ISSN 2651-0669 (Print)
ISSN 2822-1206 (Online)

DTAJ วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

Defence Technology Academic Journal

Volume 5 Issue 11 / January - June 2023

Defence Technology Institute

รายชื่อผู้จัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

คณะที่ปรึกษา

พลเอก ชูชาติ บัวขาว
นาวาอากาศเอก คมสันต์ ประพันธ์กาญจน์
พันเอก จิรศักดิ์ จิ้วไม้แดง
พลตรี พีรพงศ์ โพธิ์เหมือน
นาวาอากาศโท ดร.เพิ่มศักดิ์ ศิริพละ

บรรณาธิการ

นาวาอากาศเอก ดร.ชำนาญ ขุมทรัพย์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ธารีบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิริวิภากร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ กฤษเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ฝ่ายจัดการ

นางสาวอินทีวรา จุลชาต	นางสาวบุญญาภรณ์ วาณิชยชาติ
นางสาวสาวิตรี ระงับพิษ	นางสาวลัญญณัฐ ภาตะนันท์
นางสาวนุกุลรัตน์ ลวงลายทอง	ว่าที่ร้อยตรีหญิง ดร.ลำยอง แสนทวี

สารบัญ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 5 ฉบับที่ 11 มกราคม – มิถุนายน 2566

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- **การพัฒนาต้นแบบ *In situ info.* เพื่อใช้งานบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก** 4
  จิรายุส จันทะวงค์ และ พฤกจิกา สุขศิริมัช
- **ความพึงพอใจในการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม: กรณีศึกษา อ.ท่าวังผา จ.น่าน** 14
  พิมพ์รภัส งามสันติวงศ์

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Article)

- **Alternate "Realities": Military Applications in the Metaverse Era** 26
  Kanok Bunnag

บทความวิจัย (Research Articles)

- **การพัฒนาโปรแกรมหาคำตอบเชิงตัวเลขสำหรับสมการการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นของแนววิถีจรวดประดิษฐ์** 38
  ชนะ รักษ์ศิริ, เจษฎากร จันทวงษ์ และ กฤติยา พาอิ่ม
- **การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์** 52
  ชนะ รักษ์ศิริ, กฤติยา พาอิ่ม และ เจษฎากร จันทวงษ์
- **การวิเคราะห์พื้นที่ปกคลุมทางการเกษตรในประเทศไทยด้วยกระบวนการ CNN** 62
  C. Arnal, S. Bassanetti, H. Corbin, วิษณุ มั่งคั่ง และ Laurent Mezeix
- **กรรมวิธีสร้างชุดข้อมูลสำหรับการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/การปกคลุมดินด้วย CNN: กรณีศึกษาพื้นที่ชนบทของประเทศไทย** 74
  Laurent Mezeix และ Max Garcia Casanova
- **ต้นแบบน้ำยาทำความสะอาดคราบเขม่าดินปืนและคราบทองแดงในลำกล้องปืน** 96
  อานนท์ เดชะศิริพงษ์
- **การออกแบบวิจัยและพัฒนาชุดเลเซอร์สำหรับติดตั้งบนปืนฝึกทางยุทธวิธี** 108
  เจษฎา ไกรขาว, กันต์ธร นาทอง, รัญชิดา ขันทอง, ปิยะรส มาลีเจริญ, และ นริศ จันทร์น้ำ

บทบรรณาธิการ

พระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 มาตรา 3 กำหนดให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ หมายความว่า การวิจัย การพัฒนา การออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ หรือการให้บริการ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันประเทศ โดยอาจมีค่าตอบแทนหรือไม่ก็ได้ และในมาตรา 21 ให้มีสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เรียกโดยย่อว่า "สทป." และให้ใช้ชื่อภาษาอังกฤษว่า "Defence Technology Institute" เรียกโดยย่อว่า "DTI" เป็นหน่วยงานของรัฐ มีฐานะเป็นนิติบุคคล และไม่เป็นส่วนราชการตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน หรือรัฐวิสาหกิจตามกฎหมายว่าด้วยวิธีการงบประมาณหรือกฎหมายอื่น

ในมาตรา 22 (1) กำหนดวัตถุประสงค์ให้สถาบัน ศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีป้องกันประเทศและดำเนินการอื่นที่เกี่ยวข้องหรือต่อเนื่อง เพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ จะเห็นได้ว่าการวิจัยและการพัฒนาด้านเทคโนโลยีของสถาบันที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้ ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาต้นแบบ *In situ info.* เพื่อใช้งานบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก และการออกแบบวิจัยและพัฒนาชุดเลเซอร์สำหรับติดตั้งบนปืนฝึกทางยุทธวิธี เป็นต้น ถือเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในส่วนของการวิจัยและการพัฒนาแล้ว

ส่วนในมาตรา 22 (4) กำหนดให้สถาบันประสานความร่วมมือด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศกับหน่วยงานของรัฐ สถาบันการศึกษา และภาคเอกชนทั้งในประเทศและต่างประเทศนั้น อาจจะไม่ได้มีการนำเสนอผ่านบทความวิชาการดังที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้ แต่สถาบันมีกิจกรรมภายใต้วัตถุประสงค์นี้มาโดยตลอดและต่อเนื่อง เช่น การลงนามบันทึกความเข้าใจความร่วมมือด้านการพัฒนากิจการอวกาศกับสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ซึ่งลงนามกันเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 เป็นต้น

นาวาอากาศเอก ดร.ชำนาญ ขุมทรัพย์
บรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

การพัฒนาต้นแบบ *In situ info.* เพื่อใช้งานบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก

จิรายุส จันทะวงค์ [1*] และ พฤกจิกา สุขศิริมัช [2]

วันที่รับ 4 พฤศจิกายน 2565 วันที่แก้ไข 15 กุมภาพันธ์ 2566 วันตอบรับ 20 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำระบบปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องระยะไกลที่ติดอยู่บนอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) สำหรับใช้ในการสำรวจพื้นที่ปลูกพืชเสพติดในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น แปลงปลูกพืชบนที่ราบสูง บริเวณหุบเขาหรือที่ทุรกันดาร อีกทั้งยังสามารถประมวลผลภาพถ่ายได้ใกล้เคียงกับเวลาจริงที่ระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับได้ ทำให้สามารถค้นหาเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ทั้งนี้ ในบทความวิชาการนี้เป็นการศึกษาระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (Small Unmanned Aerial Vehicle) โดยการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องบนระบบอากาศยานขนาดเล็กนี้จะทำงานทันทีตามเวลาที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดจะทำงานบนอุปกรณ์ที่ติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กหรือเรียกระบบนี้ว่า “*In situ info.*” และเป้าหมายของระบบนี้ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ การประกอบรวมของระบบปัญญาประดิษฐ์ขั้นต้น ต้นแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและทดสอบต้นแบบระบบปัญญาประดิษฐ์บนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กในสถานที่จริง ในบทความนี้จะเป็นการกล่าวถึงการประกอบรวมของระบบปัญญาประดิษฐ์ขั้นต้นเท่านั้น เนื่องจากการวิเคราะห์ผลของข้อมูลบนระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กนั้น ทำให้การเลือกอุปกรณ์ต้องมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเลือกอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ในระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ได้ศึกษานี้ได้ใช้ดอกไม้ที่หาได้ง่ายจำลองเป็นพืชเสพติดเพื่อใช้ในการสร้างโมเดล โดยใช้ TensorFlow เวอร์ชัน 1.15 ผ่านสถาปัตยกรรม SSD Mobilenet เวอร์ชันที่ 2 โดยการสร้าง One class classification เป็นระบบที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ซึ่งจะทำการทดสอบโมเดลผ่านระบบกล้องที่จะนำไปใช้ในการติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กทั้งกล้องแบบเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว (Prime lens) และแบบเลนส์ซูม (Zoom lens) จากการเตรียมการทดสอบทำให้ทราบถึงการนำระบบปัญญาประดิษฐ์ไปทำงานร่วมกับกล้องประเภทต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการศึกษา

คำสำคัญ : *In situ info.*, อากาศยานไร้คนขับ, การรับรู้ภาพ, ปัญญาประดิษฐ์

---

[1] ส่วนงานวิศวกรรมอากาศยาน, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[2] ส่วนงานวิศวกรรมวัตถุระเบิด และนิวเคลียร์ เคมี ชีวะ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: jirayuth.j@dti.or.th

"In situ info." Prototype for Using on Small Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Jirayuth Jantawong [1*] and Phulkjika Sooksirimuch [2]

Received 4 November 2022, Revised 15 February 2023, Accepted 20 February 2023

Abstract

Artificial intelligence (AI) is now being used to analyze images acquired from mounted cameras on unmanned aerial vehicles (UAVs) for an application of delineating addictive crops in highland crop fields, in the valley or in the wilderness. It can also be adopted to process images near real time. This makes it possible to find the desired goals more clearly. This paper elaborates the current study of an AI system installed on a small UAV to detect addictive plants for processing and analyzing camera images immediately after the time of image acquisition. All the results will work on the device mounted on the UAV that was named *"In situ info."*. The goal of this system was divided into three parts i.e., the integration of basic AI systems, an AI prototype for detecting addictive plants on a small UAV, and test of the AI prototype on a small UAV in real-world settings. In this article, we describe the initial integration of the AI system. Due to the analysis of data on a small UAV, the criteria for the selection of equipment had to be small and lightweight. This was a limitation in the selection of equipment to be installed on a small UAV. In the AI system studied, a readily available flower modeled as an addictive plant was used to model in TensorFlow version 1.15 through the SSD Mobilenet version 2 architecture by creating a "One class classification" model. It was the system used to process images. This will test the model through the camera system used for installation on the small UAV both prime lens and zoom lens cameras. Embracing the AI system to work with various types of cameras as mentioned above, we obtained results in accordance with the study objectives.

Keywords : *In situ info.*, Unmanned Aerial Vehicle, Image Recognition, Artificial Intelligence

---

[1] *Aeronautical Engineering Division, Defence Technology Institute*

[2] *NBC and Explosive Engineering Division, Defence Technology Institute*

[*] *Corresponding author, E-mail: jirayuth.j@dti.or.th*

1. วัตถุประสงค์

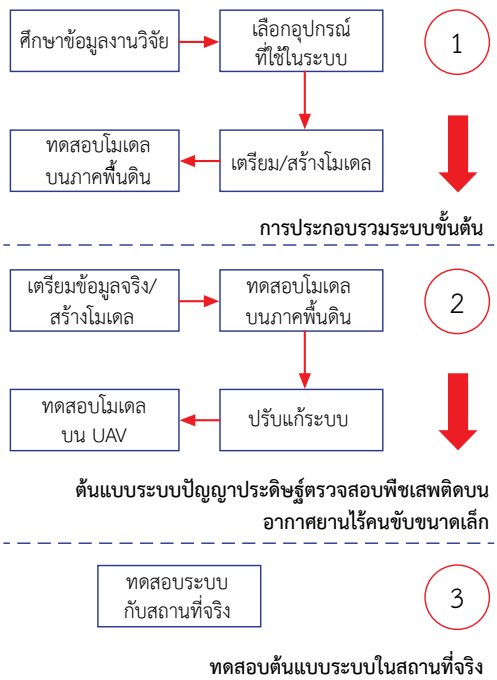
บทความนี้จะอธิบายการสร้างต้นแบบโดยใช้การทำแบบ *"In situ info."* ซึ่งเป็นระบบการประมวลผลข้อมูลอัตโนมัติบนอากาศยานขนาดเล็ก เพื่อวิเคราะห์และทำนายความถูกต้องของโมเดลโดยใช้ TensorFlow platform ในการทำการประมวลผลเป้าหมายหรือวัตถุอัตโนมัติบนอากาศยานขนาดเล็ก รวมไปถึงอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งานในการสร้างต้นแบบ *"In situ info."* โดยเป็นผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจจับวัตถุบนอากาศยานขนาดเล็กต่อไป

2. ที่มาของปัญหา

การลักลอบปลูกพืชเสพติดมีความเปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างมาก เช่น มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการปลูกเพื่อหลีกเลี่ยงการสำรวจและการตัดทำลายทิ้ง โดยปลูกกระจายเป็นแปลงเล็ก ๆ หรือปลูกในพื้นที่ห่างไกล บนภูเขาสูงและที่ทุรกันดารยิ่งขึ้น ซึ่งถ้าเป็นการสำรวจพืชเสพติดแบบภาคพื้นดินจะต้องใช้เวลามากในการเข้าสำรวจพื้นที่และความเสี่ยงของเจ้าหน้าที่ในการปฏิบัติงาน ดังนั้น การสำรวจพื้นที่ด้วยระบบอากาศยานไร้คนขับจึงเป็นที่นิยมในการบินค้นหาพื้นที่เหล่านี้ เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับสามารถบินได้ด้วยระบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้นักบินประจำการอยู่บนอากาศยานและยังสามารถติดตั้งกล้องถ่ายภาพที่มีคุณภาพสูง เช่น กล้องถ่ายภาพในเวลากลางวันและกล้องอินฟราเรดที่สามารถบันทึกภาพระยะไกลได้ และยังสามารถแสดงภาพในการสำรวจพื้นที่มายังสถานีภาคพื้นดินในเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาจริงมากที่สุดอีกด้วย [1] ทั้งนี้ได้มีการนำเทคโนโลยีระบบปัญญาประดิษฐ์เข้ามาใช้ในการตรวจจับวัตถุหรือสิ่งของต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสำรวจพื้นที่ให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น การทำงานของปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพนั้นเป็นการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์หรือโมเดล (Model) เพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์ได้เรียนรู้ เข้าใจ และจดจำรูปแบบต่าง ๆ ที่ปรากฏบนข้อมูลภาพถ่าย ทั้งภาพถ่ายจากดาวเทียม ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ [2] เช่น รูปแบบที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร การวางแผนผังเมือง การขนส่ง การจัดการด้านภัยพิบัติ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการอนุรักษ์สัตว์ป่า เป็นต้น ซึ่งบางรูปแบบก็มีความสลับซับซ้อน แต่หากได้รับการฝึกฝนจากตัวอย่างที่ดี ระบบปัญญาประดิษฐ์ก็สามารถเรียนรู้และแสดงผลการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง [3]-[4] ในการตรวจจับพืชเสพติดจะมีข้อจำกัดทั้งพื้นที่การปลูก ความสูง และ ลักษณะช่วงเวลาของต้นไม้ [5] การตรวจจับวัตถุจึงมีความยากลำบากเนื่องจากไม่มีพืชเสพติดที่สามารถใช้ในการสร้างโมเดลได้ จึงต้องใช้ต้นไม้ชนิดอื่นมาใช้ในการทดสอบแทนต้นไม้เป้าหมาย เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์บนระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและสามารถนำไปต่อยอดให้ใช้งานจริงได้ต่อไป

ดังนั้น การศึกษาระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ระบบ คือ การประกอบรวมของระบบปัญญาประดิษฐ์ขั้นต้น ต้นแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก และทดสอบต้นแบบระบบปัญญาประดิษฐ์บนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กในสถานที่จริง ในส่วนของการประกอบรวมของระบบปัญญาประดิษฐ์ขั้นต้นจะเริ่มต้นการทำงานจากการศึกษาบทความ

ทางวิชาการที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาต่อยอดความคิดในการออกแบบระบบ อีกทั้งยังมีส่วนสำคัญในการเลือกใช้อุปกรณ์ประมวลผล การรวบรวมข้อมูลภาพถ่าย การสร้างโมเดล (Model) การเลือกใช้ไลบรารี (Library) ที่ใช้ในการสร้างโมเดล เป็นต้น โดยอุปกรณ์วิเคราะห์ผลที่เลือกมานี้จะต้องมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักที่เบา อีกทั้งยังต้องมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการประมวลผลข้อมูลอีกด้วย เนื่องจากระบบทั้งหมดจะถูกติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก จากนั้นจะเป็นการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเพื่อสร้างโมเดลที่เกิดจากการเรียนรู้ของระบบปัญญาประดิษฐ์ และนำโมเดลที่ได้ไปทดสอบใช้งาน



รูปที่ 1 *แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจสอบพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก*

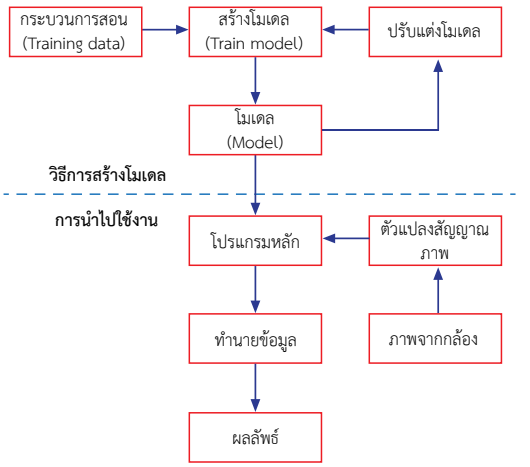
3. การสร้างโมเดลเพื่อทดสอบระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้ TensorFlow platform และอุปกรณ์กล้องที่เลือกใช้ในการทำระบบต้นแบบ

3.1 ระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI)

การวิเคราะห์และประมวลผลด้วยการใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อควบคุมอากาศยานหรือการวิเคราะห์ประมวลผลสัญญาณจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิเคราะห์สัญญาณเสียง [6] หรือวิเคราะห์สัญญาณภาพถ่าย เป็นต้น

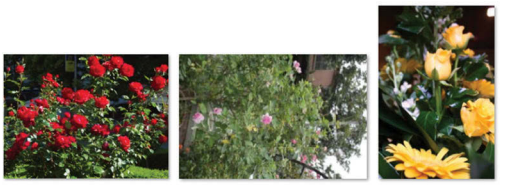
ในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์บนระบบอากาศยานไร้คนขับเริ่มได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในส่วนของการเฝ้าระวัง [7] และติดตามเป้าหมาย ซึ่งเป้าหมายของระบบจะเป็นไปได้ทั้งการพยากรณ์ การดูความคล้ายคลึงของวัตถุเป้าหมายของ คน สัตว์ หรือ สิ่งของ ซึ่งเมื่อได้ทำการพบเจอเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้จะสามารถแจ้งไปยังผู้เขียนโปรแกรมได้ เป็นต้น [8] การนำข้อมูลทางสถิติจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อมมารวบรวมและวิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับเป้าหมายของระบบข้อมูล โดยเลือกใช้ TensorFlow เวอร์ชัน 1.15 ผ่านสถาปัตยกรรม SSD Mobilenet เวอร์ชัน 2 บนระบบปฏิบัติการ Ubuntu เวอร์ชัน Bionic Beaver ร่วมกับการ์ดประมวลผลแบบ GPU ยี่ห้อ NVIDIA รุ่น Geforce GTX-980 มี cuda จำนวน 2048 cuda core โดยมีขั้นตอนการสร้างโมเดลและการนำโมเดลไปใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2 โดยกระบวนการสอน (Training data) จะเริ่มจากการเตรียมข้อมูลที่ประกอบด้วยค่าหรือตัวแปรที่มีคุณลักษณะเฉพาะ (Features) และทำการ Label หรือการใส่ค่าเป้าหมาย การตั้งชื่อให้กับข้อมูลหรือ

เรียกว่า Data set เพื่อมาสอนให้กับคอมพิวเตอร์ ส่วนขั้นตอนการสอนเรียกว่า Train ทั้งนี้ เพื่อให้ได้โมเดลที่เหมาะสมจะต้องมีการปรับแต่งโมเดลเพื่อให้พร้อมใช้งาน ซึ่งการนำโมเดลไปใช้งานนั้นตัวโมเดลไม่สามารถใช้งานเพียงลำพังได้จะต้องมีโปรแกรมหลักที่ทำหน้าที่รับข้อมูลแล้วนำเข้าไปประมวลผลหรือทำนายผลจนได้ผลลัพธ์ออกมา



รูปที่ 2 *แสดงขั้นตอนการโมเดลและการนำไปใช้งาน*

ในบทความวิชาการนี้ไม่สามารถสร้างโมเดลจากพืชเสพติดได้ เนื่องจากไม่สามารถหาพืชเสพติดมาเป็นชุดข้อมูลได้ ดังนั้น จึงเลือกดอกกุหลาบและแปลงต้นอ้อยมาเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับสร้างโมเดลเพื่อใช้ทดแทนพืชเสพติดและทดสอบการประกอบรวมของระบบที่ได้ศึกษานี้ ในขั้นตอนการสร้างโมเดลด้วยชุดข้อมูลภาพของดอกกุหลาบได้ใช้แหล่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตจาก Open Image Dataset จำนวน 1,500 รูปถ่าย ดังแสดงในรูปที่ 3 และสร้างโมเดลต้นอ้อยจากแหล่งภาพตัวอย่างจากพื้นที่จริงในระดับความสูงต่าง ๆ ตั้งแต่ 20 เมตร ไปจนถึง 150 เมตร เหนือระดับพื้นดิน จำนวน 1,000 รูปถ่าย โดยใช้อากาศยานไร้คนขับที่ติดกล้องภาพสีในการบินเก็บภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4



(a) (b) (c)

รูปที่ 3 *แสดงรูปตัวอย่างจากอินเทอร์เน็ตโดยใช้ Open Image Dataset เวอร์ชัน 4 (a) กุหลาบสีแดง, (b) กุหลาบสีชมพู และ (c) กุหลาบสีเหลือง*

(a) (b) (c)

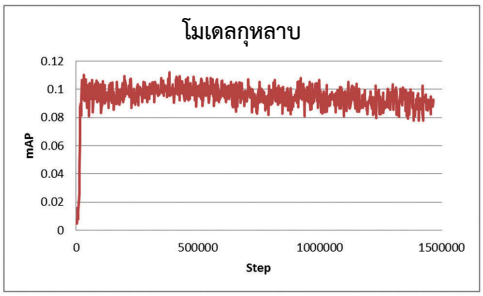
รูปที่ 4 *แสดงรูปต้นอ้อยที่ได้จากการเก็บรูปเพื่อสร้างโมเดลแปลงอ้อย (a) ความสูง 40 เมตร, (b) ความสูง 70 เมตร และ (c) ความสูง 180 เมตร*

หลังจากการรวบรวมภาพถ่ายทั้งหมด จึงทำการแยกประเภทข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Train) และประเภทข้อมูลสำหรับการปรับแต่ง รวมถึงการแสดงผลการเรียนรู้ที่ถูกต้อง (Test) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการสร้างโมเดลระบบปัญญาประดิษฐ์ ถ้าหากข้อมูลภาพถ่ายที่นำมามีความแปรปรวนสูง เมื่อนำไปสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ระบบก็จะนำผลที่ได้ไปประมวลผลโดยผลลัพธ์ที่ได้จะมีความไม่ถูกต้องสูงตามข้อมูลที่นำมาทำการสร้างโมเดล เป็นต้น

จากนั้นให้คอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้แล้วประมวลผลเพื่อหาค่าโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับสมการปัญญาประดิษฐ์ โดยที่ระบบจะทำการจำลอง วิเคราะห์ ปรับแก้ และเรียนรู้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้ผลของความผิดพลาดลดลงจนถึงจุดที่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งจะนิยมใช้งานในระบบปัญญาประดิษฐ์ที่มีค่าความผิดพลาดของข้อมูลน้อยที่สุด ดังแสดง

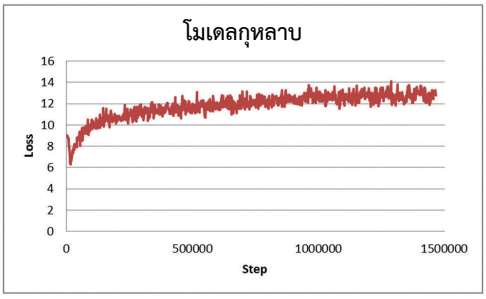
ในกราฟตัวอย่างที่ 1 และ 2 ที่แสดงค่าความละอียดในการตรวจจับโมเดลกุหลาบและโมเดลแปลงต้นอ้อยตามลำดับ

เมื่อค่าอัตราการสูญเสีย (Loss) มีค่าน้อยลงจนถึงจุดที่คาดว่าสามารถนำสมการมาใช้งาน จึงทำการหยุดการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่า Loss นี้คือ ค่า Loss Function ที่บ่งบอกค่าฟังก์ชันของ Classification ดังแสดงในกราฟที่ 3 และ 4 ได้ทำการประมวลผลระบบโมเดลกุหลาบที่ 1.4 ล้านรอบ และโมเดลแปลงต้นอ้อยที่ 2 ล้านรอบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อจำนวนรอบสูงขึ้น เมื่อระบบปัญญาประดิษฐ์ประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วให้แปลงสมการเป็นไฟล์ frozen file เพื่อนำไปประมวลผลบนอุปกรณ์ที่รองรับการใช้งานการวิเคราะห์ภาพด้วยการเรียนรู้จากระบบปัญญาประดิษฐ์



กราฟที่ 1 *แสดงค่า DetectionBoxes Precision mAP โมเดลกุหลาบเทียบกับจำนวนการรัน (Step) ในระบบ TensorFlow*

กราฟที่ 2 *แสดงค่า DetectionBoxes Precision mAP โมเดลแปลงต้นอ้อยเทียบกับจำนวนการรัน (Step) ในระบบ TensorFlow*



กราฟที่ 3 *แสดงค่า Loss โมเดลกุหลาบเทียบกับจำนวนการรัน (Step) ในระบบ TensorFlow*

กราฟที่ 4 *แสดงค่า Loss โมเดลแปลงต้นอ้อยเทียบกับจำนวนการรัน (Step) ในระบบ TensorFlow*

3.2 ระบบแปลงสัญญาณภาพ

ในระบบแปลงสัญญาณภาพจะใช้อุปกรณ์ประเภทแปลงสัญญาณภาพจากกล้อง โดยรับสัญญาณภาพเป็นสัญญาณแอนะล็อกหรือสัญญาณที่มาจากช่องสัญญาณ HDMI แปลงเพื่อทำการสตรีมมิงสัญญาณภาพเข้าไปในเครือข่าย ซึ่งอุปกรณ์ที่เลือกใช้เป็นระบบจากผู้พัฒนา Z^3 Technology รุ่น Lightweight Dual Camera Full 4K Encoder (FV4K-DCK-15) ดังแสดงในรูปที่ 5 อีกทั้งยังสามารถกำหนดขนาดข้อมูลที่ทำการส่งไปในระบบเครือข่ายได้ ซึ่งใช้เป็นระบบ PAYLOAD บนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กร่วมกับอุปกรณ์กล้องในการใช้ประมวลผลภาพ

***รูปที่** 5 ระบบแปลงสัญญาณภาพ รุ่น Lightweight Dual Camera Full 4K Encoder (FV4K-DCK-15)*

3.3 อุปกรณ์กล้องสำหรับประมวลผลภาพ

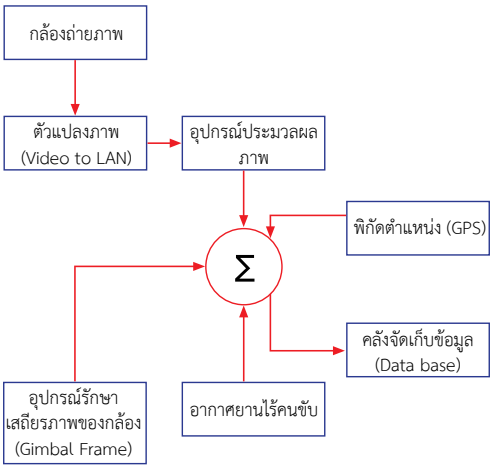
ในการทดสอบระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อนำไปติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก จะใช้กล้อง 2 รูปแบบ ประกอบด้วย กล้องประเภทที่ 1 แบบเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว (Prime Lenses) ที่มีตัวรับภาพ 2 ชนิดในตัวเดียวกัน ยี่ห้อ FLIR รุ่น DUO PRO R 640 โดยที่ขนาดเลนส์ของภาพสีที่มีขนาดเซนเซอร์ 4,000 x 3,000 พิกเซล รวมถึงระยะ Focus lens ที่ 4 มิลลิเมตร, f/2.8 และกล้องถ่ายภาพความร้อนขนาดเซนเซอร์ 640 x 512 พิกเซล มีช่วงเลนส์ 19 มิลลิเมตร มีตัวประมวลผล IMU ในตัวกล้อง ทำให้รู้ถึงท่าทางของกล้องรวมถึงตำแหน่งภาพถ่ายของกล้อง ดังแสดงในรูปที่ 6 (ซ้าย) และ กล้องประเภทที่ 2 แบบเลนส์ซูมที่มีขนาดเซนเซอร์ 1/2.3 Exmor R CMOS ยี่ห้อ SONY รุ่น FCB-ER8300 โดยมีขนาด 8.93 ล้านพิกเซล ช่วงเลนส์อยู่ที่ขนาด 3.9 - 46.8 มิลลิเมตร, f1.8 ถึง f2.0 โดยเป็นการซูมแบบปรับระยะเลนส์ (Optical zoom) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ขวา) ซึ่งกล้อง 2 รูปแบบนี้จะสามารถใช้ในการติดตั้งระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กได้

***รูปที่** 6 กล้องแบบเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว (ซ้าย) และกล้องแบบเลนส์ซูม (ขวา)*

อุปกรณ์กล้องที่นำมาทดสอบในเบื้องต้นจะทดสอบด้วยกล้องจากคอมพิวเตอร์ก่อน เพื่อทดสอบระบบการตรวจจับภาพ จากนั้นจึงนำมาทดสอบร่วมกับระบบกล้อง 2 รูปแบบ ซึ่งเป็นระบบหลักที่จะนำมาติดตั้งบนยานไร้คนขับ โดยติดตั้งบนระบบรักษาเสถียรภาพกล้อง (Camera Gimbal) ยี่ห้อ GREMSY รุ่น S1 เวอร์ชัน 3 ซึ่งระบบกล้องทั้งสองจะถูกติดตั้งได้เพียงทีละระบบบนอุปกรณ์รักษาเสถียรภาพ และจะถูกนำไปติดตั้งบนระบบยานไร้คนขับต่อไป ในหัวข้อการสร้างต้นแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กเพื่อใช้ในการทดสอบ

3.4 แนวทางการพัฒนาระบบ “*In situ info.*”

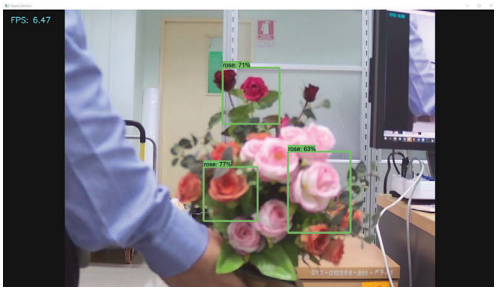
ระบบการทำงานแบบ *In situ info.* เป็นการทำงานและประมวลผลข้อมูลบนอากาศยานโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะประกอบด้วย ข้อมูลภาพ พิกัดตำแหน่งและท่าทางของอากาศยาน และลักษณะท่าทางการหมุนของกล้องถ่ายภาพ เพื่อนำมาประมวลผลหาวัตถุในภาพและเก็บบันทึกข้อมูลในคลังจัดเก็บข้อมูลบนอากาศยาน ทั้งนี้ ในอนาคตนักวิจัยได้นำแนวคิดจากการศึกษาการทำระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กมาพัฒนาต่อยอดให้เป็นระบบที่สามารถค้นหาและบอกข้อมูลในขณะทำการบินเพื่อค้นหาเป้าหมายได้โดยอัตโนมัติ รวมถึงจะทดสอบการบินหาเป้าหมายที่เป็นวัตถุโดยใช้โมเดลที่ทำการออกแบบขึ้นมาจากกระบวนการที่ได้นำเสนอเพื่อทดสอบการทำงาน *In situ info.* ทั้งระบบกล้องเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียวและเลนส์ซูม ตามลักษณะความสูงในการบินของอากาศยานและภารกิจการค้นหาต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อจะนำระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาไปประยุกต์ใช้งานในภารกิจการลาดตระเวน สอดแนมและค้นหาวัตถุ ด้วยโมเดลที่เหมาะสมกับภารกิจเหล่านั้น เช่น คน สัตว์ ยานพาหนะ หรือ สิ่งของ เป็นต้น



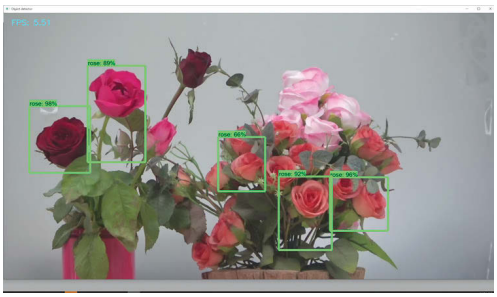
รูปที่ *7 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ In situ info บนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก*

4. การทดสอบและประมวลผลโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับวัตถุร่วมกับระบบกล้อง

ในการทดสอบปัญญาประดิษฐ์เพื่อใช้ในการตรวจสอบภาพถ่ายจะสามารถตรวจสอบได้ว่าในสมการที่เลือกมานั้น มีความเหมาะสมกับกล้องประเภทต่าง ๆ อย่างไรบ้าง และสามารถตรวจพบผลลัพธ์ตามโมเดลที่ได้ทำการออกแบบมาหรือไม่ จึงต้องมีการทดสอบระบบปัญญาประดิษฐ์ตามแบบต่าง ๆ โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของโมเดลกุหลาบโดยใช้กล้องแบบเลนซ์ทางยาวโฟกัสเดียวในการตรวจจับภาพ และรูปที่ 9 แสดงผลลัพธ์ของโมเดลกุหลาบโดยใช้กล้องแบบเลนซ์ซูมในการตรวจจับภาพ โดยทั้งสองการทดลองได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการภายในอาคาร นอกจากนี้ได้สร้างโมเดลแปลงต้นอ้อยที่มีจุดมุ่งหมายในการนำไปทดสอบบริเวณแปลงไร่อ้อยนอกอาคาร ซึ่งในเบื้องต้นจะสรุปผลเพียงการทดสอบจากโมเดลกุหลาบในอาคารและผลการสร้างโมเดลแปลงต้นอ้อยจากโปรแกรม TensorFlow โดยจุดมุ่งหมายในการทดสอบเพื่อดูการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อนนำไปติดตั้งเพื่อสร้างต้นแบบการประมวลผล *In situ info.* ในการหาผลลัพธ์ของการประมวลผลในรูปแบบของข้อมูลรวมถึงพิกัดตำแหน่งของภาพเพื่อระบุวัตถุที่ได้ทำการเรียนรู้แล้วนำกลับมาแสดงยังฐานข้อมูลแม้ว่าระบบสัญญาณจะขาดหายไปขณะทำการบิน



รูปที่ *8 แสดงการทดสอบปัญญาประดิษฐ์ด้วยกล้องสีแบบเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว*



รูปที่ *9 แสดงการทดสอบปัญญาประดิษฐ์ด้วยกล้องแบบปรับซูมได้*

4.1 การทดสอบประมวลผลโมเดลบนคอมพิวเตอร์

การทดสอบการสร้างโมเดลด้วย TensorFlow จะทดสอบการสร้างโมเดลจำนวน 2 โมเดล ได้แก่ โมเดลกุหลาบ และ โมเดลแปลงต้นอ้อย โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงตามตารางที่ 1 และรูปที่ 10 ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการประมวลผลปัญญาประดิษฐ์

รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบปัญญาประดิษฐ์ที่การตรวจจับวัตถุบนภาพ (ซ้าย) และตำแหน่งวัตถุบนภาพเพื่อให้ระบบปัญญาประดิษฐ์เรียนรู้ความถูกต้อง (ขวา)

ตารางที่ 1 แสดงผลการรันโมเดลด้วย TensorFlow เวอร์ชัน 1.15

	โมเดลกุหลาบ	โมเดลแปลงอ้อย
จำนวน Steps	1.4 ล้านรอบ	2 ล้านรอบ
mAP ใหญ่	0.1428	0.3807
mAP กลาง	0.0199	-1
mAP เล็ก	0	-1
mAP@.5IOU	0.23	0.532
mAP@.75IOU	0.061	0.432
Recall 1	0.079	0.298
Recall 10	0.115	0.425
Recall 100	0.16	0.428
Loss	12.8198	0.8303

4.2 การทดสอบโมเดลบนคอมพิวเตอร์ประมวลผลโดยใช้กล้องแบบเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว

ในการทดสอบนี้จะใช้กล้องแบบเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว โดยที่จะทำการตั้งกล้องไว้กับที่แล้วนำดอกกุหลาบมาทดสอบกับระบบปัญญาประดิษฐ์ ทำให้ได้ผลลัพธ์จากการทดสอบตามตารางที่ 2 โดยใช้กุหลาบที่แตกต่างกันตามที่นักวิจัยหาได้ คือ กุหลาบจริง กุหลาบปลอม และภาพดอกกุหลาบจากในโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อทดสอบความถูกต้องของโมเดลว่าสามารถตรวจจับกุหลาบแบบต่าง ๆ ได้หรือไม่

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบโมเดลระบบปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ภาพผ่านกล้องแบบเลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว

ลำดับ	ประเภทของดอกกุหลาบ	ผลที่ได้	ค่าเปอร์เซ็นต์ที่พบ
1	กุหลาบปลอมสีส้ม	ตรวจพบ	มากกว่า 80%
2	กุหลาบปลอมสีฟ้า	ตรวจไม่พบ	-
3	กุหลาบปลอมสีชมพู	ตรวจพบ	ช่วง 75% - 85%
4	ภาพดอกกุหลาบจากโทรศัพท์เคลื่อนที่	ตรวจพบ	ช่วง 60% - 70%
5	กุหลาบจริง	ตรวจพบ	มากกว่า 80%

4.3 การทดสอบโมเดลบนคอมพิวเตอร์ประมวลผลโดยใช้กล้องแบบเลนส์ซูม

ในการทดสอบนี้จะใช้กล้องซูมแล้วนำดอกกุหลาบไปวางในระยะที่ไกลออกไป ประมาณ 2-3 เมตร แล้วจึงทำการทดสอบปรับซูมไปยังตำแหน่งดอกกุหลาบ ซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ของการทดสอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบโมเดลระบบปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ภาพผ่านกล้องเลนส์ซูม

ลำดับ	ประเภทของดอกกุหลาบ	ผลที่ได้	ค่าเปอร์เซ็นต์ที่พบ
1	กุหลาบปลอมสีส้ม	ตรวจพบ	มากกว่า 90%
2	กุหลาบปลอมสีฟ้า	ตรวจไม่พบ	-
3	กุหลาบปลอมสีชมพู	ตรวจพบ	ช่วง 70% - 80%
4	ภาพดอกกุหลาบจากโทรศัพท์เคลื่อนที่	ตรวจพบ	ช่วง 60% - 70%
5	กุหลาบจริง	ตรวจพบ	มากกว่า 90%

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การประกอบรวมของระบบปัญญาประดิษฐ์ขั้นต้นจะเป็นการนำระบบปัญญาประดิษฐ์เข้ามาทดสอบร่วมกับระบบกล้องที่จะนำไปติดตั้งบนระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก จากการทำงานดังกล่าวทำให้ทราบว่าระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถทำงานร่วมกับระบบกล้องถ่ายภาพและชุดแปลงสัญญาณ

ภาพจาก HDMI สู่ระบบเครือข่ายได้ และกล้องถ่ายภาพที่นำมาใช้บนอากาศยานไร้คนขับส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณภาพจาก HDMI หรือเป็นสัญญาณภาพแอนะล็อกตามประเภทของกล้องถ่ายภาพ จึงต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณภาพเข้ามากระจายสัญญาณเข้าสู่ระบบเครือข่าย ส่วนการนำโมเดลกุหลาบมาใช้ในการทดสอบเบื้องต้น ระบบสามารถทำงานร่วมกันได้ในกระบวนการต่อไปสำหรับการวิจัยสร้างต้นแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจจับพืชเสพติดบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กจะต้องนำอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พิกัดตำแหน่งของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ชุดอุปกรณ์ระบบรักษาเสถียรภาพกล้องพร้อมระบุท่าทาง และระบบประมวลผลปัญญาประดิษฐ์เป็นต้น นำมาประกอบและติดตั้งบนระบบอากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุนหลายใบพัด เพื่อทดสอบระบบในสถานที่จริง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Verykokou, A. Doulamis, G. Athanasiou, C. Ioannidis and A. Amditis, "UAV-based 3D modelling of disaster scenes for Urban Search and Rescue," *2016 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*, Chania, Greece, 2016, pp. 106-111, doi: 10.1109/IST.2016.7738206.

[2] R. Kalita, A. K. Talukdar and K. K. Sarma, "Real-Time Human Detection with Thermal Camera Feed using YOLOv3," *2020 IEEE 17th India Council International Conference (INDICON)*, New Delhi, India, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/INDICON49873.2020.9342089.

[3] C. Hsu, F. Chen and G. Wang, "High-Resolution Image Inpainting through Multiple Deep Networks," *2017 International Conference on Vision, Image and Signal Processing (ICVISP)*, Osaka, Japan, 2017, pp. 76-81, doi: 10.1109/ICVISP.2017.27.

[4] Jun Zhou, Yichen and Chao Yuan, "Improved UAV Opium Poppy Detection Using an Updated YOLOv3 Model" 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland.

[5] J. Zhou, Y. Tian, C. Yuan, K. Yin, G. Yang and M. Wen, "Improved UAV Opium Poppy Detection Using an Updated YOLOv3 Model," *Sensor*, vol. 19, no. 22, 2019.

[6] R. Alshanbari, S. Khan, N. El-Atab and M. Mustafa Hussain, "AI Powered Unmanned Aerial Vehicle for Payload Transport Application," *2019 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON)*, Dayton, OH, USA, 2019, pp. 420-424, doi: 10.1109/NAECON46414.2019.9058320.

[7] Y. Gao, T. Huang, Z. Lin, B. Xu and D. Xu, "A real-time Chinese speech recognition system with unlimited vocabulary," *in 1991 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Toronto, Ontario, Canada, 1991, pp. 257-260, doi: 10.1109/ICASSP.1991.150326.

[8] J. A. Paredes, J. González, C. Saito and A. Flores, "Multispectral imaging system with UAV integration capabilities for crop analysis," *2017 First IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE)*, Valdivia, Chile, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/GRSS-CHILE.2017.7996009.

[9] T. K. Hazra, D. P. Singh and N. Daga, "Optical character recognition using KNN on custom image dataset," *2017 8th Annual Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference (IEMECON)*, Bangkok, Thailand, 2017, pp. 110-114, doi: 10.1109/IEMECON.2017.8079572.

ความพึงพอใจในการใช้งาน ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม: กรณีศึกษา อ.ท่าวังผา จ.น่าน

พิมพ์รภัส งามสันติวงศ์ [1*]

วันที่รับ 7 ธันวาคม 2565 วันที่แก้ไข 17 กุมภาพันธ์ 2566 วันตอบรับ 20 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ของหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมสนามรบด้านการข่าว ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม 2) การอธิบายผลกระทบของสถานการณ์น้ำท่วม 3) การประเมินค่าภัยคุกคามจากสถานการณ์น้ำท่วม และ 4) การพิจารณาเลือกหนทางปฏิบัติต่อสถานการณ์น้ำท่วม ซึ่งจำแนกตามข้อมูลส่วนบุคคล โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผลการประเมินข้อมูลส่วนบุคคลพบว่าเป็นเพศชายมากกว่าเพศหญิง โดยเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 93.3 และเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 6.7 ด้านอายุพบว่าส่วนมากที่สุดอยู่ในช่วงอายุ 30-40 ปี และช่วงอายุ 41-50 ปี คิดเป็นร้อยละ 40 ด้านประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติพบว่าส่วนมากมีประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ ต่ำกว่า 8 ปี คิดเป็นร้อยละ 56.7 ส่วนผลการสำรวจความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม ด้านการกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วมมีผลตอบรับที่ดีและไม่มีผลตอบรับในเชิงลบ ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยอธิบายผลกระทบของสถานการณ์น้ำท่วม และด้านการเป็นเครื่องมือช่วยประเมินค่าภัยคุกคามจากสถานการณ์น้ำท่วม มีผลการประเมินข้อมูลเชิงปริมาณเป็นพึงพอใจมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้โดยภาพรวมว่า ข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. มีความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมสนามรบด้านการข่าวโดยมีค่าความพึงพอใจคือ 4.18 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 นั่นคือมีคะแนนที่เกาะกลุ่มกันในระดับที่ดีและยอมรับได้ มีความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมข่าวกรองสนามรบ

คำสำคัญ : การเตรียมข่าวกรองสนามรบ, ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม, ความพึงพอใจ

---

[1] ส่วนบริหารองค์ความรู้, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: phimraphas.n@dti.or.th

Satisfaction With The Flood Simulation System Case Study: Tha Wanga Pha District, Nan Province

Phimraphas Ngamsantivongsa [1*]

Received 7 December 2022, Revised 17 February 2023, Accepted 20 February 2023

Abstract

The purpose of this study was to assess the satisfaction with the Flood Simulation System used by Mobile Development Unit 31 in Tha Wang Pha District, Nan Province, as a military tool for Intelligence Preparation of the Battlefield (IPB). It consists of four steps: 1) determining the environment of the flood situation area; 2) explaining the impact of the flood situation; 3) evaluating the threat from the flood situation; and 4) considering how to deal with the flood situation classified by personal data. The questionnaire was used as a tool for collecting data.

As a result of the personal data assessment, males accounted for 93.3 percent of participants, and females accounted for 6.7 percent. In terms of age, the majority were between the ages of 30 and 40, and those between the ages of 41 and 50 accounted for 40 percent. In terms of experience in disaster relief and disaster management, it was found that most of them had experience for less than 8 years, representing 56.7 percent. As for the results of the satisfaction survey on the use of the flood simulation system, considering the environmental conditions of the flood situation area, there were mostly positive feedbacks and almost no negative feedbacks. In terms of being a military tool to help explain the impact of the flood situation and as a military tool to help assess the threat from the flood situation, this has the most satisfactory assessment result. Therefore, it can be concluded that Mobile Development Unit 31 was satisfied with the use of the flood simulation system in Tha Wang Pha District, Nan Province, as a military tool for intelligence preparation of the battlefield. The satisfaction value is 4.18, while the standard deviation is 0.64, which indicates good and acceptable cohesion.

