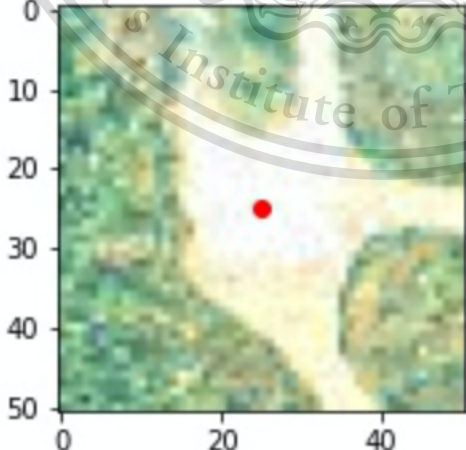
ลำดับที่	จุด Check Points	UTM Coordination
1		(758114.003, 1435966.953)
2		(758089.021, 1435762.002)
3		(758173.990, 1435304.014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

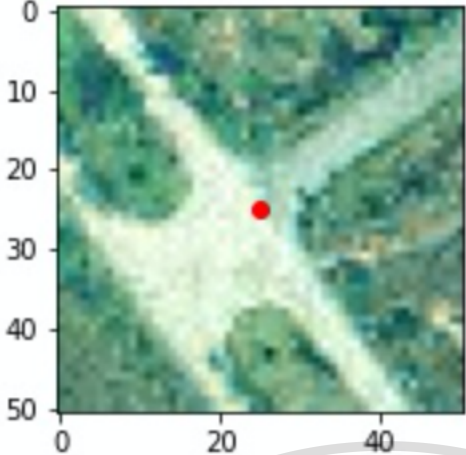
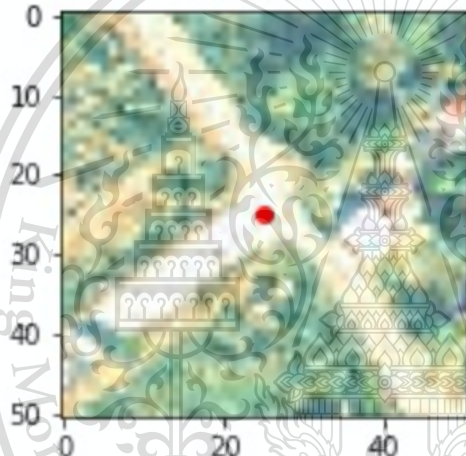
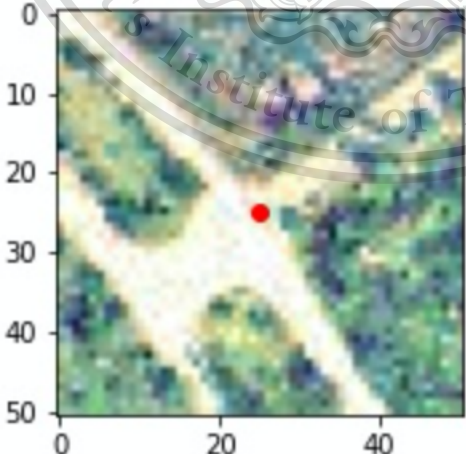
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(757775.979 1434363.957)
5	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(760748.982 1430804.963)
6	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(759487.995, 1432574.961)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

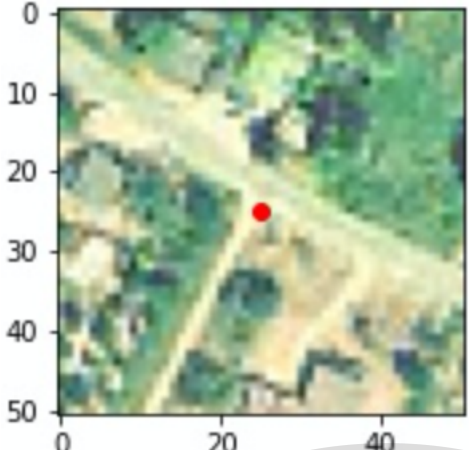
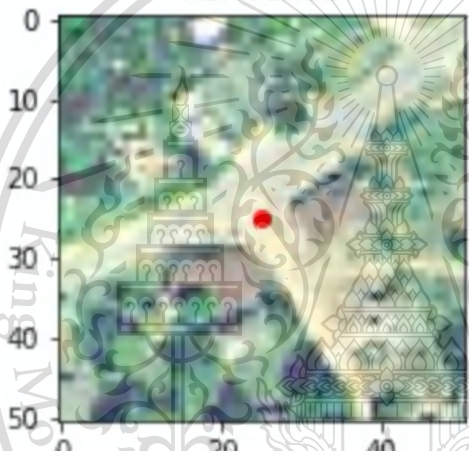
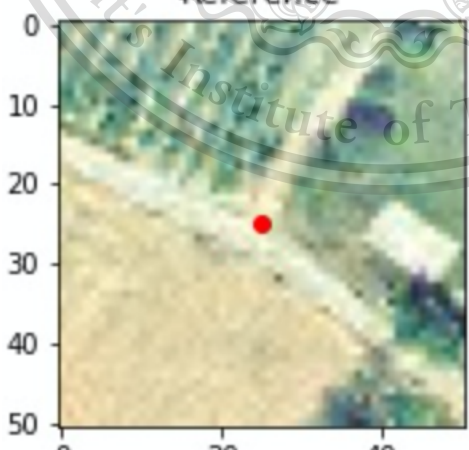
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(759317.017, 1433117.024)
8	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(759531.973, 1434045.061)
9	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(758950.981, 1433628.041)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

