

**การจำแนกต้นไม้จากภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ
โดยใช้แบบจำลองการแบ่งส่วนข้อมูลเชิงพื้นที่**

**Classification of Trees from Aerial Photographs with Unmanned Aerial Vehicles
Using Segment Anything Model Geospatial (Samgeo)**

รัชชานนท์ روبรู และ กนกพรณ บัวน้อย*

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

Ratchanon Robruu and Kanokphan Buanoi*

Civil Engineering, Department of Civil Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Rd., Tungmahamek, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand.

**Corresponding author Email: Kanokphan.p@mail.rmuth.ac.th*

(Received: July 09, 2024 / Revised: October 23, 2024 / Accepted: December 06, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการดำเนินงานตามโครงการสหกิจศึกษา และการศึกษาเชิงบูรณาการกับการทำงานของนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2567 ณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีทางอากาศและภูมิสารสนเทศ มีขั้นตอนการดำเนินงานจากการเตรียมข้อมูลและจัดการภาพถ่ายทางอากาศ และนำเทคนิคแบบจำลองการแบ่งส่วนภาพ มาประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายทางอากาศเพื่อจำแนกต้นไม้ โดยกำหนดกรอบพื้นที่ศึกษา แบ่งเป็น 3 พื้นที่ เพื่อควบคุมขนาดของพื้นที่ และเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำแนกต้นไม้กับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม เพื่อประเมินความแม่นยำของการจำแนก ผลการวิจัยพบว่าการดำเนินงานมีความถูกต้องตามระเบียบแบบแผนทางวิชาการโดยการจำแนกต้นไม้เมื่อเทียบกับเทคนิคการจำแนกแบบเดิม มีความถูกต้องมากถึงร้อยละ 98.70 ทั้งนี้ นักศึกษาได้ใช้ความรู้และทักษะที่เรียนมาในการศึกษากระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก และการแก้ปัญหาเชิงระบบจากข้อมูลจริง ทั้งนี้ยังเป็นการสร้างแนวทางใหม่ในการใช้ข้อมูลจากแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับกับเทคนิคแบบจำลองการแบ่งส่วนภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ทรัพยากรธรรมชาติ โดยเฉพาะการจัดการพื้นที่สีเขียวและสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เทคนิคแบบจำลองการแบ่งส่วนภาพ, อากาศยานไร้คนขับ, ระบบนำทางด้วยดาวเทียม, การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่, สหกิจศึกษา

Abstract

This research is carried out in accordance with the Cooperative Education Project and the integrated study with the work of Students majoring in Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep have conducted the 1st semester of cooperative education for the academic year 2024 at Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. The process of preparing data and managing aerial photographs and applying the image segmentation model technique to aerial photographs to identify trees by framing the study area, dividing it into 3 areas to control the size of the area, and comparing the results of tree classification with the data from the field survey. To evaluate the accuracy of the classification. The results showed that the operation was accurate in accordance with the academic conventional regulations by classifying trees compared to traditional classification techniques. The accuracy value is as high as 98.70%. The students used the knowledge and skills they learned to study the process of spatial data analysis. Application of Deep Learning Technology and Systematic Problem Solving from Real Data. It also creates a new approach to using data from aerial photographic maps obtained from unmanned aerial vehicles with segment anything model techniques to increase the efficiency of natural resource analysis. In particular, it effectively manages green spaces and the environment.