Keywords : Intelligence Preparation of the Battlefield (IPB), Flood simulation system, Satisfaction

---

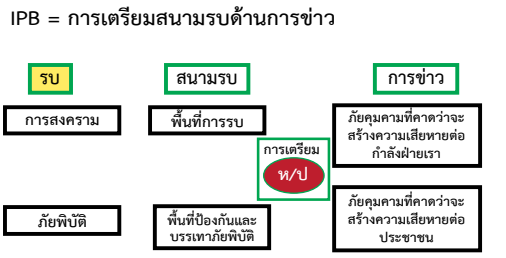
[1] Knowledge Management Division, Defence Technology Institute

[*] Corresponding author, E-mail: phimraphas.n@dti.or.th

1. บทนำ

หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา หรือ นทพ. เป็นหน่วยงานทางทหารสังกัดกองบัญชาการกองทัพไทย กระทรวงกลาโหม มีหน้าที่สำคัญในการป้องกันและแก้ไขปัญหาสาธารณภัยและภัยพิบัติ นทพ. มีสำนักงานพัฒนาภาคประจำอยู่ทุกภาคและบังคับบัญชาหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศไทย เพื่อเข้าถึงปัญหาสาธารณภัยและภัยพิบัติของประชาชนในทุกมุมของประเทศ นทพ. จึงมีหน่วยทหารที่เผชิญกับการบรรเทาสาธารณะและภัยพิบัติที่หลากหลายตามพื้นที่รับผิดชอบ หน่วยทางตอนเหนือตั้งอยู่ในพื้นที่ภูเขาที่มีภูมิประเทศเป็นภูเขาสูง มักพบดินถล่มและน้ำท่วมฉับพลัน อุปกรณ์ที่รับผิดชอบส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์กลไกในสายช่าง รถแบคโฮ (Backhoe) หรือรถกระบะที่ส่วนใหญ่ใช้งานมามากกว่า 10 ปี จึงเสื่อมสภาพตามกาลเวลา หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ได้พยายามรักษาสภาพของตนเพื่อช่วยเหลือประชาชน ดังนั้นหากสามารถนำหลักการและเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อให้หน่วยงานสามารถรักษาสภาพของอุปกรณ์ให้ดำเนินการต่อไปได้ หน่วยก็จะปฏิบัติภารกิจป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเพื่อประโยชน์สูงสุดของประชาชนในพื้นที่

บทความนี้เป็นผลมาจากความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) และหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 สำนักงานพัฒนาภาค 3 หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา (นพค.31 สนภ.3 นทพ.) หรือ นพค.31 เพื่อการพัฒนาข้อมูลข่าวสาร (Information) และข่าวกรอง (Intelligence) เกี่ยวกับพื้นที่ในการเข้าปฏิบัติภารกิจการบรรเทาทุกข์จากสถานการณ์ฉุกเฉิน ช่วยเหลือและบรรเทาภัยพิบัติ ข้อมูลข่าวสารและข่าวกรองจะถูกใช้สำหรับการจัดการภัยพิบัติ ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์พื้นที่และสภาพแวดล้อมที่จะเข้าปฏิบัติภารกิจโดยละเอียดจากความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) และ นพค.31 โดยสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศดำเนินการวิจัยและพัฒนาระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม เพื่อให้ นพค.31 นำไปใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการภัยพิบัติ โดยเลือกใช้อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน เป็นพื้นที่ศึกษา วัตถุประสงค์ของการวิจัยที่นำมาจัดทำบทความวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาการใช้ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วมเป็นเครื่องมือการเตรียมข่าวกรองสนามรบ (Intelligence Preparation of the Battlefield) หรือ IPB



รูปที่ 1 *การเตรียมข่าวกรองสนามรบ*

รฐนนท ให้ความหมาย IPB ใน [1] ซึ่งเป็นไปตามแผนภาพในรูปที่ 1 ไว้ว่า คือ กระบวนการที่ต่อเนื่องเป็นระบบวิเคราะห์ภัยคุกคามและสภาพแวดล้อมในพื้นที่การรบ มุ่งให้ได้ผลผลิต คือการข่าวกรองในรูปแบบของภัยคุกคามที่คาดว่าจะสร้างความเสียหายต่อกำลังฝ่ายเรา ดังนั้น เมื่อนำหลักการ IPB มาประยุกต์ใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาสาธารณภัยและภัยพิบัติของ นทพ. ตามกรอบด้านล่างของรูปที่ 1 แล้ว พื้นที่การรบจะเปลี่ยนมาเป็นพื้นที่ป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติ มุ่งให้ได้ผลผลิต คือการข่าวกรองในรูปแบบของภัยคุกคามที่คาดว่าจะสร้างความเสียหายต่อประชาชน โดยใน IPB จะแบ่งขั้นตอนการจัดทำออกเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การกำหนดสภาพแวดล้อมของสนามรบ 2) การอธิบายผลกระทบของสภาพแวดล้อม 3) การประเมินค่าภัยคุกคาม และ 4) การพิจารณาเลือกหนทางปฏิบัติต่อภัยคุกคาม

Adikari และคณะ [2] ได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับสร้างคุณลักษณะภูมิประเทศบนแผนที่ที่กำหนด โดยการบันทึกแผนที่เหล่านั้นในฐานข้อมูล ทำการเพิ่มคุณลักษณะเพิ่มเติมเข้าไปเพื่อให้เป็นภาพซ้อนทับ และเพิ่มคุณสมบัติเชิงพื้นที่ต่าง ๆ สำหรับภาพซ้อนทับเหล่านั้น นอกจากนั้นยังใช้อัลกอริทึม (Algorithm) และแนวทางเพื่อทำให้ชุดคำสั่งในการสร้าง IPB เป็นแบบอัตโนมัติ และทำการเปรียบเทียบวิธีการต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ตลอดจนเปรียบเทียบผลลัพธ์กับผลลัพธ์จากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านและระบบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน การศึกษานี้ค้นพบว่านอกจากนี้ยังมีข้อมูลภูมิประเทศอื่น ๆ อีกจำนวนหนึ่งที่ต้องรวมกับข้อมูลภูมิประเทศ เช่น สภาพอากาศและประเภทของดิน เป็นต้น แต่การศึกษานี้ไม่สามารถรวมข้อมูลเหล่านั้นได้ เนื่องจากขาดข้อมูลเหล่านั้น และคาดการณ์ว่าหากข้อมูลเหล่านั้นถูกนำเข้ามารวมในระบบ จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำยิ่งขึ้นและเป็นเป้าหมายในการศึกษาในอนาคต

2. การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเตรียมข่าวกรองสนามรบ

IPB เป็นกระบวนการที่มีการดำเนินการอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องในการวิเคราะห์ภัยคุกคามและสภาพแวดล้อมของอาณาบริเวณ [3] IPB ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับการประเมินขีดความสามารถกำลังพลและการตัดสินใจทางทหาร IPB ถูกมองว่าเป็นเครื่องมือวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้บังคับบัญชาตัดสินใจเลือกและขยายขีดความสามารถการต่อสู้ที่สำคัญในเวลาและพื้นที่ โดยกำหนดวิธีการจัดการกับภัยคุกคามและอธิบายสภาพแวดล้อมการทำงานของหน่วยที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินงาน IPB ยังเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาความรู้ เนื่องจากผลงานวิจัยของ Snider [4] ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำ IPB ไปใช้ในการพัฒนาความรู้ในบริบทของกองทัพสาธารณรัฐเช็กและผลการศึกษาได้ข้อสรุปที่สามารถนำไปพัฒนา IPB ที่เป็นไปได้และเสนอแนะแนวทางในรูปแบบของแบบจำลองที่ตรงกับความต้องการของกองทัพสาธารณรัฐเช็กในศตวรรษที่ 21

ข้อมูลภูมิประเทศเป็นบริบทที่สำคัญสำหรับการปฏิบัติภารกิจภาคพื้นดิน ลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดในการวางกองกำลังทั้งฝ่ายพันธมิตรและฝ่ายศัตรู ลักษณะภูมิประเทศที่สำคัญ เช่น สะพานข้ามแม่น้ำที่ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ หรือภูมิประเทศที่เอื้อให้เฝ้าสังเกตแนวรุกของกองกำลังฝ่ายตรงข้ามได้ เป็นต้น ก่อให้เกิดความได้เปรียบทางทหารอย่างมากแก่กองกำลังที่จะเข้าโจมตีหรือยึดครองพื้นที่ เจ้าหน้าที่ด้านการข่าวกรองต้องรวบรวมข้อมูลภูมิประเทศด้วยตนเอง ข้อมูลเกี่ยวกับความสำคัญทางยุทธวิธีของคุณลักษณะภูมิประเทศบางอย่าง Grindle et al. [5] จึงเขียนบทความที่นำเสนอชุดของอัลกอริทึม (Algorithm) และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ภูมิประเทศโดยอัตโนมัติ และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับนักวิเคราะห์ข่าวกรองผู้มีประสบการณ์

2.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการข่าวกรอง

Pimpa และคณะ [6] รายงานแผนที่การเคลื่อนตัวข้ามประเทศ (Cross-Country Movement: CCM) จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) สำหรับยานรบทางทหาร 4 ประเภทหลัก ประกอบด้วย รถบรรทุก M35 รถเคลื่อนย้ายกำลังพล รถถัง Stingray และรถถัง Scorpion ในอำเภอแม่สอด ที่ตั้งยุทธศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในภาคตะวันตกของประเทศไทย และดำเนินการตามแนวทางที่กองทัพสหรัฐฯ และกองทัพบกไทยนำมาใช้ สร้างแผนที่

โดยใช้ปัจจัยภูมิประเทศที่สำคัญ 5 ประการ ได้แก่ ความลาดชัน ความถี่ในการสกัดกั้นต่อความลาดชัน พืชปกคลุม ดิน และความขรุขระของพื้นผิว โดยระบุสภาพการเคลื่อนย้ายเป็น 3 ประเภท คือ ไป ไปช้า และไม่ไป ผลลัพธ์ที่ได้มีประโยชน์โดยเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการเตรียมการและการดำเนินงานในอนาคตของกองทัพบกในภารกิจ CCM ที่มีประสิทธิภาพสำหรับยานรบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

2.3 ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน

บริเวณพื้นที่อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน เป็นที่ลุ่มทางตอนเหนือของจังหวัดน่าน รองรับลำน้ำน่านทั้งลำน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ดังนั้น อำเภอท่าวังผาจึงเป็นพื้นที่ลุ่มแรกที่มีความเสี่ยงหรือมีการเกิดอุทกภัยจากลำน้ำน่าน ปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในอำเภอท่าวังผามีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อประชาชน ส่วนใหญ่จะเป็นสถานการณ์ของน้ำท่วมเอ่อล้นตลิ่งหรืออุทกภัยในลักษณะฉับพลัน (flash flood) เป็นน้ำท่วมที่ไหลเร็วและแรง

ภายใต้โครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน สทป. มีบันทึกข้อตกลงความร่วมมือในการศึกษาการอำนวยการปฏิบัติเพื่อการบรรเทาภัยพิบัติและสาธารณภัยของ นทพ. กับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนมาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อประเมินความเสียหายจากสถานการณ์ฉุกเฉินเหตุสาธารณภัยและภัยพิบัติ มีผลผลิตของการศึกษาคือ ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน โดยเลือกพื้นที่ในอำเภอท่าวังผาที่ประสบภัยเพื่อทำการศึกษาย้อนหลัง 10 ปี ซึ่งมีอยู่ประมาณ 60 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นประมาณ 38,000 ไร่ และเป็นพื้นที่ครอบคลุม 7 ตำบล ในอำเภอท่าวังผา

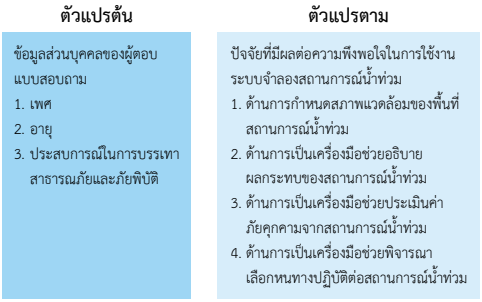
ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน สร้างขึ้นมาจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) จากการบินถ่ายภาพด้วยระบบอากาศยานไร้คนขับ มีความละเอียดของจุดภาพ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลขที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จึงมีค่าความถูกต้องเชิงพื้นที่ในทางดิ่งไม่เกิน ±15 เซนติเมตร หรือเป็น 2 เท่า ของความถูกต้องในทางราบ โดยมีความคลาดเคลื่อนทางราบในแนวแกน X อยู่ที่ 5.0 เซนติเมตร มีความคลาดเคลื่อนทางราบในแนวแกน Y อยู่ที่ 7.8 เซนติเมตร และความคลาดเคลื่อนในทางดิ่งแนวแกน Z อยู่ที่ 14.3 เซนติเมตร ข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างข้อมูลเส้นชั้นความสูง (Contour Line) เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระดับน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา [7] การนำองค์ความรู้และเทคโนโลยีระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ซึ่งเป็นผลผลิตจากความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ส่งมอบให้ นพค.31 ใช้เป็นเครื่องมือทางทหารในการช่วยเหลือประชาชนในพื้นที่รับผิดชอบ

3. วัตถุประสงค์

เพื่อสำรวจความพึงพอใจของข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. ต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมข่าวกรองสนามรบ หรือ IPB ในแต่ละขั้นตอนการจัดทำ ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม 2) การอธิบายผลกระทบของสถานการณ์น้ำท่วม 3) การประเมินค่าภัยคุกคามจากสถานการณ์น้ำท่วม และ 4) การพิจารณาเลือกหนทางปฏิบัติต่อสถานการณ์น้ำท่วม

3.1 กรอบแนวความคิดในการทำวิจัย

สำหรับการเตรียมข่าวกรองสนามรบ หรือ IPB นิยมใช้ในการทหาร เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ภัยคุกคามและสภาพแวดล้อมในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เพื่อพิจารณาหนทางปฏิบัติความเป็นไปได้ และประเมินหนทางปฏิบัติ เป็นส่วนสำคัญในการจำลองยุทธศาสตร์ ช่วยให้การปฏิบัติการต่าง ๆ ในสนามรบเป็นไปอย่างสอดคล้องกับงานด้านการข่าว และเกิดประโยชน์สูงสุดกับภารกิจด้านความมั่นคงและภารกิจทางด้านการทหาร จึงได้กำหนดกรอบแนวความคิดในการวิจัย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 *กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย*

3.2 วิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เพื่อประเมินความพึงพอใจของข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. ต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมข่าวกรองสนามรบ

1. กำหนดกลุ่มตัวอย่าง คือ ข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. จำนวน 30 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล โดยให้ (ประชากรหรือกลุ่มตัวอย่าง) ดำเนินการตามเอกสารสำหรับตรวจสอบข้อมูล (Check List) ตามความเป็นจริงของแต่ละคน

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามในการสำรวจความพึงพอใจของข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. ต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน โดยได้มีการบรรยายเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ให้กับข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. และเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสอบถามดังกล่าว ดังรูปที่ 3 โดยแบบสอบถามสร้างตามมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert Scale) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนคำตอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความพึงพอใจ

ระดับความพึงพอใจ	คะแนน
พึงพอใจอย่างยิ่ง	5
พึงพอใจมาก	4
พึงพอใจปานกลาง	3
ไม่พึงพอใจ	2
ไม่พึงพอใจอย่างยิ่ง	1

รูปที่ 3 *การบรรยายเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน*

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

จากแบบประเมินที่รวบรวมได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ข้อมูลที่ได้จากคำถามที่กำหนดคำตอบให้เลือกตอบ นำมาวิเคราะห์โดยการแจกแจงความถี่และหาค่าสัดส่วนร้อยละ

2. ข้อมูลที่ได้รับจากแบบสอบถาม นำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) โดยแปลผลความหมาย ดังนี้ เกณฑ์การแปลความหมาย เพื่อจัดระดับคะแนนเฉลี่ยในช่วงคะแนนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับคะแนนเฉลี่ยในช่วงคะแนนของระดับความพึงพอใจ

ช่วงคะแนน	ระดับความพึงพอใจ
4.21 – 5.00	พึงพอใจมากที่สุด
4.20 – 3.41	พึงพอใจมาก
3.40 – 2.61	พึงพอใจปานกลาง
2.60 – 1.81	ไม่พึงพอใจ
1.80 – 1.00	ไม่พึงพอใจอย่างยิ่ง

ความกว้างของอันตรภาคชั้นของค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.8 ซึ่งได้ค่ามาจากการคำนวณโดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} = \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}}$$

โดยนำค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินผลที่กำหนดไว้

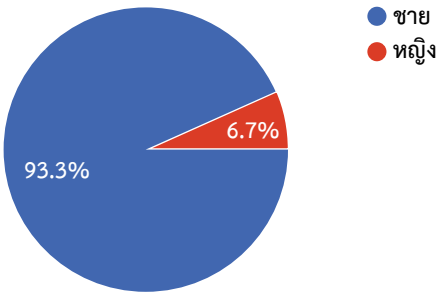
5. ผลการศึกษา

ความพึงพอใจของข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. ต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ได้ผลการประเมินดังนี้

5.1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

5.1.1 เพศ

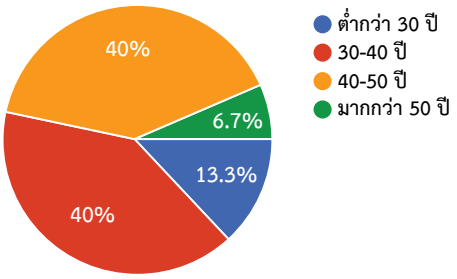
จากผลการสำรวจพบว่า ข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นผู้ตอบแบบประเมิน เป็นเพศชายมากกว่าเพศหญิง โดยมีเพศชาย จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 93.3 เพศหญิง จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 6.7 ดังแสดงในรูปที่ 4 ผู้ตอบแบบประเมินส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ซึ่งสอดคล้องกับหน่วยงานข้าราชการทหาร



รูปที่ 4 ร้อยละของผู้ตอบแบบประเมินจำแนกตามเพศ

5.1.2 อายุ

จากผลการสำรวจด้านอายุพบว่า ผู้ตอบแบบประเมินส่วนมากที่สุดอยู่ในช่วงอายุ 30-40 ปี และช่วงอายุ 41-50 ปี จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาอายุต่ำกว่า 30 ปี จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13.3 และน้อยที่สุดคือ อายุมากกว่า 50 ปี จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 6.7 ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยผู้ตอบแบบประเมินส่วนใหญ่อายุอยู่ในช่วงวัยทำงานตอนกลาง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการทำงานภายในองค์กร

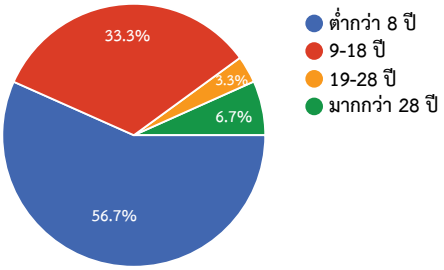


รูปที่ 5 ร้อยละของผู้ตอบแบบประเมินจำแนกตามอายุ

5.1.3 ประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ

จากผลการสำรวจด้านประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติพบว่า ผู้ตอบแบบประเมินมีประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ มากกว่า 28 ปี จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 6.7 สำหรับผู้ตอบแบบประเมิน

ที่มีประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ 19-28 ปี มีจำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 3.3 ส่วนผู้ตอบแบบประเมินที่มีประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ 9-18 ปี มีจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 33.3 และผู้ตอบแบบประเมินที่มีประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติต่ำกว่า 8 ปี จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 56.7 ดังแสดงในรูปที่ 6 ประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติมีส่วนสำคัญต่อการใช้งานและการช่วยปรับปรุงระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมข่าวกรองสนามรบ หรือ IPB



รูปที่ 6 *ร้อยละของผู้ตอบแบบประเมินจำแนกตามประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ*

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม

5.2.1 ด้านการกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม

การประเมินผลประเด็นวัดความพึงพอใจจากคำถาม จำนวน 4 ข้อ ประกอบด้วย

1. การกำหนดลักษณะสภาพแวดล้อมที่สำคัญ
2. การกำหนดขอบเขตพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา
3. การกำหนดความต้องการข่าวกรองและสมมติฐาน
4. การรวบรวมข่าวสารสำหรับจัดทำ IPB

5.2.2 ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยอธิบายผลกระทบของสถานการณ์น้ำท่วม

การประเมินผลประเด็นวัดความพึงพอใจจากคำถาม จำนวน 4 ข้อ ประกอบด้วย

1. วิเคราะห์ภูมิประเทศ
2. วิเคราะห์สภาพลมฟ้าอากาศ
3. วิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ของ อ.ท่าวังผา จ.น่าน
4. กำหนดผลกระทบสภาพสถานการณ์น้ำท่วม

5.2.3 ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยประเมินค่าภัยคุกคามจากสถานการณ์น้ำท่วม

การประเมินผลประเด็นวัดความพึงพอใจจากคำถาม จำนวน 2 ข้อ ประกอบด้วย

1. จัดทำรูปแบบการปฏิบัติของ นพค.31
2. กำหนดขีดความสามารถของ นพค.31

5.2.4 ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยพิจารณาเลือกหนทางปฏิบัติต่อสถานการณ์น้ำท่วม

การประเมินผลประเด็นวัดความพึงพอใจจากคำถาม จำนวน 6 ข้อ ประกอบด้วย

1. กำหนดเป้าหมายและผลลัพธ์ที่เป็นไปได้
2. กำหนดหนทางปฏิบัติที่เป็นไปได้
3. ประเมินและกำหนดค่าความเป็นไปได้ของหนทางปฏิบัติ
4. พัฒนาหนทางปฏิบัติโดยตอบคำถาม (ใคร (Who) อะไร (What) ที่ไหน (Where) เมื่อไร (When) ทำไม (Why) อย่างไร (How))
5. กำหนดแนวทางการรวบรวมข่าวสารด้านพื้นที่สถานการณ์และเส้นทางน้ำไหล
6. ปรับปรุงหนทางปฏิบัติภายหลังการจำลองสถานการณ์สู่ที่หมายสนใจและจุดตกลงใจ

ผลการประเมินสรุปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลสรุปร้อยละและค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม

ลำดับ	ประเด็นวัดความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
ด้านการกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม				
1	การกำหนดลักษณะสภาพแวดล้อมที่สำคัญ	4.13	0.65	พึงพอใจ
1.1	ลักษณะภูมิประเทศ	4.13	0.63	พึงพอใจ
1.2	ลักษณะภูมิอากาศ	4.07	0.58	พึงพอใจ
1.3	ข้อมูลประชากร	4.13	0.63	พึงพอใจ
1.4	สถิติการเกิดสถานการณ์น้ำท่วม	4.20	0.76	พึงพอใจ
2	การกำหนดขอบเขตพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา	4.17	0.61	พึงพอใจ
2.1	มีการกำหนดพื้นที่ปฏิบัติการ อ.ท่าวังผา	4.23	0.63	พึงพอใจมากที่สุด
2.2	ครอบคลุมพื้นที่ อ.ท่าวังผา ในความรับผิดชอบของ นพค.31 สนภ.3 นทพ.	4.13	0.63	พึงพอใจ
2.3	พื้นที่ที่หน่วยสนใจว่าอาจมีข้อมูลที่ส่งผลต่อพื้นที่ปฏิบัติการ อ.ท่าวังผา	4.13	0.57	พึงพอใจ
3	การกำหนดความต้องการข่าวกรองและสมมติฐาน	4.02	0.82	พึงพอใจ
3.1	ลักษณะภูมิประเทศจริงเป็นไปตามระบบจำลองสถานการณ์	3.97	0.89	พึงพอใจ
3.2	แสดงวิกฤติของสถานการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้นว่ามีความรุนแรงเพียงใด	4.03	0.81	พึงพอใจ
3.3	ความพร้อมต่อการเผชิญเหตุภายหลังมีระบบจำลองสถานการณ์	4.00	0.83	พึงพอใจ
3.4	มีการเชื่อมโยงข้อมูลหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีผลต่อการแก้ปัญหา	4.07	0.74	พึงพอใจ
4	การรวบรวมข่าวสารสำหรับจัดทำ IPB	4.20	0.69	พึงพอใจ
4.1	การสำรวจพื้นที่	4.33	0.61	พึงพอใจมากที่สุด
4.2	การสอบถามข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ	4.13	0.73	พึงพอใจ
4.3	การสอบถามข้อมูลกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	4.13	0.73	พึงพอใจ
ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยอธิบายผลกระทบของสถานการณ์น้ำท่วม				
1	วิเคราะห์ภูมิประเทศ	4.33	0.48	พึงพอใจมากที่สุด
2	วิเคราะห์สภาพลมฟ้าอากาศ	4.23	0.57	พึงพอใจมากที่สุด
3	วิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ของ อ.ท่าวังผา	4.27	0.58	พึงพอใจมากที่สุด
4	กำหนดผลกระทบสภาพสถานการณ์น้ำท่วม	4.13	0.68	พึงพอใจ

ลำดับ	ประเด็นวัดความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยประเมินค่าภัยคุกคามจากสถานการณ์น้ำท่วม				
1	จัดทำรูปแบบการปฏิบัติของ นพค.31	4.33	0.61	พึงพอใจมากที่สุด
2	กำหนดขีดความสามารถของ นพค.31	4.33	0.66	พึงพอใจมากที่สุด
ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยพิจารณาเลือกหนทางปฏิบัติต่อสถานการณ์น้ำท่วม				
1	กำหนดเป้าหมายและผลลัพธ์ที่เป็นไปได้	4.20	0.55	พึงพอใจ
2	กำหนดหนทางปฏิบัติที่เป็นไปได้	4.17	0.53	พึงพอใจ
3	ประเมินผลและกำหนดค่าความเป็นไปได้ของหนทางปฏิบัติ	4.20	0.55	พึงพอใจ
4	พัฒนาหนทางปฏิบัติโดยตอบคำถาม (ใคร อะไร ที่ไหน เมื่อไร ทำไม อย่างไร)	4.27	0.58	พึงพอใจมากที่สุด
5	กำหนดแนวทางการรวบรวมข่าวสารด้านพื้นที่สถานการณ์และเส้นทางน้ำไหล	4.17	0.59	พึงพอใจ
6	ปรับปรุงหนทางปฏิบัติภายหลังการจำลองสถานการณ์สู่ที่หมายสนใจและจุดตกลงใจ	4.23	0.57	พึงพอใจมากที่สุด
ความพึงพอใจโดยภาพรวม		4.18	0.64	พึงพอใจ

6. สรุปและอภิปรายผลการประเมินความพึงพอใจ

ผลการประเมินข้อมูลเชิงปริมาณส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม จากผลการสำรวจพบว่า ข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. เป็นเพศชายมากกว่าเพศหญิง เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 93.3 เพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 6.7 ด้านอายุพบว่า ส่วนมากที่สุดอยู่ในช่วงอายุ 30-40 ปี และช่วงอายุ 41-50 ปี คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาอายุต่ำกว่า 30 ปี คิดเป็นร้อยละ 13.3 และน้อยที่สุดอายุมากกว่า 50 ปี คิดเป็นร้อยละ 6.7 ด้านประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามที่มีประสบการณ์ในการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ ต่ำกว่า 8 ปี คิดเป็นร้อยละ 56.7 ผู้ตอบแบบสอบถามที่มีประสบการณ์ 9-18 ปี คิดเป็นร้อยละ 33.3 ผู้ตอบแบบสอบถามที่มีประสบการณ์ 19-28 ปี คิดเป็นร้อยละ 3.3 และมากกว่า 28 ปี คิดเป็นร้อยละ 6.7

ผลการสำรวจความพึงพอใจของข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. ต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมข่าวกรองสนามรบ หรือ IPB ในแต่ละขั้นตอนการจัดทำตามประเด็นการวัดความพึงพอใจเป็นดังต่อไปนี้

ด้านการกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม มีผลการประเมินเป็นพึงพอใจในทั้ง 4 ประเด็นย่อย โดยด้านการรวบรวมข่าวสารสำหรับจัดทำ IPB มีผลการประเมินที่มีค่ามากที่สุด คือ 4.20 ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำสุดที่ 0.61 คือการกำหนดขอบเขตพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา ดังนั้น ข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. มีความพึงพอใจและสามารถนำระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ไปกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วมได้ สำหรับการกระจายตัวของข้อมูลมีค่าน้อยคือ 0.63 และต่ำกว่า แสดงว่ามีคะแนนที่เกาะกลุ่มกันในระดับที่ดีและยอมรับได้ นั่นคือ ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน มีผลตอบรับที่ดีและไม่มีผลตอบรับในเชิงลบในด้านการกำหนดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สถานการณ์น้ำท่วม

ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยอธิบายผลกระทบของสถานการณ์น้ำท่วม มีผลการประเมินเป็นพึงพอใจมากที่สุดใน 4 ประเด็นย่อย โดยในด้านการวิเคราะห์ภูมิประเทศระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ได้ค่าคะแนนพึงพอใจมากที่สุดที่ 4.33 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำสุดที่ 0.48 นั่นคือ ได้รับผลตอบรับที่ดีและไม่มีผลตอบรับในเชิงลบ ส่วนด้านการกำหนดผลกระทบสภาพสถานการณ์น้ำท่วม ได้ค่าพึงพอใจ 4.13 แต่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่ 0.68 นั่นคือ ได้รับผลตอบรับที่ดีและไม่มีผลตอบรับในเชิงลบ จะเห็นได้ว่าระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศที่มีความละเอียดของจุดภาพ 10 เซนติเมตร ด้วยระบบภูมิสารสนเทศจึงได้รับค่าความพึงพอใจมากที่สุดจากข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ.

ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยประเมินค่าภัยคุกคามจากสถานการณ์น้ำท่วม ทำการประเมิน 2 ด้าน คือ จัดทำรูปแบบการปฏิบัติของ นพค.31 และกำหนดขีดความสามารถของ นพค.31 โดยได้รับความพึงพอใจมากที่สุดที่คะแนน 4.33 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.66 และต่ำกว่า ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน สามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยประเมินค่าภัยคุกคามจากสถานการณ์น้ำท่วมของข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. เนื่องจากมีค่าความพึงพอใจมากที่สุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 0.66 นั่นคือ ได้รับผลตอบรับที่ดี

ด้านการเป็นเครื่องมือช่วยพิจารณาเลือกหนทางปฏิบัติต่อสถานการณ์น้ำท่วม ข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. สามารถนำระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ไปพัฒนาหนทางปฏิบัติโดยตอบคำถาม (ใคร อะไร ที่ไหน เมื่อไร ทำไม อย่างไร) ได้ เนื่องจากมีค่าความพึงพอใจมากที่สุดคือ 4.27 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.58 นั่นคือ มีคะแนนที่เกาะกลุ่มกันในระดับที่ดีและยอมรับได้ อีกทั้งสามารถนำไปปรับปรุงหนทางปฏิบัติภายหลังการจำลองสถานการณ์สู่ที่หมายสนใจและจุดตกลงใจได้ เนื่องจากมีค่าความพึงพอใจมากที่สุดเช่นกันคือ 4.23 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.57 นั่นคือ มีคะแนนที่เกาะกลุ่มกันในระดับที่ดีและยอมรับได้ ส่วนในด้านอื่น ๆ ได้รับคะแนนในระดับพึงพอใจและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในระดับ 0.53-0.59 ซึ่งเกาะกลุ่มในระดับดีและยอมรับได้

โดยภาพรวมข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. มีความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมสนามรบด้านการข่าวโดยมีค่าความพึงพอใจคือ 4.18 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 นั่นคือ มีคะแนนที่เกาะกลุ่มกันในระดับที่ดีและยอมรับได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สทป. ที่สนับสนุนงบประมาณภายใต้โครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉินและขอขอบคุณข้าราชการสังกัด นพค.31 สนภ.3 นทพ. ที่เป็นผู้ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม อ.ท่าวังผา จ.น่าน ในการเป็นเครื่องมือช่วยในการเตรียมข่าวกรองสนามรบ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] รฐนนท รัตนโสภนณ์, “เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง Intelligence Preparation of the Battlefield,” หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา, กรุงเทพมหานคร, ไทย, 2563.

[2] H. Adikari, S. Agalakumbura, and J. Jayamaha, “Automation of Intelligence Preparation of the Battlefield,” Department of Computer Engineering, Peradeniya, Sri Lanka, Final Year Project (courses CO421 & CO425) report submitted as a requirement of the degree of B.Sc.Eng. in Computer Engineering, Jul. 2020.

[3] P. Skalický and T. Palasiewicz, “Intelligence Preparation of the Battlefield as a Part of Knowledge Development,” *Int. Conf. Knowl. Based Organ.*, vol. 23, no. 1, 2017, pp. 276-280, doi: 10.1515/kbo-2017-0045.

[4] L. J. Snider, “An Assessment of Intelligence Preparation of the Battlefield Doctrine for Humanitarian Assistance Operations,” School of Advanced Military Studies, United States Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, Kansas, First Term AY 95-96, Dec. 1995, pp. 62.

[5] C. Grindle, M. Lewis, R. Glinton, J. Giampapa, S. Owens, and K. Sycara, “Automating Terrain Analysis: Algorithms for Intelligence Preparation of the Battlefield,” *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 48, no. 3, pp. 533-537, Sep. 2004, doi: 10.1177/154193120404800355.

[6] W. Pimpa, S. Sarapirome, and S. Dasananda, “GIS Application to development of Military Cross-country Movement Maps at Mae Sot district, Western Thailand,” *Suranaree J. Sci. Technol.*, vol. 21, no. 3, pp. 215-232, 2014.

[7] พลภัทร เหมวรรณ, อริศรา เจริญปัญญาเนตร, ภูดินันท์ สิงห์คำฟู, จิรวัฒน์ สุขพินิจ และ เจนภพ สีแดง, “การจำลองระดับน้ำท่วมด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจากการบินถ่ายด้วยระบบอากาศยานไร้คนขับ: กรณีศึกษา อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 9, หน้า 108-118, มกราคม-มิถุนายน 2565.

Alternate "Realities": Military Applications in the Metaverse Era

Kanok Bunnag [1*]

Received 29 November 2022, Revised 15 December 2022, Accepted 22 December 2022

Abstract

This article is intended for 3 primary purposes. The first is to examine different types of realities and their military applications. The second is to explore the rise of the metaverse and its prospects for military use, and the third is to analyze and indicate possible opportunities as well as approaches for the development of Thailand's defence capabilities through Alternate Realities and Metaverse.

This article divides Alternate Realities into 3 main categories, which are Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality. All three categories of alternate realities provide enhancement to defence capabilities in 2 major areas, military training and warfighting. The paper also looks into an upward trend of virtual technology, in which the metaverse is taking on a prominent role. Metaverse has a potential for broader defence implications and can emerge as a key enhancement for battlefield effectiveness with intra-military communication. The advancement in both Alternate Realities and Metaverse has offered a way for Thai armed forces to effectively and efficiently train and operate with a simultaneous intra-military communication as well as an interconnectivity among friendly forces.

Thus, for the full potential of military applications of Alternate Realities and Metaverse to be realized, the article recommends that the Thai defence sector should take 3 key approaches, which are to prioritize digital interoperability of military equipment and systems, to seize an advantage of commercial-off-the-shelf technology, and to promote and enhance system integration capability within the defence sector.

Keywords : Alternate Realities, Metaverse, Military Applications, Defence Capabilities

---

[1] Defence Technology Analysis Department, Defence Technology Institute

[*] Corresponding author, E-mail: kanok.b@dti.or.th

เทคโนโลยีโลกเสมือนจริง: การประยุกต์ใช้งานทางการทหารในยุคจักรวาลนฤมิต

กนก บุนนาค [1*]

วันที่รับ 29 พฤศจิกายน 2565 วันที่แก้ไข 15 ธันวาคม 2565 วันตอบรับ 22 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ประการแรกคือ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงประเภทต่าง ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงทางการทหาร ประการที่สอง เพื่อศึกษาบริบทความก้าวหน้าของเทคโนโลยีจักรวาลนฤมิต (Metaverse) รวมทั้งแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานทางการทหาร และประการที่สามคือ เพื่อวิเคราะห์ให้ทราบ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโลกเสมือนจริงและเทคโนโลยีจักรวาลนฤมิต

จากการศึกษา ผู้เขียนได้จำแนกเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ ความจริงเสมือน (Virtual Reality) ความจริงเสริม (Augmented Reality) และความจริงผสม (Mixed Reality) ซึ่งสามารถช่วยเสริมสร้างขีดความสามารถในการป้องกันประเทศทั้งในมิติของการฝึกและการสู้รบ นอกจากนี้ จากการศึกษาแนวโน้มของเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงที่เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตมีบทบาทเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ พบว่า เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางการทหารได้อย่างเป็นวงกว้าง และมีขีดความสามารถในการเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญยิ่งในการสร้างเสริมประสิทธิภาพการปฏิบัติการทางทหารผ่านโครงข่ายการติดต่อสื่อสารทางการทหารและการควบคุมบังคับบัญชา ทั้งนี้ ความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงและเทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตเปิดโอกาสให้กองทัพไทยสามารถทำการฝึกและปฏิบัติการในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลผ่านโครงข่ายการติดต่อสื่อสาร การปฏิสัมพันธ์ และการเชื่อมโยงข้อมูลอย่างทันท่วงที

ดังนั้น เพื่อให้การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีโลกเสมือนจริงทางการทหารเกิดประโยชน์สูงสุด บทความนี้ได้เสนอแนะให้ภาคการทหารของประเทศไทยพิจารณาใช้เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตในการปรับปรุงพัฒนาขีดความสามารถกำลังรบใน 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ การให้ความสำคัญในการบูรณาการความเข้ากันได้ของระบบและยุทโธปกรณ์ การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่มีแพร่หลายยิ่งขึ้นในท้องตลาด และการส่งเสริมพัฒนาขีดความสามารถในการบูรณาการระบบทางการทหารของหน่วยงานในสังกัด รวมถึงองค์กรภาครัฐและเอกชนในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

คำสำคัญ : เทคโนโลยีโลกเสมือนจริง, จักรวาลนฤมิต, การประยุกต์ใช้งานทางการทหาร, ขีดความสามารถในการป้องกันประเทศ

---

[1] ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: kanok.b@dti.or.th

1. Introduction

Alternate Realities are not new to military. They have been largely associated with military trainings as a means to enhance performance and comprehension of military personnel in conducting military operations for many decades. The evolution of "Realities" from Virtual Reality (VR) to Augmented Reality (AR) and Mixed Reality (MR) have opened up a highly effective and cost-beneficial way to provide a variety of military trainings with close-to-real experience. In general, Alternate Reality systems are designed for specific trainings such as flight simulators, ship's bridge simulators, weapon simulators, etc. However, the rise of metaverse which is an interconnected and immersive virtual world has offered an opportunity for multi-platform and multi-user interaction and collaboration that can replicate actual operations in the real world. This article is, therefore, intended to examine the utilization of Alternate Realities for military purposes with the rise of metaverse in mind. The writing first describes different types of realities together with their definitions and examples. Later on, military applications of alternate realities for both military training and warfighting are highlighted. Additionally, the rise and prospects of metaverse for military uses are illustrated. This article also provides a brief analysis of Thai military's and defence industry's capabilities in regard to Alternate Realities and the metaverse, as well as indicating possible opportunities and approaches for the development of Thailand's defence capabilities in the regarding area.

2. Different "Realities"

Alternate Realities can be divided into many categories. However, in order to provide a comprehensive understanding about their military applications, this article divides Alternate Realities into 3 main types, which are Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality.

Virtual Reality or VR refers to a completely immersive digital environment. The Virtual Reality Society provides a technical description of virtual reality as "a three-dimensional computer-generated environment which can be explored and interacted with by a person." [1] VR allows a user to be immersed within the virtual world through specialized interactive devices such as headsets, goggles, gloves, and body suits, and whilst there, the real word is not part of the experience.

Augmented Reality (AR), on the other hand, focuses on the real-world experience with the supplement of digital content to enhance the overall experience. According to the definition provided by Encyclopedia of Multimedia, Augmented Reality is "a system that enhances the real world by superimposing computer-generated information on top of it." [2] Therefore, the technology enables virtual

or synthetic elements to be superimposed on the real-world environment. This can typically be achieved through the utilization of a specialized equipment such as a headset, a smart phone and a tablet.

Mixed Reality, as indicated by the name, is a blend of physical and virtual environment that allows real-time interactions between the two. [3] To illustrate, Intel Company, a computer chip manufacturer, describes on its website that Mixed Reality "provides the ability to have one foot (or hand) in the real world, and the other in an imaginary place". [4] MR uses advanced computer graphics and technology combining with input systems to transcends the display and includes environmental inputs, such as position together with spatial mapping and awareness. A special device can be used to keep track of actual movement in the physical world, then reflects onto the digital environment.

In addition to the 3 primary types of Alternated Realities described above, Extended Reality (XR) is another term that is commonly heard. According to HP, a computer technology company, Extended Reality is a full spectrum of immersive technologies, including VR, AR, and MR. [5] Therefore, XR can be used in referring to Alternate Reality in general.

With regards to all these definitions, there are other terms that fall within the category of Alternate Realties. However, to avoid any confusion, this article will adhere to the definitions provided above.

3. Military Enhancement through Alternate Realities

Alternate Realities which include VR, AR, and MR technology can be beneficial for military as they can enhance the defence capabilities. Military applications of Alternate Realities are involved in two prominent areas, which are military training and warfighting.

3.1 Military Training

Alternate Realities are contemporarily heavily involved with military simulation-based training. Armed forces are accustomed to using them as an alternative way to train personnel. The approach provides a solution for military training in a safe environment with cost-effectiveness and time-efficiency. Additionally, a simulation-based training provides highly immersive experience with a variety of scenarios and allows a training evaluation to be done objectively.

Extended Reality can help to supplement and enhance the benefits of a simulation-based training. The use of alternate reality technologies facilitates military training across multiple simulation domains, enabling the combining of genuine, virtual and constructive elements in an optimal way for a training. To exemplify, the Aircrew Combat Mission Training (ACMT) system, developed by Kratos Defense &

Security Solutions and currently in use by the US Air Force, utilizes mixed reality tools which are a Multi-Position-Aircrew Virtual Environment Trainer (MP-AVET) and Ground Party Simulator (GPS) to train UH-1 Helicopter aircrew along with the ground party in an immersive mixed reality environment. [6] The air and ground crew can have hands-on interaction within a realistic virtual environment with a sense of physical equipment, vibrations and forces, together with visualization, audio, and haptics. These add value to an overall training without having to actually operate in actual operations.

Additionally, Alternate Realities can offer a realistic training scenario with a stressful and life-threatening environment for a military training with an opportunity to safely make mistakes. This kind of trainings provides a learning experience for trainees in mitigating stress which is essential and can be re-run for those in need to overcome it. Although there has been little empirical evidence indicating that a high level of stress can be induced within a simulation-based training, a study on Inducing Stress in Warfighters during Simulation-Based Training by Meredith Carroll, et al., suggests that a certain level of stress can be stipulated through a simulation-based military training. [7] Hence, there is a high possibility that fully immersive experience via Mixed Reality can help in achieving the goal.

Another benefit of using Alternate Realities for military training is that a comprehensive after-action-review (AAR) can be conducted within the virtual environment to provide feedback with analytical data to trainees for a more hands-on approach. For example, the Dismounted Infantry Virtual After-Action Review System (DIVAARS) used by US Army at Camp Atterbury Joint Maneuver Training Center allows users to view digital playback scenario events from different vantage point with statistical data. Training facilitators can also bookmark an event during the training and access it during the review, as well as plot figure layers on top of the simulated scene in facilitating the training. [8]

Alternate reality systems can also provide the ease of use to facilitate military trainings regardless of any limits or constraints by equipment's availability, locations, and weather conditions due to their small footprints that can be easily deployed and utilized even away from bases or training sites. Furthermore, they are cost-efficient comparing to live training sessions with real operational platforms and a high-end full motion simulator. High-end simulators are typically built with proprietary architecture which heightens the cost of procurement and requires substantial budgets for the sustainment and maintenance. On the other hand, VR/AR/MR systems usually deploy commercial-off-the-shelf (COTS) technology such as headset, sensing gloves and smart tablet and open

architecture standards to facilitate the utilization, making the simulation systems available on-demand at a much lower cost and enabling a larger volume of deployment. The general rule of cost comparison between live training and simulation training indicates that the cost per hour to train in a simulator is about 10 percent the cost of training in live platforms. [9] However, the increase availability of VR/AR/MR technology could increase the cost beneficial margin.

3.2 Warfighting

Armed forces are continuing to explore military applications of Alternate Realities in warfare. Devices such as heads-up displays (HUD) and helmet-mounted displays (HMD) have long been used in military aviation. These devices can provide users with situational awareness by projecting critical visual information overlaid onto their view of the actual world. Not only flight information but also mission information including a customizable choice of targeting, sensor, and firing status is displayed through the devices to improve combat capabilities. For instance, F-35 Gen III Helmet Mounted Display System developed by Collins Aerospace is capable of providing a 360-degree view of surrounding with an uninterrupted display of flight and mission information as an overlay. Furthermore, it provides a visual targeting capability which enables a pilot to "target weapons by looking at and designating targets, and target verification when receiving steering cues from onboard sensors or via datalink". [10] Additionally, Integrated Visual Augmentation System (IVAS) is another warfighting enhancement device which is being developed by the US Army. The system is based on Microsoft's commercially available HoloLens 2 with a high-resolution night vision. It provides overlays of "tactically relevant information in a Soldier's line of sight to increase lethality, mobility, and situational awareness." [11]

Other than being used to improved individuals' performance on a mission, alternate reality technology is also implemented within the planning sector of a warfare. In 2005, the US Army Research Laboratory successfully developed the AR military sand table called Augmented REality Sandtable (ARES) to provide a battlefield visualization for the planning purpose. The system used only a COTS projector, an LCD Monitor, a laptop, and a Microsoft Kinect device. [12] ARES is able to efficiently create a model of terrains and scenarios, allowing for a higher degree of engagement in planning.

The aforementioned technologies are only a few examples of warfighting applications of Extended Reality. These new XR-enabled capabilities can enhance the warfighting performance and modernize the warfare with data and precision. The prospect of the advancement of Alternate Realities has suggested that future warfare will intertwine the fight in both real and virtual worlds.

4. The Rising and Prospects of the Metaverse

Metaverse has become an eye-catching disruptive technology, embarking full of potential in both commercial and defence sectors. A general perception of Metaverse is largely related to gaming, social media, and virtual world, which is somewhat reductively, equating its prospect of military utilization to merely training. However, Metaverse has a potential for boarder defence implications and can emerge as a key enhancement for battlefield effectiveness with intra-military communication.

The term "Metaverse" was first coined by Neal Stevenson in his 1992 science fiction novel called Snow Crash in which a parallel virtual reality universe was created from computer graphics, allowing multiusers from around the world to access and connect through devices such as goggles and earphones. 20 years later, an idea of metaverse was literarily reincarnated through Ernest Cline's 2011 novel, Ready Player One, which was later portrayed into a film in 2018. The multiple virtual worlds within one immersive digital world share much common idea with the concept of the metaverse today. According to Encyclopedia 2022, Metaverse is defined as "a perpetual and persistent multiuser environment merging physical reality with digital virtuality. It is based on the convergence of technologies that enable multisensory interactions with virtual environments, digital objects and people." [13] With the advancement in alternate realities and network technologies, the metaverse has recently gain significant interest worldwide, especially after Facebook rebranded itself to become Meta Platforms with a vision to exploit the metaverse.

However, the concept of the metaverse is nothing new to the military. The US armed forces have been exploring networks of virtual worlds for over 40 years. In 1978, Captain Jack Thorpe envisaged that simulators and mission systems would be connected, tightly aligned, and become indistinguishable. [14] By the end of the 1980s, Thorpe had led DARPA's SIMNET Program which linked the networked simulators of platforms such as tanks and aircrafts for over 200 systems through the use of the Distributed Interactive Simulation (DIS) protocol and High- Level Architecture which integrated these military simulations into one world model, allowing warfighters to train and share experience within syntactic training space. Furthermore, in the 1990s DARPA successfully linked actual warfighting platform, USS Wasp with SIMNET's simulation systems posited in different areas including helicopters and tanks, as wells as command centers and an observation node. This integration was developed into the Live-Virtual-Constructive (LVC) network, enabling on-mission warfighters to train and trial their plans.

After the SIMNET program, the military continued to pursue the idea of the combining world between the physical and virtual environment. Optimus System, a Korean's technology firm, has completed the development of the metaverse-based military training systems called DEIMOS in 2019. DEIMOS creates various metaverse military training environments for trainees to be able to react to each other and conduct missions similarly to the real combat situations. [15] The UK Ministry of Defence has also invested in the development of Single Synthetic Environment (SSE), synthesizing a digital twin of the real world to create an integrated common operational picture in a support of planning and decision making of military operations. SSE is perceived to have a potential to be a secure military section of the metaverse.

Noticeably, military applications of Alternate Realities and Metaverse have continued to prosper at a rapid rate to fulfill the potential of digital immersive combat operations. One key benefit of the Alternate Realities and the metaverse is the interconnection within and across the defence. Integrating virtual environment within the defence could provide effectiveness and efficiency not only in force preparation but also in command, control, and communication, enabling interactive feedbacks across defence communities. Accurate data with battlefield visualization and interactive communication through the metaverse could facilitate a better decision-making and a precise execution of a mission. Nonetheless, mega challenges of the military use of the metaverse to accommodate the defence alternate reality experience are a secured metaverse infrastructure and the system integration of alternate-reality activities across the defence, both in existence and in a force modernization plan, which need to be addressed through the cooperation of armed forces and defence industries.

5. Opportunities for Thai Military and Defence Industry

Scoping down to Thailand's defence capabilities and defence industry, military applications of Alternate Realities within the Royal Thai Armed Forces are largely within the training and simulation sector. Thailand's armed forces are mainly end-users of platform simulators. To illustrate, the Royal Thai Army has various type of simulators such as a VT-4 Battle Tank Simulator, a Howitzer Crew Trainer (HCT) for M109A5 Howitzer and a UH-60 helicopter simulator. In the same manner, the Royal Thai Air Force is in the possession of F-16A/B and Gripen flight simulators, whilst the Royal Thai Navy has bridge simulators and submarine simulators. In addition, the Royal Thai Armed Forces possesses constructive simulation systems such as the Joint Theatre Level Simulation (JTLS) and the Naval Warfare Training

Simulator (NWTS) for wargaming. All of these are individual systems which were acquired from different manufacturers at different time, and thus can not be easily linked to each other to create a jointly synthetic training environment.

On the defence industry side, Alternate Realities and Metaverse are relatively new to the Thai defence industry. In 2018, Thailand's Defence Technology Institute (DTI), a primary actor within the Thai defence industry, was able to develop a shooting simulation system, which is a virtual simulator for tactical firearms, to provide a training to pre-cadets at the Armed Forces Academies Preparatory School (AFAPS). Additionally, in 2021, DTI has developed VT4 Main Battle Tank's Crew Training Simulator using XR devices and delivered it to the 3rd Cavalry Division of the Royal Thai Army. The two projects are the key initial footprints of Thai defence industry regarding Alternate Realities for military applications.

Apart from the mentioned efforts to exploit the technologies, Thailand's research and development sector sees a potential benefit within alternate reality technologies, promoting the various research and development projects to satisfy the need of defence technologies to enhance warfighters' performance. This can be exemplified through a list of proposed projects in the capability development of Thai defence industry's researchers for the fiscal year 2022 of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation (MHESI), which aims to support the development of Thailand's defence capability requirements. The list includes proposed projects for alternate reality technologies such as a Virtual Reality Parachute Simulator (VRPS), an Operational Simulator for Infantry's Regiment and Battalion Level, and a 3-D Tactical Training Field. [16] This represents a potential growth of Alternate Realities and Metaverse for Thailand's defence applications.

Undeniably, Thai defence sector is playing catch-up with the alternate-reality technological trend, and there are plenty of rooms to improve digitally. However, The Royal Thai Armed Forces (RTARF) has a vision to attain a smart headquarter status by 2037 with an indication to prioritize advanced command and control capabilities with accuracy and precision in a timely manner. [17] In addition, Thailand's armed forces are looking to be more self-sufficient and self-reliable due to a recent downward trend of the defence budget. The 2023 Thai defence budget is reduced by 2 percent (4.3 billion bath) compared with the allocated budget in 2022, [18] which is largely stemmed from an economic pressure from the impact of the COVID-19 pandemic and global economic recession. These open opportunities for military applications of Alternate Realities and the military metaverse to prosper with the technology advancement and their

cost benefits. There is no need for the Thai defence industry to achieve the Original Equipment Manufacturer (OEM) or the Original Design Manufacturer (ODM) status. With contemporary advancement in the field of Alternate Realities, Thai defence industry can take an advantage of existing dual-use and Commercial-off-the-Shelf (COTS) products that can be for military purposes. The method can help to fast-track Thai defence capabilities to become the modern and digitized military with less time and less expenditure.

Furthermore, a common synthetic environment with common protocol, data, terrain, and an open architecture is potentially a key factor in future military readiness and warfighting. The Thai armed forces are currently at an early stage of establishing a joint and common digital architecture to operate on. The rise of the metaverse offers an opportunity for military personnel to interact on a persistent network, share common operational pictures, and execute an operation with effectiveness and efficiency. Therefore, the Thai defence should seize an opportunity to exploit the use of alternate realities and the metaverse for military trainings and operations at this early stage in a systematic way in order to avoid an unnecessary redundancy of systems as well as the incompatibility of systems across the defence, which can result in the waste of budgets for system integration at a later stage.

6. Conclusion

An advancement in Alternate Realities and Metaverse has offered a way for armed forces to train and operate with effectiveness and efficiency with a simultaneous intra-military communication as well as an interconnectivity with friendly forces. Both military training and warfighting applications of Alternate Realities together with the metaverse can generate interoperability among forces, enhancing a chance of success in conducting a mission. As for Thailand's defence, Thai military services have experience in using Alternate Realities primarily as end-users of high-end simulators of military platforms and wargaming. An increase in availability of commercial-off-the-shelf (COTS) alternate realities devices and the rise of the metaverse have creates opportunities for the Thailand's armed forces to gain more access to trainings and get connected for military operations. Thus, in order to modernize and enhance military capabilities, it is recommended that Thai defence sector should take key following approaches:

(1) Thailand's armed forces should prioritize the digital interoperability of military equipment and systems being procured. This is primarily because digital connectivity whether within the real world, the virtual world, or both, will continue to be in the uptrend of military applications as armed

forces from around the world continue to pursue their technological edge over each other to support their national powers.

(2) Thai defence industry should take an advantage of already developed COTS alternate-reality technology to reduce the time and expense in conducting research and development. Investing more on becoming Original Equipment Manufacturer (OEM) rather than starting as Original Design Manufacturer (ODM) will help to close the capability gap of the Thai defence industry with others that have already be in the defence market.

(3) Thai defence industry should seek to promote and enhance system integration capability within the sector. Military trainings and operations are very likely to progress toward digital cohesion which required a tremendous effort in integrating related systems. Therefore, the system integration has a high potential to be a key enable capability for Thailand's armed forces in the future,

The 3 aforementioned approaches are not an exhaustive list of efforts the Thai defence sector should pursue. They are merely suggested initiatives analyzed from the contemporary trend of alternate realities and metaverse that can be beneficial for military modernization. Achieving capabilities in alternate realities and the metaverse can be a force multiplier for the Thai armed forces to preserve the sovereignty of the nation and to maintain the peace and security in the region.