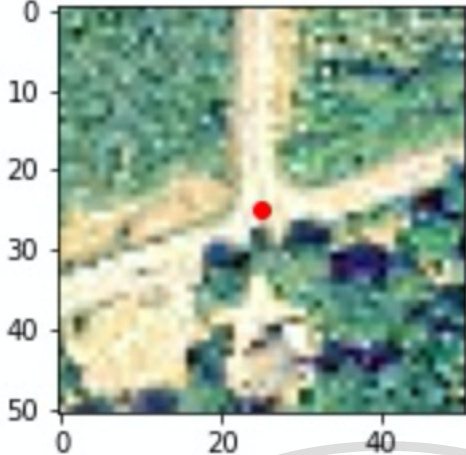
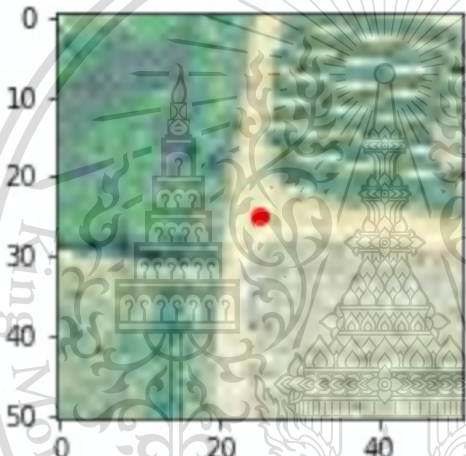
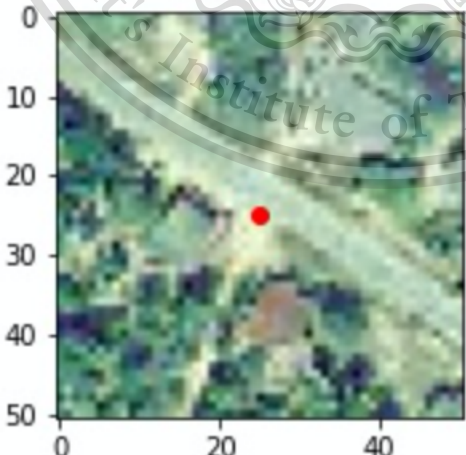
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

10	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(761586.993, 1430493.015)
11	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(762110.010, 1430510.013)
12	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(763258.974, 1425100.008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

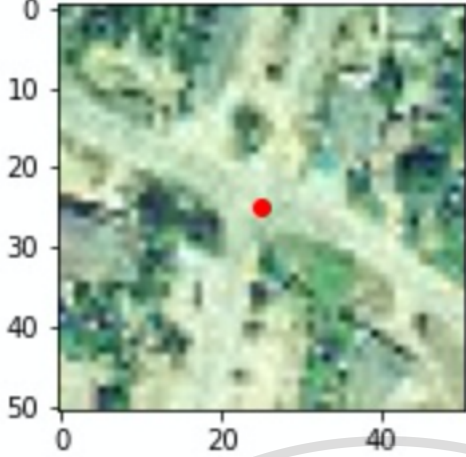
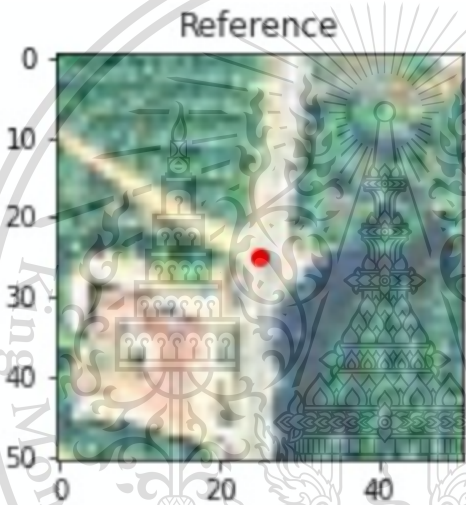
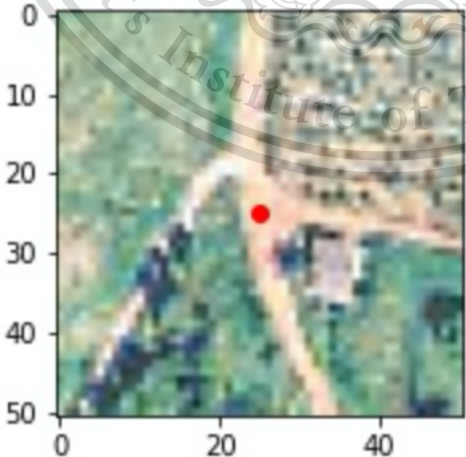
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