Keywords: Samgeo, UAV, GNSS, Spatial analysis, Cooperative Education

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Filonchyk, 2024) ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในระดับโลก การจัดการทรัพยากรป่าไม้และพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง (สำรวย, 2024) จึงมีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกหลัก กลไกหนึ่งที่ถูกผลักดันเพื่อส่งเสริมการลดการปล่อยคาร์บอนคือ ตลาดคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit Market) ที่เปิดโอกาสให้ประเทศองค์กร และหน่วยงานท้องถิ่น สามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ด้วยการปลูก รักษา หรือบริหารจัดการพื้นที่ป่า และต้นไม้ให้เกิดการกักเก็บคาร์บอนอย่างมีประสิทธิภาพ (Carbon Institute for Sustainability, 2023) การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (Zhou, 2023) ให้ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แม่นยำเกี่ยวกับชนิด ขนาด และการกระจายตัวของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา การจำแนกชนิดต้นไม้ (Tree Species Classification) (Ma, 2024) จึงกลายเป็นขั้นตอนสำคัญในการคำนวณศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนและออกแบบมาตรการจัดการพื้นที่สีเขียว (Chen, 2024) การใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ร่วมกับเทคนิคการประมวลผลเชิงภูมิสารสนเทศสมัยใหม่ จึงมีบทบาทเด่นในการเพิ่มความละเอียดและความถูกต้องของการจำแนกต้นไม้ ลดระยะเวลาและต้นทุนในการสำรวจภาคสนาม และตอบสนองต่อความต้องการข้อมูลที่ทันสมัยสำหรับการจัดทำคาร์บอนเครดิตอย่างเป็นระบบและตรวจสอบได้การจำแนกชนิดต้นไม้รายต้นจาก

ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ (Silva, 2024) เป็นกระบวนการสำคัญในการสร้างฐานข้อมูลพืชพรรณและการจัดทำสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการบริหารจัดการภูมิทัศน์เมือง การวิจัย การออกแบบพื้นที่สีเขียว และการวางแผนด้านสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่น การสำรวจภาคสนามแบบดั้งเดิมซึ่งอาศัยการเก็บข้อมูลโดยตรงแม้จะให้ความละเอียดสูง แต่มีข้อจำกัดในด้านระยะเวลา ค่าใช้จ่าย และความครอบคลุมของพื้นที่ ข้อจำกัดดังกล่าวก่อให้เกิดความจำเป็นในการพัฒนาเทคนิคเชิงวิทยาศาสตร์ที่สามารถจำแนกต้นไม้ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และประหยัดเวลา

การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ร่วมกับการถ่ายภาพทางอากาศความละเอียดสูงได้แสดงศักยภาพในการเป็นแหล่งข้อมูลที่มีความถูกต้องเชิงพื้นที่ในระดับเซนติเมตร ภาพถ่ายทางอากาศจาก UAV สามารถสะท้อนลักษณะเฉพาะของต้นไม้ (Zhao, 2024) เช่น รูปร่างเรือนยอดความหนาแน่นของใบ และพื้นผิวพรรณได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการจำแนกชนิด อย่างไรก็ตาม การจำแนกภาพด้วยวิธีเชิงพิกเซล (pixel-based classification) แบบดั้งเดิม เช่น Maximum Likelihood หรือ Support Vector Machine มีข้อจำกัดเมื่อใช้กับข้อมูลที่มีความละเอียดสูง เนื่องจากมักก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน (salt-and-pepper effect) ทำให้ผลการจำแนกไม่สอดคล้องกับรูปร่างจริงของต้นไม้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว ได้มีการพัฒนาแนวทาง การประมวลผลภาพเชิงวัตถุ (Object-Based Image Analysis: OBIA) ซึ่งแบ่งภาพออกเป็นกลุ่มวัตถุ (segments) โดยใช้ลักษณะทางสเปกตรัม รูปทรง และเนื้อสัมผัส (texture) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการจำแนก ถึงแม้ OBIA จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีเชิงพิกเซล (Jean, 2023) แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการบูรณาการข้อมูลเชิงภูมิสารสนเทศหลายชั้นและการดำเนินการในกระบวนการวิเคราะห์เชิงพื้นที่อย่างเป็นระบบ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาการประยุกต์ใช้ วิธีการ Segment-Geospatial (Samgeo) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ผสานการแบ่งส่วนภาพ (image segmentation) เข้ากับการวิเคราะห์เชิงภูมิสารสนเทศ (geospatial analysis) ในสภาพแวดล้อมโอเพ่นซอร์ส เช่น QGIS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการจำแนกต้นไม้ Samgeo สามารถจัดการข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงร่วมกับข้อมูลเสริมเชิงพื้นที่ (Rayamajhi, 2024) เช่น ขอบเขตเรือนยอดและข้อมูลความสูงของวัตถุ เพื่อสร้างวัตถุภาพที่สอดคล้องกับต้นไม้จริง และลดความคลาดเคลื่อนจากการพึ่งพาสเปกตรัมเพียงอย่างเดียว