7. Reference List

[1] Virtual Reality Society. "What is Virtual Reality?." VRS.org.uk. https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html (accessed Jun. 8, 2022).

[2] "Augmented Reality," in *Encyclopedia of Multimedia*, B. Furht Ed. Boston, MA: Springer US, 2006, pp. 29-31.

[3] P. J. Kiger. "What is Mixed Reality (MR)?." FL.edu. https://www.fi.edu/tech/what-is-mixed-reality (accessed Jun. 22, 2022).

[4] Intel. "VR vs. AR vs. MR: What You Need to Know." INTEL.com. https://www.intel.com/content/www/us/en/tech-tips-and-tricks/virtual-reality-vs-augmented-reality.html (accessed Jun. 22, 2022).

[5] T. Gerencer. "What Is Extended Reality (XR) and How Is it Changing the Future?." HP.com. https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-is-xr-changing-world (accessed Jun. 22, 2022).

[6] Airforce Technology. "Kratos launches Aircrew Combat Mission Training system." AIRFORCE-TECHNOLOGY.com. https://www.airforce-technology.com/news/kratos-launches-aircrew-combat-mission-training-system (accessed Jun. 22, 2022).

[7] M. Carroll *et al.*, "Inducing Stress in Warfighters during Simulation-Based

Training," presented at *I/ITSEC*, Orlando, FL, USA, Dec. 1-5, 2014, Paper 14201.

[8] S. Hanoun and S. Nahavandi, "Current and future methodologies of after action review in simulation-based training," in *2018 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*, Vancouver, BC, Canada, 2018, pp. 1-6.

[9] V. Insinna, "Army, Marine Corps Look for Better Data on Simulator Effectiveness," *National Defense*, vol. 98, no. 721, pp. 26-29, 2013. [Online]. Available: https://www.jstor.org/stable/27019819.

[10] Collins Aerospace. "F-35 Gen III Helmet Mounted Display System (HMDS)." COLLINSAEROSPACE.com. http://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/military-and-defense/displays-and-controls/airborne/helmet-mounted-displays/f-35-gen-iii-helmet-mounted-display-system (accessed Jul. 21, 2022).

[11] Department of Defense Office of Inspector General, "Audit of the Army's Integrated Visual Augmentation System," Rep. DODIG-2022-085, Apr. 20, 2022. Accessed: Jul. 27, 2022. [Online]. Available: https://www.dodig.mil/reports.html/Article/3007502/audit-of-the-armys-integrated-visual-augmentation-system-dodig-2022-085.

[12] M. Morozov. "Augmented Reality in Military: AR Can Enhance Warfare and Training." JASOREN.com. https://jasoren.com/augmented-reality-military (accessed Jul. 22, 2022).

[13] S. Mystakidis, "Metaverse," *Encyclopedia*, vol. 2, no. 1, pp. 486-497, 2022.

[14] A. Fawkes. "The Military Metaverse." LINKEDIN.com. https://www.linkedin.com/pulse/metaverse-military-andy-fawkes (accessed Jul. 22, 2022).

[15] DA Reporter. "Metaverse-Based Military Training System Introduced." DEFENSE ADVANCEMENT.com. https://www.defenseadvancement.com/news/metaverse-based-military-training-system-introduced (accessed Jul. 27, 2022).

[16] MHESI. Announcement on the Reception of Proposed Projects in the Capability Development of Defence Industry's Researchers. MHESI.go.th. https://www.mhesi.go.th/images/ohec/11/151164.pdf (accessed Oct. 10, 2022). [in Thai]

[17] RTARF. *Royal Thai Armed Forces' 3-year Operational Plan 2018-2022 (Revised)*, pp. 8. [in Thai]

[18] J. Grevatt and A. MacDonald. "Thailand proposes 2% cut in 2023 defence budget." JANES.com. https://www.janes.com/defence-news/news-detail/thailand-proposes-2-cut-in-2023-defence-budget (accessed Sep. 28, 2022).

การพัฒนาโปรแกรมหาคำตอบเชิงตัวเลข สำหรับสมการการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นของแนววิถีจรวดประดิษฐ์

ชนะ รักษ์ศิริ [1] เจษฎากร จันทวงษ์ [1*] และ กฤติยา พาอิ่ม [1]

วันที่รับ 9 พฤศจิกายน 2565 วันที่แก้ไข 20 กุมภาพันธ์ 2566 วันตอบรับ 28 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

เมื่อจรวดประดิษฐ์เคลื่อนที่ออกจากจุดปล่อยจรวดประดิษฐ์จะผ่านตัวกลางซึ่งเป็นอากาศไปยังพื้นที่เป้าหมายตามแนวการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบไว้ แต่เนื่องจากมีปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์เบี่ยงเบนไปจากทิศทางปกติที่ออกแบบไว้และมีลักษณะของสมการเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษา ออกแบบ และแก้ปัญหาการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพของความแม่นยำของการปล่อยต่อไป การแก้ปัญหาสมการการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยในบทความนี้นำเสนอวิธีการหาผลเฉลยของสมการด้วยวิธีการของรุงเง-คุตตาอันดับที่ 4 โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์อ้างอิงจากแบบจำลองของ Modified Point Mass Trajectory Model ซึ่งได้จำลองเปลี่ยนสภาวะเริ่มต้นเป็นจำนวน 21 รูปแบบ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าแนววิถีจรวดประดิษฐ์ที่มีมุมยกและสภาวะเริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยที่เมื่อมีมุมยกและสภาวะเริ่มต้นที่มากขึ้นจะส่งผลให้ระยะทางในแนวตั้งฉากกับระนาบการบินนั้นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้จะส่งผลให้ตำแหน่งของจรวดประดิษฐ์ ณ เวลาใด ๆ มีค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาการบินเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : สมการวิถีจรวดประดิษฐ์, การเคลื่อนที่แบบไม่เชิงเส้น, ระเบียบวิธีรุงเง-คุตตา

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: chessadakorn.c@ku.th

A Development of Numerical Solution for Non-Linear Inventor Rocket Equation of Motion

Chana Raksiri [1] Chessadakorn Chantawong [1*] Krittiya Pa-im [1]

Received 9 November 2022, Revised 20 February 2023, Accepted 28 February 2023

Abstract

When an inventor rocket moves away from the launch point, the inventor rocket passes through the medium, which is air, to the target area along the designed line of motion. But because there are factors. As a result, the movement of the inventor rocket trajectory deviates from the normal direction it was designed for and the nature of the equation is nonlinear. Therefore, it is essential to study, design and solve this nonlinear motion problem in order to reduce possible faults and further increase the efficiency of emission accuracy. Solving the nonlinear motion equations can be done in a variety of ways, with this paper presenting the method of finding the deuteronomy of the equations with the methods of Runge-Kutta 4th, using the inventor rocket trajectory equation based on the Modified Point Mass Trajectory Model, which experimented with transforming the initial state into 21 patterns. The simulation results showed inventor rocket trajectories with different lift angles and initial conditions. Whereas with a greater lift angle and starting conditions, the distance perpendicular to the flight plane is significantly higher. In addition to that, it will result in the position of the inventor rocket at any given time. There are markedly different values as flight time increases.

Keywords : Rocket equation of motion, Nonlinear motion, Runge-kutta methods

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.

[*] Corresponding author, E-mail: chessadakorn.c@ku.ac.th

1. บทนำ

วิถีของจรวดประดิษฐ์ (Inventor Rocket Trajectory) คือการศึกษาการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ โดยเริ่มต้นตั้งแต่เมื่อจรวดประดิษฐ์เริ่มเกิดแรงผลัก (Thrust Force) และเคลื่อนที่ไปในตัวกลางอากาศ และตกยังพื้นที่เป้าหมาย โดยที่ความแม่นยำและอำนาจการปล่อยของจรวดประดิษฐ์นั้น จะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการศึกษาและออกแบบการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ในทุกระยะ [11]

เมื่อจรวดประดิษฐ์ซึ่งมีมวลและแรงผลักเริ่มต้นซึ่งทำให้จรวดประดิษฐ์เริ่มเคลื่อนที่ออกจากจุดปล่อยจรวดประดิษฐ์ด้วยความเร็วต้น (Initial Velocity) จรวดประดิษฐ์จะหมุน (Spinning) รอบแนวการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ (Longitudinal Axis) ด้วยความเร็วเชิงมุม (Spinning rate) ผ่านตัวกลาง (Medium) ซึ่งเป็นอากาศ ไปยังพื้นที่เป้าหมายตามแนวการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบไว้ (Desired trajectory) แต่เนื่องจากปัจจัยจากแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ แรงโน้มถ่วงของโลก ความหนาแน่นของอากาศ ปัจจัยจากธรรมชาติอื่น ๆ เช่น ลม อุณหภูมิ และ ฝน ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ อันได้แก่ แรงต้านอากาศ (Drag force) แรงยกตัว (Lift force) แรงโคริออริส (Coriolis force) แรงแมกนัส (Magnus force) และแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) ซึ่งแรงต่าง ๆ ที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของแนววิถีของจรวดประดิษฐ์เบี่ยงเบนไปจากทิศทางปกติที่ออกแบบไว้ และมีลักษณะของสมการเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษา ออกแบบ และแก้ปัญหาการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ให้ดีก่อนที่จะทำการพัฒนาขึ้นมาใช้งานจริง เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพของความแม่นยำในการปล่อยจรวดประดิษฐ์ต่อไป

การแก้ปัญหาสมการการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้วิธีหาผลเฉลยทางตรงนั้นมีความซับซ้อนค่อนข้างสูง ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) เพื่อลดเวลาและเพิ่มความสะดวกในทางปฏิบัติ การหาผลเฉลยสามารถทำหลายวิธี [1] เช่น ประยุกต์โดยใช้กฎของนิวตันมาสร้างสมการการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีผลกระทบจากความเร็วลม แล้วใช้ระเบียบวิธีของออยเลอร์ (Euler's method) หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและทิศทางของการปล่อยกับแนวการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ ระเบียบวิธีของออยเลอร์ถือเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน แต่เนื่องจากวิธีนี้ให้ความถูกต้องของผลเฉลยไม่สูงมาก [2] จึงได้มีการปรับปรุงระเบียบวิธีของออยเลอร์ (Improved Euler's method) ขึ้นมาเพื่อช่วยลดความผิดพลาดของผลเฉลยนี้ นอกจากนี้ยังมีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น วิธีของรุงเง-คุตตา (Runge-Kutta: RK) และการปรับปรุงระเบียบวิธีอื่น ๆ โดยใช้พื้นฐานของรุงเง-คุตตา เพื่อให้ผลเฉลยมีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น

ระเบียบวิธีของรุงเง-คุตตาเป็นเทคนิคการประมาณคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญที่ได้รับความนิยมอย่างมากในงานวิจัยเชิงคณิตศาสตร์ในปัจจุบัน [10] เนื่องจากเป็นวิธีที่เหนือกว่าวิธีอื่นเมื่อพิจารณาในเรื่องความถูกต้องแม่นยำในทุกระยะการคำนวณภายใต้ความกว้างช่วงคำนวณ (Step size) เดียวกัน [3] ซึ่งมีประสิทธิภาพและมีความสะดวกในการประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะมีความง่ายในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาผลเฉลย วิธีการนี้ได้ถูกปรับปรุงขึ้นมาในหลากหลายแบบ

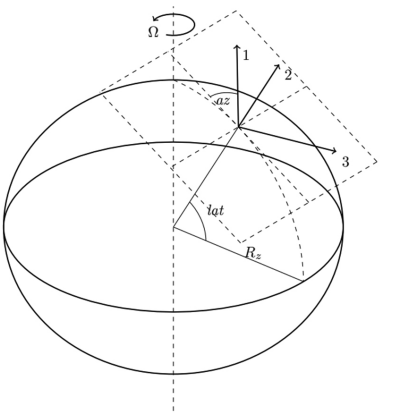
สมการรุงเง-คุตตาอันดับ 1 (RK1) มีลักษณะคล้ายกับสมการในระเบียบวิธีของออยเลอร์ โดยในวิธีนี้ค่าของผลเฉลยของเวลาถัดไปจะขึ้นอยู่กับ

ผลรวมของค่าของผลเฉลย ณ ปัจจุบันกับความชันของช่วงเวลาปัจจุบัน (k_1) ทำให้ผลเฉลยของวิธีนี้ไม่เสถียรและไม่ถูกต้องแม่นยำเท่าที่ควร [4] RK2 เป็นสมการที่ปรับปรุงขึ้นมาจากวิธีของออยเลอร์ โดยได้เพิ่มพจน์ของความชัน (k_2) ณ ตำแหน่งตรงกลางของผลเฉลยในปัจจุบันกับ k_1 เข้าไปด้วย ทำให้ผลเฉลยมีความถูกต้องแม่นยำดีขึ้นจากเดิม RK3 [5] ได้เพิ่มพจน์ของความชัน (k_3) เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำ ส่วน RK4 นั้นจะถูกนำมาใช้ค่อนข้างมากในทางปฏิบัติ สามารถคำนวณหาผลเฉลยโดยคอมพิวเตอร์ด้วยการใช้โปรแกรมภาษาต่าง ๆ ซึ่งมีไลบรารีที่นักพัฒนาทั่วโลกได้ทำไว้มากมาย สามารถเข้าถึงได้จากสื่ออินเทอร์เน็ตทั่วไป ทั้งยังสามารถนำเอาหลักการอื่นมาร่วมเพื่อประยุกต์ใช้ต่อได้อีกหลากหลายแนวทาง [3] เช่น ประยุกต์เพิ่มเติมโดยการนำเอา Unscented Kalman Filter มาใช้ร่วมกับ RK4 ในการประมาณหามุม Pitch และ Yaw ของจรวดประดิษฐ์ขณะเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังมีสมการรุงเง-คุตตาในอันดับที่สูงขึ้นไปอีก เช่น RK5 [6], RK8 [7]-[8] และ RK10 [9]

บทความนี้จะนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขของแนววิถีจรวดประดิษฐ์ โดยจะเริ่มจากนำเสนอสมการการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์ โดยอ้างอิงจากแบบจำลองของ Modified Point Mass Trajectory Model ที่อยู่ในข้อตกลงมาตรฐาน STANAG 4355 [15] ขององค์การสนธิสัญญาแอตแลนติกเหนือ แล้วหาผลเฉลยของสมการนี้ด้วยวิธีการของรุงเง-คุตตาอันดับที่ 4 จากนั้นได้ทำการแสดงแนววิถีจรวดประดิษฐ์เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าตัวแปรในสมการมีค่าไม่เท่ากัน โดยในบทความนี้จะนำเสนอวิถีของจรวดประดิษฐ์ในกรณีที่ค่าของแรงผลักที่เกิดจากการเชื้อเพลิง มวลของเชื้อเพลิง ความเร็วหมุนควงต้นและมุมยกของจรวดประดิษฐ์ ณ จุดปล่อยจรวดประดิษฐ์แตกต่างกัน 7 มุม

1.1 การอ้างอิงระบบพิกัด (Coordinate systems) ของการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นของขีปนวิถีของจรวดประดิษฐ์พื้นสู่อากาศ

การอ้างอิงระบบพิกัดที่ใช้ในสมการการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ ประกอบไปด้วยพิกัดที่อยู่ในกรอบของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System: CCS) อ้างอิงเพื่อให้สามารถจำลองสมการการเคลื่อนที่ได้ สำหรับโพรเจกไทล์ ระบบพิกัดที่อธิบายไว้ในส่วนนี้มีพื้นฐานมาจากบทความทางวิชาการ [1] เป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน โดยที่ระนาบ 1-3 สร้างพื้นผิวสัมผัสของโลกโดยที่แกน 1 ชี้ไปในทิศทางของแนวสายตาและแกน 2 อัน ชี้ขึ้นตั้งฉากกับระนาบผิวสัมผัสของโลก โดยที่มุมราบคือมุมระหว่างแกนที่ 1 ของระบบพิกัดที่กระทำกับทิศเหนือ โดยมุมของละติจูดจะมีค่าเป็นบวกในซีกโลกเหนือและมีค่าเป็นลบในซีกโลกใต้ เราจะตั้งสมมติฐานว่ารูปทรงของโลกเป็นทรงกลมโดยประมาณที่มีรัศมี (Rz) และความเร็วคงที่เชิงมุม (Ω) ในการหมุนของโลกตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 *การอ้างอิงระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System)*

1.2 แบบจำลองพลวัต (Dynamical model) ของการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นของจรวดประดิษฐ์พื้นสู่อากาศ

ในการสร้างสมการการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์นี้ ตั้งอยู่บนสมมติฐาน 3 ข้อ คือ

1. จรวดประดิษฐ์มีความสมมาตรรอบแกนตามแนวยาวของจรวดประดิษฐ์ และส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ทางอากาศพลศาสตร์สมมาตรทั่วทั้งตัวจรวดประดิษฐ์

2. จุดศูนย์กลางความดันเป็นจุดเดียวกันกับจุดศูนย์กลาง เนื่องจากแรงขับกระทำตามแกนตามแนวยาวของจรวดประดิษฐ์ [14]

3. แรงผลักเรียงอย่างสมบูรณ์ตามแกนตามแนวยาวของจรวดประดิษฐ์ จึงทำให้มีแค่แรงขับจากส่วนดินขับ

สำหรับสมการของแรงที่กระทำที่จุดศูนย์กลางของจรวดประดิษฐ์ การเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ทำได้โดยอาศัยสมการอธิบายการเคลื่อนที่แบบ 6 อิสระ (6 DOF) และสามารถแสดงสมการการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์โดยใช้สมการที่คล้ายคลึงกับการเคลื่อนแบบไม่เป็นเชิงเส้นของจรวดประดิษฐ์ ได้แก่ สมการ (4)-(12) ซึ่งล้วนเป็นสมการที่ไม่ขึ้นกับมวลทั้งสิ้น ต่างกับการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นของจรวดประดิษฐ์ที่ปัจจัยของมวลเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเมื่อสร้างสมการการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์อันดับ 2 ที่ไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านั้นมาปริพันธ์จะได้ผลเฉลยที่แสดงถึงค่าตำแหน่ง ค่าความเร็วของจรวดประดิษฐ์ โดยเทียบกับพิกัดอ้างอิง CCS ดังนี้

1.2.1 เวกเตอร์แสดงการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\vec{\dot{x}} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$\vec{\ddot{x}} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{bmatrix} \tag{3}$$

โดยที่

$\vec{x}$ เวกเตอร์ตำแหน่งของจรวดประดิษฐ์ในแนวแกน 1, 2 และ 3

$\vec{\dot{x}}$ เวกเตอร์ความเร็วของจรวดประดิษฐ์ในแนวแกน 1, 2 และ 3

$\vec{\ddot{x}}$ เวกเตอร์ความเร่งของจรวดประดิษฐ์ในแนวแกน 1, 2 และ 3

1.2.2 เวกเตอร์แสดงแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของมวลของจรวดประดิษฐ์

$$\vec{F}_{Th}(m) = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \tag{4}$$

โดยที่

F_1 แรงผลักของจรวดประดิษฐ์ในแนวแกน 1

F_2 แรงผลักของจรวดประดิษฐ์ในแนวแกน 2

F_3 แรงผลักของจรวดประดิษฐ์ในแนวแกน 3

1.2.3 เวกเตอร์ความเร็วเชิงมุมของโลก

$$\vec{\omega} = \begin{pmatrix} \Omega\cos(lat)\cos(az) \\ \Omega\sin(lat) \\ -\Omega\cos(lat)\sin(az) \end{pmatrix} \tag{5}$$

โดยที่

ω ความเร็วเชิงมุมของโลก

Ω ความเร็วเชิงมุมคงที่ของโลก

lat มุมละติจูดของจุดปล่อย

az มุมแอซิมัทของจุดปล่อย

1.2.4 เวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ของจรวดประดิษฐ์เมื่อเทียบกับความเร็วลม

$$\vec{v} = \dot{\vec{x}} - \vec{w} \quad (6)$$

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2} \quad (7)$$

โดยที่

$\vec{v}$ เวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ของจรวดประดิษฐ์

v ขนาดของเวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ของจรวดประดิษฐ์

$\vec{w}$ เวกเตอร์ของความเร็วลม

1.2.5 สมการคำนวณค่า "ยอว์ออฟรีโพส" (Yaw of repose model)

$$\overrightarrow{\alpha_e} = -\frac{8I_x(m)p}{\pi d^3 \rho C_M v^4} (\vec{v} \times \ddot{\vec{x}}) \quad (8)$$

โดยที่

$\overrightarrow{\alpha_e}$ เวกเตอร์ของยอว์ออฟรีโพส

$I_x(m)$ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยตามแกนตามแนวยาวของจรวดประดิษฐ์

p ความเร็วหมุนควงของจรวดประดิษฐ์

d เส้นผ่านศูนย์กลางของจรวดประดิษฐ์

ρ ความหนาแน่นของอากาศ

C_M ค่าสัมประสิทธิ์ยอว์ออฟรีโพส

1.2.6 สมการคำนวณแรงที่กระทำกับจรวดประดิษฐ์เนื่องจากความเร่งโน้มถ่วง

$$\overrightarrow{F_G} = -m(t)g_0 \begin{pmatrix} \frac{x_1}{R_z} \\ 1 - \frac{2x_2}{R_z} \\ \frac{x_3}{R_z} \end{pmatrix} \quad (9)$$

โดยที่

$m(t)$ มวลของจรวดประดิษฐ์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา

R_z รัศมีความโค้งของโลก

g_0 ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก

1.2.7 สมการคำนวณเวกเตอร์ของแรงคอริออลิส

$$\overrightarrow{F_C} = -2m(t)(\vec{\omega} \times \dot{\vec{x}}) \quad (10)$$

1.2.8 สมการคำนวณค่าเวกเตอร์ของแรงเสียดทานของตัวกลางอากาศ

$$\overrightarrow{F_D} = -\frac{\pi d^2}{8} C_{D0}\, v\, (\vec{v}) \quad (11)$$

โดยที่

C_{D0} ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

1.2.9 สมการคำนวณค่าเวกเตอร์ของแรงยกของตัวกลางอากาศ

$$\overrightarrow{F_L} = \frac{\pi d^2 \rho}{8} C_L\, v^2\, (\overrightarrow{\alpha_e}) \quad (12)$$

โดยที่

C_L ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของตัวกลางอากาศ

$\overrightarrow{\alpha_e}$ เวกเตอร์ของยอว์ออฟรีโพส

1.2.10 สมการคำนวณค่าเวกเตอร์ของแรงแมกนัส

$$\overrightarrow{F_M} = -\frac{\pi d^3 \rho}{8} C_{Mag}\, (\overrightarrow{\alpha_e} \times \vec{v}) \quad (13)$$

โดยที่

C_{Mag} ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงแมกนัส

1.2.11 สมการคำนวณความเร่งหมุนควงของจรวดประดิษฐ์

$$\dot{p} = -\frac{\pi\rho\, d^4 v C_{spin}}{8I_x(m)}p \qquad (14)$$

โดยที่

C_{spin} ค่าสัมประสิทธิ์การหมุนควงของจรวดประดิษฐ์

โดยที่ $\overrightarrow{F_C}, \overrightarrow{F_G}, \overrightarrow{F_D}, \overrightarrow{F_L}$ และ $\overrightarrow{F_M}$ คือ แรงเสียดทานอันเนื่องมาจากผลกระทบของคอริออลิส แรงโน้มถ่วงของโลก แรงฉุดอันเนื่องมาจากแรงต้านอากาศ แรงยกตัว แรงจากการหมุนควง [12] และแรงแมกนัส ตามลำดับ ซึ่งรูปแบบสมการของแรงแต่ละชนิดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 โดยในบทความนี้จะนำสมการข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการหาผลเฉลยของวิถีจรวดประดิษฐ์ด้วยวิธีรุงเง-คุตตา

2. ระเบียบวิธีของรุงเง-คุตตา

ระเบียบวิธีของรุงเง-คุตตา (Runge-Kutta method: RK) เป็นระเบียบวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ODE) [13]

รูปแบบสมการโดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 15

$$y_{i+1} = y_i + \phi(x_i, y_i, h)h \qquad (15)$$

โดยที่ $\emptyset(x_i, y_i, h)$ คือ ฟังก์ชันส่วนเพิ่มสามารถเขียนกระจายได้ดังสมการที่ 16

$$\phi(x_i, y_i, h) = a_1k_1 + a_2k_2 + \ldots + a_nk_n \qquad (16)$$

ai คือ ค่าคงที่ (I = 1,2,3, ..., n), n คือ อันดับของ RK, ki คือ ฟังก์ชันของระเบียบวิธี RK โดยสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการที่ 17 ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
k_1 &= f(x_i, y_i)\\
k_2 &= f(x_i + p_1h, y_i + q_{11}k_1h)\\
k_3 &= f(x_i + p_2h, y_i + q_{21}k_1h + q_{22}k_2h)\\
&\cdots\\
k_n &= f(x_i + p_{n-1}h, y_i + q_{n-1}k_1h + q_{n-1,2}k_2h\\
&\qquad + \cdots + q_{n-1,n-1}k_{n-1}h)
\end{aligned} \qquad (17)$$

บทความนี้จะใช้ระเบียบวิธีของรุงเง-คุตตาอันดับที่ 4 (RK4) มาประยุกต์ใช้ในการแก้สมการเนื่องจากเป็นระเบียบวิธีที่ให้คำตอบได้แม่นยำมากที่สุด จากสมการที่ (15)-(17) เมื่อกำหนดให้ n=4 จะได้สมการ RK4 สำหรับใช้คำนวณหาแนววิถีจรวดประดิษฐ์ดังสมการที่ (18) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเขียนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB เพื่อหาผลเฉลยต่อไป

$$\begin{aligned}
y_{i+1} &= y_i + \left[\frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)\right]h\\
k_1 &= f(x_i, y_i)\\
k_2 &= f(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h)\\
k_3 &= f(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2h)\\
k_4 &= f(x_i + h, y_i + hk_3)
\end{aligned} \qquad (18)$$

3. วิธีการ

ในการจำลองการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบคุณสมบัติของจรวดประดิษฐ์ที่ใช้ ตลอดจนตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดโดยละเอียด เนื่องจากค่าต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้นั้นต้องอาศัยการวิจัย ศึกษา และจำลองของจรวดประดิษฐ์ชนิดนั้น ๆ มาเป็นอย่างดี ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้เวลาเป็นอย่างมากกว่าจะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ และความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรโดยละเอียด เพื่อลดความซับซ้อนของการคำนวณแนววิถีของจรวดประดิษฐ์

จากสมการคำนวณการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน สามารถสร้างสมการการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์ตามพิกัดแกนต่าง ๆ ได้ตามสมการ (19)-(20)

$$\sum F = ma \tag{19}$$

$$m(t)\ddot{\vec{x}} = \overrightarrow{F_C} + \overrightarrow{F_G} + \overrightarrow{F_D} + \overrightarrow{F_L} + \overrightarrow{F_M} + \vec{F}_{Th}(m) \tag{20}$$

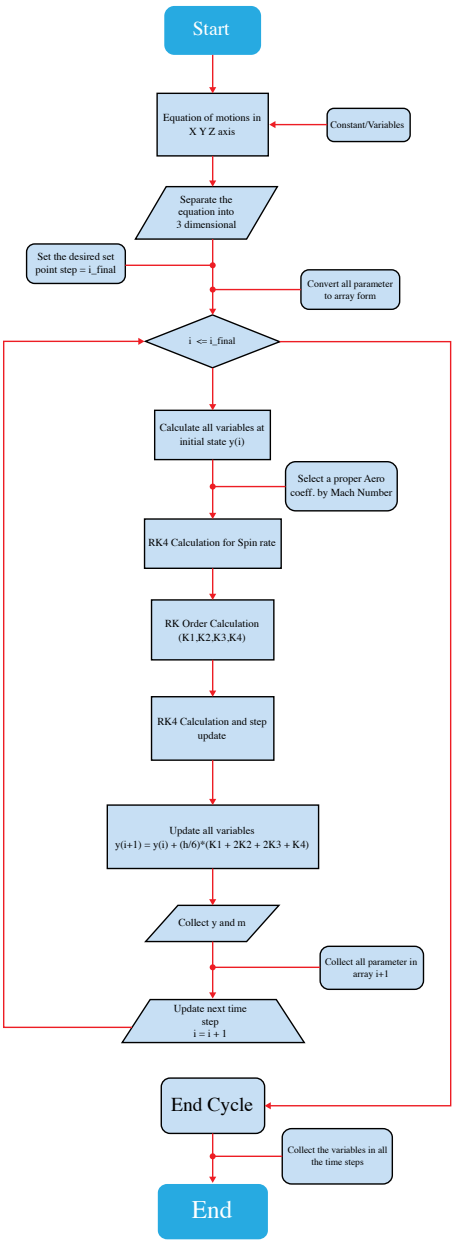
โดยเมื่อนำรวมเวกเตอร์ของแรงที่กระทำกับจรวดประดิษฐ์รวมถึงแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ที่เกิดจากเชื้อเพลิงหลังจากถูกปล่อยด้วยแรงผลักจะมีค่าเท่ากับมวลของจรวดประดิษฐ์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาคูณกับเวกเตอร์ของความเร่งของจรวดประดิษฐ์ สอดคล้องตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังนั้น จึงสามารถนำมาเขียนเวกเตอร์ 3 มิติ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นอนุพันธ์อันดับ 2 ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear second order differential equation) ได้ตามสมการ (21)-(23)

$$\begin{aligned}\frac{d^2x_1}{dt^2} = &-\frac{\pi d^2}{8m(t)}\rho C_{D0} v\, v_1 - \frac{\pi d^3}{8m(t)}\rho C_{Mag}(\alpha_{e2}v_3 - \alpha_{e3}v_2) \\ &+ \frac{\pi d^2 \rho}{8m(t)} C_{L\alpha} v^2 \alpha_{e1} \\ &- 2\Omega[\sin(lat)\,\dot{x}_3 + \cos(lat)\sin(az)\,\dot{x}_2] - \frac{g_0 x_1}{R_z} \\ &+ F_1(m)\end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}\frac{d^2x_2}{dt^2} = &-\frac{\pi d^2}{8m(t)}\rho C_{D0} v\, v_2 - \frac{\pi d^3}{8m(t)}\rho C_{Mag}(\alpha_{e3}v_1 - \alpha_{e1}v_3) \\ &+ \frac{\pi d^2 \rho}{8m(t)} C_{L\alpha} v^2 \alpha_{e2} \\ &+ 2\Omega[\cos(lat)\sin(az)\,\dot{x}_1 + \cos(lat)\cos(az)\,\dot{x}_3] \\ &- g_0\left(1 - \frac{2x_2}{R_z}\right) + F_2(m)\end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}\frac{d^2x_3}{dt^2} = &-\frac{\pi d^2}{8m(t)}\rho C_{D0} v\, v_3 - \frac{\pi d^3}{8m(t)}\rho C_{Mag}(\alpha_{e1}v_2 - \alpha_{e2}v_1) \\ &+ \frac{\pi d^2 \rho}{8m(t)} C_{L\alpha} v^2 \alpha_{e3} \\ &- 2\Omega[\cos(lat)\cos(az)\,\dot{x}_2 - \sin(az)\,\dot{x}_1] - \frac{g_0 x_3}{R_z} \\ &+ F_3(m)\end{aligned} \tag{23}$$

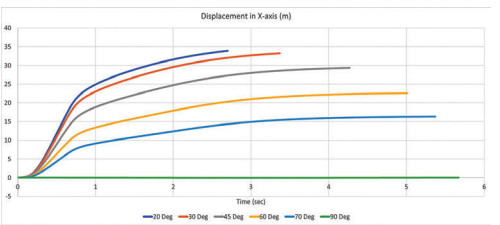
สมการที่ (19)-(21) จะสามารถจัดให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายและสามารถนำไปใช้หาผลเฉลยด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในรูปแบบของสมการที่ (16) โดยในบทความนี้ได้ทำการเขียนโปรแกรมระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยภาษาทางคอมพิวเตอร์ MATLAB และนำเอาผลเฉลยมาแสดงผลแนววิถีของจรวดประดิษฐ์ด้วย MATLAB ทั้งนี้ ได้ทำการจำลองปรับตัวแปรมุมยกของจรวดประดิษฐ์ ด้วยวิธีการของรุงเง-คุตตาอันดับที่ 4 จากนั้นได้ทำการแสดงแนววิถีจรวดประดิษฐ์เป็นไปตามแผนผังการจำลองวิถีจรวดประดิษฐ์ด้วยระเบียบวิธี RK4 ดังรูปที่ 2



รูปที่ *2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแก้หาผลเฉลยของวิถีจรวดประดิษฐ์*

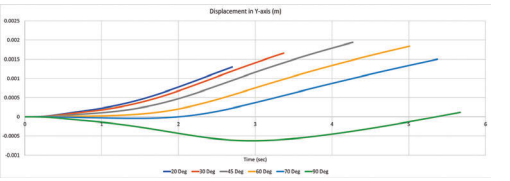
4. ผลการจำลอง

ในบทความนี้ได้จำลองเปลี่ยนค่ามุมยกของจรวดประดิษฐ์ที่ทำกับแนวระดับทั้ง 6 ค่า คือ 20, 30, 45, 60 และ 70 องศา ผลเฉลยของการจำลองแนววิถีจรวดประดิษฐ์สามารถแสดงได้ดังรูปภาพที่ 3, 4, 5, 6 และ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนววิถีของจรวดประดิษฐ์จะมีระดับความสูงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนั้นแล้วจะส่งผลให้ตำแหน่งของจรวดประดิษฐ์ ณ เวลาใด ๆ มีค่าที่แตกต่างกันโดยจะเห็นได้ชัดเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ในการจำลองวิธีนี้หากทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ละเอียดยิ่งขึ้น เช่น ระยะทางในแนวแกน x, y, z และขนาดของความเร็วลัพธ์ หรือทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนี้กับเวลาการบิน ดังรูปที่ 3, 4, 5 และ 6 เมื่อทราบความสัมพันธ์แล้วจะสามารถปรับเปลี่ยนค่าเพิ่มเติมเพื่อหาผลเฉลยที่แม่นยำยิ่งขึ้นได้ ซึ่งจะส่งผลให้ผลเฉลยหรือแนววิถีของจรวดประดิษฐ์ที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งในจุดนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าในการออกแบบระบบจรวดประดิษฐ์นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการคำนวณแนววิถีจรวดประดิษฐ์นี้โดยละเอียดและครอบคลุมทุกด้านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยิงให้ดียิ่งขึ้น



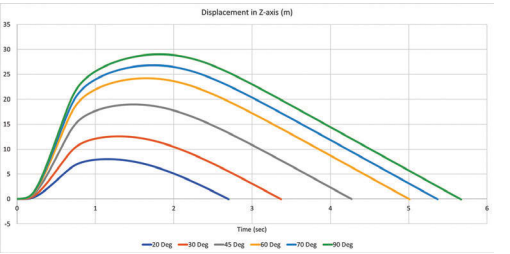
รูปที่ 3 *ระยะทางในแนวแกน x ของจรวดประดิษฐ์ในมุมยกที่แตกต่าง*

ในมุมยก 90 องศา จะสังเกตว่าแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงระยะทางในแนวระนาบ x เมื่อเทียบกับมุมยกอื่น ๆ ในทางตรงข้ามมุมยก 20 องศา นั้นมีระยะทางในแนวระนาบที่มากที่สุด โดยมีระยะทางมากที่สุด 35 เมตร โดยประมาณในส่วนใหญ่ เพราะมีค่าแรงเสียดทานของอากาศที่น้อยที่สุดตลอดช่วงการบิน โดยจะสังเกตว่าเมื่อมุมยกเริ่มต้นมีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าระยะทางในแนวระนาบน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะทางในแนวราบของจรวดประดิษฐ์นั้นแปรผกผันกับมุมยกเริ่มต้น



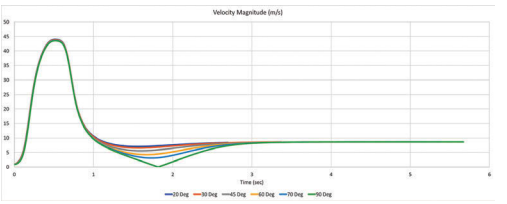
รูปที่ 4 *ระยะทางในแนวแกน y ของจรวดประดิษฐ์ในมุมยกที่แตกต่าง*

ระยะทางในแนวระนาบ y นั้น จะสังเกตได้ว่าเมื่อเทียบกับระยะทางในแนวแกนอื่น ๆ แทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการบิน โดยตัวแปรที่มีความเป็นไปได้ที่จะมีผลกับการเคลื่อนที่ในแนวแกนนี้ คือ ค่าความเร็วหมุนควงของจรวด ซึ่งส่งผลต่อค่ายอว์ออฟรีโพส และท้ายที่สุดส่งผลต่อระยะทางในแนวระนาบ y



รูปที่ *5 ระยะทางในแนวแกน z ของจรวดประดิษฐ์ในมุมยกที่แตกต่าง*

ในส่วนของระยะทางในแนวแกนสูง (z-axis) นั้น สามารถสรุปได้ว่า ความสูงที่จรวดประดิษฐ์สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงที่แรงขับของจรวดสิ้นสุดลง ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาที่ 0.9 วินาที โดยจากนั้นจะเคลื่อนที่ต่อด้วยความเฉื่อยของจรวดจนถึงจุดที่มีความสูงสูงสุดในมุมยก 90 องศา และเมื่อมุมยกต่ำลงจะสังเกตได้ว่า ค่าความสูงสูงสุดนั้นจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อันเนื่องจากความเร็วที่ถูกแจกแจงในแนวแกนสูงจะแปรผันอย่างชัดเจนกับมุมยก จึงสรุปได้ว่ามุมยกเริ่มต้นนั้นแปรผันกันกับความสูงที่จรวดสามารถทำได้



รูปที่ 6 *ความเร็วลัพธ์ของจรวดประดิษฐ์ในมุมยกที่แตกต่าง*

ในกรณีของความเร็วลัพธ์ของจรวดประดิษฐ์จะสังเกตได้ว่าในมุมยกทั้งหมดนั้นจะมีความเร็วลัพธ์ซึ่งคำนวณมาจากการบวกแบบเวกเตอร์ของความเร็วทั้ง 3 แกนที่ใกล้เคียงกันมาก โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่จรวดยังมีแรงขับอยู่นั้นคือช่วง 0 ถึง 0.9 วินาที ซึ่งทำให้จรวดสามารถรักษาความเสถียรไว้ได้และทำความเร็วได้สูงสุดถึง 45 เมตรต่อวินาที จากนั้นเคลื่อนที่ต่อด้วยความเร็วอันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงทางอากาศพลศาสตร์ ซึ่งมีความเร็วลัพธ์คงที่ นั่นคือ 10 เมตรต่อวินาที

4.1 การคำนวณหาวิถีจรวดประดิษฐ์ในตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง

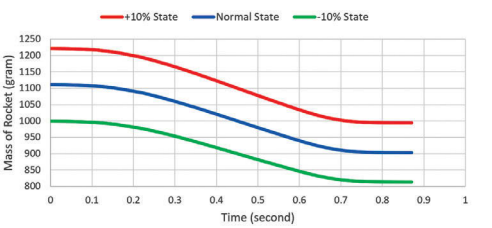
การคำนวณหาวิถีจรวดประดิษฐ์ในสถานการณ์จริงนั้น มีความเป็นไปได้น้อยที่จรวดประดิษฐ์จะเคลื่อนที่ไปตามมุมยกในรูปแบบของเลขจำนวนเต็มตามตัวอย่างของวิถีจรวดประดิษฐ์ที่แสดงข้างต้น ในทางตรงข้าม การเคลื่อนของจรวดประดิษฐ์นั้นมีแนวโน้มที่จะมีมุมยกของการปล่อยจรวดประดิษฐ์ (Elevation Angle) ความเร็วหมุนควงเริ่มต้น (Initial Spin-rate) อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Propellant Burning Rate) และแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ (Thrust Force) โดยตัวแปรเหล่านี้ (Input) ล้วนมีผลอย่างยิ่งต่อการคำนวณเพื่อหาวิถีของจรวดประดิษฐ์ทั้งสิ้น เพื่อให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นของตัวแปรดังกล่าว การเตรียมข้อมูลผลเฉลยของสมการจรวดประดิษฐ์จึงจำเป็นต่อการหาวิถีจรวดประดิษฐ์ในตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์จริง ในขั้นตอนการเตรียมคำนวณเพื่อหาวิถีของจรวดประดิษฐ์ที่ตัวแปรสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงต้องเริ่มหาวิถีของจรวดประดิษฐ์ที่มีมุมยก 10, 20, 30, 45, 60, 70 และ 90 องศา พร้อมทั้งความเร็วหมุนควงเริ่มต้น อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ ที่มีสภาวะปกติ (Normal State) สภาวะเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ (+10% State) และสภาวะต่ำลง 10 เปอร์เซ็นต์ (-10% State) จึงทำให้ในการคำนวณของ 1 มุมยก จะถูกแบ่งออกเป็น 3 สภาวะ ดังนั้น ในการคำนวณหาวิถีจรวดประดิษฐ์ให้ครบมุมยกทั้ง 7 มุม ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงทำให้เกิดรูปแบบของการคำนวณทั้งหมด 21 รูปแบบ ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าสภาวะเริ่มต้นของแต่ละมุมยก

State	Spin-rate (rad/s)	Mass of Rocket (kg)	Thrust Force (N)	Elevation Angle (Deg)
-10% State	0.9427	0.9996	4.8501	10
Normal State	1.0471	1.1107	5.3891	
+10% State	1.1519	1.2218	5.928	
-10% State	0.9427	0.9996	4.8501	20
Normal State	1.0471	1.1107	5.3891	
+10% State	1.1519	1.2218	5.928	
-10% State	0.9427	0.9996	4.8501	30
Normal State	1.0471	1.1107	5.3891	
+10% State	1.1519	1.2218	5.928	
-10% State	0.9427	0.9996	4.8501	45
Normal State	1.0471	1.1107	5.3891	
+10% State	1.1519	1.2218	5.928	
-10% State	0.9427	0.9996	4.8501	60
Normal State	1.0471	1.1107	5.3891	
+10% State	1.1519	1.2218	5.928	
-10% State	0.9427	0.9996	4.8501	70
Normal State	1.0471	1.1107	5.3891	
+10% State	1.1519	1.2218	5.928	
-10% State	0.9427	0.9996	4.8501	90
Normal State	1.0471	1.1107	5.3891	
+10% State	1.1519	1.2218	5.928	

สำหรับอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและแรงผลักของจรวดประดิษฐ์นั้น มีความสัมพันธ์กันโดยตรง ซึ่งในสภาวะเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีมวลของเชื้อเพลิงมากกว่าสภาวะปกติ จึงก่อให้เกิดแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามสภาวะต่ำลง 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีมวลของเชื้อเพลิงน้อยกว่าสภาวะปกติ จะทำให้มีแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ที่น้อยกว่า ดังต่อไปนี้

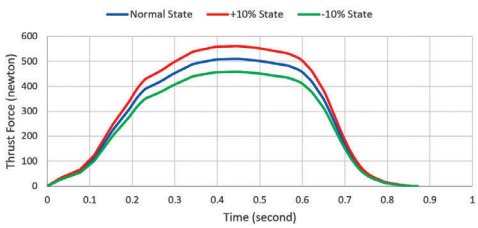
4.1.1 อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง



***รูปที่** 7 อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 สภาวะ*

เชื้อเพลิงของจรวดนั้นเป็นตัวแปรที่มีผลสำคัญต่อวิถีของจรวดอย่างยิ่ง เนื่องจากมวลของจรวดเป็นปัจจัยหลักที่ฉุดความสูงลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเมื่ออัตราเผาไหม้ของจรวดนั้นมีค่ามากจะทำให้จรวดมีช่วงเวลาในการรับภาระน้ำหนักของเชื้อเพลิงน้อยลงทำให้เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระมากขึ้นตามมา

4.1.2 อัตราการสร้างแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ (Thrust Generated Rate)



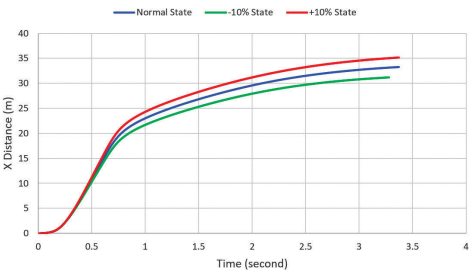
รูปที่ 8 *อัตราการสร้างแรงผลักของจรวดประดิษฐ์ทั้ง 3 สภาวะ*

ในการจำลองเพิ่มและลดมวลของเชื้อเพลิงจรวดนั้น จะสามารถทำให้แรงขับของจรวดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อมวลของเชื้อเพลิงลดลงจะทำให้สร้างแรงขับได้น้อยลงตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าจะทำให้วิถีของจรวดนั้นไกลขึ้นเมื่อมีเชื้อเพลิงที่มากขึ้น

5. ผลการจำลองวิถีจรวดประดิษฐ์ในตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง (Rocket Trajectory)

ในการคำนวณเพื่อหาวิถีของจรวดประดิษฐ์ทั้ง 21 รูปแบบ ที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้น มีขั้นตอนในการคำนวณได้ตามแผนผังวิธีการดำเนินการ ซึ่งเป็นไปตามวัฏจักรในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการจรวดประดิษฐ์ ซึ่งแสดงไว้ตามรูปที่ 13 เป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical analysis) ซึ่งเป็นการแก้หาผลเฉลยทางคณิตศาสตร์ของสมการจรวดประดิษฐ์ในรูปแบบของตำแหน่งของจรวดประดิษฐ์ในแนวแกน x, y และ z ซึ่ง z จะแสดงตำแหน่งความสูงของจรวดประดิษฐ์ (Altitude) และความเร็วลัพธ์ (Velocity) โดยจะเปรียบเทียบดังตัวอย่างต่อไปนี้

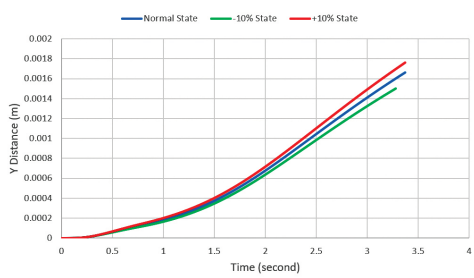
5.1 การเปรียบเทียบระยะทางในแนวแกน X ของมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ



รูปที่ 9 *กราฟเปรียบเทียบระยะทางในแนวแกน X ของมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ*

ในส่วนของระยะทางในแนวแกน x เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ระยะทางในแนวแกน x มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ่านช่วงที่จรวดประดิษฐ์ยังมีแรงขับและเคลื่อนที่ต่อตามแรงโน้มถ่วง

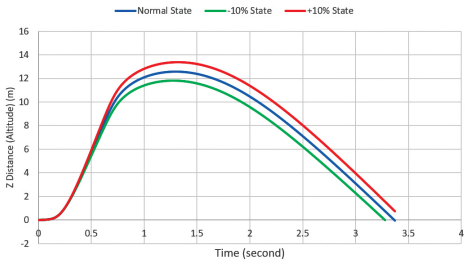
5.2 การเปรียบเทียบระยะทางในแนวแกน Y ของมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ



รูปที่ 10 *กราฟเปรียบเทียบระยะทางในแนวแกน Y ของมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ*

เช่นเดียวกันกับระยะทางในแนวแกน x ระยะทางในแนวแกน y นั้น แม้จะเพิ่มขึ้นตามมวลของเชื้อเพลิง แต่ไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนวิถีการบินของจรวดประดิษฐ์ได้

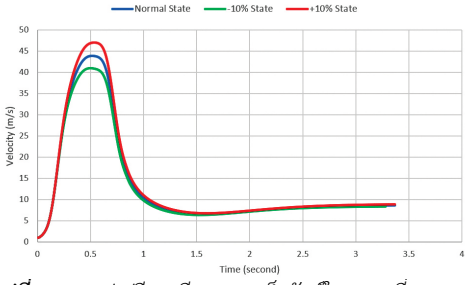
5.3 การเปรียบเทียบระยะทางในแนวแกน Z ของมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ



รูปที่ 11 *กราฟเปรียบเทียบระยะทางในแนวแกน Z ของมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ*

ในแนวแกนความสูงนั้น ในสภาวะที่เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักของจรวดประดิษฐ์หนักขึ้นตามมาด้วย แม้ว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดแรงโน้มถ่วงที่ฉุดจรวดลงก็ตาม แต่จากการจำลองคำนวณเพื่อหาความสูงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาการบิน การเพิ่มเชื้อเพลิงกลับทำให้เกิดความสูงที่เพิ่มอย่างเห็นได้ชัด

5.4 การเปรียบเทียบความเร็วจรวดประดิษฐ์ในมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ



รูปที่ 12 *กราฟเปรียบเทียบความเร็วลัพธ์ในมุมยกที่ 30 องศา ทั้ง 3 สภาวะ*

เชื้อเพลิงนั้นมีบทบาทสำคัญในการกำหนดแรงขับที่เกิดจากจรวด ซึ่งจะกำหนดความเร็วผลลัพธ์ของจรวด เมื่อปริมาณเชื้อเพลิงจรวดเพิ่มขึ้น แรงขับที่เกิดขึ้นก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้ความเร็วของจรวดเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อปริมาณของจรวดขับดันลดลง แรงขับที่เกิดขึ้นก็ลดลงเช่นกัน ส่งผลให้ความเร็วของจรวดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

6. บทสรุป

โดยสรุป วิถีการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์นั้นได้รับผลกระทบอย่างมากจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น มุมยก ความเร็วหมุนควงเริ่มต้น อัตราการเผาไหม้ของจรวด และแรงขับดัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระยะทางในแนวนอนของจรวดประดิษฐ์แปรผกผันกับมุมเงยเริ่มต้น ในขณะที่ความสูงที่จรวดสามารถเข้าถึงได้นั้นแปรผันโดยตรงกับมุมยกเริ่มต้น นอกจากนี้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและแรงขับของจรวดประดิษฐ์มีความสัมพันธ์โดยตรง โดยที่เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงขับเพิ่มขึ้น และการลดลงของเชื้อเพลิงส่งผลให้แรงขับลดลงเช่นกัน จากผลการจำลองยังเผยให้เห็นว่า แม้ว่าระยะทางในแกน x และ y จะได้รับผลกระทบจากมวลเชื้อเพลิง แต่ก็ไม่มีผลกระทบสำคัญต่อวิถีโคจรของจรวดประดิษฐ์ อย่างไรก็ตามความสูงและความเร็วของจรวดได้รับผลกระทบอย่างมากจากมวลของเชื้อเพลิง โดยรวมแล้ว การจำลองให้ข้อมูลเชิงลึกอันมีค่าเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อวิถีโคจรของจรวดประดิษฐ์ ซึ่งสามารถใช้เพื่อปรับปรุงการออกแบบและประสิทธิภาพของจรวดในอนาคต การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่า ในขณะที่การควบคุมมวลของเชื้อเพลิงและการปรับอัตราการเผาไหม้นั้นมีความสำคัญในการปรับวิถีโคจรของจรวดให้เหมาะสม ปัจจัยอื่น ๆ เช่น แรงฉุดและแรงยกทางอากาศพลศาสตร์ ความสูง และแรงขับ จะต้องนำมาพิจารณาด้วย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่น่าเชื่อถือมากขึ้น การจำลองที่มีรายละเอียดมากขึ้นสามารถทำได้โดย

ดำเนินการเพื่อสำรวจผลกระทบจากแรงทางอากาศพลศาสตร์ โดยเฉพาะการปรับความเร็วและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการบิน ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงการออกแบบจรวดประดิษฐ์สามารถจำลองเพื่อให้สังเกตได้ถึงผลกระทบต่อวิถีของจรวดประดิษฐ์ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการบิน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Ko, K. Chang, D. Sheen, C. Lee, Y. Park, and S. Park, "Projectile prediction and analysis of the aerodynamic characteristics of a spinning projectile based on computational fluid dynamics," *Def. Sci. J.*, vol. 188, pp. 132-147, 2020.