13	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(764244.983, 1425603.021)
14	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(764197.009, 1429335.978)
15	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(764373.984, 1430208.030)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

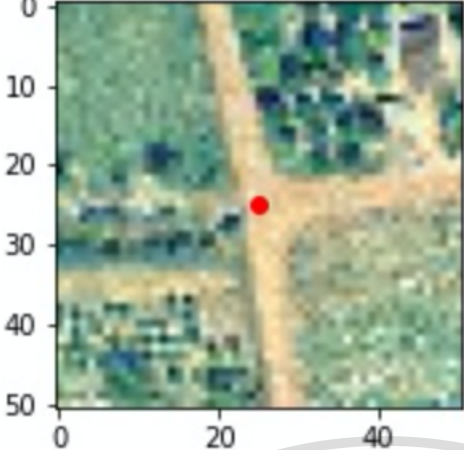
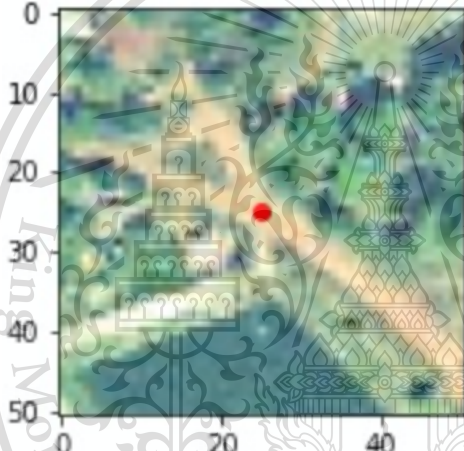
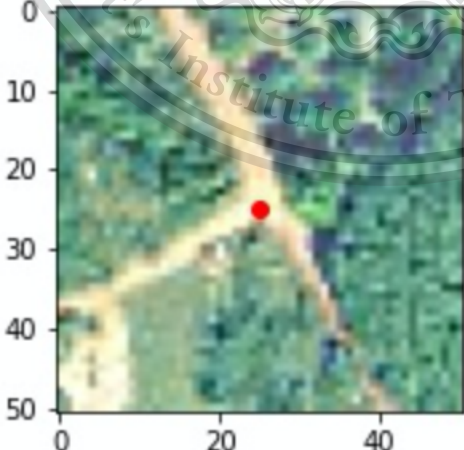
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

16	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(764856.997, 1429937.008)
17	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(766442.007, 1437624.992)
18	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(765631.987, 1437733.019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.


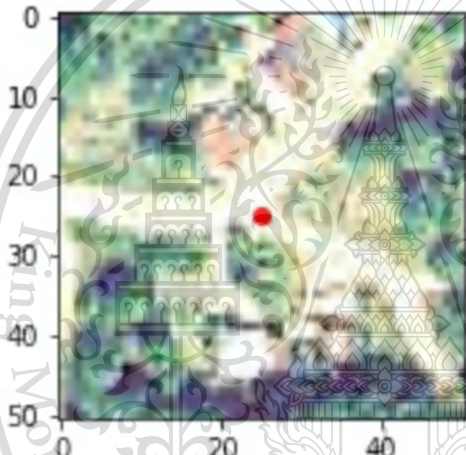
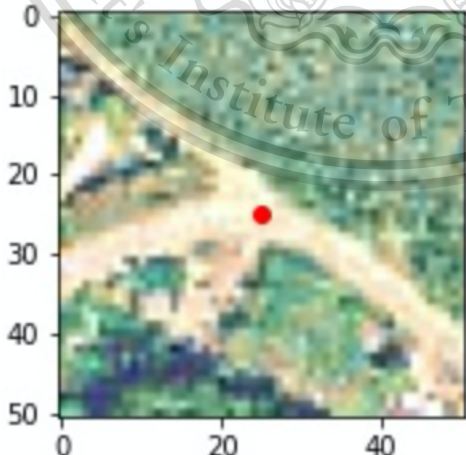
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

19	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(767571.995, 1435025.987)
20	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(767608.979, 1434871.994)
21	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(767861.974, 1433933.015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