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ คือ การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเทคนิค Samgeo สำหรับการจำแนกชนิดต้นไม้จากภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความถูกต้องของการจำแนก การปรับค่าพารามิเตอร์ในการแบ่งส่วน และการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับเทคนิคมาตรฐานด้านการจำแนกภาพ

การศึกษานี้พบว่าผลการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับจะช่วยเสริมสร้างองค์ความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิค Samgeo เพื่อจัดทำชุดข้อมูลต้นไม้รายต้นที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและมีความเป็นปัจจุบัน ซึ่งสามารถสนับสนุนการวิเคราะห์ด้านภูมิสารสนเทศ การออกแบบและวางแผนภูมิทัศน์เมือง ตลอดจนการศึกษาพฤกษศาสตร์เชิงพื้นที่ได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพการบูรณาการข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ร่วมกับเทคนิค Samgeo ช่วยเพิ่มศักยภาพในการจำแนกต้นไม้ให้มีความแม่นยำสูงและครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้จึงสะท้อนถึงแนวทางสำคัญในการพัฒนากระบวนการ

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงภูมิสารสนเทศและวิศวกรรมสำรวจ อันจะเป็นรากฐานสำหรับการวิจัยและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในอนาคต

2. วิธีการทดลองหรือวิธีการศึกษา

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน): สทอภ. สำนักประยุกต์และบริหารภูมิสารสนเทศ : สปภ. ฝ่ายภูมิสารสนเทศ : ฝภม. ด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 RTK ขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณ สทอภ. (ศรีราชา) อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี ขอบเขตพื้นที่ 192,000 ตารางเมตร