[2] S. Gupta, S. Saxena, A. Singhal, and A. K. Ghosh, "Trajectory correction flight control system using pulsejet on an artillery rocket," *Def. Sci. J.*, vol. 58, no. 1, pp. 15-33, Jan. 2008.

[3] L. An, L. Wang, N. Liu, J. Fu, and Y. Zhong, "A novel method for estimating pitch and yaw of rotating projectiles based on dynamic constraints," *Sensors*, vol. 19, no. 23, pp. 5096, 2019.

[4] C. J. Voesenek, "Implementing a fourth order Runge-Kutta method for orbit simulation," pp. 1-3, Jun. 2008. [Online]. Available: http://spiff.rit.edu/richmond/nbody/OrbitRungeKutta4.pdf

[5] P. G. Thomsen, "A generalized Runge-Kutta method of order three," 2002. [Online]. Available: http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/pubs/858-full.html

[6] F. Rabiei, "Fifth-order improved Runge-Kutta method with reduced number of function evaluations," *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 97-105, Jan. 2012.

[7] H. Séka and K. R. Assui, "Order of the Runge-Kutta method and evolution of the stability region," *Ural Math. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 64, Dec. 2019, doi: 10.15826/umj.2019.2.006.

[8] S. Hippolyte and A. K. Richard, "A new eighth order Runge-Kutta family method," *J. Math. Res.*, vol. 11, no. 2, pp. 190-199, Mar. 2019, doi: 10.5539/jmr.v11n2p190.

[9] T. Feagin, "A Tenth-Order Runge-Kutta Method with Error Estimate," in *Proc. IAENG Conf. Sci. Comput.*, Hong Kong, 2007.

[10] G. Arora, V. Joshi, and I. S. Garki, "Developments in Runge-Kutta Method to Solve Ordinary Differential Equations," in *Recent Advances in Mathematics for Engineering*, 1st ed. CRC Press, 2020, ch. 9, pp. 193-202, doi: 10.1201/9780429200304-9.

[11] R. L. McCoy, *Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles*. Atglen: Schiffer Publishing, 1999.

[12] L. Baranowski, "Equations of motion of a spin-stabilized projectile for flight stability testing," *J. Theor. Appl. Mech.*, vol. 51, no. 1, pp. 235-246, Jan. 2013.

[13] L. Baranowski, "Effect of the mathematical model and integration step on the accuracy of the results of computation of artillery projectile flight parameters," *Bull. Pol. Acad. Sci.: Tech. Sci.*, vol. 61, no. 2, pp. 475-484, Jun. 2013, doi: 10.2478/bpasts-2013-0047.

[14] L. Baranowski, "Feasibility analysis of the modified point mass trajectory model for the need of ground artillery fire control systems," *J. Theor. Appl. Mech.*, vol. 51, no. 3, pp. 511-522, Jan. 2013.

[15] R. F. Lieske and M. L. Reiter, "Equations of motion for a modified point mass trajectory," Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD, USA, Rep. 1314, 1966.

การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์

ชนะ รักษ์ศิริ [1] กฤติยา พาอิ่ม [1*] และ เจษฎากร จันทวงษ์ [1]

วันที่รับ 29 กันยายน 2565 วันที่แก้ไข 16 ธันวาคม 2565 วันตอบรับ 21 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

การเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถคำนวณได้หลากหลายวิธี เช่น การประยุกต์ใช้กฎของนิวตันมาสร้างสมการการเคลื่อนที่ หรือการใช้วิธีการของรุงเง-คุตตาอันดับที่ 4 โดยสมการทั้งหมดเป็นการปรับปรุงมาจากหลักการแบบจำลอง Modified Point Mass Trajectory Model (MPMTM) โดยจะทำการเปรียบเทียบคำตอบของผลเฉลย ซึ่งวิธีการเหล่านี้มีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณและอาจเกิดความผิดพลาดในการคำนวณได้ ในบทความนี้จึงนำเสนอแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation Neural Network) มาใช้ในการทำนายผลเฉลยของขีปนวิถีของจรวดที่เปลี่ยนแปลงจากผลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้าของสมการขีปนวิถีเปลี่ยนแปลง (Rocket Trajectory in various input) ตามสภาพการใช้งานจริง ซึ่งตัวแปรนำเข้าป้อนเข้าจำนวน 5 ตัวแปร โดยใช้ค่าดรรชนีสมรรถนะเป็นตัวพิจารณาโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุด จากการดำเนินการโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์ที่มีประสิทธิภาพสุด มีค่าดรรชนีสมรรถนะอยู่ที่ 0.04 ซึ่งจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมนี้เป็นตัวแทนการหาแนววิถีการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์แทนการคำนวณสมการที่ยุ่งยาก ซึ่งทำให้ง่ายและรวดเร็วในการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : วิถีจรวดประดิษฐ์, โครงข่ายประสาทเทียม

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: fengkip@ku.ac.th

A Development of Neural Network Model for Inventor Rocket Path-Motion Prediction

Chana Raksiri [1] Krittiya Pa-im [1*] and Chessadakorn Chantawong [1]

Received 29 September 2022, Revised 16 December 2022, Accepted 21 December 2022

Abstract

The trajectory of an artificial rocket is a non-linear equation of motion which can be solved in various method for instance by the method of an applied newton's law used for establish the equation of motion or by the numerical method of Runge Kutta 4th order. All of the equations of motion are modified from the principle of Modified Point Mass Trajectory Model (MPMTM) which will have to compare its mathematic solution. These methods are complicated to calculate and can cause an error. Therefore, in this article will present the application of back-propagation neural networks to predict the trajectory of a rocket in various input according to the actual usage conditions, which 5 inputs. The performance index is used to determine the optimal neural network. The results, the most efficient system identification neural network that has a performance index of 0.04 and this neural network will represent the trajectory of an artificial rocket instead of complex equations which will simplify and takes less time to calculate.

Keywords : Inventor Rocket, Neural Networks

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.

[*] Corresponding author, E-mail: fengkip@ku.ac.th

1. บทนำ

วิถีของจรวดประดิษฐ์ (Rocket Trajectory) คือการศึกษาการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยเริ่มต้นตั้งแต่เมื่อจรวดประดิษฐ์เริ่มเกิดแรงผลัก (Thrust Force) และเคลื่อนที่ไปในตัวกลางอากาศ และตกยังพื้นที่เป้าหมาย โดยที่ความแม่นยำและอำนาจการปล่อยของจรวดประดิษฐ์จะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการศึกษาและออกแบบการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ในทุกระยะ

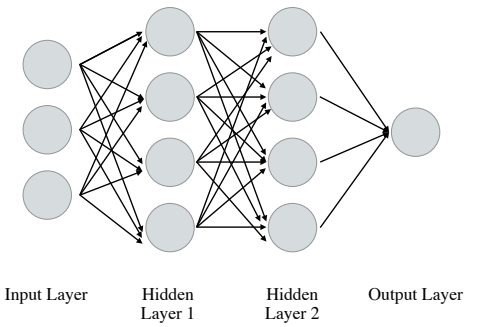
การแก้ปัญหาสมการการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้วิธีคำนวณหาผลเฉลยทางตรงนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical) เพื่อลดเวลาและเพิ่มความสะดวกในทางปฏิบัติ การหาผลเฉลยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ประยุกต์โดยใช้กฎของนิวตันมาสร้างสมการการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์ [1] แล้วใช้ระเบียบวิธีของออยเลอร์ (Euler’s method) หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและทิศทางของการปล่อยกับแนวการเคลื่อนที่ของจรวดประดิษฐ์ หรือวิธีของรุงเง-คุตตา (Runge-Kutta) [2]-[4] ที่ให้ผลเฉลยมีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากวิธีการหาผลเฉลยเหล่านี้มีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณและอาจเกิดความผิดพลาดในการคำนวณได้ในบทความนี้จึงนำเสนอแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation Neural Network) โดยมีการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning) เพื่อนำมาใช้ในการทำนายผลเฉลยของขีปนวิถีของจรวดที่เปลี่ยนแปลงจากผลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้าของสมการขีปนวิถีเปลี่ยนแปลง (Rocket Trajectory in various input) ตามสภาพการใช้งานจริง ทำให้ง่ายและรวดเร็วในการใช้งานจริง

โดยทั่วไปของโครงข่ายประสาทเทียม คือการประมาณระบบการทำงานหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะเมื่อเราไม่ทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบหรือระบบนั้นมีความซับซ้อนในการคำนวณมาก [5] โครงข่ายประสาทจะทำหน้าที่เป็นตัวแทนของแบบจำลองได้ โดยเราต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับระบบในรูปแบบของข้อมูลอินพุต เอาต์พุต ระบบจะได้จากการเรียนรู้โครงข่ายประสาทและความสามารถที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณเพื่อปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางอากาศยานและงานอื่น ๆ อีกหลากหลายงาน [6]-[10] เช่น ใช้ในการพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์อากาศพลศาสตร์ของอากาศยาน การควบคุมวงรอบวิถีของควอดโรเตอร์ การควบคุมสิ่งรบกวนของเฮลิคอปเตอร์ไร้คนขับ การพยากรณ์ความจุของสนามบิน และการติดตามวิถีของหุ่นยนต์ทรงตัว

ในบทความนี้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้จะเป็นแบบแพร่ค่าย้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยชั้นรับข้อมูล ชั้นซ่อน และชั้นแสดงผล โดยชั้นรับข้อมูลจะเป็นตัวแปรนำเข้าป้อนเข้า (Input) แบบ Multi-Input มีจำนวน 5 ตัวแปรนำเข้า คือ ค่ามุมทางสูง (Elevated Angle) ค่าความเร็วต้นของจรวด (V_0) แรงผลักดันจรวด (Thrust Force) อัตราหมุนควง (Spin Rate) และอัตราการไหลของจรวด (Mass Flow Rate) ส่วนชั้นแสดงผลจะมีจำนวน 3 ตัวแปร คือ พิกัด X, Y และ Z ของจรวดประดิษฐ์ ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้ (Training) เพื่อใช้ในการหาเอกลักษณ์ของระบบ แล้วใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าดรรชนีสมรรถนะที่ดีที่สุด (Mean Squared Error: MSE) จึงนำโครงข่ายประสาทเทียมนั้นเป็นตัวแทนการหาพิกัดการเคลื่อนที่พิกัด X, Y และ Z ของจรวดต่อไป

2. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยโหนดในแต่ละชั้นและการเชื่อมต่อกันภายในระหว่างชั้น ชั้นแรกจะเป็นชั้นอินพุต จำนวนโหนดจะมีเท่ากับจำนวนของข้อมูลป้อนเข้า ชั้นซ่อนโดยทั่วไปจำนวนชั้นและจำนวนโหนดจะไม่มีข้อจำกัดแน่นอนตายตัว แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนโหนดมาก ๆ จะทำให้ช้ามากในการคำนวณ (Overfitting) และถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนโหนดน้อยเกินไป จะทำให้ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนไม่ลู่เข้าจุดต่ำสุด (Convergent) และผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ถูกต้อง ชั้นเอาต์พุตจะมีจำนวนโหนดเท่ากับจำนวนผลลัพธ์ที่ต้องการ [11]



รูปที่ 1 *โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม [12]*

ค่าอินพุต *(p)* ถูกส่งผ่าน นำไปคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (*w*) เป็นปริมาณสเกลาร์ จำนวนอินพุต R ตัว กำหนดอยู่ในแต่ละการเชื่อมต่อ ผลคูณที่ได้อยู่ในรูป *wp* นำ ค่าที่ได้นี้ไปรวมกับค่าไบแอส *(b)* จะได้ผลรวมกันของค่าที่ได้ เรียกว่า ค่า Net Input (*n*) จากนั้นถูกส่งผ่านไปยังฟังก์ชันการถ่ายโอนหรือฟังก์ชันการกระตุ้น (Transfer or Activation Function) ผลลัพธ์ที่ได้ออกมานี้คือ ค่าเอาต์พุต (*a*) เป็นปริมาณสเกลาร์ สามารถเขียนสมการของค่าอินพุตและเอาต์พุตได้ [13]

$$a = f(wp + b) \tag{1}$$

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \ldots + w_{1,R}p_R + b \tag{2}$$

หรือ

$$n = wp + b \tag{3}$$

$$a = f(n) \tag{4}$$

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเรียนรู้และขั้นตอนการทดสอบ ซึ่งขั้นตอนการเรียนรู้จะเรียนรู้จากข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุต แล้วทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหารูปแบบและความสัมพันธ์ภายในของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต ส่วนขั้นตอนการทดสอบจะนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบและฝึกสอนแล้วมาใช้งานต่อ โดยจะใช้อินพุตชุดใหม่ใส่เข้าไปเพื่อหาเอาต์พุตที่ต้องการ [13]

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายใยประสาทวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน Multilayer Perceptron เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ [13]

3. การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์แมตแลบ

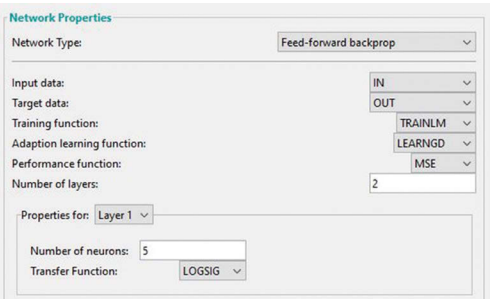
การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการหาเอกลักษณ์ต่ำที่สุด *(δ_o)* โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ โดยฟังก์ชันการเรียนรู้เป็นแบบ Levenberg-Marquardt Backpropagation โดยต้องมีการกำหนดอัตราการเรียนรู้ (α) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนัก *(W)* และค่าไบแอส *(W_{Bias})* ของโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยสมการที่ 5 - 7 [13] และ

กำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid เพื่อปรับผลลัพธ์ของแบบจำลอง ($T(k)$) ให้ใกล้เคียงกับค่าความจริง ($T(k)$) มากที่สุด แสดงดังรูปที่ 2

$$\delta_o = [T(k) - Y(k)]f'(y_{in}) \quad (5)$$

$$\Delta W = \alpha Z \delta_o^T \quad (6)$$

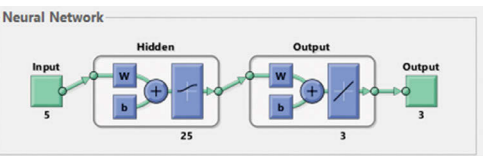
$$\Delta W_{Bias} = \alpha \delta_o \quad (7)$$



รูปที่ 2 *การกำหนดโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม*

4. กำหนดตัวแปรป้อนเข้า ตัวเป้าหมาย และการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการหาเอกลักษณ์

บทความนี้ได้ใช้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับในการเรียนรู้ โดยที่โครงข่ายประสาทเทียมนั้นประกอบด้วยชั้นรับข้อมูล ชั้นซ่อน และแสดงผล โดยชั้นรับข้อมูลจะเป็นตัวแปรป้อนเข้า (Input) แบบ Multi-Input มีจำนวน 5 ตัวแปร คือ ค่ามุมทางสูง (Elevated Angle) ซึ่งกำหนดค่าอยู่ระหว่าง 10 องศา ถึง 90 องศา ค่าความเร็วต้นของจรวด (V_0) กำหนดให้คงที่ที่ 1 m/s แรงผลักดันจรวด (Thrust Force) อัตราหมุนควง (Spin Rate) และอัตราการไหลของจรวด (Mass Flow Rate) ซึ่งชุดข้อมูลของตัวแปรแรงผลักดันจรวด อัตราหมุนควง และอัตราการไหลของจรวดนั้นจะได้มาจากสมการการคำนวณด้วยวิธีของรุงเง-คุตตา ซึ่งไม่มีขอบเขตค่าตัวแปรที่แน่นอน ส่วนตัวเป้าหมาย (Target) มีจำนวน 3 ตัวแปร คือ พิกัด X, Y และ Z ของจรวด ส่วนการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะเป็นการกำหนดฟังก์ชันการเรียนรู้ (Training Function) ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) จำนวนชั้น (Number of Network Layers) ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดจำนวนโหนดในชั้น Hidden Layer นั้น จะเริ่มที่จำนวนเท่ากับจำนวนตัวแปรป้อนเข้า เมื่อกำหนดค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วจะได้ภาพโครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 *โครงข่ายประสาทเทียม*

5. การหาเอกลักษณ์ของระบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนการเรียนรู้เริ่มจากการกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ ฟังก์ชันการเรียนรู้ (Training Function) ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) จำนวนชั้น (Number of Network Layers) ของโครงข่ายประสาทเทียม จำนวนข้อมูลป้อนเข้า (Number of Input Nodes) จำนวนนิวรอนของชั้นซ่อนแต่ละชั้น (Hidden Layer Nodes) และจำนวนผลลัพธ์ (Number of Output Nodes) จากนั้นนำข้อมูลป้อนเข้า และข้อมูลเป้าหมายมาป้อนให้กับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อที่จะคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต หลังจากนั้นจะนำค่าเอาต์พุตที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย เพื่อคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดมากกว่าค่าที่กำหนด

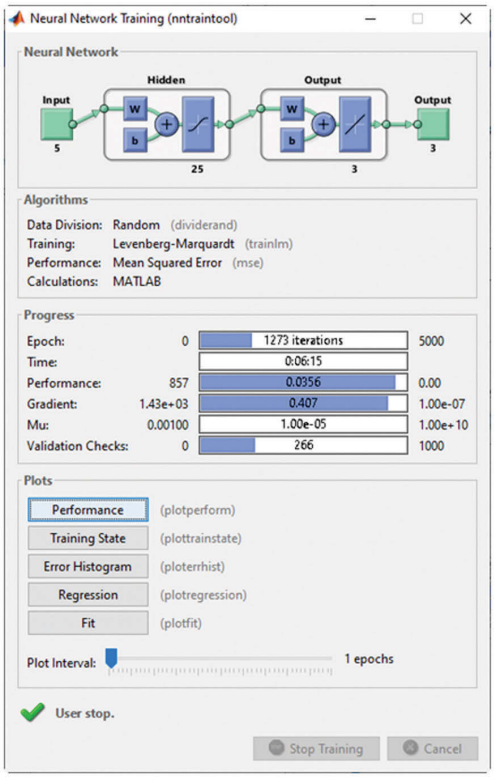
โปรแกรมจะทำการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบแอสแล้วคำนวณค่าความสัมพันธ์ใหม่ทั้งหมดอีกครั้ง และเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนด โครงข่ายจะหยุดการเรียนรู้และทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมและทำการบันทึกค่าน้ำหนักและค่าไบแอสเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทดสอบต่อไป

5.1 เตรียมชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกโครงข่ายประสาท

จำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์มีจำนวน 7,954 ชุดข้อมูล แบ่งข้อมูลในการฝึกโครงข่ายประสาท (Training) 70% ข้อมูลในการตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายประสาท (Validation) 15% และข้อมูลในการทดสอบโครงข่ายประสาท (Testing) 15%

5.2 ฝึกโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์

การกำหนดลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์ เนื่องจากไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการกำหนดลักษณะโครงสร้าง ดังนั้นจึงใช้วิธีการลองผิดลองถูก โดยเริ่มจากลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยที่สุดและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทที่ใช้ในการฝึกมีจำนวน 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอินพุต ชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุต โดยจำนวนโหนดในชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุตเท่ากับจำนวนสัญญาณเข้าและออกโครงข่ายประสาท ซึ่งมีจำนวน 5 และ 3 โหนด ตามลำดับ โดยเปลี่ยนจำนวนโหนดในชั้นซ่อน เพื่อหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทที่เหมาะสมที่สุดในการหาเอกลักษณ์ ซึ่งในการฝึกเบื้องต้นนั้นได้มีการปรับจำนวนโหนดในชั้นซ่อนตั้งแต่ 5 โหนด จนถึง 50 โหนด โดยเพิ่มทีละ 5 โหนด และเปรียบเทียบดรรชนีสมรรถนะของโครงข่ายประสาทเทียมว่าโครงสร้างใดมีประสิทธิภาพมากสุด ส่วนฟังชันก์การถ่ายโอนที่ใช้ในโครงสร้างประสาทนี้คือ ฟังชันก์การถ่ายโอนแบบล็อก-ซิกมอยด์ในชั้นซ่อน และฟังชันก์การถ่ายโอนแบบลิเนียร์ในชั้นเอาต์พุต จำนวนชุดข้อมูลในการฝึก 5,568 ชุด จำนวนชุดข้อมูลในการตรวจสอบความถูกต้อง 1,193 ชุด และชุดข้อมูลในการทดสอบ 1,193 ชุด จำนวนรอบการเรียนรู้สูงสุด 5,000 รอบ และเป้าหมายสมรรถนะ 0.01 โดยผลการฝึกโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะแสดงผลดรรชนีสมรรถนะ 3 ค่า คือ ดรรชนีสมรรถนะของการฝึก ดรรชนีสมรรถนะการตรวจสอบความถูกต้อง และดรรชนีสมรรถนะในการทดสอบ โดยในรูปที่ 4 แสดงภาพขณะการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 4 *โครงข่ายประสาทเทียมขณะการเรียนรู้ในการหาเอกลักษณ์ที่จำนวนโหนดเท่ากับ 25*

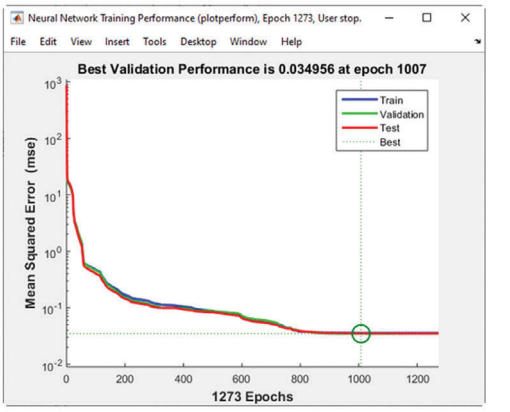
ตารางที่ 1 แสดงผลการฝึกโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์

รอบที่	โครงสร้าง	ดรรชนีสมรรถนะ (MSE)		
		การฝึก	ตรวจสอบ	ทดสอบ
1.	5 × 5 × 3	3.1397	3.1929	3.1486
2.	5 × 10 × 3	0.4691	0.4770	0.4704
3.	5 × 15 × 3	0.1748	0.1718	0.1743
4.	5 × 20 ×3	0.1332	0.1309	0.1328
5.	5 × 25 × 3	0.0356	0.0350	0.0355
6.	5 × 30 × 3	0.0333	0.0339	0.0334
7.	5 × 35 × 3	0.0295	0.0290	0.0294
8.	5 × 40 × 3	0.0243	0.0247	0.0244
9.	5 × 45 × 3	0.0218	0.0214	0.0217
10.	5 × 50 × 3	0.0208	0.0212	0.0209

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดเข้าไปแล้วดรรชนีสมรรถนะของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 30 โหนด ดรรชนีสมรรถนะลดลงจนถึงจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 25 โหนดเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อเพิ่มจนถึงจำนวนโหนดในชั้นซ่อนไปอีกจะเห็นว่าดรรชนีสมรรถนะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแล้ว ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุดในการเรียนรู้นั้นอยู่ที่จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 25 โหนด ซึ่งมีค่าดรรชนีสมรรถนะของการฝึกอยู่ที่ 0.0356 ค่าดรรชนีสมรรถนะการตรวจสอบความถูกต้องอยู่ที่ 0.0350 และค่าดรรชนีสมรรถนะในการทดสอบอยู่ที่ 0.0355 โดยมีโครงสร้างของโครงข่ายดังแสดงในตารางที่ 2 และค่าดรรชนีสมรรถนะในรูปที่ 5

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์

โครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์	โครงสร้าง
จำนวนชั้น	3
จำนวนโหนดในชั้นอินพุต	5
จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	25
จำนวนโหนดในชั้นเอาต์พุต	3
ฟังชันก์การถ่ายโอนในชั้นซ่อน	$a = 1/(1+e^{-n})$
ฟังชันก์การถ่ายโอนในชั้นเอาต์พุต	$a = n$
อัตราการเรียนรู้ (α)	0.01



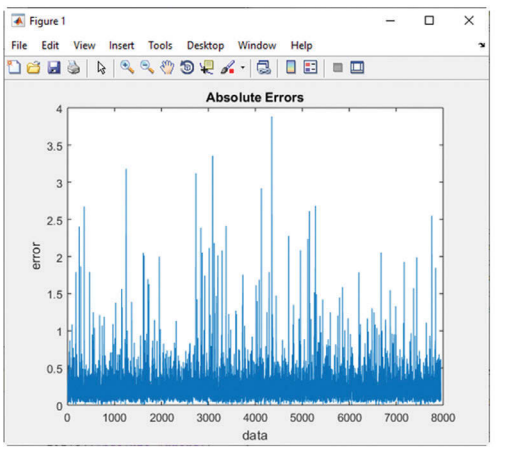
รูปที่ 5 *ดรรชนีสมรรถนะการตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์ที่จำนวนโหนดเท่ากับ 25*

6. ผลการนำโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์ไปใช้หาพิกัด

เมื่อได้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์แล้ว จะนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการหาพิกัดการเคลื่อนที่ของจรวด โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นค่าเริ่มต้น การนำไปใช้จะทำการเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่ของจรวดกับ

ค่าเอาต์พุตที่ออกจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ค่าอินพุตเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน และค่าความผิดพลาดของพิกัดการเคลื่อนที่ของจรวดที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อเทียบกับค่าจริงที่ได้จากการคำนวณ และเมื่อคำนวณหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ด้วยสมการที่ 8 จะได้ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ดังรูปที่ 6 โดยค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ที่ 0.34 เมตร โดยได้ตั้งขอบเขตของความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ที่ไม่เกิน 2 เมตร

$$Err_{abs} = \sqrt{(X_{nn} - X_{real})^2 + (Y_{nn} - Y_{real})^2 + (Z_{nn} - Z_{real})^2} \quad (8)$$



รูปที่ 6 *ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ระหว่างค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าจริงสมการการเคลื่อนที่ของจรวด*

จากการดำเนินการพบว่าการหาพิกัดการเคลื่อนที่ของจรวดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณสมการด้วยวิธีของรุงเง-คุตตา ซึ่งเป็นการคำนวณตัวแปรออกมาหลายตัวแปรนั้น จะมีความสะดวกและรวดเร็วกว่าในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนข้อมูลนำเข้า ลดความผิดพลาดในการคำนวณที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่การที่จะให้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวแทนระบบการเคลื่อนที่ที่หลากหลายขึ้น จำเป็นต้องมีชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกมากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะให้โครงข่ายประสาทเทียมนี้ทำนายการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์ได้แม่นยำมากขึ้น

7. สรุปผลการดำเนินการ

บทความนี้นำเสนอการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์จากการออกแบบระบบการเคลื่อนที่ของจรวดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation Neural Network) ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์แมตแลบ (Matlab) เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุต (Input) คือ ค่ามุมทางสูง (Elevated Angle) ค่าความเร็วต้นของจรวด (V_0) แรงผลักดันจรวด (Thrust Force) อัตราหมุนควง (Spin Rate) และอัตราการไหลของจรวด (Mass Flow Rate) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแล้ว นำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้ (Training) เพื่อใช้ในการหาเอกลักษณ์ โดยทำการแบ่งรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมและกำหนดโครงสร้างแต่ละรูปแบบของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นทำการทดลองหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่แตกต่างกันของแต่ละรูปแบบ และต่อมาทำการเปรียบเทียบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละรูปแบบในขั้นตอนของการเรียนรู้ให้มีความเหมาะสม ซึ่งพิจารณาได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าดรรชนีสมรรถนะที่สุด (MSE) เมื่อได้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์ที่เหมาะสม จึงนำโครงข่ายประสาทเทียมนั้นเป็นตัวแทนการหาพิกัดการเคลื่อนที่พิกัด X, Y และ Z ของจรวดต่อไป

กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมใช้การหาเอกลักษณ์ค่าดรรชนีสมรรถนะ แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณารูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมในการหาเอกลักษณ์ทั้ง 10 รูปแบบ เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดในชั้นซ่อนมากขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 5-50 โหนด โดยเพิ่มจำนวนโหนดครั้งละ 5 โหนด จะส่งผลทำให้ค่าดรรชนีสมรรถนะของกระบวนการเรียนรู้ในการหาเอกลักษณ์มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงโครงสร้างที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเป็น 25 โหนด และโครงสร้างหลังจากนี้จะให้ค่าดรรชนีสมรรถนะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มคงที่ จนถึงโครงสร้างที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 50 โหนด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากเพิ่มจำนวนโหนดมากกว่า 25 โหนดแล้ว พบว่าไม่สามารถทำให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้ดีขึ้นมากกว่าเดิม ซึ่งได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือรูปแบบที่มีโครงสร้าง 5×25×3 จึงนำโครงข่ายประสาทเทียมนี้เป็นตัวแทนการหาพิกัดการเคลื่อนที่ของจรวด

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้หาเอกลักษณ์ของระบบการเคลื่อนที่ของจรวดจะทำการเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่ของจรวดกับค่าเอาต์พุตที่ออกจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยค่าความผิดพลาดระหว่างพิกัด X, Y และ Z ที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่กับพิกัด X, Y และ Z ที่ออกจากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ที่ 0.34 เมตร ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและยอมรับได้ ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้หาเอกลักษณ์ของระบบการเคลื่อนที่ของจรวดนี้สามารถเป็นตัวแทนการหาพิกัด X, Y และ Z แทนการคำนวณที่ยุ่งยากของสมการการเคลื่อนที่ของจรวดได้

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สัญญาเลขที่ 640202

9. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Ko, K. Chan, D.-J. Sheen, C.-H. Lee, Y. Park, and S. W. Park, “Prediction and Analysis of the Aerodynamic Characteristics of a Spinning Projectile Based on Computational Fluid Dynamics,” *Int. J. Aerosp. Eng.*, vol. 2020, pp. 1-12, 2020.

[2] S. K. Gupta, S. Saxena, A. Singhal, and A. K. Ghosh, “Trajectory Correction Flight Control System using Pulsejet on an Artillery Rocket,” *Def. Sci. J.*, vol. 58, no. 1, pp. 15-33, 2008.

[3] Q.-B. Zhou, X.-T. Rui, G.-P. Wang, and J.-S. Zhang, “An efficient and modular modeling for launch dynamics of tubed rockets on a moving launcher,” *Def. Technol.*, vol. 17, No. 6, pp. 2011-2026, 2021.

[4] L. An, L. Wang, N. Liu, J. Fu, and Y. Zhong, “A Novel Method for Estimating Pitch and Yaw of Rotating Projectiles Based on Dynamic Constraints,” *Sensors,* vol. 19, no. 23, pp. 5096, 2019.

[5] N. Nattapob, “Neural Network and Artificial Intelligent,” M.S. thesis, Faculty of Engineering, Bangkok University, Bangkok, Thailand, 2007. (in Thai)

[6] I. Gandarilla, J. Montoya-Cháirez, V. Santibáñez, C. Aguilar-Avelar, and J. Moreno-Valenzuela, "Trajectory tracking control of a self-balancing robot via adaptive neural networks," *Eng. Sci. Technol.*, vol. 35, 2022.

[7] I. Lopez-Sanchez, J. Moyrón, and J. Moreno-Valenzuela, "Adaptive neural network-based trajectory tracking outer loop control for a quadrotor," *Aerosp. Sci. Technol.*, vol. 129, 2022.

[8] S. Shen and J. Xu, "Adaptive neural network-based active disturbance rejection flight control of an unmanned helicopter," *Aerosp. Sci. Technol.*, vol. 119, 2021.

[9] S. Choi and Y. J. Kim, "Artificial neural network models for airport capacity prediction," *J. Air Transp. Manag.*, vol. 97, 2021.

[10] K. Balla, R. Sevilla, O. Hassan, and K. Morgan, "An application of neural networks to the prediction of aerodynamic coefficients of aerofoils and wings," *Appl. Math. Model.*, vol. 96, no. 10, pp. 456-479, 2021.

[11] E. Nawapak, "Documents for Artificial Neural Networks Subject," M.S. thesis, Faculty of Engineering, Khonkhan University, Khonkhan, Thailand, 2003. (in Thai)

[12] A. Puitrakul. "An Introduction (?) to Deep Learning." ARNONDORA.in.th. https://arnondora.in.th/an-introduction-to-deep-learning/, (accessed July. 4, 2022) (in Thai)

[13] H. T. Nguyen, N. R. Prasad, C. L. Walker, and E. A. Walker, "A First Course in Fuzzy and Neural Control," Chapman&Hall/CRC, New York, 2002.

การวิเคราะห์พื้นที่ปกคลุม ทางการเกษตรในประเทศไทยด้วยกระบวนการ CNN

C. Arnal [1] S. Bassanetti [1] H. Corbin [1] วิษณุ มั่งคั่ง [2] และ Laurent Mezeix [3*]

วันที่รับ 28 กันยายน 2565 วันที่แก้ไข 9 มกราคม 2566 วันตอบรับ 24 มกราคม 2566

บทคัดย่อ

การพัฒนาด้านเกษตรกรรมจำเป็นต้องมีความเข้าใจและมีข้อมูลเชิงภาพที่แสดงถึงพื้นที่ปกคลุมที่จะแสดงให้เห็นถึงภูมิทัศน์ทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา บทความวิจัยฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์พื้นที่ปกคลุมเพื่อการเกษตรในประเทศไทยโดย Convolutional Neural Network (CNN) โดยมีการสร้างชุดข้อมูลรูปภาพ 4 คลาส จำแนกออกเป็น ป่า ต้นปาล์ม นาข้าว และสิ่งปลูกสร้าง รวมกันทั้งสิ้นประมาณ 1,500,000 ภาพ แต่ละภาพจะมีขนาด 64x64 จุดภาพ อีกทั้งแต่ละชุดข้อมูลจะผ่านกระบวนการประมวลผลด้วยโมเดล CNN ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์จนได้ย่านความแม่นยำอยู่ระหว่าง 80-90% ภายหลังจากการประมวลผล โมเดลจะจำแนกพื้นที่ปกคลุมคัดแยกตามชุดข้อมูลรูปภาพแต่ละชุด หลังจากนั้นจะใช้กระบวนการคัดแยก RGB เพื่อจำแนกระดับการเจริญเติบโตของข้าวและขนาดของต้นปาล์ม ก่อนที่จะทำการประมาณการผลผลิตจากต้นปาล์มและนาข้าว

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน, การประมวลผลภาพ, พื้นที่ปกคลุม, ภาพถ่ายดาวเทียม

---

[1] Université de Toulouse, INSA, UPS, Mines d'Albi, ISAE, ICA (Institut Clément Ader), 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse Cedex, France

[2] ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, อำเภอปากเกร็ด, จังหวัดนนทบุรี, 11120

[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, 169 ถนนลงหาดบางแสน, จังหวัดชลบุรี, 20131, ประเทศไทย

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: laurent.mezeix@hotmail.com

Land Cover Analysis for Agricultural Area in Thailand using CNN Method

C. Arnal [1] S. Bassanetti [1] H. Corbin [1] Vissanu Mungkung [2] and Laurent Mezeix [3*]

Received 28 September 2022, Revised 9 January 2023, Accepted 24 January 2023

Abstract

To support agricultural development, increased understanding and data is needed. Performing a land cover enables obtain physical landscapes. The aim of this paper is to propose a land cover for agricultural area in Thailand using CNN method. A four-class dataset is created: forest, palm, rice, and buildings. It is composed of about 1,500,000 with a size of 64x64 pixels. Each class is associated with an optimized CNN model showing an accuracy between 80 and 90%. After post-processing of each prediction, the land cover is successfully obtained by aggregating the different class predictions. An RGB filter is used to determine the maturation state of the rice and to differentiate the type of palm field. Finally, the estimation of the production of palm and rice can be performed.

Keywords : Convolutional neural network, Image processing, Land cover, Satellite Image

[1] Université de Toulouse, INSA, UPS, Mines d'Albi, ISAE, ICA (Institut Clément Ader), 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse Cedex, France

[2] Defence Technology Analysis Deparment, Defence Technology Institute, Pak Kret, Nonthaburi, 11120

[3] Faculty of Engineering, Burapha University, 169 Long-Hard, Bangsaen Road, Chonburi, 20131, Thailand

[*] Corresponding author, E-mail: laurent.mezeix@hotmail.com

1. บทนำ

องค์การสหประชาชาติคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2030 จะมีประชากรโลกอยู่ที่ 8.5 พันล้านคน และเพิ่มเป็น 9.7 พันล้านคน ภายในปี ค.ศ. 2050 ซึ่งโลกต้องประสบกับปัญหาความมั่นคงด้านอาหาร [24] จึงจำเป็นต้องเพิ่มอัตราการผลิตอาหารเพื่อรองรับการเติบโต ด้วยเหตุนี้การตรวจสอบพื้นที่เพื่อเกษตรกรรมและการจัดการด้านการผลิตอาหารจึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง [14] โดยเฉพาะการเพิ่มอัตราการผลิตอาหารให้มากขึ้นโดยลดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงนับเป็นความท้าทายสำหรับภาคการเกษตรในอนาคต เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงเกิดเป็นแนวคิดการเกษตรแบบแม่นยำโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพภาคการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล [26]

การเฝ้าตรวจและตรวจจับข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ของพื้นที่สามารถทำได้ด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งอยู่ในรูปแบบของดาวเทียมหรืออากาศยาน [28], [32] ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีและการเข้าถึงข้อมูลทางภูมิศาสตร์สารสนเทศนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมิติ [7] สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำไปใช้ในการศึกษาการพังทลายของหน้าดินในบริเวณพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากลำบาก [29] การสำรวจพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ [8] และการศึกษาทางอุทกวิทยา เป็นต้น ในการทำแผนที่สิ่งปกคลุมดินนั้นมีวิธีการที่หลากหลาย ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks) หรือ CNN เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการวิเคราะห์บริเวณพื้นที่ปกคลุมที่ดิน โดยผลการประมวลมีความแม่นยำ (Accuracy) สูงกว่าอัลกอริทึมการจำแนกประเภทอื่น ๆ เช่น Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), การถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) และวิธีการอื่นที่คล้ายคลึงกัน [4], [11], [17], [20]-[21]

Mahdi Panahi และคณะ [21] แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CNN ให้ผลลัพธ์จากการประมวลที่มีความแม่นยำกว่า SVM ถึง 12% สำหรับการทำแผนที่บริเวณที่คาดว่าอาจมีน้ำบาดาล อีกทั้งมีงานวิจัยที่ใช้ CNN ในการประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำในแม่น้ำ Tietê ประเทศบราซิล [11] สำหรับในอุตสาหกรรมการเกษตรสามารถใช้ประโยชน์จาก CNN โดยใช้ตรวจการเจริญเติบโตของรวงข้าวและคาดการณ์ระยะการเจริญเติบโตได้ [33] นอกจากนี้ยังสามารถใช้ CNN เพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรที่ใช้ในการเกษตร เช่น แหล่งน้ำและการควบคุมอัตราการเกิดมลพิษ [3]

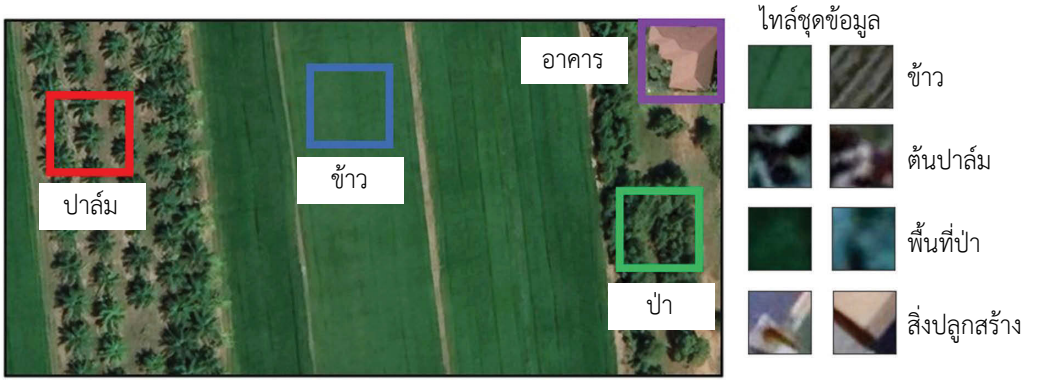
ที่ผ่านมามีการพัฒนาแผนที่สิ่งปกคลุมดินในประเทศไทยด้วย CNN [5], [10], [22] ในการประมวลผลชุดข้อมูลภาพ โดยใช้หนึ่งแบบจำลองต่อหนึ่งชุดข้อมูลภาพ หลังจากนั้นจึงคำนวณค่าจากความแตกต่างเพื่อให้ได้ค่าพื้นที่ครอบคลุม โดยได้มีการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 คลาส (ป่าไม้ พืชผล อาคาร และถนน) ตามลักษณะพื้นที่ชนบทของประเทศไทย [13]

ในบทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองสำหรับการจำแนกประเภทของพื้นที่ทางการเกษตรในประเทศไทยและเพื่อให้สามารถประมาณผลผลิตจากการเพาะปลูกพืชไร่ รวมถึงการศึกษาสภาพแวดล้อมโดยรอบของพื้นที่เพาะปลูกเพื่อเป็นข้อมูลแก่หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องได้นำไปใช้ประโยชน์ ในการดำเนินการดังกล่าวได้มีการสร้างชุดข้อมูลภาพ 4 คลาส ได้แก่ นาข้าว ต้นปาล์ม ป่าไม้ และสิ่งปลูกสร้าง โดยใช้แบบจำลอง CNN ประมวลผลชุดข้อมูลภาพในแต่ละชุดและทำการทวนสอบ พร้อมกับการวิเคราะห์นาข้าวและไร่ต้นปาล์ม

2. กรณีศึกษา

ประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 513,000 ตารางกิโลเมตร จากข้อมูลปี พ.ศ. 2558 พื้นที่ดังกล่าวจำแนกเป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 221,000 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 43% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งอุตสาหกรรมการเกษตรมีอัตราการจ้างงานคิดเป็น 8.7% ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตข้าว ยางพารา และปาล์มน้ำมันรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยที่ประเทศไทย

ส่งออกน้ำมันปาล์มคิดเป็น 4% ของการผลิตทั่วโลก [27] ด้วยแนวโน้มอุปสงค์ของพืชเศรษฐกิจที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีความสนใจในแบบจำลองที่สามารถประมาณการผลิตจากพืชไร่ต่อปี ซึ่งในบทความวิจัยฉบับนี้จะจำแนกชุดข้อมูลภาพออกเป็น 4 คลาส คือ นาข้าว ต้นปาล์ม พื้นที่ป่าไม้ และสิ่งปลูกสร้าง เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทย เพื่อใช้ในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง CNN นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกพื้นที่ป่าไม้และสิ่งปลูกสร้างพื้นที่ชนบท (รูปที่ 1)



***รูปที่ 1** พื้นที่เกษตรกรรมทั่วไปของประเทศไทยและชุดข้อมูลภาพ 4 ชุด ที่ใช้ในการทำแผนที่สิ่งปกคลุมดิน*

ชุดข้อมูลภาพได้มาจากการนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมในย่านแสง RGB จาก Google Earth ที่รวบรวมในปี พ.ศ. 2565 โดยทำการคัดเลือกภาพถ่ายดาวเทียมที่ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ในประเทศไทยที่มีความละเอียด 0.072 เมตรต่อจุดภาพ ชุดข้อมูลภาพมีขนาดไทล์รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 64×64 จุดภาพ เทียบเท่ากับพื้นที่ขนาด 21 ตารางเมตรต่อไทล์ จากผลการศึกษา [5], [10], [13] พบว่าหากแบบจำลองจะมีความแม่นยำมากกว่า 90% ชุดข้อมูลภาพต้องประกอบด้วยไทล์โดยเฉลี่ยจำนวน 376,000 ไทล์ต่อชุดข้อมูลภาพ รวมเป็นประมาณทั้งสิ้น 1,500,000 ไทล์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คำอธิบายของคลาสและจำนวนของไทล์ 64x64 จุดภาพ

คลาส	คำอธิบาย	ภาพ
ข้าว	นาข้าว	329,974
ปาล์ม	สวนปาล์ม	416,592
ป่า	พื้นที่ป่าทึบและป่าโปร่ง	309,563
อาคาร	อาคารและถนน	448,635
จำนวนภาพทั้งสิ้น		1,504,764

ในประเภทของภาพทั้ง 4 คลาส จะประกอบด้วย ชุดข้อมูลภาพทั้ง 4 ชุด โดยใช้ไทล์เริ่มต้นเดียวกัน (ตารางที่ 2) ชุดข้อมูลแต่ละชุดสร้างขึ้นโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ ส่วนที่จะผ่านกระบวนการวิเคราะห์ และส่วนที่สองเรียกว่า “อื่น ๆ” ส่วนย่อยที่สองนี้เป็นการรวมกันของประเภทที่ไม่ได้รับการตรวจสอบ 3 ประเภท ตามที่ได้ตรวจสอบในการทบทวนวรรณกรรมจะมีการสุ่มเลือกในชุดข้อมูล โดย 70% ของไทล์ทั้งหมดเป็นชุดการฝึก ข้อมูล 15% เป็นชุดตรวจสอบความถูกต้อง และ 15% เป็นชุดทดสอบ [6], [9], [31]

ตารางที่ 2 คำอธิบายของชุดข้อมูลที่ใช้โดยโมเดล CNN ทั้ง 3 แบบ

คลาสต่อแบบจำลอง CNN	จำนวนไทล์ที่เกี่ยวข้องกับคลาสที่ทำการตรวจสอบ	จำนวนไทล์ “อื่นๆ”
CNN ข้าว	329,974	1,136,811
CNN ปาล์ม	416,592	941,676
CNN ป่า	309,563	310,000
CNN อาคาร	448,635	498,702

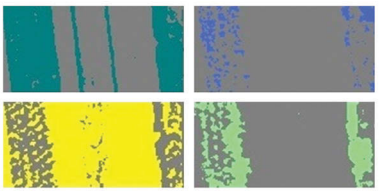
3. กรรมวิธีในการศึกษา

3.1 สิ่งปกคลุมดิน

วิธีการสร้างแผนที่สิ่งปกคลุมดิน (รูปที่ 2ก) โดยการรวมผลลัพธ์ของ CNN จากแต่ละประเภทตามอ้างอิงจากเอกสารตีพิมพ์ของ Fitton และคณะ [13] โดยได้ระบุว่าแบบจำลอง CNN ของแต่ละประเภท จะถูกนำไปใช้เพื่อทำนายประเภทเฉพาะ (รูปที่ 2ข) จากนั้นขั้นตอนหลังการประมวลผลจะดำเนินการในแต่ละครั้งที่จำแนกประเภทเพื่อลบจุดที่มีขนาดเล็กเกินไปหรือใหญ่เกินไปที่จะเป็นคุณลักษณะที่เป็นตัวแทน (รูปที่ 2ค) และท้ายที่สุดแผนที่สิ่งปกคลุมดินจะดำเนินการโดยรวมผลการทำนายประเภทต่าง ๆ เข้าด้วยกัน (รูปที่ 2ง) ในกรณีศึกษาที่ตรวจสอบด้วยความละเอียดที่ใช้นั้น พารามิเตอร์จะถูกกำหนดโดยการทดลอง (ตารางที่ 3)

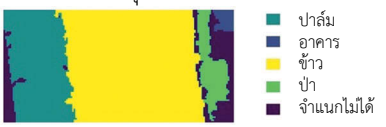
ก) ภาพถ่ายดาวเทียม

ข) การทำนายคลาส



ค) หลังประมวลผล

ง) แผนที่สิ่งปกคลุมดิน



รูปที่ 2 *กรรมวิธีในการได้มาซึ่งแผนที่สิ่งปกคลุมดินจากภาพถ่ายดาวเทียม*

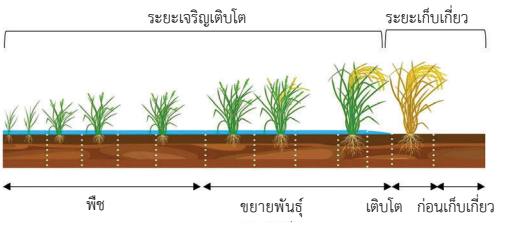
ตารางที่ 3 พารามิเตอร์หลังการประมวลผลในฟังก์ชันของคลาส

เกณฑ์ \ แบบจำลองคลาส	ข้าว	ปาล์ม	ป่า	อาคาร
ความถูกต้องในการทำนาย (%)	85	90	85	80
คลัสเตอร์คลาสหลักที่เป็นเกณฑ์ขนาดเล็ก (ม.^{2})	0.51			
คลัสเตอร์คลาสจำแนกไม่ได้ที่เป็นเกณฑ์ขนาดเล็ก (ม.^{2})	0.76			
เกณฑ์ความกว้าง (ม.^{2})	0.12	0.25	0.76	0.76

3.2 การทำแบบจำลองทางกายภาพของพืช

3.2.1 กรรมวิธีการเจริญเติบโตของข้าว

ข้าวมีการพัฒนา 4 ระยะ (รูปที่ 3) ได้แก่ ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะสร้างรวง และระยะเก็บเกี่ยว เนื่องจากบทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งบอกถึงข้าวในแปลงนาเท่านั้น ขั้นตอนการพัฒนาจึงกำหนดการทดสอบใน 2 ระยะ คือ การปลูกและการเก็บเกี่ยว (รูปที่ 3) โดยคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละระยะสามารถอ่านค่าได้จากสีของต้นข้าว ในระหว่างระยะเจริญเติบโตสีหลักจะเป็นสีเขียว ในขณะที่ระยะที่ 2 สีมีแนวโน้มที่จะเป็นสีน้ำตาลอ่อน [30]