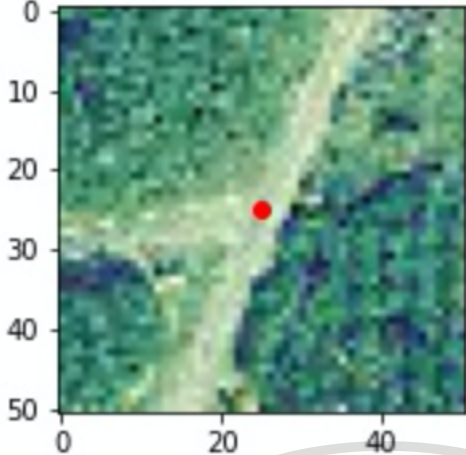
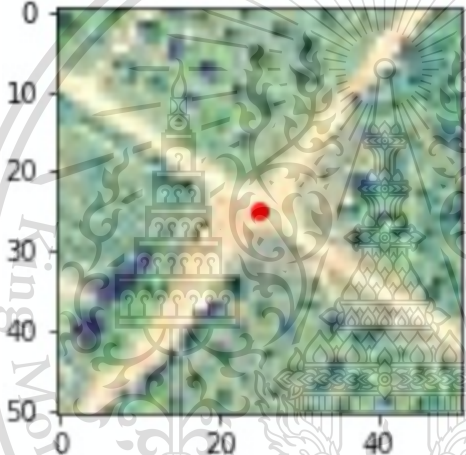
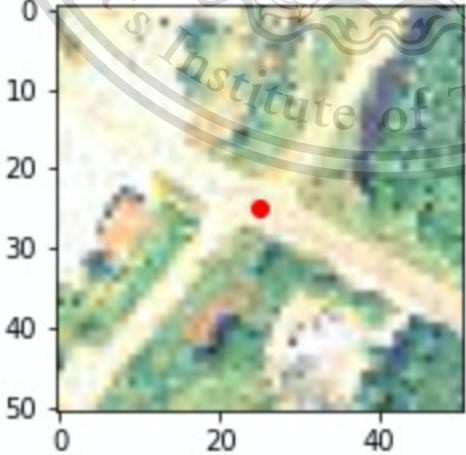
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

22	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(767977.003, 1432558.999)
23	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(765829.047, 1429657.906)
24	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(767462.922, 1428291.961)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

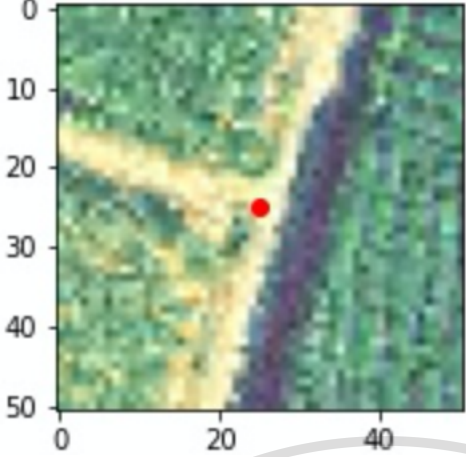
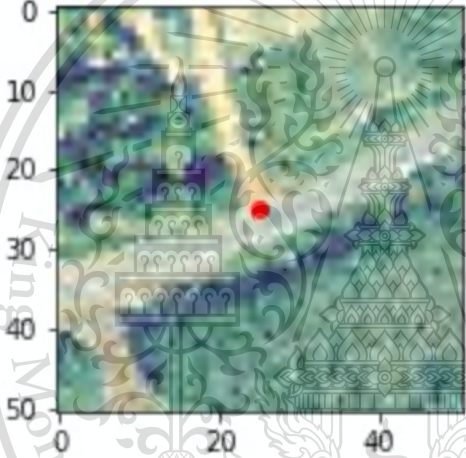
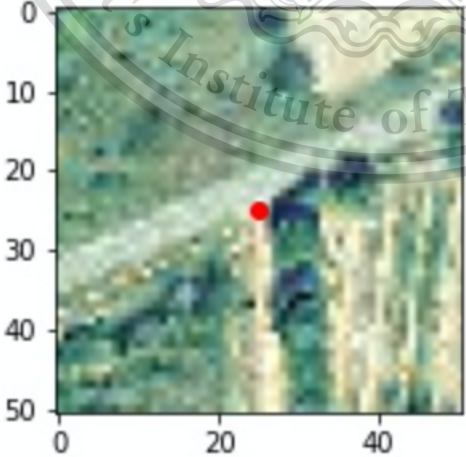
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

25	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(768871.990, 1428206.001)
26	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(768815.023, 1426635.9776)
27	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(767558.034, 1425056.934)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

28	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(769895.993, 1432646.985)
29	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(768231.986, 1427119.100)
30	<p style="text-align: center;">Reference</p> 	(765177.010, 1425956.023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.