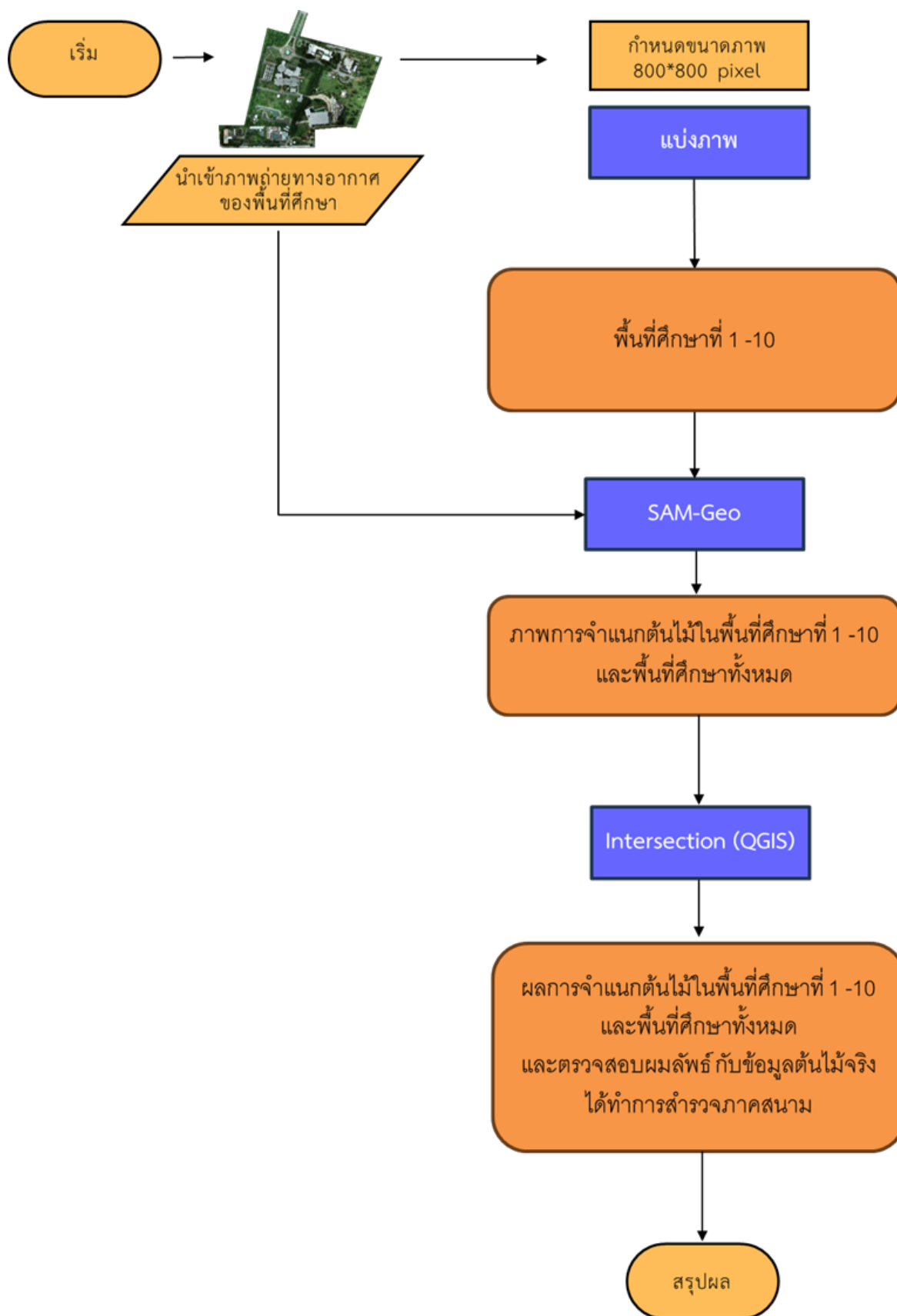
2.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณ สทอภ. (ศรีราชา) อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรีขอบเขตพื้นที่ 192,000 ตารางเมตร



รูปที่ 1 ภาพรวมทั้งหมดพื้นที่ศึกษาบริเวณ สทอภ. (ศรีราชา)

2.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.4 ขั้นตอนปฏิบัติงาน

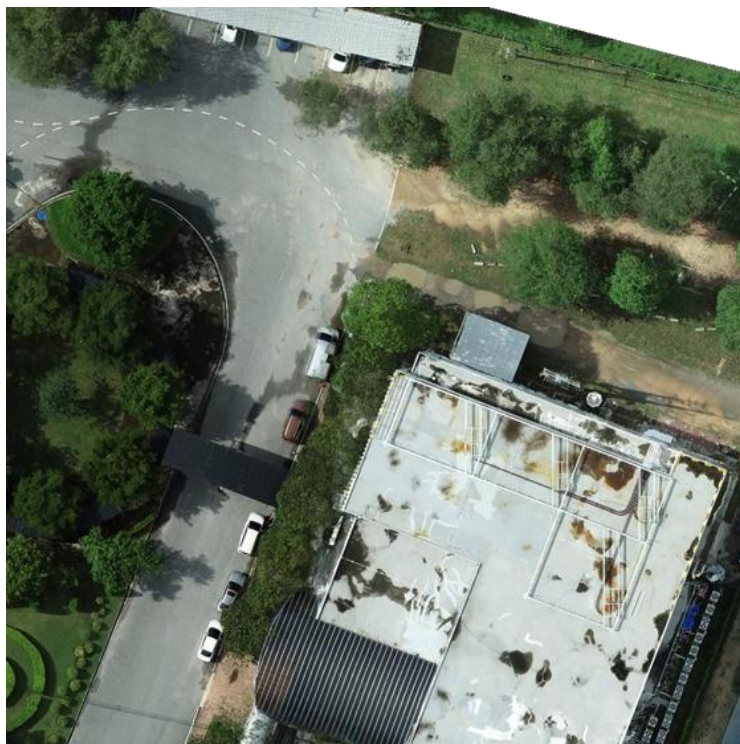
1. นำเข้าภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดและเลือกพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ลักษณะองค์ประกอบที่แตกต่างกัน คือ ความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ ลักษณะทรงพุ่มของต้นไม้ และการจัดเรียงตัวของ ต้นไม้ โดยพื้นที่ทำการศึกษาคือ GISTDA อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 3 พื้นที่ศึกษาทั้งหมด