รูปที่ 3 *วงจรชีวิตของข้าว [25]*

ในการกำหนดสถานะการเติบโตของต้นข้าวนั้น อาศัยการสะท้อนของแสงในย่าน RGB โดยได้มีการเก็บภาพถ่ายดาวเทียมของนาข้าวในระยะปลูกและเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมาก สำหรับแต่ละรูปภาพจะมีการคำนวณค่าเฉลี่ยของชั้นสี RBG แต่ละชั้น (ตารางที่ 4) โดยที่ชั้นสีน้ำเงินแสดงถึงความแตกต่างที่ใหญ่ที่สุดระหว่างสถานะการสุกของต้นข้าวทั้งสองระยะมากที่สุด เกณฑ์สำหรับจำแนกสถานะการสุกจะคำนวณโดยมีค่าเท่ากับ 80 หากค่าที่ต่ำกว่าจะบ่งบอกถึงสถานะของต้นข้าวที่กำลังเติบโต ในขณะที่ค่าที่มากกว่าจะบ่งบอก

สถานะการเก็บเกี่ยว ทุ่งข้าวทั่วไปให้ผลผลิตเฉลี่ย 2,300 กก./เฮคเตอร์ ในประเทศไทย ดังนั้น ผลผลิตเฉลี่ยสามารถหาได้จากสิ่งปกคลุมดินโดยใช้สมการที่ (1)

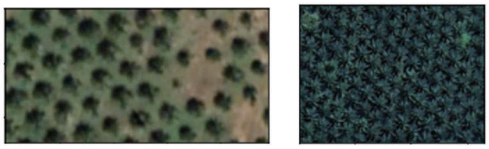
$$\text{ผลผลิตเฉลี่ย (กก.)} = 2300 \left(\frac{\text{กก.}}{\text{เฮคเตอร์}}\right) x \text{ พื้นที่ (เฮคเตอร์)} \quad (1)$$

ตารางที่ 4 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างฟิลด์ที่เก็บเกี่ยวและสุกเมื่อใช้ RGB Filter

	ส่วนเก็บเกี่ยว	ส่วนกำลังโต	ค่าเบี่ยงเบน
แดง	104.31	43.30	61.01
เขียว	115.83	66.44	49.39
น้ำเงิน	139.5	34.13	105.37

3.2.2 กรรมวิธีการแบ่งสวนปาล์ม

ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดคำจำกัดความของสวนปาล์ม 2 ประเภท ได้แก่ ต้นปาล์มอ่อนและต้นปาล์มที่เติบโตหนาแน่น (รูปที่ 4) ประเภทแรกหมายถึง สวนปาล์มที่ปาล์มแต่ละต้นยังไม่เติบโตเต็มที่ จึงสามารถจำแนกต้นปาล์มแต่ละต้นได้ง่าย ในขณะที่ต้นปาล์มประเภทที่ 2 มีลักษณะเป็นพุ่มทึบ ส่งผลให้การจำแนกมีความซับซ้อนมากกว่า ดังนั้น เพื่อให้สามารถประมาณการผลผลิตเฉลี่ยได้จึงต้องระบุสวนปาล์ม 2 ประเภทนี้ได้ จึงประยุกต์ใช้ Filter เดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์แปลงนาข้าว โดยใช้เกณฑ์สำหรับจำแนกจากย่านแสงสีน้ำเงิน โดยหากค่าต่ำกว่า 80 บ่งบอกถึงสวนปาล์มที่มีความหนาแน่นสูง



รูปที่ 4 *สวนปาล์มอ่อนและสวนปาล์มหนาแน่น*

ในพื้นที่ที่แบ่งคลาสเป็นปาล์ม (รูปที่ 5ก) RGB Filter แบบเดียวกับที่ใช้สำหรับข้าวจะถูกนำไปใช้เพื่อแยกต้นปาล์มออกจากพื้นดิน (รูปที่ 5ข) จากนั้นจึงระบุต้นปาล์มแต่ละต้นและกำหนดขนาดโดยใช้ฟังก์ชัน K-mean (รูปที่ 5ค) ผลผลิตเฉลี่ยต่อปาล์มสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ที่เกี่ยวข้องกับอายุ [12] สามารถหาพื้นที่ทรงพุ่มของต้นปาล์มแต่ละต้นได้จากการปกคลุมดินและสามารถตรวจสอบอายุได้โดยใช้สมการที่ 2 [11]

$$\text{อายุ} = 0.59 + 0.15\ x \text{ พื้นที่} \quad (2)$$

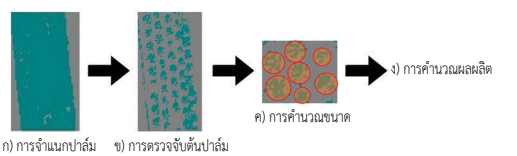
สำหรับต้นปาล์มที่จำแนกแล้วมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเรือนยอดสูงสุด [15] ให้คำนวณขนาดต้นปาล์มเฉลี่ยและใช้อายุของต้น โดยที่ผลผลิตทั้งหมด (รูปที่ 5ง) ของสวนปาล์มสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3

$$\text{ผลผลิตรวม} = \sum_{i=1}^{4} (\text{ผล}_i\ x \text{ จำนวนของพืช}_i) \quad (3)$$

ในการศึกษานี้ ‘ผลผลิตรวม’ หมายถึง ผลผลิตเฉลี่ยของต้นปาล์มแต่ละต้นตามอายุ (ตารางที่ 5) และ “จำนวนของพืช” คือจำนวนต้นปาล์มทั้งหมดต่ออายุ

ตารางที่ 5 ผลผลิตปาล์มแต่ละคลาสและตามอายุ [12]

ลำดับ	คลาส	อายุการยืนต้น	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./6 เดือน)
1	เมล็ดพันธุ์	0-3	0
2	ต้นอ่อน	4-8	68.77
3	รุ่น	9-14	109.08
4	แก่	15-25	73.91

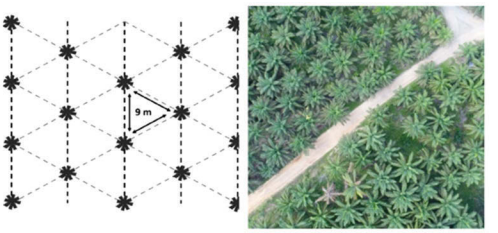


รูปที่ 5 *การแบ่งส่วนสวนปาล์มไม่หนาแน่น*

สำหรับพื้นที่ที่มีเรือนยอดหนาแน่นเกินกว่าจะแยกปาล์มแต่ละต้น จะทำการคำนวณผลผลิตเฉลี่ย (รูปที่ 6) ภายใต้ข้อสมมติฐานว่าต้นปาล์มที่โตเต็มที่จะมีพุ่มทึบ โดยได้มีการพิจารณารูปแบบเฉพาะ แต่ละแถวของต้นปาล์มเป็นแถวที่มีระยะห่างกัน 7.8 เมตร โดยระยะระหว่างต้นปาล์มแต่ละต้นอยู่ที่ 9 เมตร [15] ดังนั้นจึงได้ผลการคำนวณจำนวนต้นปาล์มเฉลี่ย 143 ต้นต่อเฮกตาร์โดยให้ผลผลิต 73.91 กิโลกรัมต่อ 6 เดือน สุดท้ายนี้

สามารถคำนวณผลผลิตเฉลี่ยของสวนปาล์มที่จัดประเภทโดย CNN ได้โดยใช้ขนาดของพื้นที่ดังสมการที่ 4

$$\text{ผลผลิตเฉลี่ย (กก.)} = 73.91 \left(\frac{\text{กก.}}{\text{เฮคเตอร์}}\right) x \text{ พื้นที่ (เฮคเตอร์)} \quad (4)$$

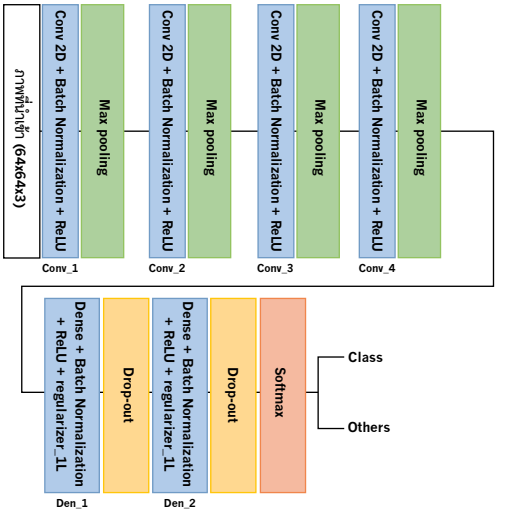


รูปที่ 6 รูปแบบสวนปาล์มหนาแน่น [15]

4. การสร้างและการทวนสอบแบบจำลอง CNN

4.1 การสร้างแบบจำลอง

จากการเปรียบเทียบเอกสารทางวิชาการพบว่า CNN มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองวิธีอื่น [4], [11], [20]-[21] สำหรับการศึกษาในบทความวิจัยนี้มีการสร้างแบบจำลอง CNN จำนวน 4 แบบ กล่าวคือ หนึ่งแบบต่อคลาส (รูปที่ 7) สถาปัตยกรรมของคลาสเหล่านั้นประกอบด้วย 6 ชั้น แบ่งออกเป็น Conventional Layer 4 ชั้นธรรมดา และ Dense Layer 2 ชั้น ตามด้วย Dropout Layer เพื่อลดโอกาสที่จะเกิด *Overfitting* โดยที่ค่า Pooling Rate กำหนดไว้ที่ 0.4 และ Learning Rate ที่ 0.0001 เพื่อปรับปรุงความแม่นยำและตรวจสอบค่า Loss โดยใช้ขนาดภาพที่ 64x64 จุดภาพ (รูปที่ 1) และใช้ขนาด Kernel 3x3 สำหรับแต่ละแบบมีการทดสอบการกำหนดค่าหลายอย่างและการกำหนดค่าที่ดีที่สุดยังคงอยู่ที่ส่วนท้าย ซึ่งหมายความว่า 64 โหนดต่อ Filter และขนาด Batch ที่ 128 สำหรับคลาสข้าวและปาล์ม (ตารางที่ 6) สำหรับคลาสอาคารและป่าจำเป็นต้องมีโหนดจำนวนมากขึ้นและมีขนาด Batch ที่มากขึ้น คือ 128 และ 256 ตามลำดับ และกำหนดให้มี Callback ที่ 30 รอบการคำนวณ (Epoch) เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด *Overfitting*



รูปที่ 7 แผนผังลำดับงานของสถาปัตยกรรม Convolutional Neural Network

ตารางที่ 6 คำอธิบายชั้นและขนาดชุดสำหรับแบบจำลอง CNN แต่ละแบบ

Layers\CNN mode	CNN ข้าว	CNN ปาล์ม	CNN ป่า	CNN อาคาร
Conv_1 to Conv_4	64	64	128	128
Den_1 and Den_2	64	64	128	128
ขนาดของชุด	128	128	256	256

4.2 การตรวจสอบ CNN

ในการตรวจสอบ CNN อัตรา Precision และ Recall [23] ถูกนำมาใช้ในการคำนวณความถูกต้อง โดยคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\text{ความถูกต้อง} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (5)$$

โดยมี TP, FP, TN, FN เป็น true positive, false positive, false negative และ true negative ตามลำดับ ผลจากการคำนวณพบว่าคลาสปาล์มและคลาสอาคารได้ค่าความถูกต้องสูงกว่า 0.96 ขณะที่อีก 2 คลาส ได้ค่าที่ต่ำกว่าที่ 0.95 อันมีปัจจัยมาจากจำนวนภาพชุดข้อมูลที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 7 คำอธิบายความถูกต้องและค่าความสูญเสียสำหรับแบบจำลอง CNN แต่ละแบบ

ผล CNN \ แบบจำลอง CNN	CNN ข้าว	CNN ปาล์ม	CNN ป่า	CNN อาคาร
ความถูกต้อง	0.9572	0.9676	0.9484	0.9848
ความสูญเสีย	0.15	0.0940	0.1499	0.0837
ความถูกต้องจากการตรวจสอบ	0.96	0.9778	0.9618	0.9866
ความสูญเสียจากการตรวจสอบ	0.13	0.0695	0.1181	0.0708

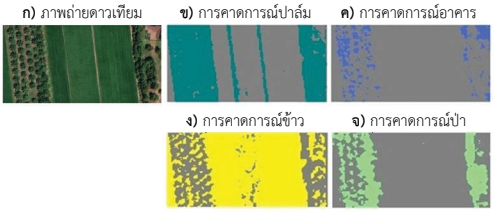
5. ผลการศึกษา

บทความวิจัยฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดินดำเนินการโดยใช้ CNN (รูปที่ 1) จากภาพถ่ายดาวเทียมเหนือพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทย ขนาดเนื้อที่ 14,500 ตร.ม. (รูปที่ 8)

รูปที่ 8 *ภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ชนบทของประเทศไทย*

5.1 การคาดการณ์ของแบบจำลองแต่ละแบบ

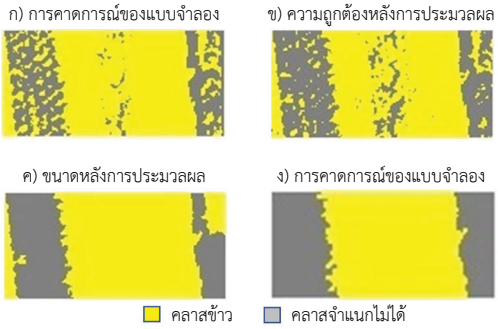
แบบจำลอง CNN ได้ถูกนำมาใช้กับภาพถ่ายดาวเทียม (รูปที่ 5ก) เพื่อชี้บ่งวัตถุแต่ละประเภท โดยมีการชี้บ่งต้นปาล์ม (รูปที่ 5ข) อาคาร (รูปที่ 5ค) แปลงข้าว (รูปที่ 5ง) และพื้นที่ป่า (รูปที่ 5จ) โดยที่การชี้บ่งแปลงข้าวให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูงกว่าวัตถุอีก 3 ประเภท นำเสนอตัวเลขผลบวกเท็จที่แม่นยำยิ่งขึ้น แบบจำลอง CNN สำหรับวัตถุประเภทอาคารและข้าว พบว่ามีการรวมพื้นที่ผิวหน้าดินของไร่ปาล์มเข้าไปเป็นส่วนหนึ่ง นอกจากนี้ แบบจำลอง CNN ของวัตถุประเภทต้นปาล์มและป่า ให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน อันเป็นผลมาจากลักษณะของโครงสร้างลำต้นและใบที่หากวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ความละเอียดที่ได้รับส่งผลให้การวิเคราะห์ภาพได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการ Treatment เพื่อเพิ่มความถูกต้อง (รูปที่ 2)



รูปที่ 9 *(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมนำมาตรวจสอบการคาดการณ์ของแบบจำลอง CNN กับ (ข) ปาล์ม (ค) อาคาร (ง) ข้าวและ (จ) ป่าไม้ (สีแสดงประเภทตามต้องการ)*

5.2 กระบวนการ Post-process และการสร้างภาพสิ่งปกคลุมดิน

กระบวนการ Post-process ได้ถูกนำมาใช้ภายหลังจากที่ภาพถ่ายของแต่ละประเภทผ่านการประมวลผล (รูปที่ 2) ดังแสดงในรูปที่ 10 เป็นผลของกระบวนการ Post-process ของภาพแปลงนาข้าว โดยจุดที่ไม่สามารถระบุหรือบ่งชี้ได้จะถูกจำแนกรวมให้เป็นแปลงนาข้าว โดยการรวมผลลัพธ์ต่าง ๆ นี้ เข้าด้วยกัน (รูปที่ 11)

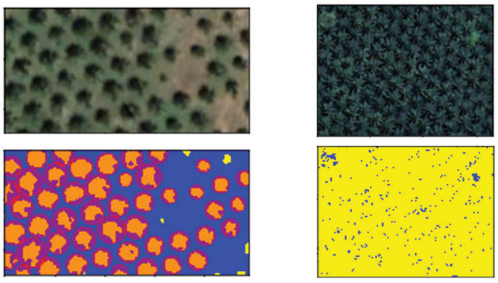


รูปที่ 10 *หลังการประเมินผลกับคลาสข้าว*

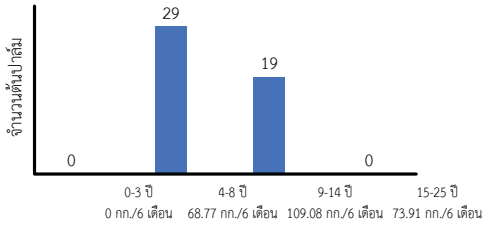
รูปที่ 11 *แผนที่สิ่งปกคลุมดิน (สีแสดงคลาสตามต้องการ)*

5.3 ผลผลิตปาล์ม

สำหรับการคำนวณผลผลิตจากต้นปาล์ม ดังแสดงในรูปที่ 12 เป็นการจำแนกวัตถุโดยใช้ RGB Filter โดยใช้สมการที่ 3 ซึ่งแปลงต้นปาล์มอายุน้อยจะประกอบด้วยต้นปาล์มอายุระหว่าง 4 ถึง 8 ปี (รูปที่ 13) และสามารถคำนวณผลผลิตน้ำมันปาล์ม 4,072 กิโลกรัม โดยใช้ระยะเวลา 6 เดือน สำหรับพื้นที่ปาล์มหนาแน่น สามารถประมาณผลผลิตเฉลี่ย 11,073 กิโลกรัมต่อ 6 เดือน โดยคำนวณได้จากสมการที่ 4



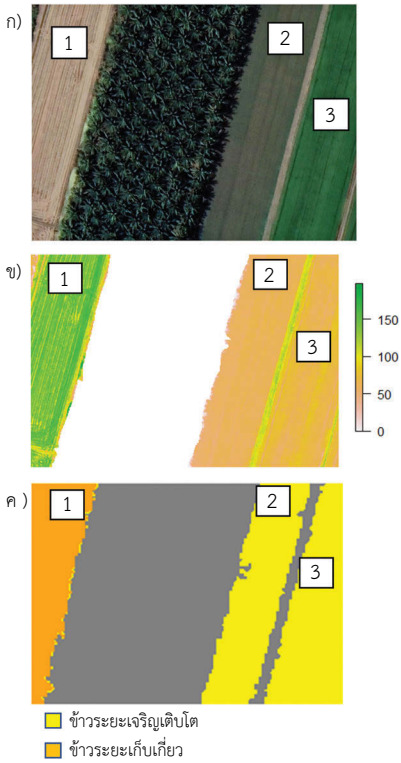
รูปที่ 12 *การแบ่งส่วนของต้นปาล์มอ่อนและสวนปาล์มหนาแน่น*



รูปที่ 13 *จำนวนต้นปาล์มต่ออายุ*

5.4 การเจริญเติบโตและผลผลิตของนาข้าว

จากกระบวนการสร้างแผนที่สิ่งปกคลุมดินช่วยให้แปลงนาข้าว (รูปที่ 14ก) สามารถถูกบ่งชี้และสามารถคำนวณผลผลิตเฉลี่ย รวมถึงสถานะของการสุกของข้าวได้ ดังที่ปรากฏในรูปที่ 14ก แสดงแปลงนาข้าวในระยะการเติบโต 3 ระยะ (1-3) และสวนปาล์มหนึ่งแปลง ระยะของนาข้าว (รูปที่ 3) สามารถระบุได้โดยใช้ชั้นสีน้ำเงินของ RGB (ตารางที่ 4) แสดงในรูปที่ 14ข และยังสามารถระบุระยะการเจริญเติบโต (รูปที่ 14ค) รวมถึงการประมาณผลผลิตตามตารางที่ 8



รูปที่ 14 *(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมของนาข้าว (ข) ชั้นสีน้ำเงินของภาพ RGB และ (ค) แผนที่สิ่งปกคลุมดินและการจำแนกประเภทที่กำหนดโดย CNN*

ตารางที่ 8 สถานะของนาข้าวและผลผลิตข้าวโดยประมาณ

จำนวนคลัสเตอร์	สถานะของนาข้าว	ขนาด (ม.^{2})	ผลผลิต (กก./ม.^{2})
1	เก็บเกี่ยว	1851	426
2	เจริญเติบโต	2350	541
3	เจริญเติบโต	2423	557

6. การอภิปรายผลและภาพรวมการดำเนินการ

6.1 ชุดข้อมูล

บทความวิจัยนี้ใช้ไทล์ขนาด 64x64 จุดภาพ ที่ความละเอียด 0.07 ม./จุดภาพ ที่เล็กเกินกว่าที่จะระบุประเภทของวัตถุได้อย่างแม่นยำ (รูปที่ 1)

การปรับเพิ่มขนาดในสัดส่วนที่เหมาะสมจะช่วยปรับปรุงการจำแนกได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น โดยยังคงการใช้พารามิเตอร์เดิมในการปรับแก้ผลลัพธ์ บทความวิจัยฉบับนี้รวบรวมภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่จากทุกภาคของประเทศไทย เพื่อนำมาสร้างชุดข้อมูล 4 ชุด ตามประเภทของวัตถุที่ทำการวิเคราะห์อย่างไรก็ตาม คุณภาพในเชิงของความละเอียดของภาพมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค พื้นที่กรุงเทพ ปริมณฑล และชลบุรีมีภาพถ่ายที่ความละเอียดเหมาะสม ขณะที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีความละเอียดต่ำกว่าส่งผลให้ชุดข้อมูลมีความหลากหลายทางความละเอียดที่แตกต่างกัน ทำให้ความถูกต้องและความแม่นยำในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง CNN ได้รับผลกระทบซึ่งสามารถลดข้อจำกัดได้ด้วยการเพิ่มขนาดชุดข้อมูลที่ต้องใช้ระบบประมวลผลที่สูงขึ้นด้วย

6.2 การจำแนกวัตถุด้วยกระบวนการ Segmentation

ในกรณีสวนปาล์ม ผู้วิจัยได้ใช้การจำแนกแบบ RGB Filter เพื่อทำการจำแนกต้นปาล์มออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ต้นปาล์มอ่อนและต้นปาล์มที่เติบโตหนาแน่นเต็มพื้นที่ (รูปที่ 4) จากนั้นทำการคำนวณผลผลิตของต้นปาล์มแต่ละกลุ่ม อย่างไรก็ตาม ในกรรมวิธีคำนวณนี้เมื่อใช้กับบริเวณที่มีความหนาแน่นมีความผันแปรจะให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำต่ำ เพื่อทำการปรับปรุงการประมาณการผลิตปาล์ม สามารถสร้างคลาสปาล์มขึ้นมา 2 คลาส โดยสร้างชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน 2 ชุด อย่างไรก็ตาม การได้มาซึ่งชุดข้อมูลขนาดใหญ่ 2 ชุดของสวนปาล์มที่อายุน้อยและที่เติบโตต้องใช้ทรัพยากรและเวลามาก อีกทั้งการใช้แบบจำลอง CNN เพียงแบบเดียวส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการจำแนกประเภทสวนปาล์มและพืชพรรณอื่น ๆ เนื่องจากข้อจำกัดในการจำแนกของแบบจำลอง [19] เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว จึงได้มีการใช้แบบจำลอง Two-Stage CNN [18] โดยแบบจำลอง CNN แรกถูกใช้จำแนกประเภทพื้นที่ครอบคลุมด้วยไทล์ขนาด 65×65 จุดภาพ และแบบจำลอง CNN ที่สองสำหรับการจำแนกประเภทวัตถุโดยใช้ไทล์ขนาด 17×17 จุดภาพ ผลลัพธ์แสดงค่าคะแนน F1 ที่ 95% ซึ่งในการจำแนกจะใช้วิธีการใช้ค่าดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ที่อิงตามลักษณะสีของภาพจากการสำรวจจากระยะไกล เทคนิคนี้ใช้องค์ประกอบสีเขียวและย่านอินฟราเรดของภาพ ที่สามารถระบุถึงพืชพรรณ รวมถึงการวัดการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณตามฤดูกาลหรือในห้วงหลายปี [1] วิธีนี้ใช้ได้ผลกับการตรวจจับสภาพการเจริญเติบโตของทุ่งนา [16] และการระบุนาข้าวขนาดใหญ่ได้ดำเนินการโดยใช้ NDVI ได้แล้ว [2]

7. สรุป

การเกษตรแบบแม่นยำเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงกระบวนการจัดการผลผลิต ในงานนี้ได้เสนอโครงข่าย Convolutional Neural Network (CNN) เพื่อสร้างพื้นที่ครอบคลุมสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทย มีการสร้างสิ่งปกคลุมดินครอบคลุม 4 คลาส ขึ้น ประกอบด้วย อาคาร ป่า ต้นปาล์ม และแปลงนาข้าว ชุดข้อมูลประกอบด้วยรูปภาพทั้งหมด 1,640,902 ภาพ ขนาด 64x64 จุดภาพ และความละเอียด 0.072 ม./จุดภาพ แบบจำลอง CNN ทั้งหมดได้รับการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ความถูกต้องที่สูงกว่า 95% ในที่สุด ภายหลังการประมวลผลถูกนำไปใช้กับการคาดการณ์ทั้ง 4 แบบ และผลลัพธ์จะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุม จากนั้นจึงสามารถประมาณการผลผลิตข้าวและปาล์มได้ด้วยวิธีการที่เสนอโดยใช้ RGB Filter โดยที่ในส่วนของสวนต้นปาล์มถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ปาล์มอ่อนและปาล์มที่เติบโตหนาแน่น ในกรณีแรก RGB Filter ใช้เพื่อจำแนกต้นปาล์มที่อยู่เหนือพื้นดิน จากนั้นจะกำหนดขนาดของต้นปาล์มแต่ละต้นและคำนวณผลผลิต สำหรับสวนปาล์มที่มีการเติบโตแน่นสูงจะประมาณการผลผลิตเฉลี่ยโดยพิจารณาจากพื้นที่ทั้งหมดของสวน และจำนวนต้นปาล์มต่อเฮกตาร์โดยใช้รูปแบบที่ได้กำหนดไว้แล้ว ในด้านของการวิเคราะห์แปลงนาข้าวสามารถทำได้โดยใช้ RGB Filter เดียวกัน ซึ่งช่วยให้สามารถคำนวณปริมาณผลผลิตข้าวเฉลี่ยต่อเฮกตาร์

บทความวิจัยฉบับนี้ยังได้รวบรวมข้อจำกัดของแบบจำลองและระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ โดยประการแรกเนื่องจากความแปรผันของความละเอียดและรูปแบบไทล์ส่งผลต่อความถูกต้อง ดังนั้น จึงควรปรับปรุงชุดข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับคลาสปาล์ม โดยแยกปาล์มที่อายุน้อยและเติบโตหนาแน่นออกจากกัน เพื่อปรับปรุงการคำนวณผลผลิต นอกจากนี้ RGB Filter ที่ใช้กับแปลงนาข้าวยังไม่สามารถบ่งบอกระยะเจริญเติบโตได้ ซึ่งควรใช้ค่าดัชนี NDVI ในการปรับปรุงความถูกต้องของการวิเคราะห์ต่อไปในอนาคต

8. เอกสารอ้างอิง

[1] M. M. Aburas, S. H. Abdullah, M. F. Ramli, and Z. H. Ash'aari, "Measuring Land Cover Change in Seremban, Malaysia Using NDVI Index," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 30, pp. 238-243, 2015.

[2] B. Li, C. Ti, and X. Yan, "Estimating rice paddy areas in China using multi-temporal cloud-free normalized difference vegetation index (NDVI) imagery based on change detection," *Pedosphere*, vol. 30, no. 6, pp. 734-746, 2020.

[3] H. Chen *et al.*, "A deep learning CNN architecture applied in smart near-infrared analysis of water pollution for agricultural irrigation resources," *Agric. Water Manag.,* vol. 240, 2020.

[4] C. Yoo, D Han, J. Im, and B. Bechtel, "Comparison between convolutional neural networks and random forest for local climate zone classification in mega urban areas using Landsat images," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 157, pp.155-170, 2019.

[5] P. Chermprayong, N. Hongkarnjanakul, D. Rouquette, C. Schwob, and L. Mezeix, "Convolutional Neural Network for Thailand's Eastern Economic Corridor (EEC) land cover classification using overlapping process on satellite images," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, vol. 23, 2021.

[6] M. Cihan, M. Ceylan, H. Soylu, and M. Konak. "Fast Evaluation of Unhealthy and Healthy Neonates Using Hyperspectral Features on 700-850 Nm Wavelengths, ROI Extraction, and 3D-CNN," *IRBM*, vol. 43, no. 5, pp. 362-371, 2022.

[7] D. Saah *et al.*, "Collect Earth: An online tool for systematic reference data collection in land cover and use applications," *Environ. Model. Softw.*, vol. 118, pp. 166-171, 2019.

[8] M. Dorber, F. Verones, M. Nakaoka, and K. Sudo, "Can we locate shrimp aquaculture areas from space? - A case study for Thailand," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, vol. 20, 2020.

[9] F. Elmaz, R. Eyckerman, W. Casteels, and S. Latré, P. Hellinckx, "CNN-LSTM architecture for predictive indoor temperature modeling," *Build Environ*, vol. 206, 2021.

[10] P. Emparanza, N. Hongkarnjanakul, D. Rouquette, C. Schwob, and L. Mezeix. "Land cover classification in Thailand's Eastern Economic Corridor (EEC) using convolutional neural network on satellite images," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, vol. 20, 2020.

[11] F. S.Y. Watanabe *et al.*, "Inland water's trophic status classification based on machine learning and remote sensing data," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, vol. 19, 2020.

[12] A. C. Fitrianto, K. Tokimatsu, and M. S. Wijaya, "Estimation the Amount of Oil Palm Trees Production Using Remote Sensing Technique," in *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 98, no. 1, Dec. 2017.

[13] D. Fitton, E. Laurens, N. Hongkarnjanakul, C. Schwob, and L. Mezeix, "Land cover classification through Convolutional Neur-al Network model assembly: A case study of a local rural area in Thailand," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, vol. 26, 2022.

[14] P. Griffiths, C. Nendel, and P. Hostert, "Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping," *Remote Sens. Environ.*, vol. 220, pp.135-151, 2019.

[15] R. Hernawati, K. Wikantika, and S. Darmawan, "Modeling of oil palm phenology based on remote sensing data: opportunities and challenges," *J. Appl. Rem. Sens.*, vol. 16, no. 2, 2022. doi: 10.1117/1.JRS.16.021501.

[16] J. Kong *et al.*, "Evaluation of four image fusion NDVI products against in-situ spectral-measurements over a heterogeneous rice paddy landscape," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 297, 2021.

[17] W. Li, C. Chen, M. Zhang, H. Li, and Q. Du. "Data Augmentation for Hyperspectral Image Classification With Deep CNN," in *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 16, no. 4, pp. 593-597, Apr. 2019, doi: 10.1109/LGRS.2018.2878773.

[18] W. Li, R. Dong, H. Fu, and L. Yu. "Large-Scale Oil Palm Tree Detection from High-Resolution Satellite Images Using Two-Stage Convolutional Neural Networks," *Remote Sens.*, vol. 11 no. 1, 2019.

[19] W. Li, H. Fu, L. Yu, and A. Cracknell. "Deep Learning Based Oil Palm Tree Detection and Counting for High-Resolution Remote Sensing Images," *Remote Sens.*, vol. 9, no. 1, pp. 22, 2017.

[20] L. Ma, Y. Liu, X. Zhang, Y. Ye, G. Yin, and B. A. Johnson, "Deep learning in remote sensing applications: a meta-analysis and review," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 152, pp. 166-177, 2019.

[21] M. Panahi, N. Sadhasivam, H. R. Pourghasemi, F. Rezaie, and S. Lee, "Spatial prediction of groundwater potential mapping based on convolutional neural network (CNN) and support vector regression (SVR)," *J. Hydrol.,* vol. 588, 2020.

[22] M. Mentet, N. Hongkarnjanakul, C. Schwob, and L. Mezeix. "Method to apply and visualize physical models associated to a land cover performed by CNN: A case study of vegetation and water cooling effect in Bangkok Thailand," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ*., vol. 28, 2022.

[23] D. L. Olson and D. Delen, *Advanced Data Mining Techniques*. Heidelberg: Springer-Verlag,. 2008, pp. 151-167.

[24] ONU Info. "La population mondiale atteindra 8 milliards d'habitants en novembre (ONU)." NEWS.UN.org. https://news.un.org/fr/story/2022/07/1123492 (accessed Jul. 11, 2022).

[25] FertiGlobal. "Paddy Rice." FERTIGLOBAL.com. https://www.fertiglobal.com/cmp/paddy-rice/ (accessed Aug. 10, 2022).

[26] V. Palazzi, S. Bonafoni, F. Alimenti, P. Mezzanotte, and L. Roselli. "Feeding the World With Microwaves: How Remote and Wireless Sensing Can Help Precision Agriculture," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 20, pp. 72-86, 2019.

[27] H. Ritchie and M. Roser. "Palm Oil." OURWORLDINDATA.org. https://ourworldindata.org/palm-oil (accessed Aug. 11, 2022).

[28] D. Saah *et al.*, "Land Cover Mapping in Data Scarce Environments: Challenges and Opportunities," *Front. Environ. Sci.*, vol. 7, pp. 150-160, 2019.

[29] D.P. Shrestha, M. Suriyaprasit, and S. Prachansri, "Assessing soil erosion in inaccessible mountainous areas in the tropics: The use of land cover and topographic parameters in a case study in Thailand," *Catena*, vol. 121, pp. 40-52, 2014.

[30] J. Soriano-González, E. Angelats, M. Martínez-Eixarch, and C. Alcaraz, "Monitoring rice crop and yield estimation with Sentinel-2 data," *Field Crops Res.*, vol. 281, 2022.

[31] J. Xie, K. Hu, Y. Guo, Q. Zhu, and J. Yu, "On loss functions and CNNs for improved bioacoustic signal classification," *Ecol. Inform.*, vol. 64, 2021.

[32] L. Yu *et al.*, "Meta-discoveries from a synthesis of satellite-based land-cover mapping research," *Int. J. Remote Sens.,* vol. 35, no. 13, pp. 4573–4588, 2014.

[33] Y. Zhang, D. Xiao, Y. Liu, and H. Wu, "An algorithm for automatic identification of multiple developmental stages of rice spikes based on improved Faster R-CNN," *Crop J.*, Vol. 10, no. 5, pp. 1323-1333, 2022.

กรรมวิธีสร้างชุดข้อมูลสำหรับการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/การปกคลุมดินด้วย CNN: กรณีศึกษาพื้นที่ชนบทของประเทศไทย

Laurent Mezeix [1*] และ Max Garcia Casanova [2]

วันที่รับ 28 กันยายน 2565 วันที่แก้ไข 28 ธันวาคม 2565 วันตอบรับ 24 มกราคม 2566

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ภาพสิ่งปกคลุมดินหรือ Land Cover เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพจากการสำรวจระยะไกล และสามารถใช้ประโยชน์จาก Convolutional Neural Network (CNN) ในการจดจำและจำแนกวัตถุภายในภาพ อย่างไรก็ตาม กระบวนการจดจำและการจำแนกจะมีความแม่นยำสูงหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนของภาพหรือชุดข้อมูลที่มีปริมาณที่เหมาะสม ในบทความนี้ได้เสนอวิธีการและรายละเอียดในการสร้างภาพชุดข้อมูลเพื่อใช้สำหรับหาสิ่งคลุมดินผ่าน CNN กรรมวิธีนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) การรวบรวมรูปภาพจากการสำรวจระยะไกล 2) การสร้างไทล์ (Tile) ของแต่ละภาพ 3) การทำ Label โดยใช้ coarse model โดยอัตโนมัติเพื่อแบ่งกลุ่มข้อมูล 4) การคัดแยกชุดข้อมูลที่ติดป้ายกำกับผิดออก และ 5) การนำชุดข้อมูลไปใช้ในแบบจำลอง CNN โดยในบทความนี้เป็นการศึกษาพื้นที่ชนบทในประเทศไทย แบ่งชุดข้อมูลเป็น 4 กลุ่ม (Class) ได้แก่ อาคาร พืชพรรณ ถนน และพื้นที่รกร้าง โดยในขั้นตอนแรก ภาพถ่ายดาวเทียมจะถูกปรับขนาดโดยใช้กระบวนการ Overlapping เพื่อสร้างชุดข้อมูล จากนั้นจึงพัฒนาแบบจำลองพื้นฐานตามค่าแถบจุดภาพ RGB และด้วยการใช้อัตราส่วนกับ RGB Filter เหล่านี้ จึงสามารถจำแนกวัตถุของไทล์ดังกล่าวได้ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างชุดข้อมูลภาพในกลุ่มของอาคารและพื้นที่รกร้างที่ใช้โมเดลในการจำแนกได้ด้วยความแม่นยำสูงมากที่ 98% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอเพื่อดำเนินการกับชุดข้อมูลภาพได้อย่างรวดเร็ว และในชุดข้อมูลภาพในกลุ่มของพืชพรรณให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำในระดับดีที่ 90% อย่างไรก็ตาม ชุดข้อมูลภาพในกลุ่มของถนนมีความแม่นยำต่ำที่ 68% ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการคัดแยกข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลกลุ่มนี้ สุดท้ายจะมีการตรวจสอบผลกระทบของขนาดการตัดและขนาดที่ซ้อนทับกัน และผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการใช้ขนาดการตัดที่แตกต่างกันจำเป็นต้องมีการปรับเทียบวิธีการใหม่

คำสำคัญ : ชุดข้อมูล, การปกคลุมดิน, การประมวลผลภาพ, ภาพซ้อนทับ, ภาพถ่ายดาวเทียม

---

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, ถนนลงหาดบางแสน, ตำบลแสนสุข, อำเภอเมือง, จังหวัดชลบุรี, 20131, ประเทศไทย

[2] Université de Toulouse, INSA, UPS, Mines d'Albi, ISAE, ICA (Institut Clément Ader), 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse Cedex, France

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: laurent.mezeix@hotmail.com

Dataset Creation Methodology for CNN Land Use/ Cover Classification: Thailand's Rural Area Study Case

Laurent Mezeix [1*] and Max Garcia Casanova [2]

Received 28 September 2022, Revised 28 December 2022, Accepted 24 January 2023

Abstract

Land cover is a powerful tool and takes advantage of Convolutional Neural Network (CNN) in remote sensing image recognition. However, the existing datasets are pretty small or are not relied to the studied class where the land cover is performed. In this paper, a methodology is proposed and detailed to create dataset images to be used for land cover through CNN. This method consists in 4 steps. Firstly, large remote sensing images are collected. Then, a large amount of tiles are created using an adequate sampling method. Using a coarse model tiles are automatically labeled. Finally, dataset is cleaned from mislabeled images in order to be used in a CNN model. Rural area in Thailand is used as study case for a 4 class dataset: buildings, forest, roads and wasteland. In a first step, satellite images are cropped using overlapping process to create dataset tiles. Then, coarse model based on pixel RGB bands value is developed and by applying ratio on these RGB filters, tiles can be classified. Results show that building and wasteland class can be created with a very high precision of at least 98% demonstrating the robustness of the proposed method to quickly perform a dataset image. Forest presents a good precision with a value of 90%. On the opposite, roads class presents a low precision of 68% and therefore, this datasets needs to be manually cleaned by the users. Finally, effects of cropping and overlapping size are investigated and results show that using a different cropping size requires a new calibration of the methodology.

Keywords : Dataset, Land cover, Image processing, Overlapped images, Satellite Image

---

[1] Faculty of Engineering, Burapha University, 169 Long-Hard Bangsaen Road, Chonburi, 20131, Thailand

[2] Université de Toulouse, INSA, UPS, Mines d'Albi, ISAE, ICA (Institut Clément Ader), 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse Cedex, France

* Corresponding author, E-mail: laurent.mezeix@hotmail.com

1. บทนำ

เป้าหมายของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินหรือพื้นที่ที่มีการปกคลุมดิน คือการเชื่อมโยงตำแหน่งด้วยป้ายกำกับหรือฉลาก (Label) เข้ากับพื้นที่ของพื้นผิวโลก โดยฉลากจะอธิบายถึงทรัพยากรทางนิเวศวิทยา หรืออธิบายว่ามีการใช้พื้นที่อย่างไร โดยการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดินได้มีการนำมาประยุกต์กับงานด้านการสนับสนุนนโยบายและการวางผังเมือง [1], [3], [15], [19]-[21], [34], [36], [39]-[40] การคุ้มครองพืชพรรณ [35] ผลกระทบจากน้ำท่วม [55] วิวัฒนาการของปริมาณคาร์บอนสะสม [58] การศึกษาชนกลุ่มน้อย [24] คุณภาพอากาศ [42] การพังทลายของดิน [50] หรือการพัฒนาโครงข่ายถนน [43]-[44]

การจำแนกประเภทภาพถ่ายจากการรับรู้ระยะไกลใช้ประโยชน์จาก Convolutional Neural Network (CNN) ซึ่งเป็นวิธีการเรียนรู้เชิงลึกจากการจดจำวิดีโอและการจัดประเภทภาพ [28] ข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลเชิงพื้นที่จากภาพเรียนรู้ได้จาก CNN [17], [22], [47], [52], [56], [69] พบว่า CNN มีความถูกต้องสูงกว่าวิธีการจำแนกมาตรฐานอื่น ๆ เช่น SVM [30]-[32], [51] Random Forest [9], [14] Logistic Regression และวิธีอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน [6], [33] เมื่อใช้ CNN ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถสร้างได้โดยอัตโนมัติจากคลังข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม [8], [11], [23], [45] โดยเฉพาะภาพถ่ายดาวเทียมจากโครงการ Landsat และ Sentinel ที่ให้บริการภาพถ่ายพื้นที่เขตเมืองที่มีความละเอียดต่ำโดยไม่มีค่าใช้จ่าย ซึ่งสามารถนำไปใช้สร้างข้อมูลปกคลุมดินได้ [25], [48], [57], [65]-[66]

ไม่ว่าวิธีใดก็ตามที่ใช้ในการวิเคราะห์หาการปกคลุมดิน ปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อความแม่นยำในการจำแนกภาพคือคุณภาพและขนาดของชุดข้อมูล รวมไปถึงจำนวนของภาพในชุดข้อมูล [27], [41] อย่างไรก็ตาม คุณภาพของชุดข้อมูลยังไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่ชัดเจนเป็นตัวกำหนด เนื่องจากเชื่อมโยงกับขั้นตอนการจำแนกประเภท เซนเซอร์ที่ใช้บนดาวเทียมเพื่อรับข้อมูลดิบ หรือสภาพอากาศในขณะที่เก็บข้อมูล เป็นต้น พารามิเตอร์เหล่านี้ล้วนมีส่วนทำให้เกิดความไม่ถูกต้องระหว่างชุดข้อมูล [5], [16], [60] ดังนั้น การสร้างชุดข้อมูลสำหรับจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/การคลุมดิน จึงเป็นความท้าทายที่ซับซ้อน

เพื่อตรวจสอบความสำคัญของชุดข้อมูลในการวิเคราะห์การปกคลุมดินโดยใช้ CNN นั้น บทความนี้ทำการตรวจสอบและทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการปกคลุมดินตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ถึงปัจจุบัน ผลการตรวจสอบทางวรรณกรรมนี้สรุปไว้ในตารางที่ 1 ผลปรากฏว่าขนาดชุดข้อมูลของการปกคลุมดินมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากประมาณ 3,000 ภาพ ในช่วงต้นปี ค.ศ. 2010 เป็นมากกว่า 500,000 ภาพ ในปัจจุบัน ซึ่งจำนวนภาพที่เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับความแม่นยำของแบบจำลองที่เพิ่มขึ้น ในปี ค.ศ. 2010 Yang และ Newsam [64] นำเสนอชุดข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยชุดข้อมูลขนาด 2,100 ภาพ ที่ประกอบด้วย 21 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล และจนถึงปี ค.ศ. 2016 ชุดข้อมูลประกอบด้วยภาพประมาณ 3,000 ภาพ ยกเว้นชุดข้อมูล DeepSat [4] ซึ่งค่าความแม่นยำเฉลี่ยจากการศึกษาต่าง ๆ โดยใช้ชุดข้อมูลขนาดเล็กเหล่านี้อยู่ที่ 87.8% หลังจาก 4 ปี ต่อจากนั้น ชุดข้อมูลเหล่านั้นมีขนาดเฉลี่ยที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า โดยมีจำนวนภาพเฉลี่ย 30,000 ภาพ เช่น ในงานของ Helber และคณะ [18] ซึ่งแนะนำชุดข้อมูล 10 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล โดยมีป้ายกำกับและอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ทั้งหมด 27,000 ภาพ ที่ขนาด 64x64 จุดภาพ จากดาวเทียม Sentinel-2 ในทำนองเดียวกัน แบบจำลองที่เสนอโดย Yuri และคณะ [65] ซึ่งมีการตรวจสอบเมฆ เงา และดิน โดยคิดว่าชุดข้อมูลทั้งหมด 3 ชุด รวมเป็นภาพเกือบ 50,000 ภาพ ชุดข้อมูลแรกประกอบด้วยรูปภาพ 40,479 ภาพ ที่ขนาด 256x256 จุดภาพ ที่มี 17 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล ในขณะที่ชุดข้อมูลอื่นอีก 2 ชุด ประกอบด้วยภาพ 9,939 ภาพ ที่ขนาด 180x180 จุดภาพ ทั้งหมดสำหรับ 12 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 การเพิ่มขนาดชุดข้อมูลในส่วนที่ 2 ของช่วงปี ค.ศ. 2010 ทำให้ผู้เขียนได้ความถูกต้องโดยเฉลี่ย 93.2%

อย่างไรก็ตาม ชุดข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/การคลุมดินส่วนใหญ่ที่เสนอเหล่านี้ยังคงมีรูปภาพต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลค่อนข้างน้อย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2019 ภาพจำนวนครึ่งล้านภาพมักถูกนำมาใช้ในการศึกษาการคลุมดิน Sumbul และคณะ [54] ได้สร้างชุดข้อมูลหลายป้ายกำกับขนาดใหญ่จาก Sentinel-2 benchmark archive แม้ว่าจำนวนภาพจะเพิ่มขึ้นเป็น 600,000 ภาพ แต่จำนวนภาพต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลยังคงต่ำ (ค่ามัธยฐาน 9,000) ซึ่งสามารถอธิบายความถูกต้องโดยรวมที่ค่อนข้างต่ำของการศึกษาได้ เมื่อใช้รูปภาพจำนวนมากต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล เช่น ในงานของ Ruiz Emparanza และคณะ [46] หรือผลงานของ Chermprayong และคณะ [10] ความถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็น 98%

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลที่แตกต่างกันสำหรับการคลุมดินโดยใช้ CNN

Archive Name	จำนวนภาพ	จำนวนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล	ภาพต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล	ขนาดภาพ (จุดภาพ)	ความถูกต้อง
UC Merced [64]	2,100	21	-	28x28	81.19%
WHU-RS19 [49]	1,005	19	50	600x600	93%
RSSCN7 [70]	2,800	7	400	400x400	77%
DeepSat [4]	500,000 405,000	4 6	-	28×28	97.95%
SIRI-WHU [26]	2,400	12	200	200x200	88.00%
AID [63]	10,000	30	200 to 400	600x600	89.64% VGG-VD-16
NWPU-RESISC45 [7]	31,500	45	700	256x256	90.36% VGGNet-16
RSI-CB [29]	36,000 24,150	45 35	800 690	128x128 256x256	95.02% ResNet
EuroSat [18]	27,000	10	2,000 to 3,000	64x64	98.57% ResNet-50
PatternNet [68]	30,400	38	800	256x256	94.13% ResNet-50
[65]	40,479 9,939	17 12	-	256x256 180x180	88% DenseNet201
BigEarthNet [54]	590,326	44	328 to 217,119	120x120 And 60x60	69.93%
[46]	585,430	4	122,965 to 205,863	64x64	98%
[10]	633,743	4	132,597 to 205,863	64x64	98%

ผลจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า หากชุดข้อมูลมีขนาดใหญ่เท่าใด แบบจำลองจะได้รับการฝึก (Train) ได้ดีขึ้นเช่นกัน และการคาดการณ์จะดำเนินการได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การสร้างชุดข้อมูลดังกล่าวเพื่อใช้ในการศึกษาการคลุมดินนั้นใช้ทรัพยากรมาก เนื่องจากดำเนินการแบบ Manual ในบทความนี้จึงมีการพัฒนาระเบียบวิธีใหม่เพื่อรองรับการสร้างชุดข้อมูลขนาดใหญ่ของรูปภาพโดยอัตโนมัติ ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในงานจำแนกการคลุมดินโดยใช้ CNN ชุดข้อมูลขนาดใหญ่นี้สร้างขึ้นโดยการเพิ่มชุดข้อมูล

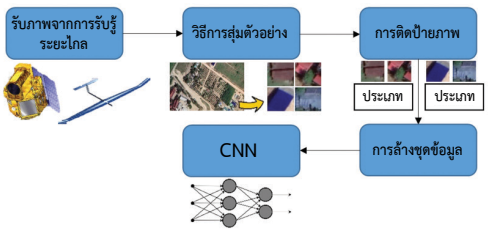
ที่มีขนาดเล็กลงจากภาพถ่ายดาวเทียมที่มีอยู่ วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาและสาธิตบนภาพชุดแรกจากพื้นที่ชนบทในประเทศไทย บทความนี้จะอธิบายวิธีการเบื้องต้น ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริงในพื้นที่ชนบทในประเทศไทยที่มุ่งหวังที่จะสร้างชุดข้อมูล 4 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ คุณภาพของวิธีการนี้ได้รับการตรวจสอบด้วยความถูกต้อง ความแม่นยำ และ Recall สุดท้ายจะมีการกล่าวถึงความอ่อนไหวบางประการของกรรมวิธีต่อพารามิเตอร์

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 คำอธิบายระเบียบวิธีวิจัย

จุดมุ่งหมายของวิธีการที่เสนอในบทความนี้ คือ เพื่อลดความซับซ้อนในการสร้างภาพชุดข้อมูลของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดิน/การคลุมดินที่ดำเนินการโดย CNN กระบวนการโดยรวมในการสร้างชุดข้อมูลประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลประกอบด้วย 5 ขั้นตอนอย่างกว้าง ๆ (รูปที่ 1) และ 4 ขั้นตอนแรก มีรายละเอียดดังนี้

1. การรับชุดข้อมูลเริ่มต้น - ภาพที่ได้จากการรับรู้ระยะไกลขนาดใหญ่
2. สร้างภาพถ่ายจำนวนมากจากภาพถ่ายดาวเทียมเหล่านี้โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างที่เพียงพอ
3. ติดป้ายกำกับรูปภาพ/สร้างแผนที่เข้ากับประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลโดยอัตโนมัติ โดยใช้แบบจำลองพื้นฐาน
4. การคัดชุดข้อมูลจากภาพที่ติดฉลากผิดออก
5. การใช้ชุดข้อมูลในกระบวนการ CNN



รูปที่ 1 *กระบวนการโดยรวมในการสร้างชุดข้อมูลประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล*

2.2 การรับชุดข้อมูลแรกเริ่ม

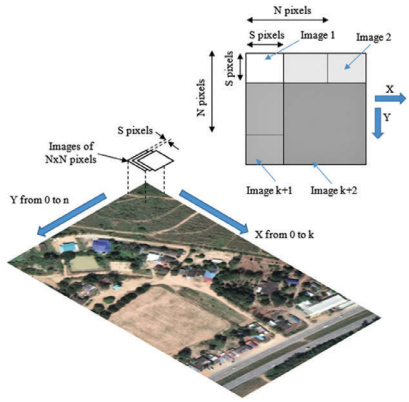
ภาพพื้นที่ดินสำหรับการวิเคราะห์การคลุมดินสามารถรวบรวมได้จากเวกเตอร์และเซนเซอร์ต่าง ๆ (UAV เครื่องบิน และดาวเทียม) โดยทั่วไปจะได้รับโดยใช้ดาวเทียมที่ให้บริการแก่สาธารณะ (Copernicus ของ ESA และ Landsat ของ NASA) หรือการให้บริการคลังภาพถ่ายดาวเทียม รูปภาพเหล่านี้มีข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้น ชุดข้อมูลจึงไม่สามารถสร้างได้โดยตรงจากภาพถ่ายดาวเทียมเหล่านี้ และจำเป็นต้องตัดให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อน

2.3 การสร้างชุดข้อมูลภาพ

เพื่อให้ได้ภาพชุดข้อมูลนั้น ภาพที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลมักจะถูกตัดเป็นภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัสเรียกว่าไทล์ซึ่งมีจุดภาพ N x N จำนวนจุดภาพ N ถูกเลือกโดยสัมพันธ์กับคุณลักษณะที่ต้องการตรวจจับและความละเอียดของภาพเริ่มต้น ขนาดปกติที่ใช้ในชุดข้อมูลการคลุมดินมีตั้งแต่ 28x28 จุดภาพ จนถึง 600x600 จุดภาพ โดยมีขนาดเฉลี่ย 220x220 จุดภาพ (ตารางที่ 1) หากต้องการเพิ่มจำนวนรูปภาพในชุดข้อมูลให้มากขึ้น ผู้วิจัยใช้วิธีการ “สุ่มตัวอย่างซ้ำ” วิธี Overlapping ที่เสนอโดย Chermprayong และคณะ [10] ถูกนำมาใช้ในบทความนี้ ขนาดภาพถ่ายดาวเทียมจะลดลงในขั้นแรก เพื่อให้จำนวนจุดภาพรวมเป็นทวีคูณของขนาดที่ซ้อนทับกัน ซึ่งแสดงเป็น S จากนั้นภาพถ่ายดาวเทียมที่มีขนาด L x H จะถูกแปลงเป็นชุดของภาพที่เล็กกว่าของจุดภาพ N x N โดยแต่ละภาพที่มีขนาดเล็กกว่าจะซ้อนทับกับภาพก่อนหน้าและภาพถัดไป (รูปที่ 2) ทั้งในทิศทาง X และ Y จากขั้นตอนนี้จะได้รับอิมเมจ N x N จำนวนมาก ซึ่งจะต้องติดป้ายกำกับเพื่อให้สามารถใช้ในการฝึกอบรม การทดสอบ และการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล CNN จำนวนไทล์ทั้งหมดถูกกำหนดโดยสมการที่ (1)

$$\text{จำนวนไทล์โดยรวม} = \frac{LxH}{S^2} - \frac{(L+H)}{S} + 1 \qquad (1)$$

ด้วยวิธีนี้จะมีการสร้างไทล์ทั้งหมด 1,075 ไทล์ ขนาด 64x64 จุดภาพ โดยใช้ S ที่ทับซ้อนกัน 32 จุดภาพ จากภาพถ่ายดาวเทียมดั้งเดิมขนาด 1408x832 จุดภาพ (รูปที่ 3) ตามที่ระบุไว้ การให้ค่าทับซ้อน 2 จะเพิ่มจำนวนไทล์ประมาณ 4 ไทล์



รูปที่ 2 *กระบวนการซ้อนทับเพื่อสร้างไทล์ขนาด NxN จุดภาพ*

รูปที่ 3 *ตัวอย่างไทล์*

2.4 การติดป้ายกำกับชุดข้อมูล

การจำแนกประเภทของภาพเป็นงานที่ใช้เวลาและการติดป้ายกำกับมักจะทำโดยผู้เชี่ยวชาญในด้านการตีความภาพถ่ายจากการรับรู้ระยะไกล [49], [62], [63], [67] เพื่อให้กระบวนการนี้เป็นไปโดยอัตโนมัติ จึงเกิดเป็นแนวคิดคือการใช้โมเดลพื้นฐานระดับกลางเพื่อพยายามติดป้ายกำกับแต่ละไทล์ ต้องเลือกแบบจำลองพื้นฐานที่ความละเอียดต่ำด้วยความระมัดระวังและออกแบบให้สัมพันธ์กับเป้าหมายสุดท้ายของการศึกษาการคลุมดิน เราสามารถใช้วิธีการต่าง ๆ ในการสร้างแบบจำลองคร่าว ๆ เบื้องต้นนี้ได้ ซึ่งรวมไปถึงเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องโดยไม่มีการกำกับ [37], [59] ไม่ว่าจะในกรณีใด โมเดลเหล่านี้จะไม่ต้องพึ่งพาการระบุและแยกคุณลักษณะที่สอดคล้องกับประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลเฉพาะในรูปภาพ สำหรับการสาธิตกรณีการใช้งานในปัจจุบัน คุณลักษณะเหล่านี้ได้รับการกำหนดตามสีของจุดภาพ (แถบ RGB) เนื่องจากพบว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างมากในการประมาณครั้งแรก คำจำกัดความของตัวกรอง RGB เหล่านี้ดำเนินการโดยผู้ใช้งาน และเมื่อนำไปใช้กับชุดข้อมูลโดยรวมแล้ว ไทล์สามารถจำแนกออกเป็นประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลเป้าหมายได้ทันที

2.5. การคัดกรองชุดข้อมูล

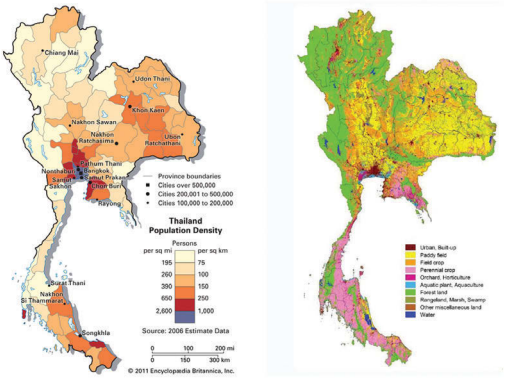
ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองพื้นฐานยังคงมีความผิดพลาดในการติดป้ายกำกับ เช่นเดียวกับความผันแปรของภาพถ่ายดาวเทียมที่เกิดจากตำแหน่งของดาวเทียม คุณภาพของภาพ การปรากฏของเมฆบนภาพ หรือ

ผลกระทบตามฤดูกาลต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการติดป้ายกำกับ ซึ่งต้องอาศัยการคัดกรองชุดข้อมูลแบบ Manual

3. กรณีใช้งาน: การวิเคราะห์พื้นที่ชนบทของประเทศไทย

3.1 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของการศึกษาการคลุมดิน

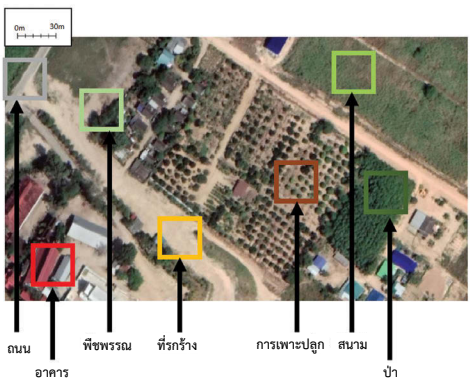
ประเทศไทยเป็น 1 ใน 10 ประเทศ ของสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (อาเซียน) มีประชากรทั้งหมด 69.79 ล้านคน ในปี ค.ศ. 2020 และมีพื้นที่ทั้งหมด 513,120 ตารางกิโลเมตร ประชากรในเมืองมีจำนวนน้อยกว่า 35.12 ล้านคน ในปี ค.ศ. 2020 คิดเป็น 50.5% [61] ความหนาแน่นของประชากรแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างมากระหว่างเขตเมืองรอบกรุงเทพฯ (5,294 คน/ตารางกิโลเมตร) กับภาคเหนือ (100 คน/ตารางกิโลเมตร) ภาคใต้ (126 คน/ตารางกิโลเมตร) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (130 คน/ตารางกิโลเมตร) ของประเทศ (รูปที่ 4ก) กิจกรรมหลักในประเทศไทย ได้แก่ อุตสาหกรรม (39% ของ GDP) และบริการ (52% ของ GDP) เกษตรกรรมเป็นตัวแทนของ GPD ของประเทศไทยเพียง 8% ในปี ค.ศ. 2019 [53] แต่คน 31.16% ทำงานในพื้นที่เกษตรกรรมในปี 2020 พื้นที่เกษตรกรรมถูกรายงานที่ 43.28% ในปี 2561 (รูปที่ 4 ข)



รูปที่ 4 *(ก) ความหนาแน่นของประชากรในประเทศไทย [12] และ (ข) การใช้ประโยชน์ที่ดิน/การคลุมดิน [13]*

ดังจะสังเกตได้ ประชากรไทยส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีความหนาแน่นต่ำ พื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วยหมู่บ้านเล็ก ๆ ที่ล้อมรอบด้วยทุ่งนา ฟาร์ม และพืชพรรณ/พืชพรรณ (รูปที่ 5) เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนให้ผู้กำหนดนโยบายในการตัดสินใจ การคลุมดินในพื้นที่ชนบทสามารถเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ด้วยการวิเคราะห์การคลุมดินนี้เองข้อมูลจำนวนมากจึงสามารถรับรู้ได้ เช่น จำนวนและที่ตั้งของถนน อาคาร ประเภทของที่ดินและทุ่งนา เป็นต้น ด้วยข้อมูลเหล่านี้การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานจึงสามารถดำเนินการเพื่ออำนวยความสะดวกให้ประชาชนในพื้นที่ชนบทได้ เพื่อจุดประสงค์นี้เองภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความคมชัด 0.25 เมตรต่อจุดภาพ จะช่วยให้ได้รับข้อมูลในระดับความแม่นยำที่เพียงพอ และอยู่ในระดับ 6 ประเภท ที่ผู้วิจัยสนใจ (รูปที่ 5) ประกอบด้วย

- สิ่งปลูกสร้าง: บ้าน โรงงาน อาคารอุตสาหกรรม
- ทุ่งนา: นาข้าว ที่รกร้าง
- กิจกรรมจากมนุษย์: น้ำมันปาล์ม กล้วย
- ป่า/บริเวณที่มีพืชพรรณหนาแน่นมากและหนาแน่นน้อย
- ถนน: ยางมะตอยและถนนคอนกรีต
- ที่รกร้างว่างเปล่า: พื้นดินเปล่า



รูปที่ 5 *หมู่บ้านเล็ก ๆ ทั่วไปและพื้นที่ชนบทในประเทศไทย*

3.2 การสร้างชุดข้อมูล

หลังจากการทบทวนวรรณกรรมในบทนำ จะเห็นได้ว่ามีความพยายามสร้างชุดข้อมูลที่มีไทล์จำนวนมาก

สำหรับแต่ละประเภทที่ต้องการ สำหรับการศึกษาที่เน้นงานในลักษณะนี้สามารถสร้างประเภทของชุดข้อมูลที่เป็นทุ่งนา สวน และพืชพรรณได้โดยง่าย โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเพียงหนึ่งในประเภทเหล่านี้ (รูปที่ 6) ในทางกลับกัน อาคาร ถนน และพื้นที่รกร้าง อาจถูกล้อมรอบด้วยที่ดินประเภทอื่น (รูปที่ 5) ดังนั้น จึงต้องระบุและดึงข้อมูลนี้ออกมาจากภาพถ่ายดาวเทียม การดำเนินการนี้สามารถทำได้ด้วยตนเอง แต่ต้องมีการตรวจสอบด้วยตนเองและใช้เวลานาน ดังนั้น จึงใช้วิธีการที่นำเสนอในบทความนี้เพื่อสร้างชุดข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (รูปที่ 1) โดยเริ่มจากภาพ Sentinel ที่รวบรวมไว้ในปี พ.ศ. 2564 และใช้กระบวนการซ้อนทับกันของ [10] ที่ทับซ้อนกัน 32 จุดภาพ กลุ่มแรก 6,988 ไทล์ ขนาด 64x64 จุดภาพได้ถูกสร้างขึ้นจากภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ชนบทที่มีค่าจำกัดความของ 0.25 เมตรต่อจุดภาพ

รูปที่ 6 *ภาพถ่ายดาวเทียมระดับโมโนของป่า สวน และทุ่งนา*

3.3 การจำแนกประเภทภาพในชุดข้อมูล

ไทล์ที่สร้างขึ้นเหล่านั้นจำเป็นต้องจำแนกประเภทตามที่อธิบายไว้ข้างต้น ในการดำเนินการนี้ แบบจำลองพื้นฐานตาม “คุณสมบัติ” ของแต่ละประเภทได้ถูกกำหนดไว้ โดยพิจารณาจากคุณลักษณะสีของจุดภาพที่ได้รับจากแถบ RGB จากนั้นกำหนดตัวกรอง RGB ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละประเภท หากจุดภาพของไทล์มีความแตกต่างอย่างชัดเจนตามตัวกรองที่เกี่ยวข้อง การจัดประเภทจะถูกดำเนินการทันที

3.3.1 ตัวกรอง RGB (RGB Filters)

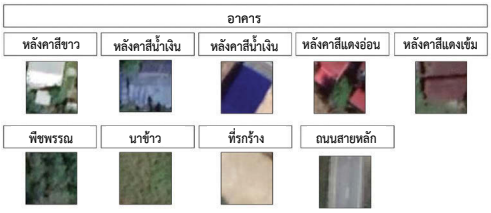
ดังรูปที่ 5 ภาพทั้ง 5 ประเภท สามารถระบุได้อย่างแม่นยำโดยอาศัยสีหลักที่ปรากฏของประเภทนั้น ได้แก่ อาคาร พืชพรรณ ทุ่งนา พื้นที่รกร้าง และถนนสายหลัก (รูปที่ 7) อาคารในประเทศไทยสามารถระบุได้ด้วยสีหลังคาและมักเป็น 1 ใน 5 สี ได้แก่ สีฟ้าอ่อน สีน้ำเงินเข้ม สีแดงอ่อน สีแดงเข้ม และสีขาว (รูปที่ 7) ในขณะที่ประเภทอื่น ๆ มีสีของตัวเอง ตัวกรอง RGB 9 ตัว ได้รับการสร้างขึ้นด้วยคน เพื่อแยกประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลเหล่านี้โดยอัตโนมัติ ตัวกรองเหล่านี้อิงตามค่าจุดภาพผ่านแถบ RGB ที่ต้องอยู่ภายในกรอบที่กำหนดดังสมการที่ (2)

$$RGB\ filter_{feature_i} = \begin{bmatrix} Lower\ R\ value < pixel\ value < higher\ R\ value\ \& \\ Lower\ G\ value < pixel\ value < higher\ G\ value\ \& \\ Lower\ B\ value < pixel\ value < higher\ B\ value. \end{bmatrix} \quad (2)$$

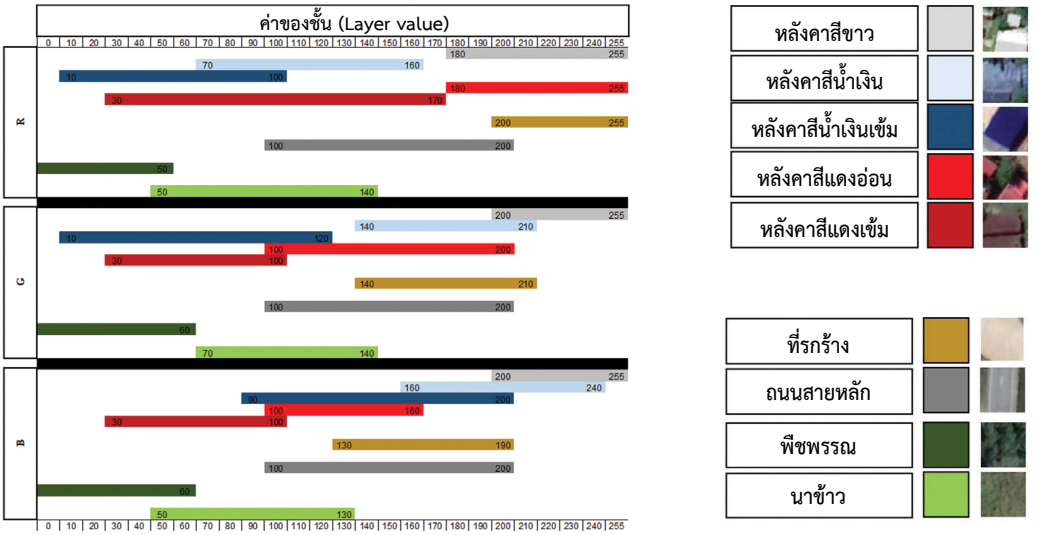
สำหรับแต่ละไทล์ อัตราส่วน (Ratio) ของจำนวนจุดภาพภายในแต่ละกรอบถูกกำหนดโดยสมการที่ (3)

$$Ratio_i = \frac{\sum \text{จุดภาพภายในตัวกรอง } RGB}{\text{จำนวนจุดภาพทั้งหมด}} \quad (3)$$

ในส่วนที่เกี่ยวกับหลังคาทั้ง 5 นั้น ชั้นสีแดงและสีเขียวครอบคลุมค่าทั้งหมดตั้งแต่ 10 ถึง 255 และชั้นสีเขียวเริ่มต้นจาก 90 ถึงสิ้นสุดที่ค่า 255 (รูปที่ 8) พืชพรรณแสดงค่าแถบ RGB ที่ต่ำกว่า 60 ค่าแถบ RGB สำหรับฟิลด์ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 50 ถึง 140 (รูปที่ 8) ที่ดินรกร้างแสดงให้เห็นเป็นชั้นสีแดงที่มีค่าสูงกว่า 200 และอีก 2 ชั้น ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 130 ถึง 210 (รูปที่ 8) สุดท้าย ถนนสายหลักจะแสดงแถบ RGB ที่เหมือนกัน 3 แถบที่มีค่าระหว่าง 100 ถึง 200 (รูปที่ 8)



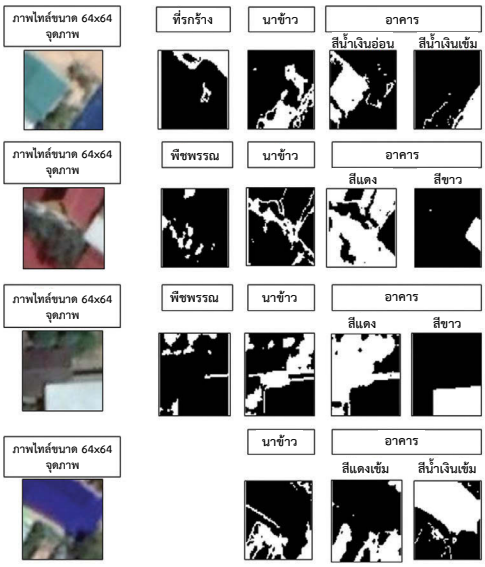
รูปที่ 7 *ภาพที่ตัดขนาด 64x64 จุดภาพตามปกติที่ระบุประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลได้*



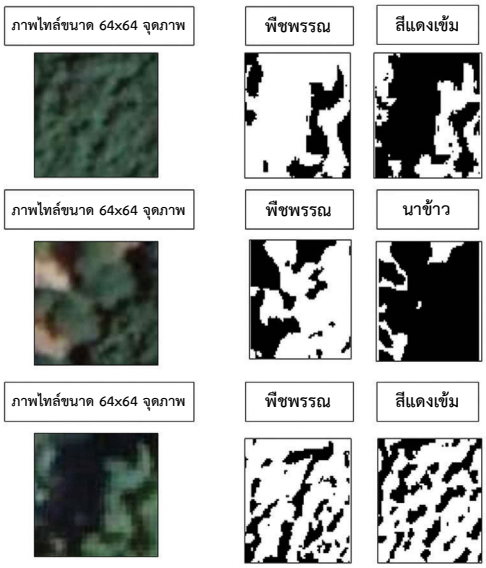
รูปที่ 8 ตัวกรอง RGB

3.3.2 ผลที่ได้จากตัวกรอง RGB

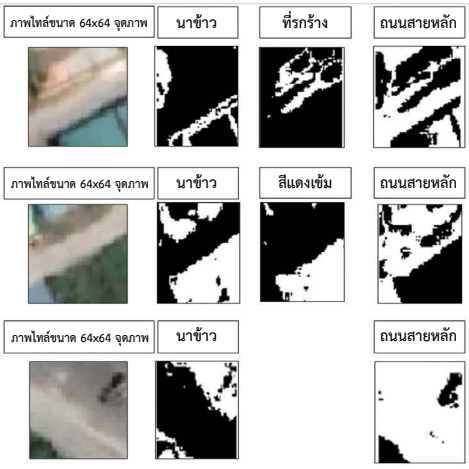
ตัวกรอง RGB จะถูกนำมาใช้กับชุดข้อมูลภาพจำนวน 6,988 ไทล์ ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 9-12 พร้อมกับผลลัพธ์ตัวกรอง RGB หลัก เมื่อเน้นพื้นที่ชนบท อาคารส่วนใหญ่จะล้อมรอบไปด้วยทุ่งนา พื้นที่รกร้างว่างเปล่า และพืชพรรณ ดังนั้น จึงสังเกตเห็นทุกประเภทของภาพ (รูปที่ 9) พืชพรรณ/ชั้นป่าส่วนใหญ่เป็นป่าและหลังคาสีแดงเข้มแต่แปลงนาในอัตราส่วนที่เล็กกว่า (รูปที่ 10) ในชนบทมีถนนสายหลักผ่านทุ่งนาหรือหมู่บ้าน ดังนั้นจึงสังเกตเห็นทุ่งนาและพื้นที่รกร้างว่างเปล่า (รูปที่ 11) ชั้นของความสูญเปล่าประกอบด้วยพื้นที่รกร้างจำนวนมาก แต่ยังสังเกตหลังคาและถนนสีแดงอ่อน (รูปที่ 12)



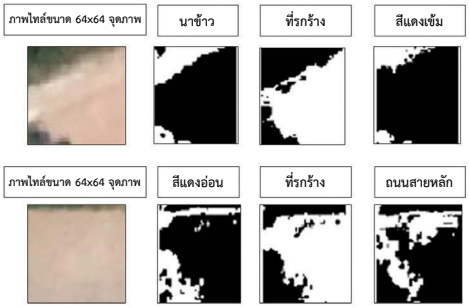
รูปที่ 9 ฟิลเตอร์ RGB ตามแบบฉบับสำหรับอาคาร (ฟิลเตอร์ RGB แสดงด้วยสีขาว)



รูปที่ 10 ฟิลเตอร์ RGB ตามแบบฉบับสำหรับพืชพรรณ (ฟิลเตอร์ RGB แสดงด้วยสีขาว)



รูปที่ 11 *ฟิลเตอร์ RGB ตามแบบฉบับสำหรับทางหลัก (ฟิลเตอร์ RGB แสดงด้วยสีขาว)*



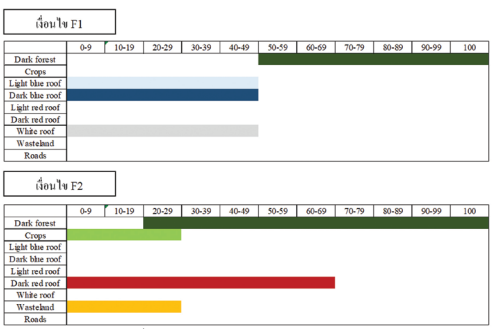
รูปที่ 12 *ฟิลเตอร์ RGB ตามแบบฉบับสำหรับที่รกร้าง (ฟิลเตอร์ RGB แสดงด้วยสีขาว)*

3.3.3 แบบจำลองพื้นฐานและการติดป้ายกำกับ

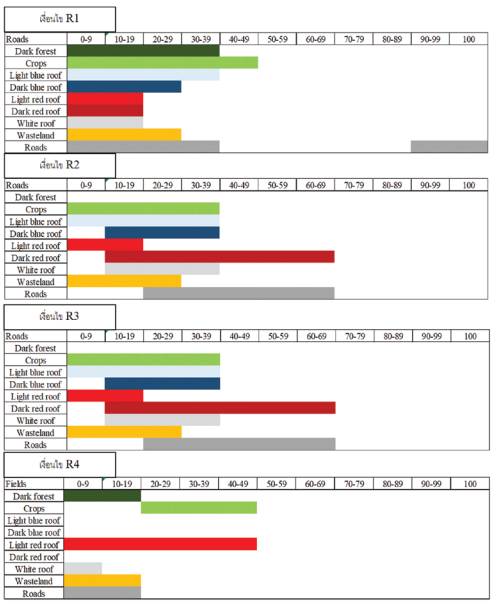
ไทล์ของชุดข้อมูลเกิดจากกระบวนการรวมกันของชุดข้อมูลที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ (รูปที่ 7) ดังนั้นในการจำแนกไทล์เหล่านี้ อาศัยเกณฑ์การพิจารณาความเด่นชัดที่ปรากฏออกมา ดังนั้น อัตราส่วนของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลจึงถูกกำหนดในฟิลเตอร์ RGB ต่าง ๆ อัตราส่วนของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลที่ว่านี้คือสิ่งที่ประกอบขึ้นเป็นโมเดลแบบพื้นฐานตามที่กำหนดไว้ โดยในการจำแนกไทล์ต้องใช้อัตราส่วนของชั้นที่แตกต่างกัน (สมการที่ 4)

$$\text{อัตราส่วนของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล}_i = \begin{bmatrix} \text{ขีดจำกัดล่าง} < \%\ \text{ของอัตราส่วน}_i < \text{ขีดจำกัดบน} \ \& \\ \text{ขีดจำกัดล่าง} < \%\ \text{ของอัตราส่วน}_j < \text{ขีดจำกัดบน} \ \& \\ \text{ขีดจำกัดล่าง} < \%\ \text{ของอัตราส่วน}_k < \text{ขีดจำกัดบน} \ \ldots \end{bmatrix} \quad (4)$$

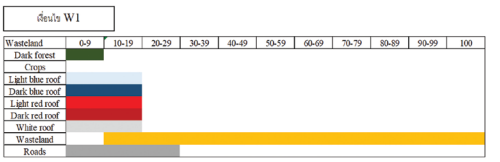
ค่า Lower Limit และ Higher Limit ของฟิลเตอร์ RGB เป็นค่าเริ่มต้นที่กำหนดขึ้นก่อนใช้งาน โดยแบ่งออกเป็นสำหรับพื้นที่ชนบทในประเทศไทยด้วยภาพที่มีความละเอียด 0.25 เมตร/จุดภาพ เพื่อลดการจำแนกประเภทที่ผิดพลาดและทำให้ขั้นตอนการคัดกรองชุดข้อมูลทำได้สะดวกขึ้นในภายหลัง อัตราส่วนของประเภทของชุดข้อมูลจะถูกจำกัดเพื่อให้ได้ความแม่นยำที่สูงขึ้น โดยในชุดข้อมูลประเภทพืชพรรณและที่รกร้างมีคุณลักษณะเฉพาะทางย่านสีเนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสีเขียวและทราย ในขณะที่ถนนและอาคารต้องการอัตราส่วนของประเภทชุดข้อมูลที่มากขึ้น ในทางปฏิบัติชุดข้อมูล 2 ประเภทนี้แสดงถึงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอัตราส่วนคลาวด์ถึง 4 ชั้น เงื่อนไขสำหรับแต่ละประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลถูกกำหนดไว้ด้านล่าง (รูปที่ 13-16) ระเบียบวิธีทั่วทั้งหมด (Global methodology) ที่ใช้ในกรณีศึกษานี้ที่เป็นพื้นที่ชนบทในประเทศไทย สรุปไว้ในรูปที่ 17



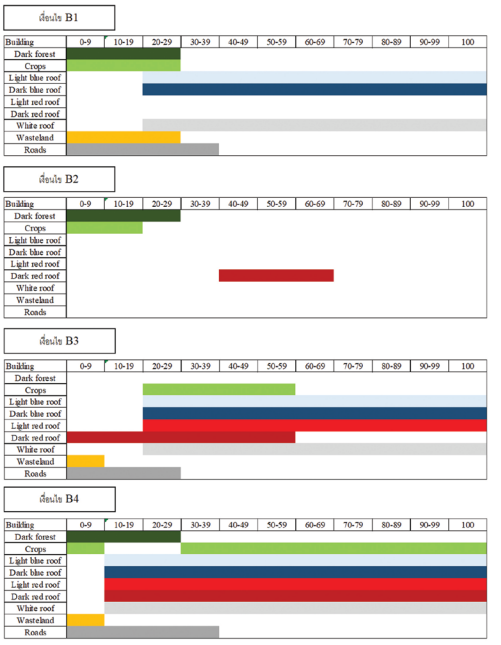
รูปที่ 13 *อัตราส่วนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลของพืชพรรณ*



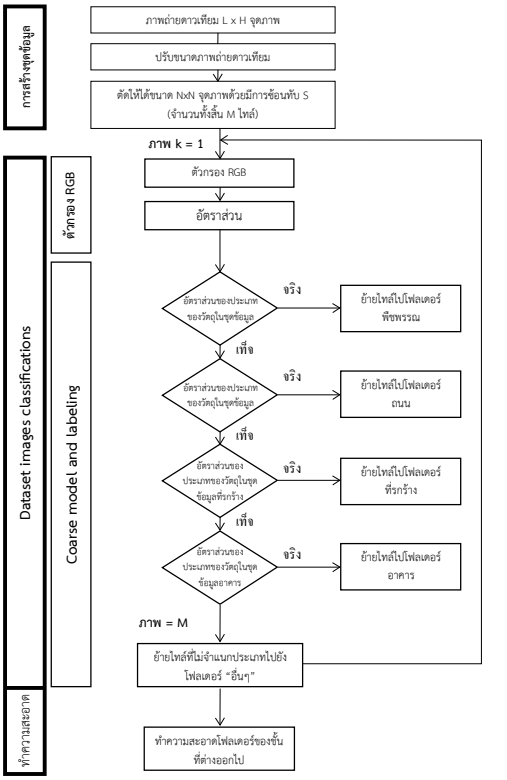
รูปที่ 14 อัตราส่วนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลของถนน



รูปที่ 15 อัตราส่วนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลของที่รกร้าง



รูปที่ 16 อัตราส่วนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลของอาคาร



รูปที่ 17 กระบวนการสร้างชุดข้อมูลสำหรับกรณีศึกษาพื้นที่ชนบทในประเทศไทย

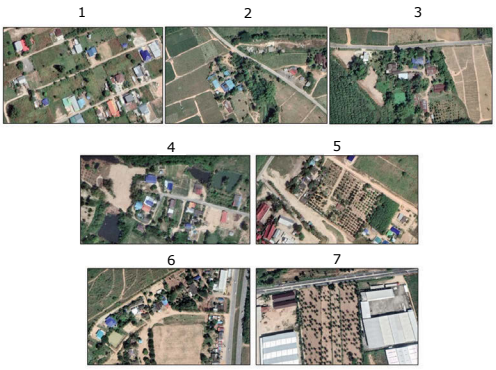
4. ผลการศึกษา

4.1 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

บทความวิชาการนี้ดำเนินการโดยใช้ Rstudio 1.2.1335 พร้อม R 3.6.0 การจำลองทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows บนอุปกรณ์ประมวลผลแบบ Dell Precision T1700, Intel Core i7-4790 CPU @3.6 GHz, หน่วยความจำ 8 GB DDR4 และฮาร์ดดิสก์ HDD 7200 RPM

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระเบียบวิธีวิจัย (รูปที่ 17) ได้ทำการศึกษาภาพถ่ายดาวเทียมใหม่ขนาด 1,408x832 จุดภาพ จำนวน 7 ภาพ และมีความละเอียด 0.25 เมตร/จุดภาพ (รูปที่ 18)



รูปที่ 18 *ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ศึกษาพื้นที่ชนบทของประเทศไทย*

ภาพถ่ายดาวเทียมถูกตัดออกเป็นไทล์ 64x64 จุดภาพ โดยใช้การซ้อนทับกัน 32 จุดภาพ และสร้างภาพทั้งหมด 7,525 ภาพ โดยในขั้นแรกเป็นการบันทึกจำนวนรูปภาพทั้งหมดสำหรับแต่ละประเภทของวัตถุของชุดข้อมูล และกำหนดเปอร์เซ็นต์ของแต่ละประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลดังสมการที่ 5

$$\%\text{ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล} = \frac{\text{จำนวนของภาพ } 64x64 \text{ จุดภาพของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล}}{\text{จำนวนของภาพขนาด } 64x64 \text{ จุดภาพ}} x100 \quad (5)$$

เนื่องจากวัตถุที่จำแนกได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมมีเพียงอาคาร พืชพรรณ ถนน และพื้นที่รกร้างเท่านั้น จำนวนชุดข้อมูลภาพที่สร้างขึ้นจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับภาพขนาด 64x64 จุดภาพ ที่รวบรวมได้ในตอนเริ่มต้น ส่งผลให้ภาพกว่า 75% ไม่สามารถระบุได้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ของภาพชุดข้อมูลขนาด 64x64 จุดภาพที่สร้างต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล

ภาพ	อาคาร [%]	ป่า/พืชพรรณ [%]	ถนน [%]	ที่รกร้าง [%]	ระบุไม่ได้ [%]
1	8.0	1.0	9.4	0.6	81.0
2	1.2	6.8	6.1	0.0	85.9
3	1.8	18.3	6.1	0.5	73.3
4	3.2	21.3	6.7	2.4	66.4
5	3.3	20.5	3.5	5.3	82.1
6	3.9	10.7	10.1	1.0	74.3
7	25.0	5.0	7.5	1.8	60.7

ในการประเมินประสิทธิภาพการระบุตัวตนโดยทั่วไปจะใช้ความแม่นยำ อัตรา Recall และอัตราความแม่นยำ ความแม่นยำสำหรับแต่ละประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลคือเปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องและกำหนดโดยสมการที่ 6

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

โดยที่ TP และ FP คือค่าลบจริง (True Positive) และค่าลบเท็จ (False Positive) ตามลำดับ อัตรา Recall คือความสามารถของวิธีการในการค้นหากรณีและปัญหาที่เกี่ยวข้องทั้งหมดภายในชุดข้อมูลและกำหนดโดยสมการที่ (7)

$$\text{อัตราการเรียกคืน} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (7)$$

โดยที่ FN เป็นค่าลบเท็จ (False Positive) รหัสความถูกต้องที่กำหนดเป็นสัดส่วนในการตรวจจับประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลอย่างถูกต้องจากจำนวนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลทั้งหมดและกำหนดโดยสมการที่ (8)

$$\text{ความถูกต้อง} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (8)$$

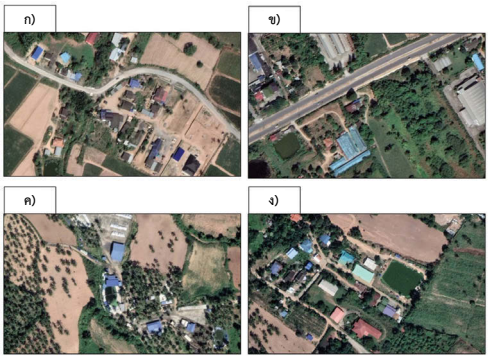
โดยที่ TN เป็นค่าลบจริง (True Positive) ค่าลบจริงและค่าลบเท็จได้รับการยืนยันด้วยคนในโฟลเดอร์อื่นที่สร้างไว้ (รูปที่ 17) ในการประเมินความถูกต้องของวิธีการที่เสนอนี้ รูปภาพชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นได้รับการตรวจสอบด้วยคน (ตารางที่ 3) พื้นที่รกร้างแสดงความแม่นยำสูงสุดในขณะที่ถนนมีค่าต่ำสุดใน 100% ของภาพที่ระบุว่าเป็นพื้นที่รกร้างมาจากประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลนี้ ในทางตรงกันข้าม ถนนมีความแม่นยำถึง 68% นั่นคือประมาณ 1 ใน 3 ของประเภทถนนที่ระบุ ไม่ได้มาจากประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลนี้ อาคารและพืชพรรณมีความแม่นยำ 98% และ 90.5% ตามลำดับ ดังนั้น มีเพียง 2% ของอาคารที่ระบุเท่านั้นที่ไม่ได้มาจากประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลนี้ การเรียกคืนอาคารและที่รกร้างนั้นต่ำที่สุดคือ 48% และ 42.6% ตามลำดับ หมายความว่าภาพเริ่มต้นส่วนใหญ่ของทั้ง 2 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลนี้ไม่ได้รับการระบุ 71% ของภาพพืชพรรณเมื่อเริ่มต้นถูกระบุ ในทางตรงกันข้าม การเรียกคืนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลถนนคือ 76% หมายความว่าภาพถนนทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นส่วนใหญ่ได้รับการระบุมาเป็นอย่างดี ดังนั้น จึงต้องดำเนินการทำความสะอาดเพื่อหลีกเลี่ยงภาพถ่ายของชุดข้อมูลที่ไม่ถูกต้องในแต่ละประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล ท้ายที่สุดความถูกต้องสำหรับทั้ง 4 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลมีค่าสูงกว่า 94%

ตารางที่ 3 Recall ความแม่นยำและความถูกต้องสำหรับชุดข้อมูลแต่ละชุดที่ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลของภาพ 64x64 จุดภาพ

ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล		ภาพ						
		1	2	3	4	5	6	7
อาคาร	การเรียกคืน	49.6	45.9	38.4	48.6	36.4	32.8	86.3
	ความแม่นยำ	98.6	92.2	100.0	100.0	100.0	97.6	98.1
	ความถูกต้อง	90.9	98.4	96.2	95.1	93.2	89.9	94.9
พืชพรรณ	การเรียกคืน	25.7	73.2	84.2	75.1	96.7	79.3	62.6
	ความแม่นยำ	88.9	97.3	100.0	100.0	96.7	100.0	49.8
	ความถูกต้อง	96.7	97.2	96.2	92.0	99.6	96.7	93.9
ถนน	การเรียกคืน	89.9	63.1	78.4	73.3	92.0	81.6	55.0
	ความแม่นยำ	63.2	57.3	83.2	55.3	62.1	89.9	65.3
	ความถูกต้อง	95.4	94.9	97.0	94.1	98.2	96.4	90.3
ที่รกร้าง	การเรียกคืน	57.4		17.7	42.9	50.0	24.0	63.8
	ความแม่นยำ	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	ความถูกต้อง	99.5	99.6	96.8	95.4	93.9	95.8	98.4

4.3 ผลกระทบของภาพถ่ายดาวเทียมที่ใส่เข้าไป

ภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ชนบทของประเทศไทยแตกต่างกันจำนวน 4 ภาพ (รูปที่ 19) มีความละเอียดเท่ากัน คือ 0.25 เมตร/จุดภาพ ได้รับการตรวจสอบโดยใช้กระบวนการที่เสนอแบบเดียวกันและด้วยพารามิเตอร์เดียวกันในแง่ของการทับซ้อนกันและขนาดไทล์ (ตารางที่ 4) มีการรายงานรูปภาพที่ไม่ได้ระบุโดยเฉลี่ย 76.5% ซึ่งใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากภาพก่อนหน้า (75%) ยกเว้นรูปที่ 19 ก) รูปภาพอื่น ๆ แสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนที่ใกล้เคียงกับภาพก่อนหน้านี้ การเลือกภาพถ่ายจากการรับรู้ระยะไกลที่ใส่เข้าไปจะต้องทำอย่างระมัดระวัง เพื่อให้พารามิเตอร์แบบจำลองพื้นฐานมีความเหมาะสม



รูปที่ 19 กรณีศึกษา

4.3 ผลกระทบของขนาดการซ้อนทับ

ในการเพิ่มจำนวนไทล์ในชุดข้อมูลนั้น ขนาดที่ซ้อนทับกันได้ลดลงเหลือ 16 จุดภาพ ดังนั้น ภาพเริ่มต้นที่ 1,408x832 จุดภาพ จะสร้าง 4,165 ไทล์ที่มีขนาด 64x64 จุดภาพ การใช้การทับซ้อนที่มีขนาดเล็กลงไม่ได้มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละของไทล์ชุดข้อมูลที่ระบุ (ตารางที่ 4) ตามความเป็นจริงแล้วมีการรายงานรูปภาพที่ไม่สามารถระบุได้โดยเฉลี่ย 76.9% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยสำหรับการซ้อนทับกัน 32 จุดภาพ (76.6%) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ว่าการลดขนาดทับซ้อนจะเพิ่มความแม่นยำขึ้นเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลที่ได้จากการใช้การทับซ้อนกันที่ 16 และ 32 จุดภาพ

ภาพ	อาคาร [%]		พืชพรรณ [%]		ถนน [%]		ที่รกร้าง [%]		อื่นๆ [%]	
ซ้อนทับ	32	16	32	16	32	16	32	16	32	16
a	4.5	3.8	5.3	6	8.2	7.1	0.8	1.1	81.2	82
b	2.5	1.6	10.1	11.2	10.9	9.8	0	0	76.5	77.4
c	4.7	3.8	7.3	8.5	9.3	8.3	0	0	78.7	79.4
d	5.3	4.1	20.5	23.8	4.3	3.6	0	0	69.9	68.6

ตารางที่ 5 Recall ความแม่นยำ และความแม่นยำสำหรับแต่ละประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล โดยใช้การซ้อนทับกันที่ 16 และ 32 จุดภาพ

ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล		Images							
		a		b		c		d	
	การซ้อนทับกัน	32	16	32	16	32	16	32	16
อาคาร	การเรียกคืน	33.6	33	21.1	24.1	59.8	67.5	43.4	47.4
	ความแม่นยำ	79.9	74.9	92.6	96.0	94.1	97.2	98.2	99.0
	ความถูกต้อง	90.7	92.2	88.8	93.5	96.1	97.4	90.9	91.9
พืชพรรณ	การเรียกคืน	65.7	68.9	70.6	70.0	74.6	76.2	80.8	96.2
	ความแม่นยำ	77.2	91.5	90.8	96.0	97.5	99.0	80	94.3
	ความถูกต้อง	96.1	96.6	94.5	94.1	97	96.5	91.2	97.0
ถนน	การเรียกคืน	38.3	42.8	56.2	42.7	85.2	80.0	72.1	77.8
	ความแม่นยำ	24	30.4	47.5	50.0	46	48.9	50.2	41.2
	ความถูกต้อง	89.5	91.2	86.4	86.3	91.5	93.3	96	95.4
ที่รกร้าง	การเรียกคืน	32.3	36.3						
	ความแม่นยำ	100	100						
	ความถูกต้อง	98	97.7						

4.4 ผลกระทบของสัดส่วนของภาพ

ผลกระทบของสัดส่วนของภาพได้รับการศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของรูปที่ 19 ใช้ขนาดที่ตัด 128x128 จุดภาพ และซ้อนทับกัน 64 จุดภาพ ไม่พบผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อจำนวนรูปภาพที่ไม่ได้ระบุโดยเฉลี่ย 76.5% เทียบกับ 75% ที่มีการตัด 64x64 จุดภาพ (ตารางที่ 6) อย่างไรก็ตาม จำนวนรูปภาพที่ระบุต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลได้รับการแก้ไข (ตารางที่ 6) เมื่อขนาดของไทล์เพิ่มขึ้น บริบทของแต่ละรายการก็เปลี่ยนไปอย่างมาก และการใช้พารามิเตอร์เดียวกันจะแก้ไขผลลัพธ์ได้ โดยสรุปแล้วไทล์ใหญ่ขึ้นแสดงองค์ประกอบในภาพที่มากขึ้น และที่ยากยิ่งขึ้นคือระบุประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลที่ต้องการ ด้วยขนาดที่ใหญ่ขึ้น ไทล์ที่รกร้างว่างเปล่าไม่ได้มีเพียงประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลนี้เท่านั้น ดังนั้น จำนวนภาพที่ตรวจพบจึงลดลง (รูปที่ 20) ในทางกลับกัน จำนวนภาพที่ระบุว่าเป็นอาคารและถนนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้เนื่องจากอาคารตั้งอยู่ติดถนนตลอดเวลา จึงยากที่จะแยกความแตกต่างระหว่าง 2 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลนี้ (รูปที่ 20) สุดท้าย การเลือกขนาดไทล์จึงเป็นจุดสำคัญ เพื่อรักษาบริบทที่ใหญ่ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามที่อธิบายโดย [4], [38]

ตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์ของชุดข้อมูลภาพขนาด 128x128 จุดภาพ ที่สร้างต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลโดยใช้การซ้อนทับกัน 16 จุดภาพ

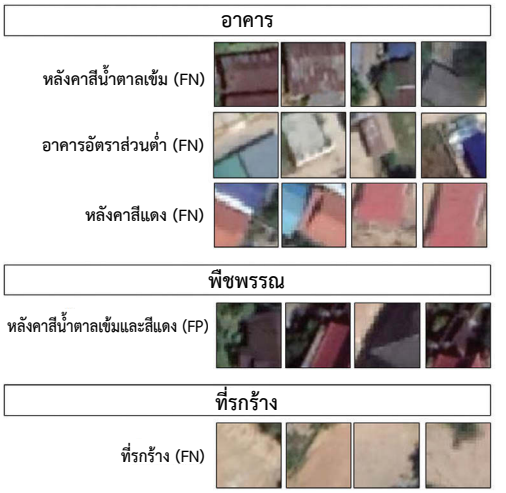
ภาพ	อาคาร [%]	ป่า/พืชพรรณ[%]	ถนน [%]	ที่รกร้าง [%]	ระบุไม่ได้ [%]
1	7.6	0.0	15.7	0.0	76.7
2	1.2	4.0	6.3	0.0	88.5
3	1.2	12.3	4.8	0.0	81.7
4	5.8	16.1	12.0	0.8	65.3
5	2.2	3.9	3.9	2.2	87.8
6	2.8	5.6	15.5	0.0	76.1
7	29.0	2.0	9.5	0.4	59.1

รูปที่ 20 *อาคาร ถนน และพื้นที่รกร้างโดยใช้การตัด 128x128 จุดภาพ*

5. การอภิปรายผล

จากการสังเกตจะเห็นได้ว่าอาคารและพื้นที่รกร้างมีค่า Recall ต่ำสุด 40% และ 32% ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ 5) ภาพสองประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลเริ่มต้นเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่สามารถระบุได้ ไทล์ขนาด 64x64 จุดภาพ ที่มีอัตราส่วนต่อการบ่งชี้วัตถุประเภทอาคารต่ำจะไม่ถูกรวมอยู่ในส่วนที่มีการบ่งชี้ (รูปที่ 21) นอกจากนี้ อาคารที่มีหลังคาสีน้ำตาลเข้มมีผลต่อการบ่งชี้เนื่องจากมีแถบ RGB ที่พบได้ทั่วไปในชุดภาพประเภทพืชพรรณ เนื่องจากต้องใช้ความแม่นยำสูงเพื่อหลีกเลี่ยงการระบุประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง การระบุอาคารจึงถูกจำกัดโดยใช้ค่าที่ต่ำกว่าของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลอื่น ดังนั้น จึงไม่รวมภาพบางภาพ (รูปที่ 21) ที่รกร้างแสดง

ความแม่นยำ 100% ด้วยวิธีการนี้ แต่ไม่รวมภาพจำนวนมาก (รูปที่ 21)



รูปที่ 21 *ภาพขนาด 64x64 จุดภาพ ตามแบบฉบับของ FN อาคาร, FP พืชพรรณ และ FN ที่รกร้าง*

ตามที่ได้ตรวจสอบแล้วในการทบทวนวรรณกรรม ภาพประเภทถนนมีข้อจำกัดในการสกัดข้อมูล [2] โดยใช้วิธีการที่เสนอ (รูปที่ 17) โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 68% (ตารางที่ 3 และ 5) ไทล์ที่มี False Positive ส่วนใหญ่สร้างด้วยหลังคาสีเทาและที่จอดรถ (รูปที่ 22) ซึ่งแสดงตัวกรอง RGB เดียวกันกับถนน (รูปที่ 8) ค่า Recall เป็นที่ยอมรับได้โดยมีค่าเฉลี่ย 76% ไทล์ที่เป็นลบเท็จแสดงอัตราส่วนของถนนต่ำ (รูปที่ 22) เนื่องจากข้อจำกัดอัตราส่วนของชั้นเรียนที่ใช้ (รูปที่ 14)

รูปที่ 22 *FP และ FN ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลถนนขนาด 64x64 จุดภาพ ตามแบบฉบับ*

เวลาที่ใช้ในการสร้างภาพประมาณ 100 ภาพต่อชั้นประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล คือประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที โดยใช้คอมพิวเตอร์เดสก์ท็อปที่ขายในท้องตลาด และมีประสิทธิภาพต่ำ การวิจัยตามการทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีชุดข้อมูลขนาดใหญ่ [54] ตัวอย่างเช่น มีการใช้รูปภาพมากกว่า 100,000 ภาพต่อประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล เพื่อดำเนินการให้ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทย [10], [46] อย่างไรก็ตาม ชุดข้อมูลถูกสร้างขึ้นเพียงครั้งเดียว ดังนั้น ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงและการระบุประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลบนคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นเข้ามาช่วยจะทำให้เวลาลดลงอย่างมาก สังเกตได้ว่าเวลาที่ใช้ในการกรอง RGB นั้น มีค่าสูงที่สุด การดำเนินการเหล่านี้ต้องใช้เวลา 11.7 วินาที (ต่อภาพขนาด 64x64 จุดภาพ) ในขณะที่ต้องใช้เพียง 0.10 วินาที ในการเรียกใช้อัตราส่วนของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลที่ต่างกัน

6. สรุปผลการศึกษา

โดยทั่วไปการสร้างชุดข้อมูลสำหรับการใช้พื้นที่ด้วยแบบจำลอง CNN นั้น มีกระบวนการที่ต้องใช้เวลาและทรัพยากร เนื่องจากต้องดำเนินการทีละรูป เพื่อลดระยะเวลาในการดำเนินการในขั้นตอนนี้ บทความนี้ได้เสนอวิธีการผลิตภาพชุดข้อมูลสำหรับสิ่งปกคลุมดิน โดยอ้างอิงจาก 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย การรับข้อมูลภาพจากการรับรู้ระยะไกล การสร้างไทล์ให้ได้จำนวนมากๆ โดยวิธีการสุ่มตัวอย่าง การสร้างชุดข้อมูลและการติดป้ายกำกับโดยใช้แบบจำลองแบบพื้นฐาน การคัดกรองชุดข้อมูล และการนำไปใช้งาน สำหรับแบบจำลอง CNN มีการเสนอระเบียบวิธีวิจัยสำหรับชุดข้อมูล 4 ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูล ประกอบด้วย อาคาร ถนน พื้นที่รกร้าง และพืชพรรณ สำหรับพื้นที่ชนบทในประเทศไทย มีการรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียมและใช้กระบวนการซ้อนทับกันเพื่อสร้างไทล์ขนาด 64x64 จุดภาพ ที่มีความละเอียด 0.25 เมตร/จุดภาพ มีการเสนอแบบจำลองพื้นฐานเพื่อจำแนกและติดป้ายกำกับตามค่าจุดภาพตามย่านสี RGB โดยใช้อัตราส่วนของประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลที่แตกต่างกันในการจำแนก

กระบวนการที่นำเสนอในบทความนี้มีความแม่นยำสูงมากถึง 98% และ 100% สำหรับประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลอาคารและประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลพื้นที่รกร้างตามลำดับ ประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลถนนมีความแม่นยำที่ต่ำกว่าด้วยค่า 68% จึงมีความจำเป็นในการคัดกรองชุดข้อมูลที่สร้างขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการนี้สามารถนำมาใช้เพื่อระบุภาพถนนเพื่อเป็นการคัดกรองประเภทของภาพในขั้นต้นได้ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการสร้างชุดข้อมูล อีกทั้งยังมีการศึกษาขนาดที่ทับซ้อนกันและค้นพบว่าไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำคือขนาดของไทล์ที่ 128x128 จุดภาพ ที่จะพอเพียงต่อการแสดงองค์ประกอบเพื่อคงไว้ซึ่งอัตราความแม่นยำถูกต้องที่น่าเชื่อถือได้

อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ระเบียบวิธีวิจัยพบว่าการสร้าง RGB Filter นั้น เป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่ใช้เวลา ระเบียบวิธีวิจัยนี้สามารถแก้ไขได้ง่ายโดยใช้ Filter เดียวกันเพื่อสร้างประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลเพิ่มเติมหรือเพื่อปรับปรุงความแม่นยำซึ่งจะเป็นการปรับปรุงวิธีการให้เหมาะสมโดยการเพิ่มประเภทของชุดข้อมูลภาพที่เป็นพื้นที่ว่างเปล่า โดยใช้ RGB Filter นอกจากนี้ อัตราส่วนประเภทของวัตถุในชุดข้อมูลใหม่สำหรับถนนและพืชพรรณยังอยู่ระหว่างการตรวจสอบเพื่อเพิ่มความแม่นยำ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) สำหรับการดำเนินงานและเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดความมั่นใจในความคืบหน้าของการวิจัย และผู้เขียนขอขอบคุณ AIRBUS ที่ให้การสนับสนุนด้วยดีมาตลอด

8. คำชี้แจงและประกาศ

เงินทุน: งานวิจัยนี้ไม่ได้รับทุนสนับสนุนเป็นการเฉพาะใด ๆ จากหน่วยงานให้ทุนอุดหนุนในภาครัฐ ภาคการค้า หรือหน่วยงานไม่แสวงหาผลกำไรอื่นๆ

ความขัดแย้งทางผลประโยชน์หรือผลประโยชน์ทับซ้อน: ผู้เขียนไม่มีส่วนได้เสียที่จะประกาศว่ามีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาของบทความนี้

การอนุมัติด้านจริยธรรม: ไม่มี

ความยินยอมในการเข้าร่วม: ผู้เขียนทุกคนอ่านและอนุมัติต้นฉบับและการส่งต้นฉบับ

ความพร้อมใช้งานของข้อมูลและวัสดุ: ไม่เกี่ยวข้อง

ความพร้อมใช้งานของรหัส: การใช้งานและการคำนวณทั้งหมดที่นำเสนอในเอกสารนี้ดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อม Windows โดยใช้ Rstudio 1.2.1335 กับ R 3.6.0

ผลงานของผู้เขียน: Dr. Mezeix รับผิดชอบการเขียนโปรแกรม พัฒนาวิธีการและวิเคราะห์ข้อมูล ดร.หงษ์กาญจนากุล ดำเนินการสร้างชุดข้อมูลและเขียนบทความ Dr. Schwob เข้าร่วมทั้งวิธีการและการเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลอง

9. เอกสารอ้างอิง

[1] S. A. Abou Rafee *et al.*, “Large-Scale Hydrological Modelling of the Upper Paraná River Basin,” *Water,* vol. 11, no. 5, pp. 882, 2019.