รูปที่ 4 พื้นที่ศึกษาที่ 1

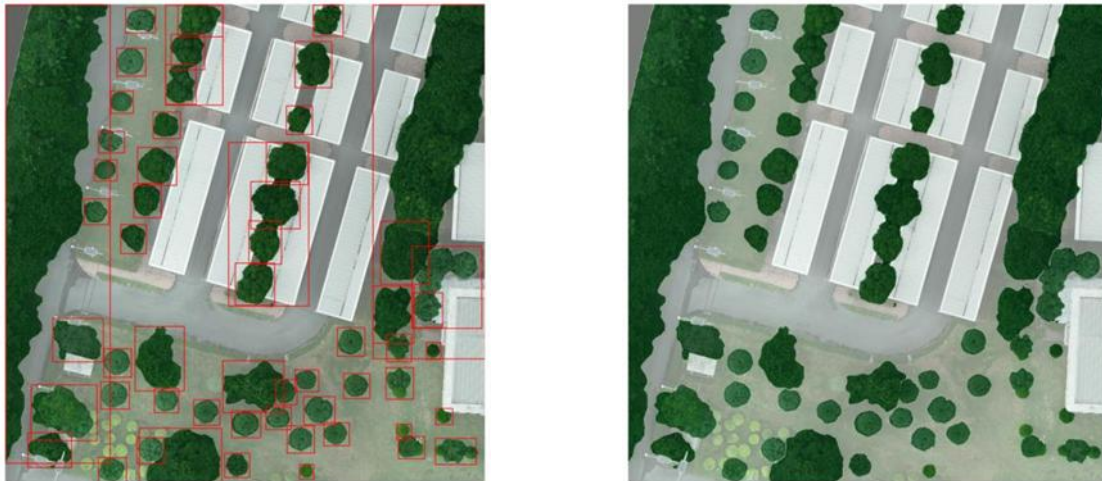


รูปที่ 5 พื้นที่ศึกษาที่ 2

2. ใช้ Segment-Geospatial (Samgeo) จำแนกต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่ โดยมีคำสั่ง คือ text prompt = "TREE" คือการให้ Segment-Geospatial (Samgeo) จำแนกหรือค้นหาวัตถุที่เกี่ยวข้องกับต้นไม้หลังจากนั้นใช้คำสั่ง Sam.predict (box threshold, text threshold) box threshold คือ การให้ Segment-Geospatial (Samgeo) คาดการณ์ต้นไม้ในพื้นที่ศึกษามี ความถูกต้องในกรอบนั้น หากน้อยกว่าที่ร้อยละที่กำหนดจะไม่แสดงกรอบรอบต้นไม้ และ text threshold คือ Segment-Geospatial (Samgeo) เจอวัตถุที่มีความสัมพันธ์กับคำว่า "TREE" หากน้อยกว่าที่ร้อยละที่กำหนดจะไม่จำแนกต้นไม้ออกมา โดยค่าที่กล่าวมาข้างต้นจะปรับเปลี่ยนไปตาม พื้นที่ศึกษาตัวอย่าง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุด



รูปที่ 6 ใช้ Segment-Geospatial (Samgeo) จำแนกต้นไม้พื้นที่ศึกษาที่ทั้งหมด



รูปที่ 7 ใช้ Segment-Geospatial (Samgeo) จำแนกต้นไม้พื้นที่ศึกษาที่ 3

3. หลังจากที่ได้ภาพจากใช้ Segment-Geospatial (Samgeo) ในการจำแนกต้นไม้ของพื้นที่ศึกษา จะทำการหาจำนวนต้นไม้จากการจำแนกมาได้ โดยใช้ QGIS ในการทำ Intersect ระหว่างพื้นที่ที่ จำแนกมาได้ด้วยจำนวนต้นไม้จริงที่มีการสำรวจภาคสนาม



รูปที่ 8 จำนวนต้นไม้ที่สามารถจำแนกได้ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จำนวน 457 ต้น

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาการจำแนกต้นไม้จากภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับโดยใช้ Segment-Geospatial (Samgeo) ในพื้นที่ สทอภ. (ศรีราชา) พบว่าการจำแนกต้นไม้ในพื้นที่ทั้งหมดสามารถจำแนกต้นไม้ได้ 370 ต้น จากจำนวนต้นไม้ที่สำรวจจริงในภาคสนาม 1,837 ต้น คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 20.14 ซึ่งมีความถูกต้องต่ำ เนื่องจากพื้นที่มีขนาดใหญ่และมีรายละเอียดในพื้นที่จำนวนมาก

ตารางที่ 1 สรุปผลการดำเนินงานและผลวิเคราะห์ข้อมูล

พื้นที่การศึกษา	จำนวนต้นไม้ ที่สำรวจ จริงในภาคสนาม	จำนวนต้นไม้ที่ จำแนกได้	คิดเป็นความ ถูกต้อง (ร้อยละ)	ระดับความถูก ต้อง
พื้นที่การศึกษาทั้งหมด	1837	370	20.14	ต่ำ
พื้นที่การศึกษาที่ 1	77	76	98.70	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 2	64	59	92.19	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 3	81	78	96.30	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 4	71	58	81.69	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 5	103	99	96.12	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 6	61	58	95.08	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 7	51	43	84.31	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 8	64	51	76.69	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 9	26	25	96.15	สูง
พื้นที่การศึกษาที่ 10	56	42	75.00	สูง

เมื่อทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 10 พื้นที่ย่อย พบว่าให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพื้นที่ศึกษาที่ 1 มีความแม่นยำสูงสุด สามารถจำแนกต้นไม้ได้ 76 ต้น จากจำนวนต้นไม้จริง 77 ต้น คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 98.70 รองลงมาคือพื้นที่ศึกษาที่ 9 มีความถูกต้องร้อยละ 96.15 จำแนกต้นไม้ได้ 25 ต้น จากจำนวนต้นไม้จริง 26 ต้น และพื้นที่ศึกษาที่ 3 มีความถูกต้องร้อยละ 96.30 จำแนกต้นไม้ได้ 78 ต้น จากจำนวนต้นไม้จริง 81 ต้น ส่วนพื้นที่ที่มีความแม่นยำต่ำที่สุดคือพื้นที่ศึกษาที่ 10 สามารถจำแนกต้นไม้ได้ 42 ต้น จากจำนวนต้นไม้จริง 56 ต้น คิดเป็นความถูกต้อง ร้อยละ 75.00 รองลงมาคือพื้นที่ศึกษาที่ 8 มีความถูกต้องร้อยละ 79.69 จำแนกต้นไม้ได้ 51 ต้น จากจำนวนต้นไม้จริง 64 ต้น และพื้นที่ศึกษาที่ 4 มีความถูกต้องร้อยละ 81.69 จำแนกต้นไม้ได้ 58 ต้น จากจำนวนต้นไม้จริง 71 ต้น

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการจำแนกต้นไม้ด้วย Segment-Geospatial (Samgeo) มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้กับพื้นที่ขนาดเล็ก โดยให้ความแม่นยำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 89.52 ในพื้นที่ศึกษาย่อย แต่มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์พื้นที่ขนาดใหญ่ ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการจำแนกประกอบด้วย ความหนาแน่นของ