[2] A. R. Choudhury, B. Parajuli, and P. Kumar, “QuadRoad: An Ensemble of CNNs for Road Segmentation,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 176, pp. 138-147, 2020.

[3] Y. Bai, M. Feng, H. Jiang, J. Wang, Y. Zhu, and Y. Liu, “Assessing consistency of five global land cover datasets in China,” *Remote Sens.*, vol. 6, no. 9, pp. 8739-8759, 2014.

[4] S. Basu, S. Ganguly, S. Mukhopadhyay, R. DiBiano, M. Karki, and R. Nemani, “Deepsat: a learning framework for satellite imagery,” in *23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, Nov. 2015, pp. 1-10.

[5] G. Castilla and G. J. Hay, "Uncertainties in land use data," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 11, no. 6, pp. 1857-1868, 2007.

[6] K. Chen, K. Fu, M. Yan, X. Gao, X. Sun, and X. Wei, "Semantic Segmentation of Aerial Images With Shuffling Convolutional Neural Networks," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 173-177, 2018.

[7] G. Cheng, J. Han, and X. Lu, "Remote Sensing Image Scene Classification: Benchmark and State of the Art," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 10, pp. 1865-1883, 2017.

[8] C. Zhang, P. Yue, D. Tapete, B. Shangguan, M. Wang, and Z. Wu, "A multi-level context-guided classification method with object-based convolutional neural network for land cover classification using very high resolution remote sensing images," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 88, 2020.

[9] C. Yoo, D. Han, J. Im, and B. Bechtel, "Comparison between convolutional neural networks and random forest for local climate zone classification in mega urban areas using Landsat images," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 157, pp. 155-170, 2019.

[10] P. Chermprayong, N. Hongkarnjanakul, D. Rouquette, C. Schwob, and L. Mezeix, "Convolutional Neural Network for Thailand's Eastern Economic Corridor (EEC) land cover classification using overlapping process on satellite images." *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ*., vol. 23, 2021.

[11] D. Konstantinidis, V. Argyriou, T. Stathaki, and N. Grammalidis, "A modular CNN-based building detector for remote sensing images. *Comput. Netw.,* vol. 168, 2020.

[12] Britannica "Encyclopædia Britannica." BRITANNICA.com. https://www.britannica.com (accessed Jul. 28, 2011).

[13] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "National Agro-Economic Zoning for Major Crops in Thailand (NAEZ)," FAO, Rome, Italy, 2017.

[14] F. S.Y. Watanabe *et al*., "Inland water's trophic status classification based on machine learning and remote sensing data," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.,* vol. 19, 2020.

[15] J. A. Foley *et al*., "Global Consequences of Land Use," *Science*, vol. 309, no. 5734, pp. 570-574, 2005.

[16] R. Fuchs, M. Herold, P. H. Verburg, and J. G. P. W. Clevers, "A high-resolution and harmonized model approach for reconstructing and analysing historic land changes in Europe," *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 1543-1559, 2013.

[17] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 37, no. 9, pp. 1904-1916, 2015, doi: 10.1109/TPAMI.2015.2389824

[18] P. Helber, B. Bischke, A. Dengel, and D. Borth, "EuroSAT: A Novel Dataset and Deep Learning Benchmark for Land Use and Land Cover Classification," in *IEEE*

Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 12, no. 7, pp. 2217-2226, 2019, doi: 10.1109/JSTARS.2019.2918242.

[19] M. Höjer *et al*.,"Scenarios in selected tools for environmental systems analysis," *J. Clean. Prod*., vol. 16, no. 18, pp. 1958-1970, 2008.

[20] R. Hollmann *et al*., "The ESA Climate Change Initiative: Satellite Data Records for Essential Climate Variables," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 94, no. 10, pp. 1541-1552, 2013.

[21] C. Homer *et al*., "Completion of the 2011 National Land Cover Database for the Conterminous United States-Representing a Decade of Land Cover Change Information," *Photogramm. Eng. Remote Sens*., vol. 81, no. 5, pp. 345-354, 2015.

[22] G. Huang, Z. Liu, L. van der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely Connected Convolutional Networks," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 2261-2269.

[23] J.-D. Sylvain, G. Drolet, and N. Brown, "Mapping dead forest cover using a deep convolutional neural network and digital aerial photography," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*., vol. 156, pp. 14-26, 2019.

[24] K. Trincsi, T-T-H. Pham, and S. Turner, "Mapping mountain diversity: Ethnic minorities and land use land cover change in Vietnam's borderlands," *Land Use Policy*, vol. 41, pp. 484-497, 2014.

[25] K. D. Ngo, A. M. Lechner, and T. T. Vu, "Land cover mapping of the Mekong Delta to support natural resource management with multi-temporal Sentinel-1A synthetic aperture radar imagery," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, vol. 17, 2020.

[26] Kristo and C. C. Chua, "Cost effective window arrangement for spatial pyramid matching," *Journal Vis. Commun. Image Represent*., vol. 29, pp. 79-88, 2015.

[27] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks," in *Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 25*, pp. 1097-1105, 2012.

[28] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, 1998.

[29] H. Li *et al.*, "RSI-CB: A Large-Scale Remote Sensing Image Classification Benchmark Using Crowdsourced Data," *Sensors*, vol. 20, no. 6, pp. 1594, 2020.

[30] W. Li, C. Chen, M. Zhang, H. Li, and Q. Du, "Data Augmentation for Hyperspectral Image Classification With Deep CNN," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 16, no. 4, pp. 593-597, 2019.

[31] L. Ma, Y. Liu, X. Zhang, Y. Ye, G. Yin, and B. A. Johnson, "Deep learning in remote sensing applications: a meta-analysis and review," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*., vol. 152, pp. 166-177, 2019.

[32] M. Panahi, N. Sadhasivam, H. R. Pourghasemi, F. Rezaie, and S. Lee, "Spatial prediction of groundwater potential mapping based on convolutional neural network (CNN) and support vector regression (SVR)," *J. Hydrol*., vol. 588, 2020.

[33] D. Marmanis, J. D. Wegner, S. Galliani, K. Schindler, M. Datcu, and U. Stilla, "Semantic segmentation of aerial images with an ensemble of CNNS," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.,* vol. III-3, pp. 473–480, 2016.

[34] J. A. Martins, V. S. Brand, M. N. Capucim, C. B. Machado, D. G. A. Piccilli, and L. D. Martins, "The impact of rainfall and land cover changes on the flow of a medium-sized river in the South of Brazil," *Energy Procedia*, vol. 95, pp. 272-278, 2016.

[35] M. Schaefer and N. X. Thinh, "Evaluation of Land Cover Change and Agricultural Protection Sites: A GIS and Remote Sensing Approach for Ho Chi Minh City, Vietnam," *Heliyon*, vol. 5, no. 5, 2019.

[36] W. B. Meyer and B. L. Turner II, *Changes in land use and land cover: A global perspective*. *1*st ed. Cambridge University Press, 1994.

[37] M. Wang, H. Zhang, W. Sun, S. Li, F. Wang, and G. Yang, "A Coarse-to-Fine Deep Learning Based Land Use Change Detection Method for High-Resolution Remote Sensing Images," *Remote Sens*., vol. 12, no. 12, 2020.

[38] V. Mnih and G. E. Hinton, "Learning to detect roads in high-resolution aerial images," in *Proceedings of the 11th European Conference on Computer Vision (ECCV)*., 5-11 Sep. 2010.

[39] M. V. B. de Morais, V. V. U. Guerrero, L. D. Martins, and J. A. Martins, "Dynamical Downscaling of Future Climate Change Scenarios in Urban Heat Island and Its Neighborhood in a Brazilian Subtropical Area," in *2nd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences*, in Proceedings, vol. 1, no. 15, Jul. 2017, pp. 1-13.

[40] R. H. Moss *et al*., "The next generation of scenarios for climate change research and assessment," *Nature*, vol. 463, pp. 747-756, 2010.

[41] M. U. Müller, N. Ekhtiari, R. M. Almeida, and C. Rieke, "Super-resolution of multispectral satellite images using convolutional neural networks," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*., vol. 1-2020, pp. 33-40, 2020.

[42] N. D. A. Halim *et al*., "Spatial assessment of land use impact on air quality in mega urban regions, Malaysia," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 63, 2020.

[43] R. Patarasuk, "Road network connectivity and land-cover dynamics in Lop Buri province, Thailand," *J. Transp. Geogr*., vol. 28, pp. 111-123, 2013.

[44] R. Patarasuk and M. W. Binford, "Longitudinal analysis of the road network development and land-cover change in Lop Buri province, Thailand, 1989-2006," *Appl. Geogr.*, vol. 32, no. 2, pp. 228-239, 2012.

[45] R. Shang, J. He, J. Wang, K. Xu, L. Jiao, and R. Stolkin, "Dense connection and depthwise separable convolution based CNN for polarimetric SAR image classification," *Knowl. Based Syst*., vol. 194, 2020.

[46] P. R. Emparanza, N. Hongkarnjanakul, D. Rouquette, C. Schwob, and L. Mezeix, "Land cover classification in Thailand's Eastern Economic Corridor (EEC) using

convolutional neural network on satellite images." *Remote Sensing Applications: Society and* Environment, vol. 20, 2020.

[47] O. Russakovsky *et al*., "ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge," *Int. J. Comput. Vis.*, no. 115, pp. 211–252, Apr. 2015, doi: 10.1007/s11263-015-0816-y.

[48] S. Baamonde, M. Cabana, N. Sillero, M. G. Penedo, H. Naveira, and J. Novo, "Fully automatic multi-temporal land cover classification using Sentinel-2 image data," *Procedia Comput. Sci*., vol. 159, pp. 650-657, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.09.220.

[49] G. Sheng, W. Ya ng, T. Xu, and H. Sun, "High-resolution satellite scene classification using a sparse coding based multiple feature combination," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 33, no. 8, pp. 2395-2412. Apr. 2012, doi:10.1080/01431161.2011.608740.

[50] D. P. Shrestha, M. Suriyaprasit, and S. Prachansri, "Assessing soil erosion in inaccessible mountainous areas in the tropics: The use of land cover and topographic parameters in a case study in Thailand," *Catena*, vol. 121, pp. 40-52, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.catena.2014.04.016.

[51] S. Ji, Z. Chi, A. Xu, Y. Shi, and Y. Duan, "3D Convolutional Neural Networks for Crop Classification with Multi-Temporal Remote Sensing Images," *Remote Sens.*, vol. 10, pp. 75, Jan. 2018, doi: 10.3390/rs10010075.

[52] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition," in ICLR 2015, May. 2015, pp. 1-14.

[53] "Statistica." STATISTA.com. https://www.statista.com/ (accessed Dec. 17, 2021).

[54] G. Sumbul, M. Charfuelan, B. Demir, and V. Markl, "BigEarthNet: A Large-Scale Benchmark Archive for Remote Sensing Image Understanding," *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Yokohama, Japan, 2019, pp. 5901-5904, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8900532.

[55] S. D. Tarigan, "Land Cover Change and its Impact on Flooding Frequency of Batanghari Watershed, Jambi Province, Indonesia," *Procedia Environ. Sci*., vol. 33, pp. 386-392, 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.089

[56] C. Szegedy *et al*., "Going Deeper with Convolutions," *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),* Boston, MA, USA, 2015, pp. 1-9, doi: 10.1109/CVPR.2015.7298594.

[57] T. Talema and B. T. Hailu, "Mapping rice crop using sentinels (1 SAR and 2 MSI) images in tropical area: A case study in Fogera wereda, Ethiopia," *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ*., vol. 18, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.rsase.2020.100290.

[58] D. T. Nguyen, I. Iskandar, and S. Ho, "Land cover change and the CO_2 stock in the Palembang City, Indonesia: A study using remote sensing, GIS technique and LUMENs," *Egypt. J. Remote. Sens. Space Sci.,* vol. 19, no. 2, pp. 313-321. Dec. 2016, doi: 10.1016/j.ejrs.2016.08.004.

[59] G. C. Veerabhadrappa, S. C., T. K. Jaya Ram, and A. Haswanth, "Unsupervised Learning for Satellite Image Classification," *IOSR J. VLSI Signal Processing*, vol. 4, no. 2, pp. 01-04, Jan. 2014, doi: 10.9790/4200-04240104.

[60] P. H. Verburg, K. Neumann, and L. Nol, "Challenges in using land use and land cover data for global change studies," *Glob. Change Biol.*, vol. 17, pp. 974-989, 2011, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02307.x.

[61] The World Bank. "Indicators." DATA. WORLDBANK.org. https://data.worldbank.org/indicator. (accessed Dec. 14, 2021).

[62] G.-S. Xia, W. Yang, J. Delon, Y. Gousseau, H. Sun, and H. Maitre, "Structural high-resolution satellite image indexing,". In *ISPRS TC VII Symposium-100 Years ISPRS*, Vienna, Austria, Jul. 2010, vol. 38, pp. 298-303.

[63] G.-S. Xia *et al.*, "AID: A Benchmark Data Set for Performance Evaluation of Aerial Scene Classification," in *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 55, no. 7, pp. 3965-3981, July 2017, doi: 10.1109/TGRS.2017.2685945.

[64] Y. Yang and S. Newsam, "Bag-of-visual-words and spatial extensions for land-use classification," in *18th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (ACM SIGSPATIAL GIS 2010)*, San Jose, CA, USA, Nov. 2010, pp. 270-279.

[65] Y. Shendryk, Y. Rist, C. Ticehurst, and P. Thorburn, "Deep learning for multi-modal classification of cloud, shadow and land cover scenes in Planet Scope and Sentinel-2 imagery," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 157, pp. 124-136, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2019.08.018.

[66] Z. Xu, K. Guan, N. Casler, B. Peng, and S. Wang, "3D convolutional neural network method for land cover classification using LiDAR and multi-temporal Landsat imagery," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 144, pp. 423-434, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.08.005.

[67] L. Zhao, P. Tang, and L.-Z. Huo, "Feature significance-based multibag-of-visual-words model for remote sensing image scene classification," *J. Appl. Remote Sens.*, vol. 10, no. 3, pp. 035004. Jun. 2016, doi: 10.1117/1.JRS.10.035004.

[68] W. Zhou, S. Newsam, C. Li, and Z. Shao, "PatternNet: A benchmark dataset for performance evaluation of remote sensing image retrieval,". *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 145, Part A, pp. 197-209. Nov. 2018, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.01.004.

[69] B. Zoph, V. Vasudevan, J. Shlens, and Q. V. Le, "Learning Transferable Architectures for Scalable Image Recognition," *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Salt Lake City, UT, USA, 2018, pp. 8697-8710, doi: 10.1109/CVPR.2018.00907.

[70] Q. Zou, L. Ni, T. Zhang, and Q. Wang, "Deep Learning Based Feature Selection for Remote Sensing Scene Classification," in *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 12, no. 11, pp. 2321-2325, Nov. 2015, doi: 10.1109/LGRS.2015.2475299.

ต้นแบบน้ำยาทำความสะอาด ครายเขม่าดินปืนและครายทองแดงในลำกล้องปืน

อานนท์ เดชะศิริพงษ์ [1*]

วันที่รับ 27 ตุลาคม 2565 วันที่แก้ไข 13 มกราคม 2566 วันตอบรับ 16 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นแบบน้ำยาทำความสะอาดลำกล้องปืน โดยเฉพาะครายทองแดงที่อุดตันตามเกลียวของลำกล้อง ครายทองแดงจะทำให้ความสามารถในการหมุนหัวกระสุนของลำกล้องลดลง ส่งผลให้ความแม่นยำลดลง นอกจากนี้ หากครายทองแดงสะสมมากจะทำให้เกิดการยิงติดขัด จนถึงลำกล้องปืนระเบิดได้ เนื่องจากแรงดันที่เพิ่มขึ้นจากการอุดตันของครายทองแดง นอกจากครายทองแดงจากหัวกระสุนแล้ว ยังมีครายเขม่าดินปืนที่เกิดจากการเผาไหม้ดินขับที่ส่งผลต่อระบบปฏิบัติการของอาวุธปืน ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นหาสารเคมีสำหรับทำความสะอาดครายเขม่าดินปืนโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ เบนซีน เฮกเซน และเมทานอล ในการล้างครายเขม่าดินปืน ส่วนครายทองแดงจากหัวกระสุน ทีมวิจัยได้ใช้สารจำพวก กรด เบส และสารออกซิไดซ์ ในการชะล้างครายทองแดง ได้แก่ กรดแอซีติก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก แอมโมเนีย โพแทสเซียมไดโครเมต และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในการละลายครายโลหะทองแดง ผลการทดลองพบว่า เบนซีนสามารถชะล้างครายเขม่าดินปืนได้ดีที่สุด และสารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยปริมาตร เหมาะสมที่สุดในการกำจัดครายทองแดงภายในลำกล้องปืน

คำสำคัญ : ปฏิกิริยารีดอกซ์, ออกซิเดชัน, รีดักชัน

---

[1] กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

* ผู้แต่ง, อีเมล: anon_cu@hotmail.com

A prototype of chemical substances to clean gunpowder and copper fouling in gun barrels

Anon Dachasiripong [1*]

Received 27 October 2022, Revised 13 January 2023, Accepted 16 February 2023

Abstract

In this study, we aim to find a gun barrel cleaner prototype that removes copper fouling from barrel threads. Copper fouling will degrade the barrel's ability to rotate bullets, resulting in reduced accuracy. Additionally, too much copper fouling may cause the shot to jam until it explodes because it clogs the barrel under increasing pressure. In addition to the copper fouling from the bullet, there are also gunpowder fouling caused by the combustion of the propellants that affect the firearm's operating system. Consequently, this study aims to find chemical solutions for cleaning gunpowder fouling using organic solvents such as benzene, hexane, and methanol. The copper fouling from the bullet head was leached using acids, bases, and oxidizing agents: acetic acid, hydrochloric acid, sulfuric acid, nitric acid, ammonia, potassium dichromate, and potassium permanganate were used to dissolve the copper fouling. The experimental results revealed that benzene was most effective for cleaning gunpowder fouling, while ammonia solution at a concentration of 2.5% by volume was most effective for cleaning copper fouling inside the gun barrel.

Keywords : Redox reaction, Oxidation, Reduction

[1] Physics and Chemistry Department, Education Branch, Royal Thai Naval Academy

* Corresponding author, E-mail: anon_cu@hotmail.com

1. บทนำ

ในการยิงปืนแต่ละครั้งจะก่อให้เกิดคราบสกปรกภายในตัวปืนและลำกล้องปืน คราบสกปรกต่าง ๆ เกิดจากการเผาไหม้ของดินขับและเศษโลหะจากหัวกระสุนเข้าไปสะสมในเกลียวลำกล้อง ซึ่งลำกล้องทำหน้าที่กักเก็บแรงดัน สร้างแรงดันจากการเผาไหม้ของดินขับ ส่วนเกลียวลำกล้องจะทำหน้าที่หมุนหัวกระสุนเมื่อหัวกระสุนเคลื่อนที่ผ่านเกลียวออกไป เพื่อให้เกิดเสถียรภาพขณะหัวกระสุนวิ่งในอากาศ ทำให้หัวกระสุนมีวิถีที่แน่นอน เกิดความแม่นยำ [1] - [2] แต่การเสียดสีระหว่างลำกล้องและหัวกระสุนทองแดงจะทำให้โลหะทองแดงบางส่วนเกิดการหลอมเหลว เมื่อลำกล้องเย็นตัวลงจะเกิดการยึดเกาะระหว่างเกลียวลำกล้องและโลหะทองแดง ทำให้ประสิทธิภาพของเกลียวลำกล้องลดลง ส่งผลให้ความแม่นยำลดลงและอาจก่อให้เกิดการติดขัดของอาวุธปืนหรือทำความเสียหายรุนแรงให้อาวุธปืนและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติการได้ นอกจากนี้ คราบสกปรกต่าง ๆ ที่สะสมส่งผลต่ออายุการใช้งานของอาวุธให้สั้นลง

โดยทั่วไปการทำความสะอาดปืนและลำกล้องปืนหลังจากการใช้งานนิยมใช้น้ำมันดีเซลในการล้างร่วมกับการใช้ขัดด้วยแส้ทองแดง ซึ่งพบว่ายังคงมีคราบทองแดงเหลืออยู่ ปัจจุบันน้ำยาล้างเฉพาะคราบโลหะทองแดงภายในลำกล้องปืนยังไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย ร้านค้าและซ่อมอาวุธปืนจะนำเข้าน้ำยาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง และสารเคมีที่ใช้จะเป็นประเภทผงขัดจำพวกอะลูมิเนียมออกไซด์หรือซิลิคอนคาร์ไบด์ เมื่อใช้บ่อยครั้งจะทำให้เกลียวลำกล้องสึกหรอ ทำให้ความแม่นยำลดลง ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการสังเคราะห์ต้นแบบน้ำยาทำความสะอาดคราบสกปรกและคราบทองแดงในลำกล้องปืน โดยสังเคราะห์จากสารเคมีที่มีความจำเพาะเจาะจงกับโลหะทองแดงเท่านั้น ซึ่งยังมีราคาที่ถูกเมื่อเทียบกับการนำเข้าจากต่างประเทศ และยังคงประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้น้ำมันดีเซลในการทำความสะอาดแบบเดิม ทำให้อาวุธปืนทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ มีความแม่นยำ ลดการติดขัด และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลด้านการพึ่งพาตนเอง และยังสนับสนุนอุตสาหกรรมการป้องกันประเทศอีกด้วย

2. ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเคมีตั้งต้นสำหรับน้ำยาทำความสะอาดลำกล้องปืน

ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ ปฏิกิริยารวมออกของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือเป็นปฏิกิริยาที่มีเลขออกซิเดชันของธาตุเปลี่ยนแปลง ซึ่งเขียนแยกเป็นสองส่วนได้ และแต่ละส่วนของปฏิกิริยามีชื่อเรียกแตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยา ดังนี้

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) คือ ปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น โดยเรียกสารที่ให้อิเล็กตรอนว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent)

2. ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) คือ ปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้น โดยเรียกสารที่รับอิเล็กตรอนว่า ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent)

งานวิจัยนำความรู้เรื่องปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีมาเป็นแนวทางในการพัฒนาน้ำยาล้างคราบทองแดง ดังสมการที่ (1)

$$Cu(s) + agent \longrightarrow Cu^{2+} + \text{อนุพันธ์} \quad (1)$$

Cu(s) คือ โลหะทองแดงที่ติดตามเกลียวลำกล้อง

agent คือ สารจำพวกออกซิไดซ์ สารประเภทกรด-เบส และสารจำเพาะในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับทองแดง

Cu^{2+} คือ ไอออนบวกของทองแดง ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี

อนุพันธ์ คือ สารอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

2.1.1 สารละลายกรด

เป็นสารละลายที่มี pH น้อยกว่า 7 สามารถเปลี่ยนกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินเป็นสีแดง โดยทั่วไปกรดจะมีรสเปรี้ยว เป็นสสารซึ่งทำปฏิกิริยาได้ดีกับเบสและโลหะเกือบทุกชนิด โดยที่กรดจะแรงขึ้นตามค่า pH ที่ลดลง กรดสามารถเป็นได้ทั้งสารละลายของเหลวหรือของแข็งสำหรับแก๊ส [4] - [5]

2.1.2 สารละลายเบส (Basic solution) เป็นสารละลายที่มี pH มากกว่า 7 สามารถเปลี่ยนกระดาษลิตมัสจากแดงเป็นน้ำเงิน มีรสขมฝาด ทำปฏิกิริยาได้ดีกับกรดและโลหะบางประเภท ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) และสังกะสี (Zn) ความแรงของเบสจะขึ้นตามค่า pH ที่มากขึ้น เบสสามารถเป็นได้ทั้งสารละลาย ของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ

ตามทฤษฎี กรด-เบส อาร์เรเนียส นักเคมีชาวสวีเดนได้ให้นิยามไว้ว่า กรด คือ สารอิเล็กโทรไลต์ที่ละลายน้ำแล้วจะแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เบส คือ เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เบรินสเตดลาวรี ได้ให้นิยามว่า กรด คือสารที่มีสมบัติในการให้โปรตอน (Proton donator) ส่วนเบส คือ สารที่มีสมบัติรับโปรตอน (Proton accepter) จากสารอื่น ลิวอิสให้นิยาม กรด-เบส โดยอาศัยการรับและการให้คู่อิเล็กตรอน โดยกล่าวไว้ว่า เบส คือ สารที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอน (Electron pair donor) กับกรด แล้วเกิดพันธะโคเวเลนต์ [4] - [5]

จากนิยามข้างต้นจะเห็นได้ว่ากรดและเบสสามารถรับหรือดึงอิเล็กตรอนได้ ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้กรดและเบสในการดึงอิเล็กตรอนจากโลหะทองแดงจากเกลียวลำกล้อง ทำให้โลหะทองแดงสูญเสียอิเล็กตรอนและอยู่ในรูปของไอออนซึ่งสามารถละลายน้ำได้เป็นอย่างดี โดยจะใช้กรดและเบส ดังนี้

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
2. กรดไนตริก (HNO_3)
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
4. กรดแอซีติก (CH_3COOH)
5. แอมโมเนีย (NH_3)

2.1.3 สารประเภทออกซิไดซ์ (Oxidizing agent)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) หมายถึงปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากวงโคจรให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (reduction) จะเกิดคู่กัน สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) และเรียกสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนนี้ว่า ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน มักจะเกี่ยวข้องกับออกซิเจน

นอกจากนี้ ออกซิเดชันยังหมายถึงการเสียไฮโดรเจนอะตอมออกจากโมเลกุลอีกด้วย ปฏิกิริยาออกซิเดชันและอนุมูลอิสระนั้นมีความเกี่ยวข้องกันเนื่องจากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดอนุมูลอิสระของสารต่าง ๆ

ได้มากมายหลายชนิด และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอื่น ๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป [4] - [5]

อะตอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ได้ดี เป็นอะตอมที่มีขนาดใหญ่ จึงมีระยะห่างระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนวงนอกสุดมาก จึงมีแรงดึงดูดอิเล็กตรอน (Electronegativity) ต่ำ ทำให้สูญเสียอิเล็กตรอนง่าย

ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวออกซิไดซ์ในการดึงอิเล็กตรอนของทองแดงออก ทำให้โลหะทองแดงเสียอิเล็กตรอนอยู่ในรูปของไอออน ซึ่งละลายน้ำได้ดี จะทำให้ง่ายต่อการชะล้างออกจากเกลียวลำกล้องได้ง่าย

2.2 ตัวทำละลายอินทรีย์สำหรับล้างคราบเขม่า

เขม่าสีดำที่เกิดจากยิงกระสุนปืน เกิดจากดินขับ ดินขับจะมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรต ผงถ่านคาร์บอน และกำมะถัน เมื่อดินขับเผาไหม้จะเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ซึ่งก๊าซขยายตัวอย่างรวดเร็วจนเกิดแรงดันภายในลังเพลิง เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนหัวกระสุน นอกจากก๊าซแล้วยังมีผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ดังสมการที่ (2)

$$10KNO_3+8C+3S \longrightarrow 2K_2CO_3+3K_2SO_4+6CO_2+5N_2 \quad (2)$$

สารทำละลายอินทรีย์หรือตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นสารประกอบที่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยสารอินทรีย์จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ อะลิฟาติก และ อะโรมาติก โดยสารอะลิฟาติกมีทั้ง โซ่ตรง โซ่กิ่ง มีขั้ว ไม่มีขั้ว มีขั้วแรง มีขั้วอ่อน จึงนิยมนำมาใช้เป็นตัวทำละลายได้ดี ในงานวิจัยนี้จึงเลือกตัวทำละลายอินทรีย์มาชะล้างคราบเขม่าดินปืน เนื่องจากเขม่าดินปืนเป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนและมีสารประเภทไอออนิกเล็กน้อย ฉะนั้นตัวทำละลายอินทรีย์จึงมีความน่าจะเป็นที่จะสามารถชะล้างคราบเขม่าได้ดี ทีมวิจัยเลือกสารอินทรีย์ 3 ชนิด ดังต่อไปนี้ [4] - [5]

1. เบนซีน (Benzene) เป็นสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวง เป็นสารไม่มีขั้ว โดยทั่วไปนิยมใช้เบนซีนเป็นตัวทำละลายชะล้างคราบเขม่าในเครื่องยนต์

2. เฮกเซน (Hexane) ป็นสารประกอบอัลเคนโซ่ตรงที่มีจำนวนคาร์บอน 6 อะตอม สารไม่มีขั้วเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่พบบ่อยในห้องปฏิบัติการและในอุตสาหกรรม

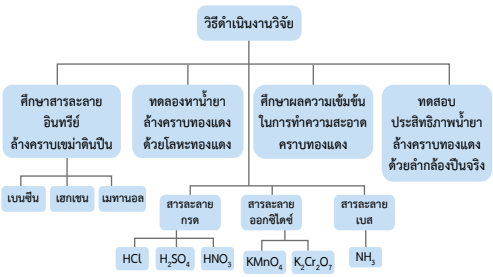
3. เมทานอล (Methanol) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (–OH) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ที่จับกับอะตอมของคาร์บอนอิ่มตัว จำพวกมีขั้วอ่อน มีขั้วน้อยกว่าน้ำ มีความสามารถละลายสารได้กว้างขวาง และค่อนข้างปลอดภัยกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น จึงนิยมใช้เป็นตัวทำละลาย นำไปผสมกับเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มค่าออกเทนและชะล้างคราบเขม่าในเครื่องยนต์

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อหาสารเคมีสำหรับชะล้างคราบเขม่าดินปืนและคราบทองแดงที่ติดตามเกลียวลำกล้องปืนด้วยสารเคมีที่มีความจำเพาะกับโลหะทองแดง เพื่อให้ลำกล้องปืนมีความสะอาด มีประสิทธิภาพสูงสุด ยืดอายุการใช้งาน และลดโอกาสการเกิดอันตรายต่อผู้ใช้อาวุธปืน

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้นักวิจัยมีความสนใจเพื่อหาสารเคมีสำหรับชะล้างคราบเขม่าดินปืนและคราบทองแดงที่ติดตามเกลียวลำกล้องปืน ด้วยสารเคมีที่มีความจำเพาะกับโลหะทองแดงโดยมีขอบเขตการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

4.1 การศึกษาผลของสารละลายอินทรีย์สำหรับการล้างคราบเขม่าดินปืน

นำอาวุธปืนที่ยิงแล้วจำนวน 100 นัด มาล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่

1. เบนซีน
2. เฮกเซน
3. เมทานอล

4.2 การทดลองหาน้ำยาล้างคราบทองแดงด้วยโลหะทองแดง

โดยนำแผ่นโลหะทองแดงบริสุทธิ์ลงไปแช่ในสารละลาย 3 ประเภท คือ

4.2.1 สารละลายกรด ได้แก่

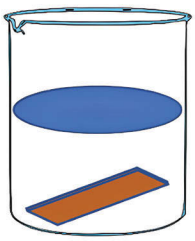
- สารละลายกรดไฮดรอคลอริก (HCl)
- สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- สารละลายกรดไนตริก (HNO_3)

4.2.2 สารละลายออกซิไดซ์ ได้แก่

- สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)
- สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)

4.2.3 สารละลายเบส คือ แอมโมเนีย (NH_3)

ตัดแผ่นทองแดงแผ่นละประมาณ 2 กรัม ลงไปแช่ในสารละลายต่าง ๆ เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2 และสังเกตการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2 การทดลองใส่แผ่นทองแดงบริสุทธิ์ลงในสารละลายกรด สารละลายเบส และสารละลายออกซิไดซ์

4.3 การศึกษาผลความเข้มข้นในการทำความสะอาดคราบทองแดง

โดยนำสารละลายจากการทดลองที่ 4.2 ที่เหมาะสมที่สุด มาปรับความเข้มข้นให้เหมาะสม โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายนั้นเป็นร้อยละ 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, และ 10.0 โดยปริมาตร ตามลำดับ หลังจากนั้นนำแผ่นทองแดงน้ำหนัก 2.0 กรัม แช่ลงในสารละลายที่เตรียมไว้

4.4 ทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาล้างคราบทองแดงด้วยลำกล้องปืนจริง

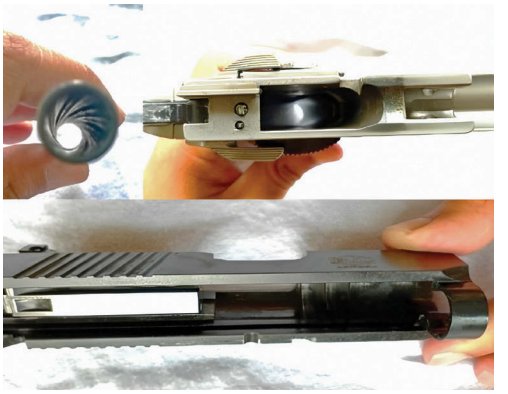
ทดลองยิงกระสุนขนาด .45 นิ้ว ด้วยหัวกระสุนหนัก 230 เกรน ชนิดหุ้มด้วยโลหะทองแดง จำนวน 200 นัด แล้วนำมาทำความสะอาดด้วยน้ำยา

ทำความสะอาดลำกล้องปืน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงน้ำยาเพื่อให้ได้น้ำยาที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

5. ผลการทดลองและวิเคราะห์

5.1 ผลการหาสารสำหรับชะล้างคราบเขม่าดินปืน

จากการทดลอง 4.1 ผลการทดลองการหาสารทำความสะอาดคราบเขม่าดินปืน หลังจากยิงทดสอบด้วยกระสุนหัวทองแดง กระบอกละ 200 นัด และนำมาทำความสะอาดคราบดินปืน



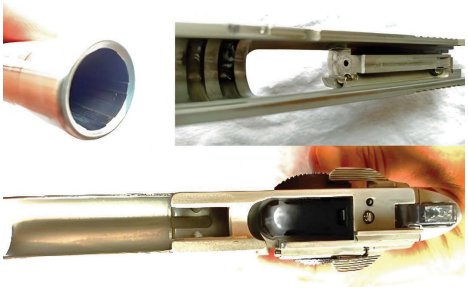
รูปที่ 3 *คราบเขม่าหลังจากการทดสอบยิง*

เขม่าดินปืนที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินปืนหลังจากการยิงทดสอบจะเห็นได้ว่าหลังจากการยิงทดสอบจะมีคราบเขม่าสีดำติดตามโครงปืน ลำเลื่อนปืน ชุดลั่นไก และลำกล้อง ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยในส่วนของโครงปืนและลำเลื่อนปืนนั้นคราบเขม่าติดไม่แน่นเท่าภายในลำกล้อง สามารถทำความสะอาดได้ง่าย แต่ภายในลำกล้องจะติดแน่นเนื่องจากการเสียดสีของหัวกระสุนและลำกล้อง ทำให้คราบเขม่าที่เกิดถูกกระสุนนัดถัดไปกดอัดให้ติดแน่นกับตัวลำกล้องปืน ทำให้ทำความสะอาดได้ยาก ในการทดลองจะใช้สาร 3 ประเภท ในการชะล้างคราบเขม่าดินปืน คือ สารประเภทอะโรมาติก (Aromatic) สารไม่มีขั้ว (Nonpolar solvent) และสารมีขั้วเล็กน้อย (Polar solvent) ในการทดลองจะเน้นไปใช้สารเคมีไม่มีขั้วหรือขั้วน้อย เนื่องจากคราบเขม่าเป็นสารจำนวนคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว ฉะนั้นจึงเหมาะกับการชะล้างด้วยสารไม่มีขั้วหรือมีขั้วเล็กน้อย จากการทดลองหาสารเคมีสำหรับล้างคราบเขม่าได้ใช้สารละลาย 3 ชนิด ได้แก่ เบนซีน (Benzene) เฮกเซน (Hexane) และเมทานอล (Methanol) สารละลายทั้ง 3 ชนิด เป็นสารละลายใสไม่มีสี

รูปที่ 4 *หลังจากนำปืนยิงทดสอบมาล้างคราบเขม่าด้วยน้ำยาสารอินทรีย์*

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินปืนจะมีก๊าซเป็นหลัก ก๊าซจะสร้างแรงดันและผลักหัวกระสุนออกจากรังเพลิง การเผาไหม้ของดินขับในพื้นที่จำกัดทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงมีคราบเขม่าจำนวนมาก เขม่ามีสีดำมาจากคาร์บอนและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเผาไหม้ของดินขับ ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้สาร 3 ประเภท ได้แก่ อะโรมาติก (เบนซีน) สารไม่มีขั้ว (เฮกเซน) และสารมีขั้วเล็กน้อย (เมทานอล) ในการทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่าสารประเภทอะโรมาติกสามารถทำความสะอาดได้ดีที่สุด จากผลการทดลองรูปที่ 4 เบนซีนสามารถดึงคราบเขม่า

ลงมาอยู่ในสารละลายได้มากที่สุด ทำให้สารละลายใสไม่มีสีเปลี่ยนเป็นสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 4 และทดลองความสะอาดภายในตัวปืน ดังแสดงในรูปที่ 5

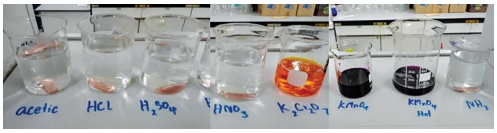


รูปที่ 5 *หลังจากทำความสะอาดคราบเขม่าดินปืน*

5.2 ผลการทดลองหาน้ำยาล้างคราบทองแดงด้วยโลหะทองแดง

ปืนมีความแม่นยำสูงเกิดจากความพอดีของขนาดลำกล้องและหัวกระสุน ถ้าหากลำกล้องกว้างเกินไปจะไม่สามารถบังคับวิถีกระสุนได้ ทำให้ไม่มีความแม่นยำ และกระสุนไปได้ไม่ไกลเนื่องจากมีแรงดันบางส่วนเล็ดลอดระหว่างหัวกระสุนและลำกล้องได้ แต่หากลำกล้องแคบเกินไปจะทำให้กระสุนผ่านไปได้ยาก เกิดแรงดันสะสมสูง อาจเกิดอันตรายต่อตัวปืนและผู้ใช้งานได้ เกลียวภายในลำกล้องจะรีดและหมุนหัวกระสุน รวมทั้งบังคับทิศทางหัวกระสุน ทำให้วิถีกระสุนมีความแม่นยำ ฉะนั้นทุกการยิงกระสุนทุกนัดจะมีการเสียดสีระหว่างลำกล้องและหัวกระสุน ทำให้เกิดความร้อน ทำให้โลหะทองแดงบางส่วนที่เคลือบหัวกระสุนยึดติดอยู่กับลำกล้อง ทำให้เกลียวลำกล้องตื้นเขิน ทำให้ประสิทธิภาพเกลียวลำกล้องลดลง ทำให้ความแม่นยำลดลง นอกจากนี้ หากเกิดการสะสมที่มากเกินไปจนภายในลำกล้องแคบมากเกินไป จะเกิดแรงดันสะสมที่สูงขึ้นและทำให้ลำกล้องบวมเสียหายหรืออาจระเบิด เป็นเหตุให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้อาวุธปืน

ในการทดสอบจะทดสอบหาน้ำยาล้างคราบทองแดง โดยใช้โลหะทองแดงบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 ในเบื้องต้นแทนการใช้คราบทองแดงในลำกล้องโดยตรง เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับลำกล้องปืนได้ เริ่มจากตัดแผ่นโลหะทองแดงให้มีน้ำหนักประมาณ 2 กรัม และนำลงไปแช่ในสารละลายต่าง ๆ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 *การแช่แผ่นโลหะทองแดงลงในสารละลายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กรดแอซีติก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก โพแทสเซียมไดโครเมต โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และแอมโมเนีย*

ชนิดของสารละลายมีดังต่อไปนี้ 1. กรดแอซีติก 2. กรดไฮโดรคลอริก 3. กรดซัลฟิวริก 4. กรดไนตริก 5. โพแทสเซียมไดโครเมต 6. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และ 7. แอมโมเนีย สารละลายแต่ละชนิดเข้มข้นเท่ากัน 0.5 โมลต่อลิตร หลังจากนั้นดูการเปลี่ยนแปลงของสารละลายทุก ๆ 30 นาที

รูปที่ 7 *ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นบนแผ่นโลหะทองแดงที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก กรดแอซีติก และกรดไนตริก ขณะเริ่มต้นการทดลอง*

หลังจากใส่แผ่นทองแดงลงในสารละลายจะเกิดฟองก๊าซขึ้นทันที เนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างกรดและโลหะ จะได้เกลือและก๊าซไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในสมการที่ (3)

โลหะ + กรด ⟶ เกลือของโลหะ + $H_2(g)$ (3)

โดยกรดแอซีติกจะมีฟองก๊าซมากที่สุด กรดซัลฟิวริกเป็นอันดับ 2 และกรดไนตริกเป็นอันดับ 3 ดังแสดงในรูปที่ 7 ส่วนสารละลายที่เหลือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ขณะเริ่มต้นปฏิกิริยา

รูปที่ 8 *ผลการทดลองแช่แผ่นทองแดงลงในสารละลายต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง*

หลังจากเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 8 ได้ผลการทดลองดังนี้

1. สารละลายกรดแอซีติก มีฟองก๊าซเกิดขึ้นที่ผิวของโลหะทองแดง เป็นฟองขนาดเล็กทั่วพื้นผิวของโลหะ

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก มีฟองก๊าซเกิดขึ้นบนผิวโลหะเล็กน้อย

3. สารละลายกรดซัลฟิวริก มีฟองก๊าซเกิดขึ้นที่ผิวโลหะทองแดง เป็นฟองขนาดใหญ่และเล็กไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผิวของโลหะทองแดง

4. สารละลายกรดไนตริก จากสารละลายใสไม่มีสีเปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อน แสดงว่าในสารละลายมีไอออนของทองแดงผสมอยู่ [3]

5. โพแทสเซียมไดโครเมต ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ

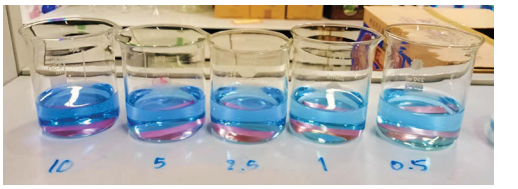
6. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ

7. สารละลายแอมโมเนีย จากสารละลายใสไม่มีสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม แสดงว่าในสารละลายมีไอออนของโลหะทองแดงผสมอยู่ [3]

จากการทดลองพบว่า สารละลายที่สามารถสลายโลหะทองแดงให้เป็นไอออนทองแดงได้มีอยู่ 2 ชนิด คือ สารละลายกรดไนตริกและแอมโมเนียเท่านั้น เนื่องจากสารละลายใสเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีไอออนบวกของทองแดง (Cu_2+) [3] อยู่ในสารละลาย และจากสีของสารละลายจะเห็นได้ว่าสารละลายแอมโมเนียมีสีที่เข้มกว่า แสดงว่า สารละลายแอมโมเนียสามารถเปลี่ยนโลหะทองแดงให้เป็นไอออนได้มากกว่า หรือในอีกแง่หนึ่ง คือ สามารถชะล้างโลหะทองแดงได้ดีกว่า ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกสารละลายแอมโมเนียเป็นน้ำยาล้างคราบทองแดงในลำกล้องปืน

5.3 ผลการทดลองหาความเข้มข้นน้ำยาล้างคราบทองแดงที่เหมาะสม

จากผลการทดลองที่ 5.2 ขั้นตอนต่อไปคือการหาความเข้มข้นของน้ำยาที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ลดการสิ้นเปลือง หรือโอกาสในการสร้างความเสียหายต่อลำกล้อง ในการทดลองจะตัดแผ่นทองแดงให้ได้น้ำหนัก 2 กรัม นำไปแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ในสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นดังนี้ 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, และ 10 ร้อยละโดยปริมาตร



รูปที่ 9 *ผลการทดลองการแช่โลหะทองแดงลงในสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่างกัน*

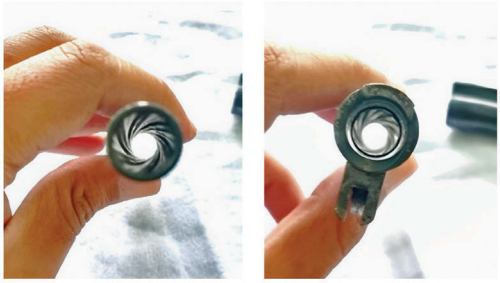
จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าความเข้มของสีน้ำเงินจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ

สารละลายแอมโมเนียเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 2.5 โดยปริมาตร สีจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยยะ ฉะนั้น ทีมวิจัยจึงเลือกความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยปริมาตร เนื่องจากลดการสิ้นเปลืองในการใช้สารเคมีและลดโอกาสที่จะสร้างความเสียหายต่อลำกล้องปืน แต่ยังคงประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ

5.4 ทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาล้างคราบทองแดงด้วยอาวุธปืน

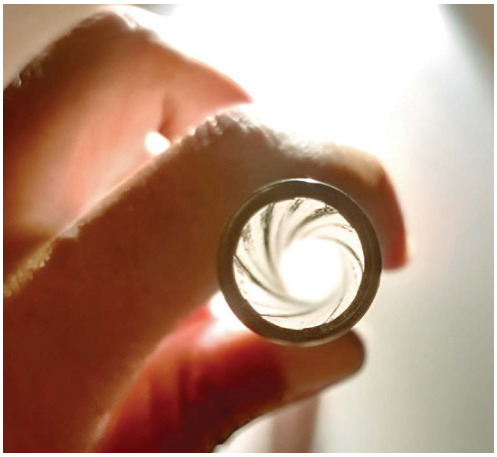
หลังจากได้สารที่นำมาทำน้ำยาและความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้ว จึงต้องทดลองด้วยอาวุธปืนจริง เพื่อศึกษาว่าน้ำยาสามารถทำงานได้จริงหรือไม่ ทำงานได้ดีเพียงใด ทีมวิจัยจึงได้ทดสอบด้วยอาวุธปืนประจำตัวนายทหารเวรของโรงเรียนนายเรือ ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยนำอาวุธปืนไปยิงทดสอบด้วยหัวกระสุนจริง จำนวน 200 นัด หลังจากนั้นนำมาทำความสะอาดคราบเขม่าและล้างคราบทองแดงต่อไป

รูปที่ 10 *อาวุธปืนประจำนายทหารเวรของโรงเรียนนายเรือที่ใช้เป็นปืนหลักในการทดสอบหาน้ำยาล้างคราบทองแดง*



รูปที่ 11 *ลำกล้องปืนหลังจากยิงทดสอบด้วยกระสุนหัวทองแดงจำนวน 200 นัด*

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นสภาพของลำกล้องปืนที่ยิงทดสอบด้วยกระสุนหัวทองแดงจำนวน 200 นัด ซึ่งเห็นได้ว่ามีคราบเขม่าสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะตามร่องเกลียว หลังจากนั้นทดสอบการล้างด้วยน้ำยาล้างคราบเขม่า ได้ผลดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 *ภาพลำกล้องปืนหลังจากทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างคราบเขม่า*

หลังจากทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างคราบเขม่าพบว่าลำกล้องปืนมีความสะอาดขึ้น เรียบยิ่งขึ้น แต่ตามร่องเกลียวยังคงมีเศษโลหะทองแดงติดอยู่ ดังรูปที่ 12 และ 13

รูปที่ 13 *เศษโลหะทองแดงที่ยังคงเหลืออยู่หลังทำความสะอาดลำกล้องด้วยน้ำยาล้างคราบเขม่า*

ขั้นตอนสุดท้าย คือ การทดสอบน้ำยาล้างคราบทองแดง โดยนำลำกล้องที่ล้างคราบเขม่าเรียบร้อยแล้วมาทดสอบล้างเศษทองแดงด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยปริมาตร ด้วยการล้างสลับกับน้ำกลั่น ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 14 และ 15

รูปที่ 14 *ผลการล้างคราบทองแดงด้วยน้ำกลั่นและน้ำยาล้างคราบทองแดง*

เพื่อยืนยันประสิทธิภาพจึงทดสอบการล้างด้วยน้ำกลั่นและน้ำยาล้างคราบทองแดง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการล้างคราบทองแดงภายในลำกล้องด้วยน้ำกลั่นสลับกับน้ำยาล้างลำกล้องปืน

ครั้งที่	สารที่ใช้	ผลการทดลอง
1	น้ำกลั่น	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
2	น้ำยาล้างลำกล้องปืน	เปลี่ยนสีจากใสเป็นน้ำเงิน
3	น้ำกลั่น	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
4	น้ำยาล้างลำกล้องปืน	เปลี่ยนสีจากใสเป็นน้ำเงิน
5	น้ำยาล้างลำกล้องปืน	เปลี่ยนสีจากใสเป็นน้ำเงิน
6	น้ำยาล้างลำกล้องปืน	เปลี่ยนสีจากใสเป็นน้ำเงิน

รูปที่ 15 *ภาพหลังล้างลำกล้องปืนด้วยน้ำยาล้างคราบทองแดง*

จากการทดลองพบว่า หลังจากล้างลำกล้องที่ผ่านการยิงทดสอบด้วยหัวกระสุนทองแดงจำนวน 200 นัด ด้วยน้ำยาล้างคราบเขม่าและน้ำยาล้างคราบทองแดง จะได้ลำกล้องปืนที่สะอาดเป็นที่น่าพอใจ

6. สรุปและอภิปรายผล/ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่า สารเบนซีนสามารถชะล้างคราบเขม่าได้ดีที่สุด เนื่องจากสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยปริมาตรเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเคมีสำหรับชะล้างคราบทองแดงภายในลำกล้อง เนื่องจากสารละลายแอมโมเนียสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะทองแดงโดยเปลี่ยนโลหะทองแดงให้เป็นไอออนบวก [3] ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ดี เนื่องจากแอมโมเนียและเกลือแอมโมเนียมได้รับการยอมรับว่าเป็นสารชะล้างที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการโลหวิทยาสารละลาย (Hydrometallurgical process) เนื่องจากความเป็นพิษและต้นทุนต่ำ การนำกลับคืนได้ง่าย และการนำโลหะกลับคืนสภาพใหม่แบบเลือกได้สูง [7]

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ (สวพ.ทร.) สำหรับงบประมาณในการทำโครงงานวิจัย ขอขอบคุณกองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ สำหรับห้องปฏิบัติการในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สนามยิงปืนราชนาวีบางนาสำหรับความร่วมมือในการทดสอบประสิทธิภาพน้ำยา

8. เอกสารอ้างอิง

[1] R. K. Wilson, Textbook of Automatic Pistols. Small-Arms Technical Pub. Co., 1943.

[2] ว. วังอาษา. “ชนิดของลำกล้องและชนิดของปืน.” PUNPEIYNGPANG.com. https://sites.google.com/site/punpeiyngpangcom/chnid-khxng-la-klxng-pun-laea-chnid-khxng-pun (วันที่เข้าถึง มี.ค. 9, 2564).

[3] J. Clark. “COPPER: Reactions of hexaaquacopper (II) ions with ammonia solution.” CHEMGUIDE.co.uk. https://www.chemguide.co.uk/inorganic/transition/copper.html (accessed Mar. 9, 2020).

[4] R. Chang, Chemistry 12/e. Bangkok, Thailand: Mc. Graw Hill, 2018.

[5] R. Chang, Chemistry. Bangkok, Thailand: Mc. Graw Hill, 2018.

[6] Compound Interest. “The Chemistry of Gunpowder.” COMPOUNDCHEM.com. https://www.compoundchem.com/2014/07/02/the-chemistry-of-gunpowder/ (accessed Mar. 9, 2020).

[7] V. Radmehr, S. M. J. Koleini, M. R. Khalesi, and M. R. T. Mohammadi, “Ammonia Leaching: A New Approach of Copper Industry in Hydrometallurgical Processes,” *J. Inst. Eng. (India): D,* vol. 94, pp. 95-104, 2013.

การออกแบบวิจัยและพัฒนา ชุดเลเซอร์สำหรับติดตั้งบนปืนฝึกทางยุทธวิธี

เจษฎา ไกรขาว [1] กันต์ธร นาทอง [1] รัญชิดา ขันทอง [1]
ปิยะรส มาลีเจริญ [1*] และ นริศ จันทร์น้ำ [1]

วันที่รับ 28 พฤศจิกายน 2565 วันที่แก้ไข 20 กุมภาพันธ์ 2566 วันตอบรับ 21 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการออกแบบวิจัยและพัฒนาชุดเลเซอร์สำหรับติดตั้งบนปืนฝึกทางยุทธวิธี โดยมีการออกแบบระบบเลเซอร์อินฟราเรดสำหรับตรวจจับการจำลองรูปแบบยิงของปืนฝึกทางยุทธวิธี รุ่น M4A1 โดยชุดเลเซอร์นี้ถูกออกแบบให้ปล่อยแสงเลเซอร์ในช่วงอินฟราเรดเมื่อมีการลั่นไกปืนเกิดขึ้น เพื่อเป็นการจำลองวิถีและจุดตกของกระสุนปืน เมื่อแสงเลเซอร์ตกกระทบยังฉากฝึก กล้องอินฟราเรดและระบบประมวลผลภาพ (Image Processing) จะตรวจจับตำแหน่งของแสงเลเซอร์เพื่อแสดงผลภาพบนฉากต่อไป ซึ่งในการวิจัยและพัฒนานี้ได้มีการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับตรวจจับการเกิดการยิง โดยมีการเก็บข้อมูลจากการทดลองจากเซนเซอร์ 2 ชนิด ได้แก่ 6-AXIS-IMU-UNITMPU6886 ซึ่งใช้ตรวจวัดแรงที่เกิดจากแรงถีบ (Recoil) ของปืนโดยมีการใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerator Sensor) และ SPM1423HM4H ซึ่งเป็นเซนเซอร์วัดเสียง (Sound Sensor) สำหรับนำมาใช้ในการตรวจจับเสียงของปืน จากนั้นจึงนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมาประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ประกอบด้วยชิป ไอซี ESP32 และทำนาย (Prediction) การเกิดการยิงจากพฤติกรรมการลั่นไกปืนด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network: NN) โดยผลการวิจัยพบว่าหลังจากทำการทดสอบกับปืนฝึกทางยุทธวิธี รุ่น M4A1 จำนวน 15 กระบอกของระบบสนามฝึกยิงปืนเสมือนจริง ชุดเลเซอร์สามารถตรวจจับการยิงปืนได้ถูกต้องแม่นยำถึงร้อยละ 95.63

คำสำคัญ : ปืนอัดลม, เซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือน, เซนเซอร์วัดระดับเสียง, ปัญญาประดิษฐ์, โครงข่ายประสาทเทียม

---

[1] ส่วนงานระบบเครื่องช่วยฝึกเสมือนจริง, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: piyarose.m@dti.or.th

Research and Development of a Laser Kit for Tactical Training Rifle

Jedsada Kraikhow [1] Gunthorn Nathong [1] Ranchida Khantong [1]
Piyarose Maleecharoen [1*] and Naris Channum [1]

Received 28 November 2022, Revised 20 February 2023, Accepted 21 February 2023

Abstract

This article describes the design and development of a gun laser which is used to simulate the behavior of a bullet, both the trajectory and the bullet point, of the M4A1 tactical firearm in a virtual shooting range. This gun laser emits the infrared signal when it is turned on. The IR camera, then, captured and analyzed with the image processing before visualize the bullet point on the screen. There are 2 types of data from the sensors that are used to trigger the laser. The data from 6-AXIS-IMU-UNITMPU6886 sensor is obtained when the accelerator sensor measures the recoil force of the gun. Another data set is from SPM1423HM4H sensor which is a sound sensor for detecting the sound of the gun. These sets of data are analyzed with the microcontroller equipped with IC ESP32 chip. Artificial Intelligence (AI) in terms of Neural Network (NN) is implemented to predict if it is a gunshot so as to turn on the laser. The result from the experiment with 15 M4A1 tactical firearms in a virtual shooting range shows that the sensor is capable to detect the gunshot with the accuracy of 95.63%

Keywords : Airsoft Gun, Vibration Sensor, Sound Sensor, Artificial Intelligence, Neural Network

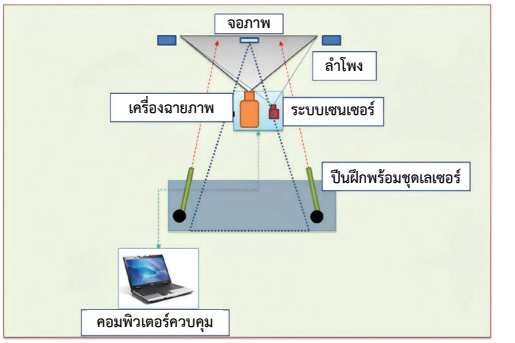
[1] Virtual Simulation Division, Defence Technology Institute

[*] Corresponding author: piyarose.m@dti.or.th

1. บทนำ

เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด ส่งผลให้ระบบช่วยฝึกเสมือนจริงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกยุทธวิธีทางทหารอย่างแพร่หลาย โดยภายในระบบจะถูกออกแบบมาให้ผู้รับการฝึกได้รับประสบการณ์และมีการเพิ่มพูนความชำนาญให้มีความใกล้เคียงกับการฝึกในสถานการณ์จริง [1]-[2] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะสามารถลดความสูญเสียได้ทั้งงบประมาณและเวลาในการเตรียมการโดยที่ประสิทธิผลของการฝึกไม่ได้ลดลง ผลจากการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้าพบว่า ผู้รับการฝึกในสภาพแวดล้อมจำลองจะสามารถจดจำและประยุกต์ประสบการณ์ที่ได้รับเมื่อต้องเผชิญกับสถานการณ์จริงได้เป็นอย่างดี [3]-[4] นอกจากนี้ยังช่วยลดความกดดันให้แก่ผู้ฝึกเมื่อต้องเข้ารับการฝึกอีกด้วย [5] ดังนั้น ส่วนงานระบบเครื่องช่วยฝึกเสมือนจริง (RVS) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) จึงได้มีการริเริ่มดำเนินการวิจัยและพัฒนาระบบสนามฝึกยิงปืนยุทธวิธีเสมือนจริงเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการฝึก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการวิจัยและพัฒนาต้นแบบระบบสนามฝึกยิงปืนยุทธวิธีเสมือนจริง สำหรับช่วยเสริมให้การฝึกกำลังพลมีความสามารถในการใช้งานยุทโธปกรณ์ได้หลากหลายและเพิ่มความชำนาญในการใช้อาวุธประจำกายมากขึ้น โดยระบบของสนามฝึกยิงปืนเสมือนจริงที่ได้ทำการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ คือ ชุดอุปกรณ์และโปรแกรมสำหรับควบคุมควบคู่ไปพร้อมกับการแสดงผลทั้งภาพและเสียง ชุดปืนฝึกและชุดระบบเซนเซอร์

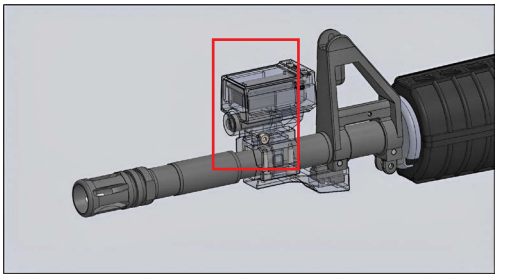
สำหรับการวิจัยระบบสนามฝึกยิงปืนเสมือนจริงในปัจจุบันได้มีการพัฒนามาจนถึงขั้นตอนจัดสร้างต้นแบบในระยะสุดท้าย ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการทดสอบต้นแบบและขั้นตอนการประเมินผลภายหลังการส่งมอบระบบสนามฝึกยิงปืนยุทธวิธีเสมือนจริงเพื่อให้หน่วยผู้ใช้ได้ทำการทดสอบระบบรวมถึงบันทึกผลการทดสอบและรายละเอียดการใช้งานของผู้ใช้งานจริงสำหรับนำมาปรับปรุงพัฒนาระบบสนามฝึกฯ เพื่อให้ได้มาซึ่งต้นแบบระบบสนามฝึกยิงปืนยุทธวิธีเสมือนจริงที่มีความสมบูรณ์เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 *ส่วนประกอบหลักของระบบสนามฝึกยิงปืนเสมือนจริง*

ดังนั้น จากการทดสอบของผู้ใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบและปรับปรุงส่วนเสริมเพิ่มเติมเพื่อที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่สนามฝึกฯ ได้ โดยมีการสร้างต้นแบบระบบเลเซอร์ติดปลายกระบอกปืนทางยุทธวิธี ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อให้สามารถใช้งานกับปืนฝึกฯ ได้หลายรูปแบบในอนาคต โดยมีการออกแบบให้เป็นเลเซอร์อินฟราเรด ซึ่งในงานวิจัยนี้ ระบบเลเซอร์ได้ถูกออกแบบมาสำหรับจำลองพฤติกรรมเสมือนในการวิ่งออกของกระสุนปืนจากปลายลำกล้องปืนเมื่อเกิดการลั่นไก โดยในที่นี้จะประยุกต์ใช้เลเซอร์ย่านอินฟราเรดในการจำลองแนววิถีของกระสุนที่เกิดจากการเล็งของผู้เข้ารับการฝึกใช้อาวุธปืน โดยการทำงานของระบบเลเซอร์อินฟราเรดจะเริ่มขึ้นเมื่อได้รับสัญญาณควบคู่กันจากเซนเซอร์

วัดความเร่ง (Accelerator Sensor) และเซนเซอร์วัดเสียง (Sound Sensor) ที่ถูกประยุกต์ใช้เพื่อวัดการเคลื่อนที่และเสียงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกเลื่อนจากปืนฝึกฯ ที่ทำงานด้วยแรงดันลมจากปั๊มลม โดยมีการดัดแปลงส่วนแมกกาซีนให้ทำงานได้ด้วยแรงดันลมได้ จากนั้นเลเซอร์จะไปตกกระทบกับฉากฝึกที่เป็นจอรับภาพจากเครื่องฉายภาพโปรเจกเตอร์ และจะมีระบบเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของจุดเลเซอร์ที่ตกกระทบบนจอรับภาพแล้วนำจุดตกกระทบไปประมวลผลในการฝึกยิง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของระบบสนามฝึกยิงปืนทางยุทธวิธีเสมือนจริง ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีต่อผู้เข้ารับการฝึกต่อไป



รูปที่ 2 *ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งระบบเซนเซอร์บนปลายกระบอกปืน*

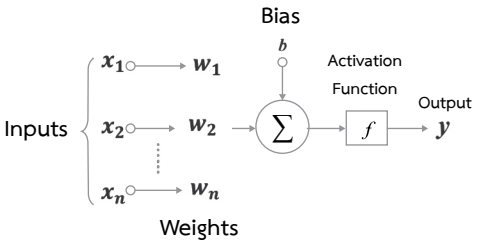
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบเซนเซอร์ ซึ่งจะทำงานเมื่อตรวจจับการยิงของปืนได้ โดยมีหลักเกณฑ์คือการตรวจจับแรงสั่นที่เกิดจากแรงถีบ (Recoil) ของปืนจากเซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerator Sensor) และการตรวจจับเสียงของปืนด้วยเซนเซอร์วัดเสียง (Sound Sensor) จากนั้นจะมีการนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วน มาทำการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ประกอบด้วยชิปไอซี ESP32 และทำนาย (Prediction) การเกิดการยิงของปืนด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network: NN) ซึ่งนอกจากจะเป็นที่นิยมแล้ว ยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานที่ต้องมีการจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) [6] โดยมีการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) เพื่อทำการสอน (Training) ให้ระบบจดจำรูปแบบการสั่น และเสียงที่ถูกต้องของปืนเมื่อเกิดการลั่นไก โดยในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้าน AI ที่มีชื่อว่า โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) แบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron: MLP) หรือสามารถเรียกอีกอย่างว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-forward Backpropagation Neural Network) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบต้องมีผู้สอน (Supervised Learning) เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับทำนายผลการยิง (Prediction) [7]

2.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

โครงข่ายประสาทเทียม ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการจำลองลักษณะการประมวลผลของระบบประสาทมนุษย์ด้วยแบบจำลองทั้งในเชิงคณิตศาสตร์และเชิงสถิติ (Mathematical and Statistical Model) ประกอบไปด้วยส่วนของการประมวลผลที่เรียกว่า นิวรอน (Neuron) โดยทุก ๆ นิวรอนนั้น สามารถมีข้อมูลป้อนเข้า (Input) ได้หลายค่า แต่ข้อมูลส่งออก (Output) จะมีได้เพียงค่าเดียว และทุก ๆ ข้อมูลส่งออก (Output) จะมีการเชื่อมโยงไปยังข้อมูลป้อนเข้า (Input) อื่น ๆ ของนิวรอนที่อยู่ภายในโครงข่ายสำหรับการเชื่อมโยงกันภายใน และทุก ๆ ข้อมูลป้อนเข้า (Input) จะมี

ค่าน้ำหนัก (Bias) เป็นตัวกำหนดกำลังของการเชื่อมโยงภายใน โดยจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกกันว่า ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ดังแสดงในรูปที่ 3



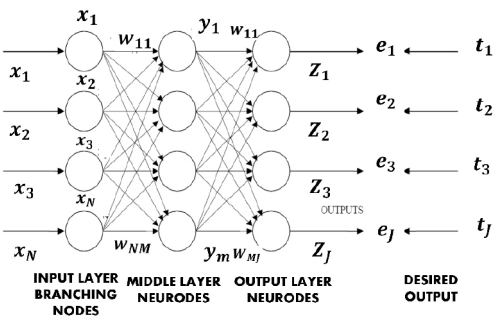
รูปที่ 3 *องค์ประกอบของ Artificial Neural Networks [8]*

2.1.1 เพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron: MLP)

โครงข่ายเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron Neural Network หรือเรียกอีกอย่างว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-forward Backpropagation Neural Network) จะมีลักษณะคือ มีหนึ่งชั้นอินพุต (Input Layer) ที่ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลเข้ามายังโครงข่ายประสาท เพื่อส่งต่อไปยังชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งจะประมวลผลข้อมูลที่ได้รับก่อนจะส่งไปยังชั้นเอาต์พุต (Output Layer) [9] โดยชั้นซ่อน (Hidden Layer) จะมีได้อย่างน้อย 1 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-forward Backpropagation Neural Network) แต่โดยทั่วไปแล้วลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะไม่มีข้อจำกัดทางทฤษฎีในเรื่องของจำนวนของชั้นซ่อน [10]

สำหรับในงานวิจัยนี้จะมีการกำหนดขั้นตอนการเรียนรู้ คือ จะมีการกำหนดจำนวนโหนดในชั้นอินพุต (x) เอาต์พุต (z) และจำนวนโหนดในชั้นซ่อน (w) ที่มีทั้งหมด 2 ชั้น ก่อนจะกำหนดรอบสูงสุดที่จะทำการเรียนรู้ (N) รวมถึงค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ โดยมีการใช้ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลทั้งหมดจากทุกอินพุตใน 1 ชั้นซ่อน เพื่อส่งต่อเป็นเอาต์พุตไปยังชั้นถัดไป สำหรับในงานวิจัยนี้จะมีฟังก์ชันกระตุ้นที่เกี่ยวข้อง คือ ฟังก์ชัน ReLU (Rectified Linear Unit) และ ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid)

ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ ReLU เป็นฟังก์ชันที่ไม่ซับซ้อน นอกจากจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผลได้ดีแล้ว ยังช่วยลดปัญหา Vanishing gradients อีกด้วย [11] เนื่องจากฟังก์ชัน ReLU จะมีลักษณะเป็น Ramp function โดยมีรูปแบบตามสมการที่ (1) ซึ่งเมื่อจัดรูปแล้วจะเป็นไปตามสมการที่ (2) กล่าวคือ ถ้าอินพุตมีค่าตั้งแต่ 0 ขึ้นไป เอาต์พุตก็จะมีค่าเท่ากัน แต่หากอินพุตมีค่าน้อยกว่า 0 จะมีการกำหนดเอาต์พุตให้เป็น 0 ตลอด [12]



รูปที่ 4 *สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-forward Backpropagation Neural Network) [13]*

$$\mathrm{relu(z)} \begin{cases} \mathrm{z} & \mathrm{if\ z} \geq 0 \\ 0 & \mathrm{if\ z} < 0 \end{cases} \tag{1}$$

หรือ

$$\mathrm{relu(z)} = \max\,(0, x) \tag{2}$$

ในงานวิจัยได้มีการกำหนดเอาต์พุตสุดท้ายให้เป็น 0 หรือ 1 เพื่อเปรียบเทียบถึงความน่าจะเป็นของความคล้ายคลึงกันกับรูปแบบเสียงหรือการสั่นที่ได้จากการทดลอง โดยทำการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในชั้นสุดท้ายก่อนจะได้เอาต์พุต โดยในส่วนของฟังก์ชันซิกมอยด์ จะมีลักษณะฟังก์ชันเป็นเส้นโค้งรูปตัว S ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 [14] ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$S(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{e^{x}}{e^{x}+1} \qquad (3)$$

โดย

$\mathrm{relu}(z)$ คือ ฟังก์ชัน ReLU

$S(x)$ คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid)

z คือ เอาต์พุต

x คือ อินพุต

2.2 การวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง

หลังจากทำการสอนแบบจำลองแล้ว จะต้องทำการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Testing and Evaluat ion) ก่อนนำไปใช้งานจริง เพื่อเป็นการประเมินหาประสิทธิภาพความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยจะมีการใช้ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้เพื่อสร้างตารางเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) [15] ซึ่งค่าในตารางประกอบด้วย 4 รูปแบบ [16] ดังรูปที่ 5

โดยมีความหมายของตัวแปรดังนี้

- True Positive (TP) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายว่าเกิดขึ้น ซึ่งตรงกับความจริง โดยโปรแกรมทำนายว่า จริง และ มีค่าเป็น จริง

- True Negative (TN) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายว่า ไม่เกิดขึ้นจริง โดยที่สิ่งนั้นไม่เกิดขึ้นในความเป็นจริงเช่นกัน โดยโปรแกรมทำนายว่า ไม่จริง และ มีค่า ไม่จริง

- False Positive (FP) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายไม่ตรงกับความเป็นจริง โดยโปรแกรมทำนายว่า จริง แต่ มีค่าเป็น ไม่จริง

- False Negative (FN) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายไม่ตรงกับความเป็นจริง โดยโปรแกรมทำนายว่า ไม่จริง แต่ มีค่าเป็น จริง

	Actually Positive (1)	Actually Negative (0)
Predicted Positive (1)	True Positives (TPs)	False Positives (FPs)
Predicted Negative (0)	False Negatives (FNs)	True Negatives (TNs)

รูปที่ 5 *Confusion Matrix [13]*

ในงานวิจัยนี้จะมีการนำค่าที่คำนวณได้จากตารางเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ไปใช้เพื่อคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง 3 ค่า ดังนี้

- ความถูกต้อง (Accuracy) เป็นการวัดความถูกต้องของแบบจำลองโดยพิจารณารวมทุกผลลัพธ์ โดยคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\frac{\mathrm{TPs}+\mathrm{TNs}}{\mathrm{TPs}+\mathrm{TNs}+\mathrm{FPs}+\mathrm{FNs}} \qquad (4)$$

- ความแม่นยำ (Precision) เป็นการวัดความแม่นยำของแบบจำลองจากการพิจารณาแยกทีละผลลัพธ์ โดยคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\frac{\mathrm{TPs}}{\mathrm{TPs}+\mathrm{FPs}} \qquad (5)$$

- ความไว (Recall) เป็นการวัดความถูกต้องของแบบจำลองที่ทำนายว่า จริง เทียบกับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจริง โดยคำนวณได้จากสมการที่ (6)

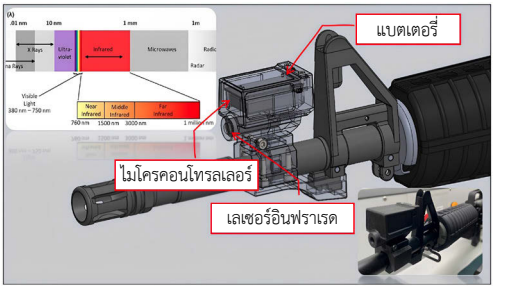
$$\frac{\mathrm{TPs}}{\mathrm{TPs} + \mathrm{FNs}} \tag{6}$$

- ค่า F1-Score เป็นค่าเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยฮาร์มอนิก (Harmonic Average) ระหว่างความแม่นยำและความไว เพื่อเป็นเมทริกซ์เชิงเดี่ยวที่วัดความสามารถของแบบจำลองโดยคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$\frac{\mathrm{TPs} + \mathrm{TNs}}{\mathrm{Tps} + \mathrm{TNs} + \mathrm{FPs} + \mathrm{FNS}} \tag{7}$$

3. วิธีการดำเนินงาน

ชุดเลเซอร์อินฟราเรดสำหรับระบุเป้าหมายและตรวจจับการยิงจะประกอบไปด้วยการออกแบบ Hardware ที่จะทำงานควบคู่ไปกับส่วน Software ที่ได้ถูกวิจัยและออกแบบเพื่อนำไปติดตั้งตรงส่วนปลายของกระบอกปืนฝึกทางยุทธวิธี รุ่น M4A1 โดยมีการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในระบบสำหรับทำการปล่อยเลเซอร์อินฟราเรด ไม่ว่าจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์, ชุดเลเซอร์อินฟราเรด, แบตเตอรี่ชาร์จเจอร์, ระบบเซนเซอร์, แบตเตอรี่และสวิตช์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกประกอบลงในบอร์ดแผงไฟฟ้าเพื่อวัตถุประสงค์ในการที่จะลดการใช้สายไฟลง และเป็นการเพิ่มความเสถียรของวงจรไฟฟ้า ทำให้สามารถรับแรงสั่นสะเทือนและเสียงจากระบบลูกเลื่อนของปืนได้ โดยชุดเลเซอร์อินฟราเรดจะทำงานเมื่อเซนเซอร์สามารถตรวจจับได้ถึงการยิงของปืนที่ถูกจำลองขึ้น ซึ่งการจำลองในที่นี่คือ การตรวจจับแรงสั่นที่เกิดจากแรงถีบ (Recoil) ของปืนโดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerator Sensor) และการตรวจจับเสียงของปืนโดยใช้เซนเซอร์วัดเสียง (Sound Sensor) จากนั้นจะนำไปประมวลผลร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนจากเสียงของสภาพแวดล้อม เลเซอร์อินฟราเรดจะทำงานก็ต่อเมื่อตรวจพบการทำงานของเซนเซอร์ทั้งสองชนิดพร้อมกัน โดยมีรูปแบบของการเคลื่อนไหวและเสียงที่วัดได้ตามที่กำหนดไว้เท่านั้น ทั้งนี้ยังเพื่อป้องกันกรณีการใช้ปืนฝึกฯ ร่วมกันหลายกระบอกในคราวเดียว ทำให้สามารถจำได้แนกได้ว่าการเคลื่อนไหวและเสียงที่เกิดขึ้นเป็นของปืนกระบอกใดในสนามฝึกฯ



รูปที่ 6 *ตำแหน่งการติดตั้งและส่วนประกอบของระบบเลเซอร์อินฟราเรดบนปลายกระบอกปืนฝึก รุ่น M4A1*

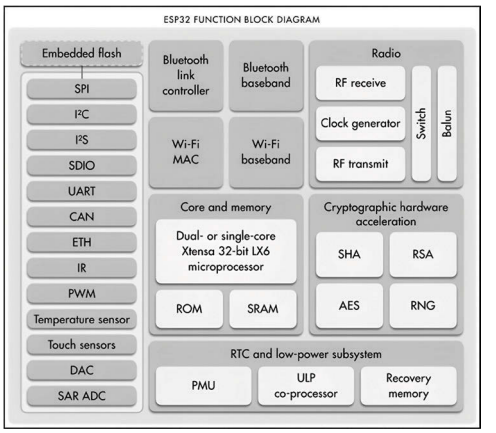
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีการเน้นไปที่การตรวจจับการยิงปืน ซึ่งจะมีการใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerator Sensor) เพื่อตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกเลื่อนปืนเมื่อทำการลั่นไกควบคู่ไปกับเซนเซอร์วัดเสียง (Sound Sensor) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของระบบลูกเลื่อน พร้อมกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และเลเซอร์อินฟราเรดที่มีความถี่ 980 นาโนเมตร ที่ใช้ในการช่วยระบุเป้าหมาย โดยมีรายละเอียดเซนเซอร์ที่ใช้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

Sensor	Parameter
6-AXIS-IMU-UNITMPU6886	angle and acceleration
SPM1423HM4H	Sound

ในส่วนไมโครคอนโทลเลอร์ที่ใช้ทำการวิจัย จะเป็นรุ่นที่มี ไอซี ESP32 ซึ่งมีความสามารถในการรองรับการเชื่อมต่อได้ทั้ง WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว มี CPU ที่ใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง พร้อมกับสัญญาณนาฬิกา 240 MHz ผลิตโดยบริษัท Espressif [17] มีโครงสร้างของฟังก์ชันการทำงานดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 *Function Block Diagram ของไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ESP32 [15]*

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

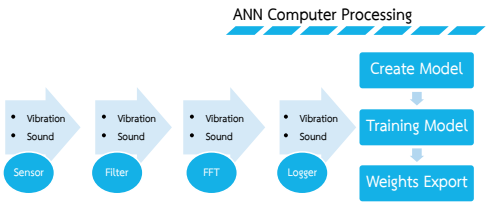
ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ IMU Sensor, Sound Sensor และ IR Sensor Module จะถูกประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีการออกแบบการเชื่อมต่อเป็นแผนผังวงจร ก่อนจะถูกติดตั้งบนปลายกระบอกปืน รุ่น M4A1 ที่ถูกดัดแปลงออกแบบส่วนแมกกาซีนสำหรับใช้ทำงานกับระบบลม ดังแสดงในรูปที่ 9 เพื่อทำการยิงทดสอบกับระบบสนามฝึกยิงปืนเสมือนจริงที่มีลักษณะเป็นห้องปิด ดังแสดงในรูปที่ 8

เมื่อระบบเลเซอร์อินฟราเรดตรวจจับว่าเกิดการยิงของปืน จะทำการปล่อยแสงเลเซอร์ในช่วงอินฟราเรดออกไปตกกระทบยังฉากฝึกที่จุดหรือตำแหน่งที่ผู้ฝึกได้ทำการยิงปืนฝึกฯ ออกไป ซึ่งเป็นการจำลองวิถีและจุดตกของกระสุนปืนด้วยแสงเลเซอร์ โดยจุดนี้จะไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า แต่จะสามารถตรวจจับตำแหน่งจุดเลเซอร์อินฟราเรดได้ด้วยระบบประมวลผลภาพ (Image Processing) และด้วยกล้องอินฟราเรด เมื่อระบบได้ตำแหน่งจุดยิงของปืนฝึกฯ แล้ว จะทำการส่งจุดหรือตำแหน่งการยิงนั้นไปยังโปรแกรมฉากฝึกเพื่อแปลผลการยิงและเก็บข้อมูล

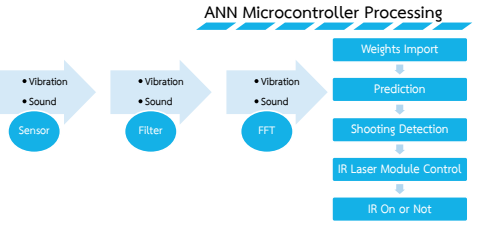
รูปที่ 8 *การทดสอบระบบเซนเซอร์ในสนามฝึกยิงปืนเสมือนจริง*

รูปที่ 9 *ตำแหน่งที่ติดตั้งชุดเลเซอร์อินฟราเรดบนกระบอกปืน รุ่น M4A1*

ขั้นตอนตรวจจับการยิงนั้นจะมีการอาศัยค่าจากการทดลองยิงทั้งหมด 1,120 ครั้ง โดยจะมี data logger สำหรับบันทึกข้อมูลสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ นำมาผ่านตัวกรอง (Filter) และแปลงสัญญาณด้วย Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลให้พร้อมก่อนการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเรียนรู้การจำแนกรูปแบบสัญญาณการเคลื่อนไหวของลูกเลื่อนจากการให้ตัวอย่างรูปแบบสัญญาณที่กำกับโดยการเขียนโปรแกรม แบ่งเป็น “รูปแบบสัญญาณการสั่นของการยิงของปืน” และ “ไม่เป็นรูปแบบสัญญาณการสั่นของการยิงของปืน” จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ระบุรูปแบบสัญญาณการสั่นอื่น ๆ โดยมีการระบุลักษณะเฉพาะ จากชุดตัวอย่างที่เคยได้ประมวลผลมา โดยใช้เครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมคือ Jupyter Notebook ด้วยภาษา python และใช้ Tensorflow ในการสร้าง training TF model สำหรับการเรียนรู้รูปแบบสัญญาณการสั่นและรูปแบบสัญญาณเสียงของการยิงของปืน โดยจะแบ่งการสอน (Train) เป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกดังแสดงในรูปที่ 10 จะเริ่มทำการสอน (Train) บนคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) สำหรับนำไปเข้าขั้นตอนการประมวลต่อบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 *การสร้างและการสอน (Train) รูปแบบการสั่นและเสียงของปืนบนคอมพิวเตอร์*



รูปที่ 11 *การนำเข้าค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ในไมโครคอนโทรลเลอร์*

จากการทดลองจะได้ข้อมูล 2 ชุด คือ การสั่นและเสียงจากการเคลื่อนที่ของลูกเลื่อน โดยชุดทดสอบ 1 ชุด จะสามารถทำงานต่อเนื่องได้ประมาณ 5 ชั่วโมงต่อเวลาการชาร์จ 1 ชั่วโมง

4. ผลการวิจัย

การเก็บข้อมูลลักษณะการยิงของปืนฝึกทางยุทธวิธี รุ่น M4A1 จะมีการประเมินผลประสิทธิภาพด้วยการใช้วิธีการสร้างตารางเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ในการคำนวณค่าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความถูกต้อง (Accuracy) ความแม่นยำ (Precision) ความไว (Recall) และค่า F1-Score โดยมีการใช้ตัวแปรแทนสถานะที่ไม่เกิดการลั่นไกด้วย A และตัวแปรสถานะที่เกิดการลั่นไกด้วย B จากนั้นจะมีการทดสอบด้วยการยิงกับสนามทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการใช้งานจริงอีกครั้ง

4.1 ผลการสอนให้แบบจำลองเกิดการรู้จำรูปแบบการสั่นและเสียงของลูกเลื่อนเมื่อเกิดการยิงปืนฝึกฯ

จากตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 จะพบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองภายหลังการสอนให้เกิดการรู้จำรูปแบบการสั่นและเสียงของปืนฝึกฯ จะพบว่า แบบจำลองจะสามารถแยกรูปแบบการสั่นและเสียงของปืนฝึกที่เกิดจากการยิงปืนได้ โดยมีค่า F1-score คือ 0.99 และ 0.95 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพภายหลังการสอนให้แบบจำลองเกิดการรู้จำรูปแบบการสั่นของปืนฝึกฯ

Actual	Precision	Recall	F1-score
A	1.00	0.99	0.99
B	0.98	1.00	

ตารางที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิภาพภายหลังการสอนให้แบบจำลองเกิดการรู้จำรูปแบบเสียงของปืนฝึกฯ

Actual	Precision	Recall	F1-score
A	0.91	1.00	0.95
B	1.00	0.91	

โดย

A คือ ตัวแปรแทนสถานะที่ไม่เกิดการลั่นไก

B คือ ตัวแปรสถานะที่เกิดการลั่นไก

4.2 ผลการทดสอบจากการทดลองใช้งานจริง

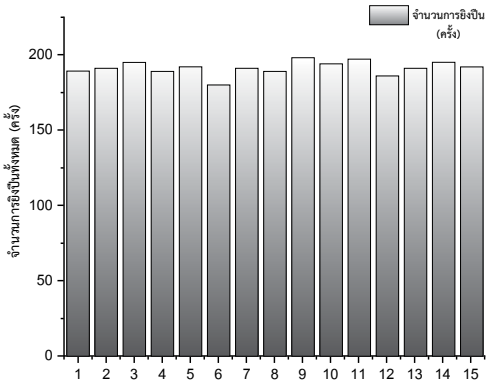
4.2.1 เมื่อทำการติดตั้งชุดเซนเซอร์ลงบนปลายกระบอกปืนฝึกฯ รุ่น M4A1 และทำการทดสอบกับปืนทั้งหมด 15 กระบอก พบว่า จากการยิงปืนทั้งหมด 200 นัด เลเซอร์ปืนจะทำงานเฉลี่ยที่ประมาณ 191 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งจะสามารถทำการหาความแม่นยำ (Accuracy) ของการตรวจจับได้ตามสมการที่ (8)

$$\%Accuracy = \frac{X_{total} - X_{detect}}{X_{total}} X100 \qquad (8)$$

โดย

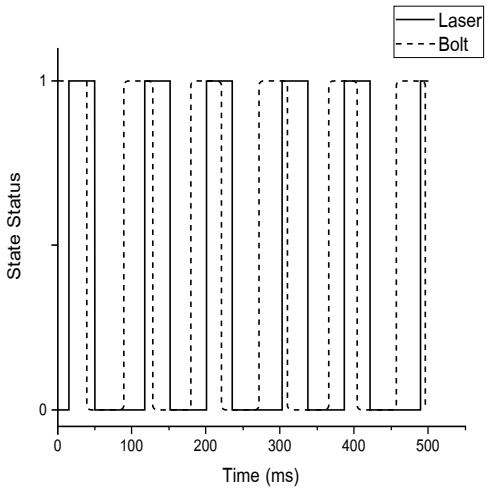
X_{total} คือ จำนวนการยิงปืนทั้งหมด

X_{detect} คือ จำนวนครั้งของการยิงปืนที่โปรแกรมสามารถตรวจจับได้



รูปที่ 12 ผลการทดสอบชุดเลเซอร์เมื่อนำมาติดตั้งใช้งานร่วมกับปืนฝึกฯ

4.2.2 จากรูปที่ 13 พบว่าระยะที่เวลาลูกเลื่อนปืนเคลื่อนที่ถอยหลังจะใช้เวลา 35 ms และเมื่อเคลื่อนที่กลับจะใช้เวลา 55 ms คิดเป็นเวลารวม 90 ms แต่ในส่วนของชุดเลเซอร์ จะมีการทำงานเพื่อเปิดแสงซึ่งใช้เวลา 50 ms และปิดแสงใช้เวลา 50 ms คิดเป็นเวลาทำงานรวม 100 ms



รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบเวลาการทำงานของลูกเลื่อนและชุดเลเซอร์จากการทดสอบ

5. สรุปและวิเคราะห์

บทความนี้มีการเสนอวิธีการวิจัยชุดระบบเซนเซอร์ ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นเลเซอร์อินฟราเรดสำหรับใช้ติดตั้งบนปลายกระบอกปืนฝึกทางยุทธวิธีรุ่น M4A1 โดยมีการสร้างต้นแบบระบบเซนเซอร์เพื่อใช้ตรวจจับการยิงปืน ซึ่งมีการใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerator Sensor) เพื่อตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกเลื่อนปืนเมื่อมีการลั่นไกควบคู่ไปกับเซนเซอร์วัดเสียง (Sound Sensor) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของระบบลูกเลื่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลด้วยการหาแบบจำลองการสั่นและเสียงของการยิงปืน

จากการทดสอบการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองภายหลังการสอนให้เกิดการรู้จำรูปแบบการสั่นของปืนฝึกฯ จะพบว่า แบบจำลองจะสามารถแยกรูปแบบการสั่นของปืนฝึกที่เกิดจากการยิงปืนได้ และเมื่อนำไปทดสอบกับปืน 15 กระบอก ของระบบสนามฝึกยิงปืนเสมือนจริง พบว่า จากผลการทดลองในรูปที่ 12 ชุดเลเซอร์สามารถตรวจจับลักษณะการยิงของปืนได้ถูกต้องแม่นยำถึงร้อยละ 95.63 โดยคิดจากการทำงานของเลเซอร์เมื่อทำการลั่นไกยิงปืนทั้งหมด 200 นัดต่อ 1 ชุด แต่หากเมื่อมีการใช้งานจริงการยิง 1 นัดปืน จะใช้เวลาทั้งหมด 90 ms เมื่อเทียบกับการทำงานของชุดเลเซอร์ซึ่งใช้เวลา 125 ms ทำให้เมื่อยิงต่อเนื่องในระยะเวลาอันสั้น จะทำให้ในนัดถัดไปชุดเลเซอร์จะทำงานได้ไม่ทัน ทำให้ต้องระมัดระวังในส่วนนี้เมื่อมีการใช้งานแบบยิงต่อเนื่องเป็นชุด

นอกจากนี้ ชุดระบบเซนเซอร์ยังสามารถใช้งานติดตั้งได้กับปืนฝึกฯ หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นปืนสั้นหรือปืนยาวชนิดต่าง ๆ เพื่อรองรับการพัฒนาต่อยอดในอนาคต โดยชุดระบบเซนเซอร์ที่ทำการออกแบบจะสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องสูงสุด 5 ชั่วโมงต่อการประจุไฟ 1 ครั้ง หรือ 1 ชั่วโมง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัย อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และพื้นที่ในการทำวิจัย รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ จากโครงการวิจัยและพัฒนาต้นแบบระบบเครื่องช่วยฝึกใช้อาวุธเสมือนจริงขั้นสูง ห้องวิจัยส่วนงานระบบเครื่องช่วยฝึกเสมือนจริง และโรงเรียนเตรียมทหาร ซึ่งได้ให้ความร่วมมือช่วยเหลือให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยและแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องจนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

7. อ้างอิง

[1] A. Lele, “Virtual reality and its military utility,” *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.,* vol. 4, no. 1, Feb. 2011, doi: 10.1007/s12652-011-0052-4.

[2] R. Lovreglio, D.-C. Ngassa, A. Rahouti, D. Paes, Z. Feng, and A. Shipman, “Prototyping and testing a virtual reality counterterrorism serious game for active shooting,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.,* vol. 82, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.ijdrr.2022.103283.

[3] R. Lovreglio, X. Duan, A. Rahouti, R. Phipps, and D. Nilsson, “Comparing the Effectiveness of Fire Extinguisher Virtual Reality and Video Training,” *Virtual Reality,* vol. 25, pp. 133-145, 2021, doi: 10.1007/s10055-020-00447-5.

[4] R. Sacks, A. Perlman, and R. Barak, “Construction safety training using immersive virtual reality,” *Constr. Manag. Econ.,* vol. 31, no. 9, pp. 1005-1017, Sep. 2013, doi: 10.1080/01446193.2013.828844.

[5] J. Stevens, S. C. Mondesire, C. S. Maraj, K. A. Badillo-Urquiola, and D. B. Maxwell, "Workload Analysis of Virtual World Simulation for Military Training," in *MODSIM World 2016*, Virginia Beach, VA, USA, Apr. 2016, pp. 1-11.

[6] D. E. Goldberg and J. H. Holland, "Genetic Algorithms and Machine Learning," *Mach. Learn.,* vol. 3, pp. 95-99, Oct. 1988, doi: 10.1023/A:1022602019183.

[7] T. W. Edgar and D. O. Manz, "Chapter 6 - Machine Learning," in *Research Methods for Cyber Security*. Cambridge, MA, USA: Syngress, 2017, pp. 153-173.

[8] D. A. Heger, "An Introduction to Artificial Neural Networks (ANN) - Methods, Abstraction, and Usage," 2015.

[9] S. W. Lee *et al.*, "A Study on Deep Learning Application of Vibration Data and Visualization of Defects for Predictive Maintenance of Gravity Acceleration Equipment," *Appl. Sci.,* vol. 11, no. 4, Feb. 2021, doi: 10.3390/app11041564.

[10] P. Gaurang, A. Ganatra, Y. P. Kosta, and D. Panchal, "Behaviour Analysis of Multilayer Perceptronswith Multiple Hidden Neurons and Hidden Layers," *Int. J. Comput. Theory Eng.,* vol. 3, no. 2, pp. 332-337, Jan. 2011, doi: 10.7763/IJCTE.2011.V3.328.

[11] J. Brownlee. "Deep Learning Performance." MACHINELEARNINGMASTERY.com. https://machinelearningmastery.com/how-to-fix-vanishing-gradients-using-the-rectified-linear-activation-function (accessed Oct. 14, 2022).

[12] ช. กิตตินราดร. "Machine Learning and Full-stack Python." GOUPAI.GITHUB.io. https://guopai.github.io/index.html (accessed Oct. 3, 2022).

[13] P. H. Winston, *Artificial Intelligence*, 3rd ed. USA: Addison-Wesley Pub. Co., 1992, pp. 737.

[14] T. Wood. "Sigmoid Function." DEEPAI.org. https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/sigmoid-function (accessed Nov. 7, 2022).

[15] S. Visa, B. Ramsay, A. Ralescu, and E. van der Knaap, "Confusion Matrix-based Feature Selection," in *Proc. 22nd Midwest Artif. Intell. Cogn. Sci. Conf. 2011*, Cincinnati, OH, USA, 2011, pp. 120-127.

[16] K. K. Al-jabery, T. Obafemi-Ajayi, G. R. Olbricht, and D. C. Wunsch II, "9 - Data analysis and machine learning tools in MATLAB and Python," in *Computational Learning Approaches to Data Analytics in Biomedical Applications*, London, UK: Academic Press, 2020, pp. 231-290.

[17] Espressif Systems (Shanghai) Co., *ESP32 Series Datasheet*. 2022.

DTI

DTAJ Defence Technology Academic Journal

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ISSN : 2651 - 0669 (Print)

CALL FOR MANUSCRIPTS 2023 - 2024

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (DTAJ) เป็นวารสารวิชาการของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) สำหรับการบริหารจัดการ ส่งเสริม แบ่งปัน และแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ และบทวิเคราะห์ จากการศึกษา ค้นคว้า วิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีป้องกันประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ เพื่อให้การบริหารองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีการบริหารจัดการ และส่งเสริมกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ด้วยการนำเทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานและเกิดนวัตกรรมการบริหารองค์ความรู้ด้วยการจัดทำระบบฐานข้อมูลโครงการวิจัยและพัฒนา และข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ให้สามารถตอบสนองภารกิจการเป็นศูนย์กลางการให้บริการข้อมูลและสารสนเทศด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

ISSUE :

- **ฉบับที่ 13 : มกราคม - มิถุนายน 2567**
  วันนี้ - 15 สิงหาคม 2566
- **ฉบับที่ 14 : กรกฎาคม -ธันวาคม 2567**
  วันนี้ - 15 กุมภาพันธ์ 2567

Submit article online :
https://sc01.tci-thaijo.org/index.php/dtaj

SCOPE

- ด้านวิทยาศาสตร์
- ด้านเทคโนโลยี
- ด้านวิศวกรรมศาสตร์
- ด้านนวัตกรรม
- ด้านการจัดการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ
- นวัตกรรมการบริหารด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ครอบคลุมวิทยาการในการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่ในหลากหลายแขนง อาทิ ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยี ด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้านนวัตกรรม ด้านการจัดการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ นวัตกรรมการบริการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการป้องกันประเทศและการทหาร รวมถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์แก่ประเทศเป็นส่วนรวม

อีกทั้งครอบคลุมเกี่ยวกับความรู้ในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้านการวิจัย การพัฒนา การออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ หรือการให้บริการซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันประเทศ

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม : โทร. 0 2980 6688 ต่อ 2123, 2124 หรือ admin-dtaj@dti.or.th

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ www.dti.or.th

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 5 ฉบับที่ 11 / มกราคม - มิถุนายน 2566

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- **การพัฒนาต้นแบบ *In situ info.* เพื่อใช้งานบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก**
  จิรายุส จันทะวงค์ และ พฤกจิกา สุขศิริมัช
- **ความพึงพอใจในการใช้งานระบบจำลองสถานการณ์น้ำท่วม: กรณีศึกษา อ.ท่าวังผา จ.น่าน**
  พิมพ์รภัส งามสันติวงศ์

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Article)

- **Alternate "Realities": Military Applications in the Metaverse Era**
  Kanok Bunnag

บทความวิจัย (Research Articles)

- **การพัฒนาโปรแกรมหาคำตอบเชิงตัวเลขสำหรับสมการการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นของแนววิถีจรวดประดิษฐ์**
  ชนะ รักษ์ศิริ, เจษฎากร จันทวงษ์ และ กฤติยา พาอิ่ม
- **การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายการเคลื่อนที่ของแนววิถีจรวดประดิษฐ์**
  ชนะ รักษ์ศิริ, กฤติยา พาอิ่ม และ เจษฎากร จันทวงษ์
- **การวิเคราะห์พื้นที่ปกคลุมทางการเกษตรในประเทศไทยด้วยกระบวนการ CNN**
  C. Arnal, S. Bassanetti, H. Corbin, วิษณุ มั่งคั่ง และ Laurent Mezeix
- **กรรมวิธีสร้างชุดข้อมูลสำหรับการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/การปกคลุมดินด้วย CNN: กรณีศึกษาพื้นที่ชนบทของประเทศไทย**
  Laurent Mezeix และ Max Garcia Casanova
- **ต้นแบบน้ำยาทำความสะอาดคราบเขม่าดินปืนและคราบทองแดงในลำกล้องปืน**
  อานนท์ เดชะศิริพงษ์
- **การออกแบบวิจัยและพัฒนาชุดเลเซอร์สำหรับติดตั้งบนปืนฝึกทางยุทธวิธี**
  เจษฎา ไกรขาว, กันต์ธร นาทอง, รัญชิดา ขันทอง, ปิยะรส มาลีเจริญ และ นริศ จันทร์น้ำ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
www.dti.or.th