เรือนยอด ลักษณะทรงพุ่มของต้นไม้ การจัดเรียงตัวของต้นไม้ และขนาดของพื้นที่วิเคราะห์ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการแบ่งพื้นที่ขนาดใหญ่เป็นพื้นที่ย่อยสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกต้นไม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ (Chen, 2020), (Yavuz, 2023) ที่ศึกษาการจำแนกต้นไม้ด้วย Segment-Geospatial (Samgeo) อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้ความแม่นยำสูงมากกว่าร้อยละ 80

4. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้โอกาส และมอบหมายภารกิจที่มีคุณค่าในด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจำแนกต้นไม้จากภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้เครื่องมือ Segment-Geospatial (Samgeo) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

ขอขอบคุณ นายเอกสฤษดิ์ นนัถ์นารกุล นักภูมิสารสนเทศ ที่ให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวก และร่วมวางแผนการทำงานอย่างใกล้ชิด ตลอดจนส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยความเอื้อเฟื้อและใส่ใจในทุกรายละเอียด รวมถึงให้โอกาสในการทดลองและประยุกต์ใช้องค์ความรู้กับงานจริงในระดับภาคสนาม

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องในการสนับสนุนโครงการนี้ จนสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ประโยชน์ได้จริงในกระบวนการสำรวจ การจัดการทรัพยากรป่าไม้ และการวางแผนพัฒนาพื้นที่สีเขียว ซึ่งถือเป็นการบูรณาการความรู้จากห้องเรียนสู่การใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรม

5. เอกสารอ้างอิง

- สำรวย อริเดช. (2024). นโยบาย การ จัดการ ทรัพยากรป่าไม้ ของ ประเทศไทย. *วารสาร ไตร ศาสตร์*, 10(1), 27-38.
- Carbon Institute for Sustainability. (2023). Global and Thai Commitments to Net-zero Emissions. Retrieved February 15, 2024.
- Chen, P. C., Chiang, Y. C., & Weng, P. Y. (2020). Imaging using unmanned aerial vehicles for agriculture land use classification. *Agriculture*, 10(9), 416.
- Csillik, O., Cherbini, J., Johnson, R., Lyons, A. C., & Kelly, M. (2024). Identification of citrus trees from unmanned aerial vehicle imagery using convolutional neural networks. *Drones*, 2(4), 39.
- Filonchyk, M., Peterson, M. P., Zhang, L., Hurynovich, V., & He, Y. (2024). Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. *Science of The Total Environment*, 935, 173359.
- Jean, R. (2023). ISSUES: FIGURE SET Using RGB high-resolution color imagery for object-based image classification and assessing urban canopy cover.
- Rayamajhi, A., Jahanifar, H., & Mahmud, M. S. (2024). Measuring ornamental tree canopy attributes for precision spraying using drone technology and self-supervised segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 225, 109359.

- Silva, B. R. F. D., Ucella-Filho, J. G. M., Bispo, P. D. C., Elera-Gonzales, D. G., Silva, E. A., & Ferreira, R. L. C. (2024). Using drones for dendrometric estimations in forests: A bibliometric analysis. *Forests*, 15(11), 1993.
- Yavuz, M., Koutalakis, P., Diaconu, D. C., & Marinescu, M. (2023). Identification of streamside landslide landslides with the use of unmanned aerial vehicles in Greece. *Remote Sensing*, 15(4), 1006.
- Xuexia Zhou, Changyue Hu, Zhijie Wang (2023). Distribution of biomass and carbon content in estimation of carbon density for typical forests, *Global Ecology and Conservation*, Volume 48, e02707
- Zhao, Y., Li, Y., & Xu, X. (2024). Object detection in high-resolution UAV aerial remote sensing images of blueberry canopy fruits. *Agriculture*, 14(10), 1842.
- Zhong, L., Dai, Z., Fang, P., Cao, Y., & Wang, L. (2024). A review: Tree species classification based on remote sensing data and classic deep learning-based methods. *Forests*, 15(5), 852.